

L'érosion interne sur les levées de Loire

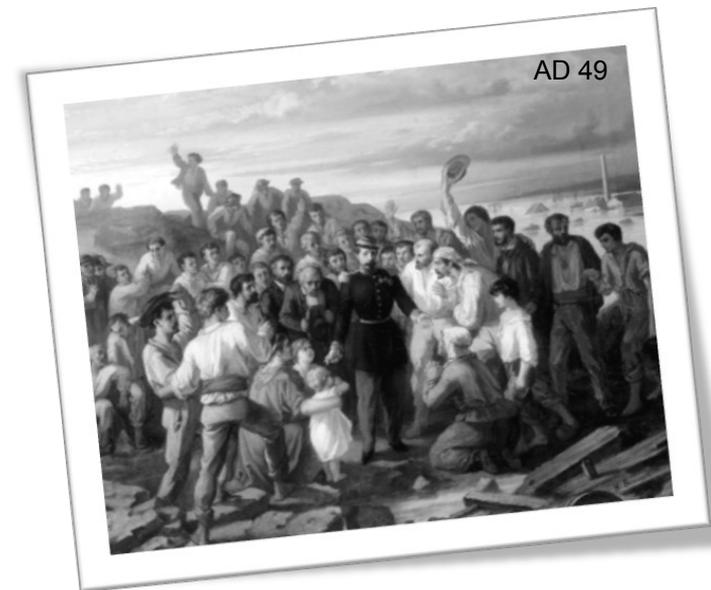
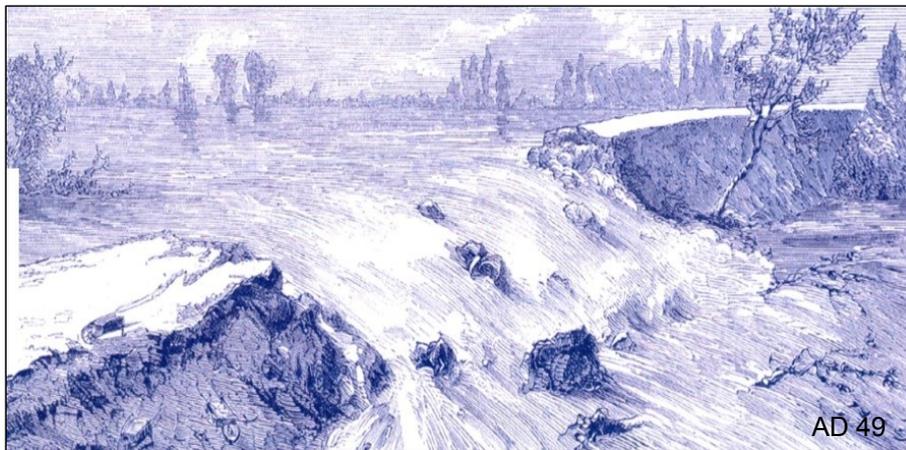
Présentation du guide technique



Réseau des gestionnaires de Loire
27 mai 2015

Les inondations en Loire moyenne

- 710 km de digues
- Une quarantaine de « vals »
- Plus de 300 000 habitants installés derrière les digues
- 3 grandes crues historiques : 1846, 1856 et 1866
- Des ouvrages rarement éprouvés, mais un risque toujours présent !



Objectifs

- Réduire la fréquence des inondations dans les zones protégées
 - ➔ Systèmes d'endiguement
 - ✓ N'offrent plus de protection quand l'eau dépasse leur sommet
 - ✓ Peuvent rompre avant que l'eau n'atteigne leur sommet

- Réduire les conséquences de ces inondations
 - ➔ Éviter toute rupture « brutale » et non maîtrisée du système d'endiguement (brèche)

Mécanismes élémentaires

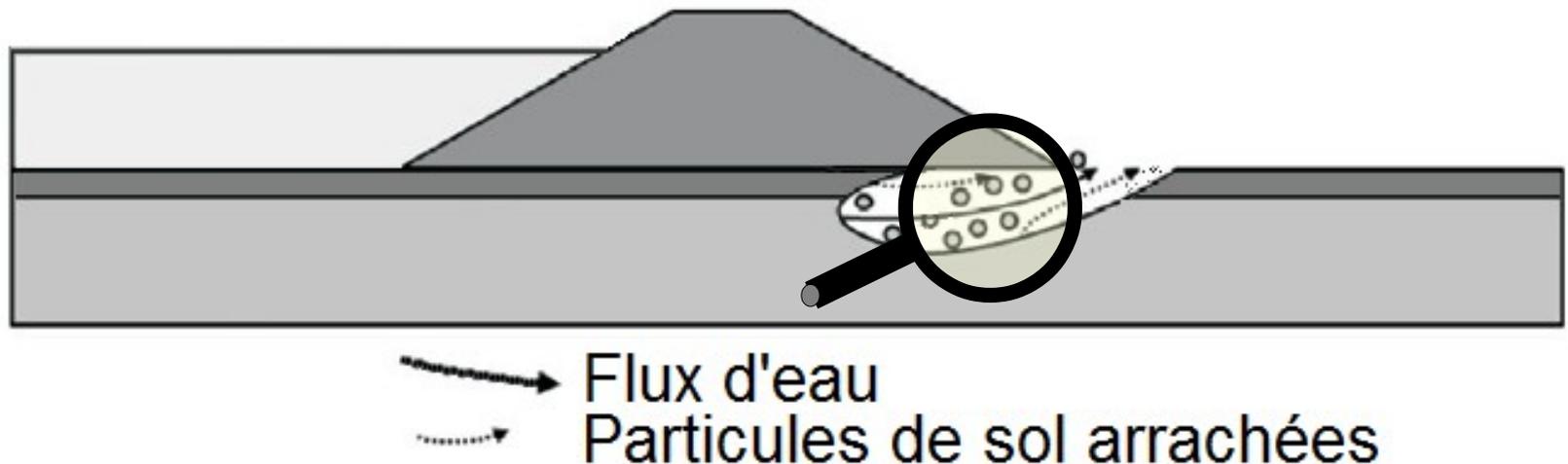
- Érosion externe (côté Loire et côté val en cas de surverse)
- **Érosion interne**
- Défaut de stabilité et tassements
- Karsts
- Mécanismes rares

L'érosion interne

" L'érosion interne est un mécanisme causé par les forces hydrauliques agissant sur les particules de sol à l'intérieur ou dans la fondation d'une levée.

Elle se produit lorsqu'une particule de sol d'une levée ou de sa fondation se déplace dans le sens de l'écoulement interne sous l'action de ces forces " (International Levee Handbook)

ILH, Y. Deniaud



L'érosion interne

" Les digues présentent une résistance insuffisante par leur masse et leur stabilité (...) à l'action indirecte des eaux qui passent sous par voie de syphonement lorsque le terrain sur lequel les digues sont établies est perméable."

Note sur les digues insubmersibles de la Loire centrale, 1892

" A l'origine de 16 brèches sur la Loire au XIX° siècle "

Méthodologie de diagnostic appliquée aux digues de la Loire moyenne, 2000

" La rupture par renard doit être considérée comme le risque dominant"

Service hydraulique centralisateur du bassin de la Loire, 1967

" La levée de « ... » est sensible au risque d'érosion interne"

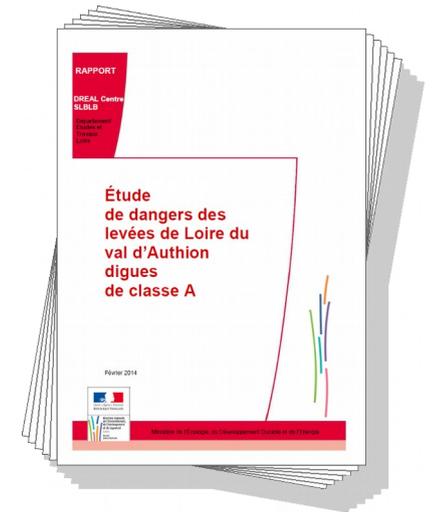
Études de dangers des digues de la Loire moyenne 2012 - 2015

" Dans les régions où le sous-sol présente des couches très perméables (...) la stabilité des digues actuelles doit être considérée comme manifestement insuffisante"

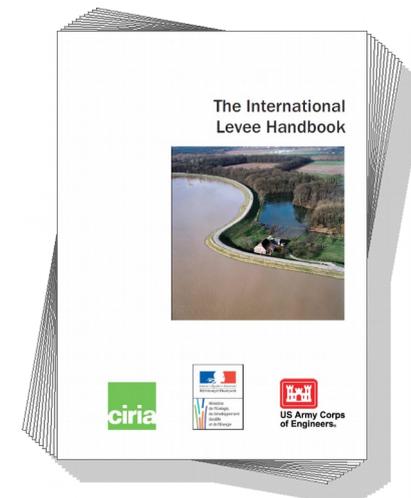
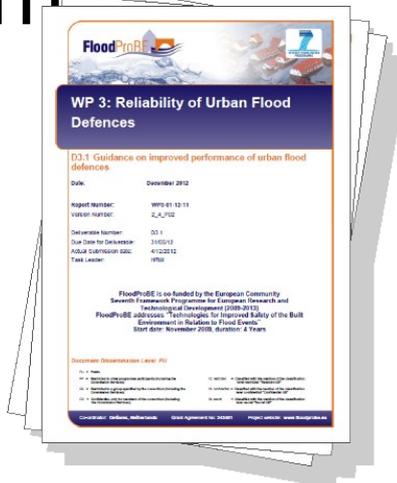
Étude NEDECO, 1965

Pourquoi ce guide ?

- Les études de dangers ont permis de faire progresser les connaissances sur les levées de Loire



- Plusieurs démarches internationales récentes font état d'avancées sur l'érosion interne



L'érosion interne

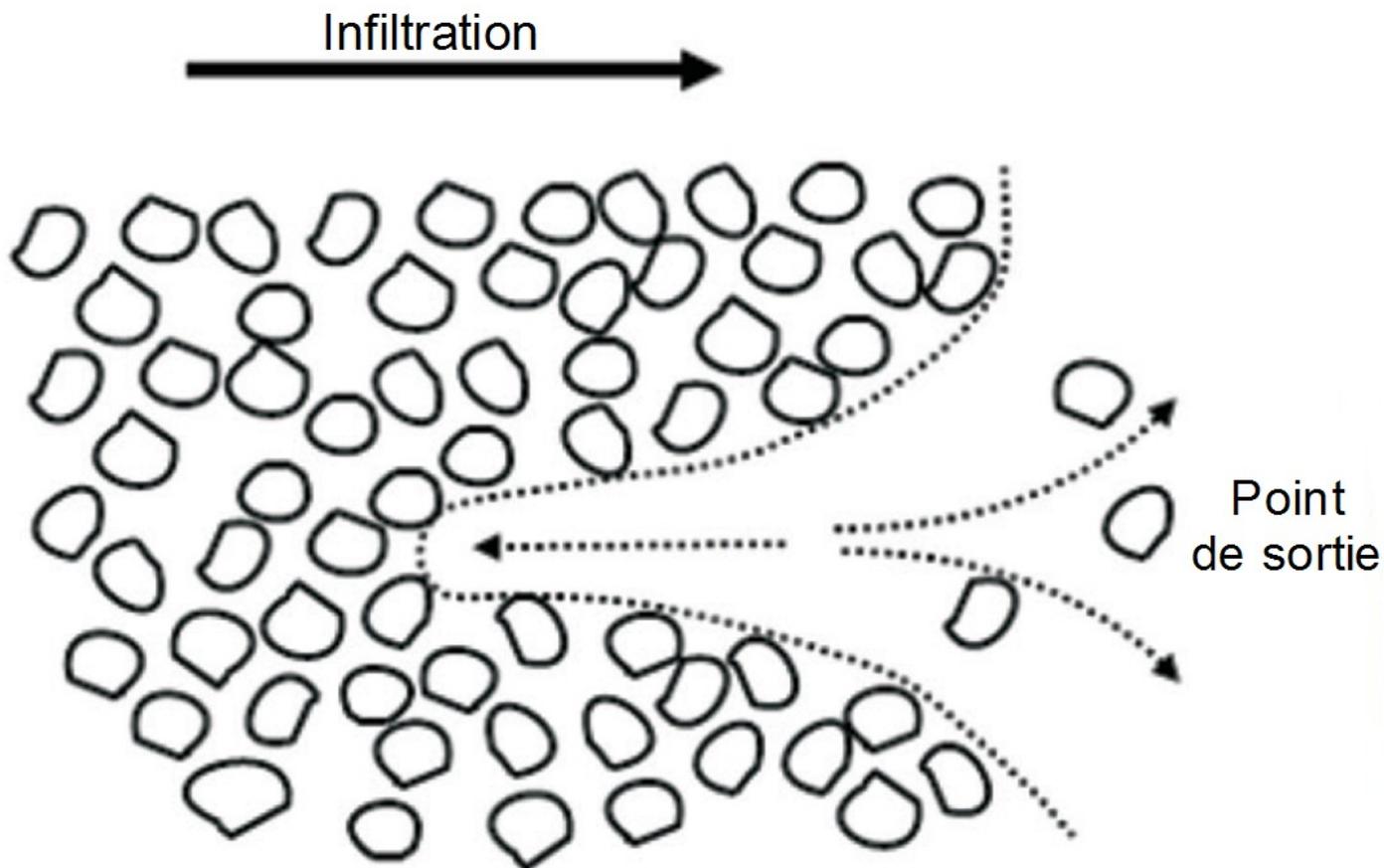
- Pour que l'érosion interne se produise il faut 2 conditions :
 - ➔ la force hydraulique doit être suffisante pour « détacher » les particules
 - ➔ les particules doivent pouvoir être entraînées
 - ✓ par la circulation d'eau
 - ✓ sans être bloquées
- Critères :
 - ➔ Hydrauliques
 - ➔ Géotechniques
 - ➔ Géométriques

Les types d'érosion interne

Nouveau

- Érosion interne régressive

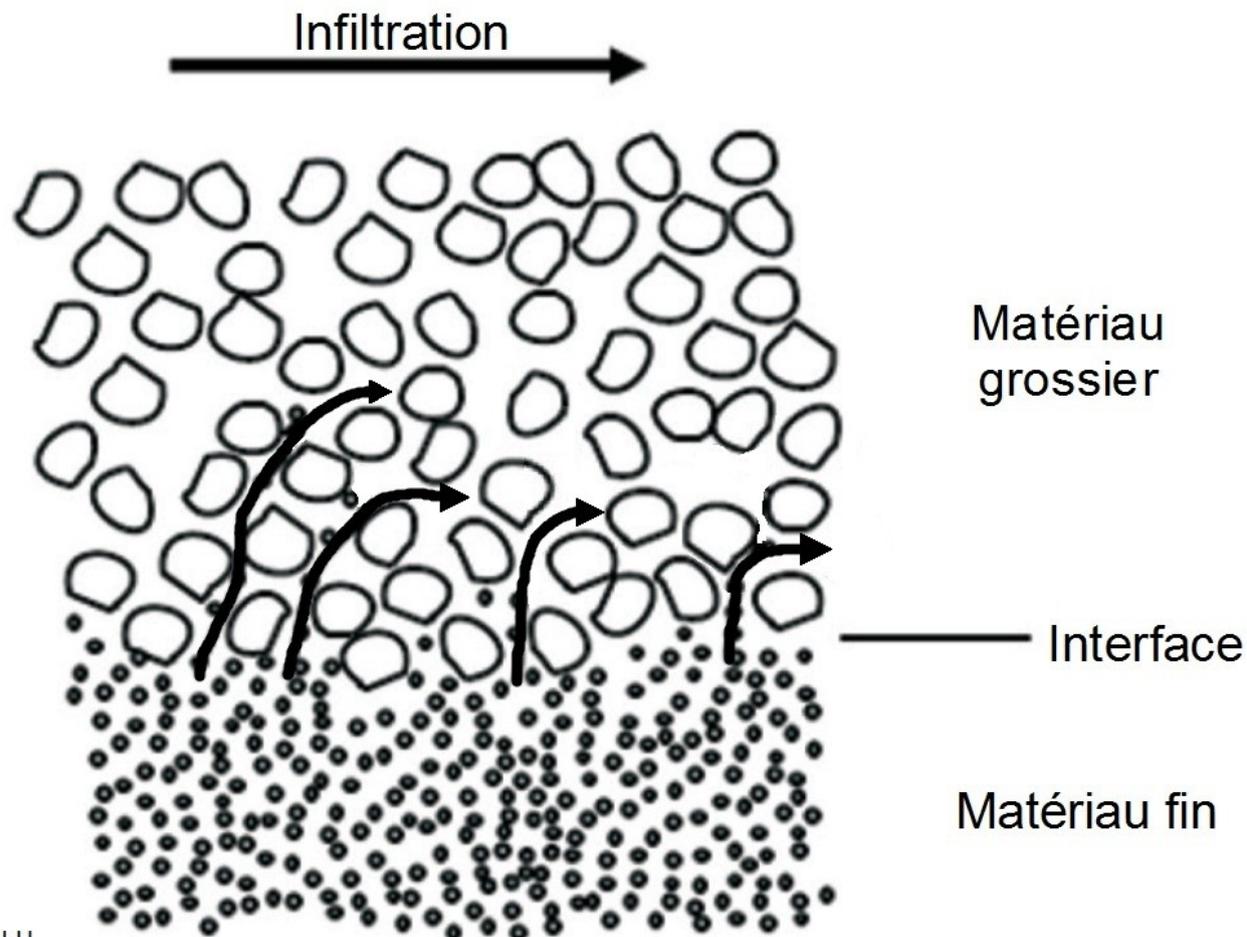
- ➔ Les matériaux sont emportés à partir de la zone de sortie de l'écoulement



Les types d'érosion interne

Nouveau

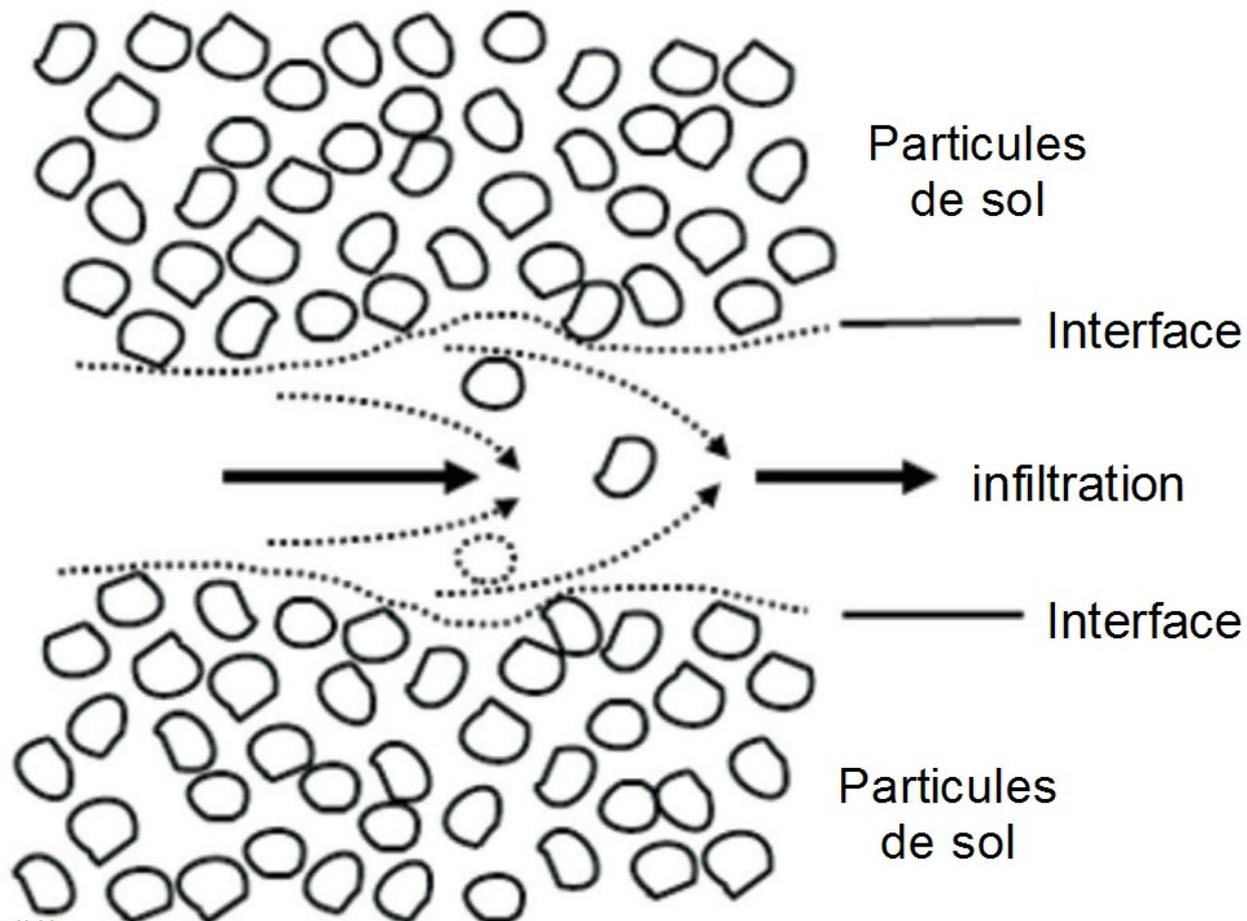
- Érosion interne de contact
 - ➔ Les matériaux d'un sol fin migrent au travers un sol à granulométrie plus grossière



Les types d'érosion interne

Nouveau

- Érosion interne concentrée
 - ➔ L'érosion interne produit un conduit dans la levée ou sa fondation



Les types d'érosion interne

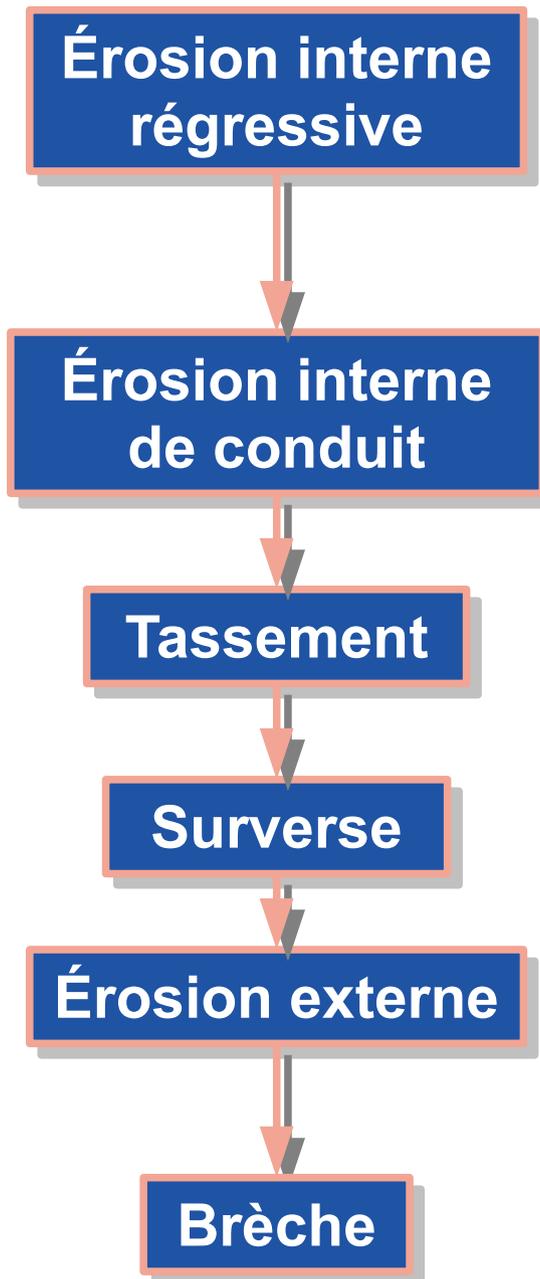
■ Suffusion

- ➔ Les particules fines migrent au travers des particules grossières d'un sol

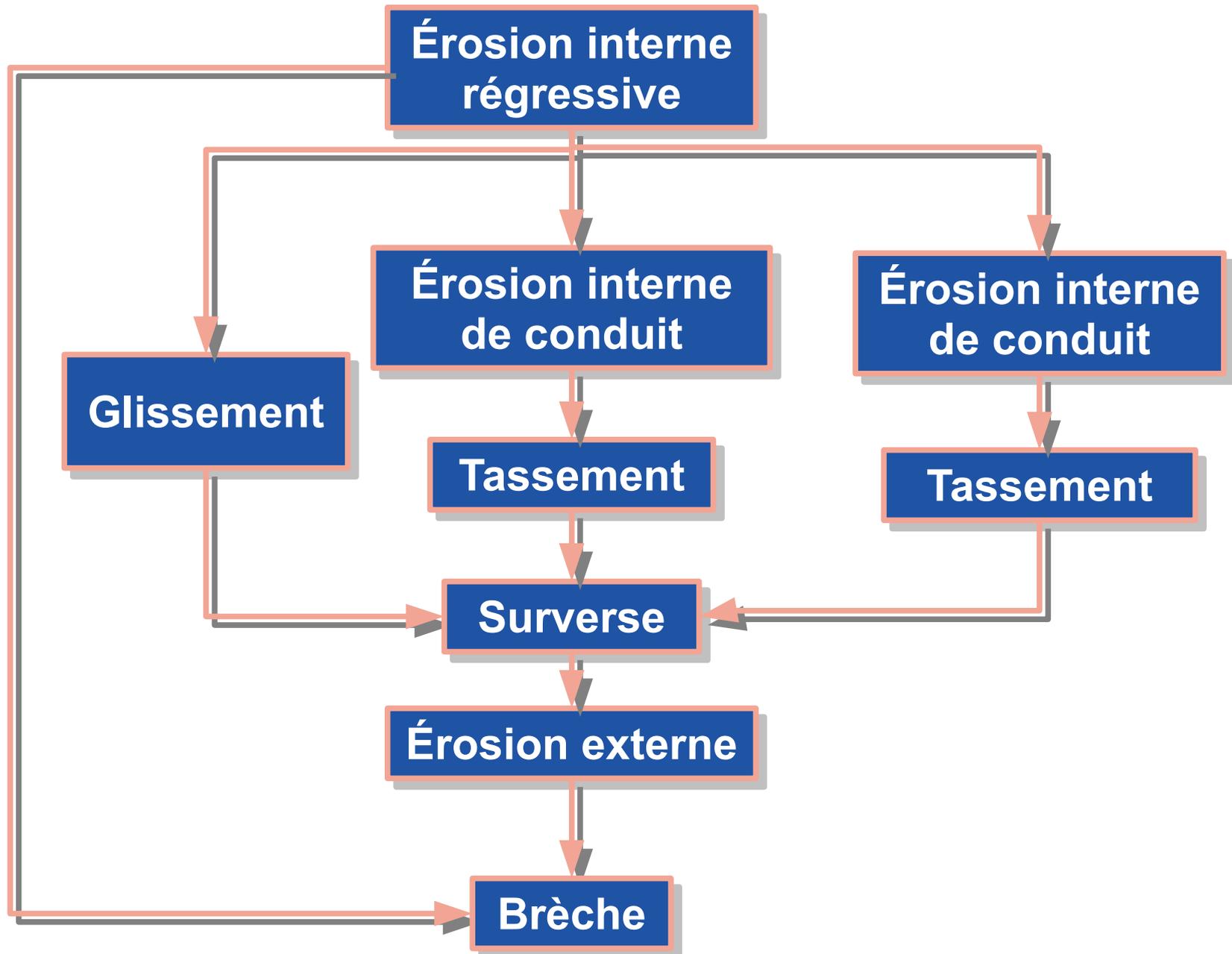


D'après ILH

Scénarios de défaillance



Arbres de défaillance



Les facteurs contributifs

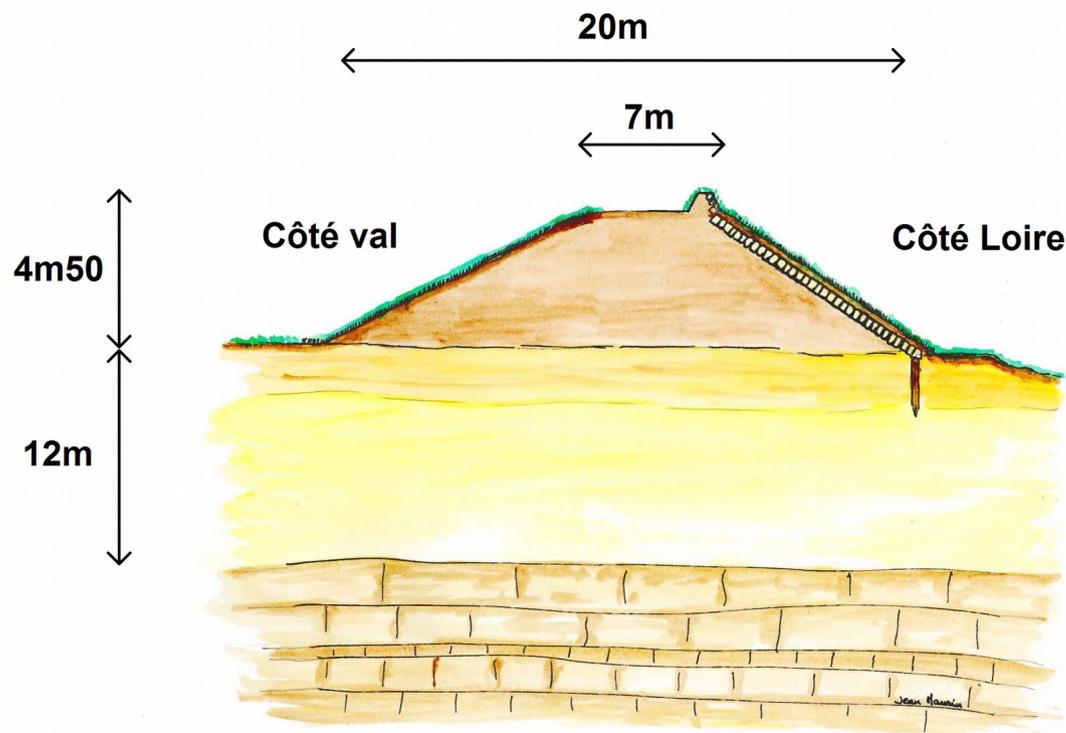
- La constitution de la digue et de sa fondation
 - Perméabilité
 - Granulométrie
 - Cohésion interne et angle de frottement
 - Autres paramètres



Les levées de Loire et leurs fondations sont hétérogènes

Les facteurs contributifs

- La géométrie de la digue
 - Largeur/ hauteur de la levée
 - Altitude de la base de la levée



Les facteurs contributifs

- La végétation ligneuse
 - ➔ Le système racinaire réduit le chemin à parcourir par l'eau



Les facteurs contributifs

- Les canalisations

- À l'interface entre les canalisations et le matériau de la levée
- À l'intérieur de la canalisation elle-même



Les facteurs contributifs

- Les structures encastrées et les transitions
 - ➔ Défaut de perméabilité à l'interface
 - ➔ Réduction de la longueur du chemin à parcourir



Les facteurs contributifs

- Les terriers d'animaux fouisseurs
 - ➔ Ils réduisent la longueur du chemin à parcourir par l'eau



Déterminer le risque d'érosion interne

- Recueillir des données et les capitaliser
 - Géométrie
 - Hydraulique
 - Géotechnique
 - Configuration des lieux et facteurs aggravants

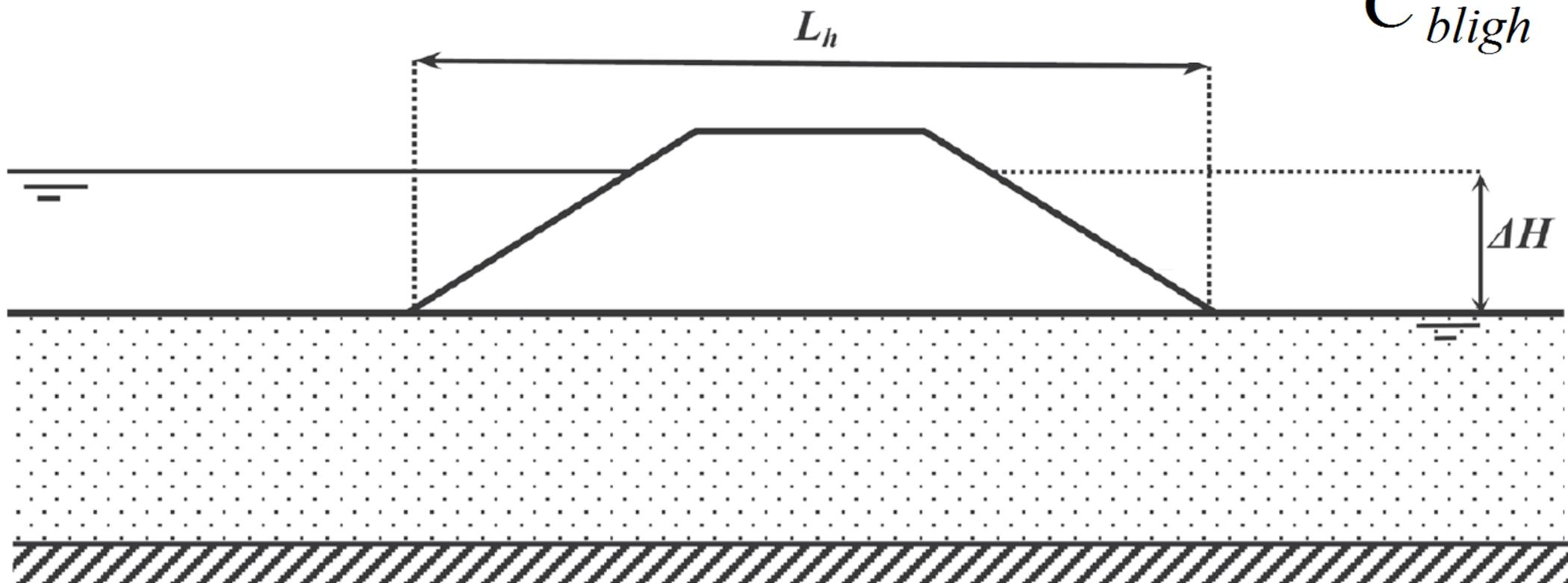


Déterminer le risque d'érosion interne

- Méthodes globales, liées à l'érosion interne dans la fondation

→ Bligh

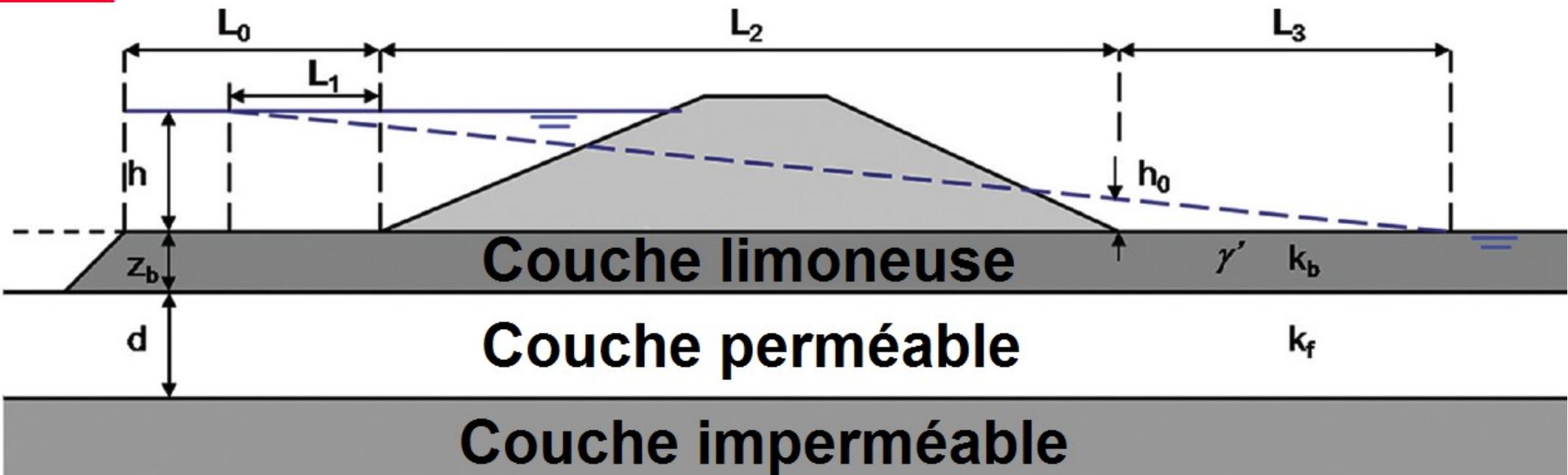
$$\Delta H > \frac{L_h}{C_{bligh}}$$



Déterminer le risque d'érosion interne

Nouveau

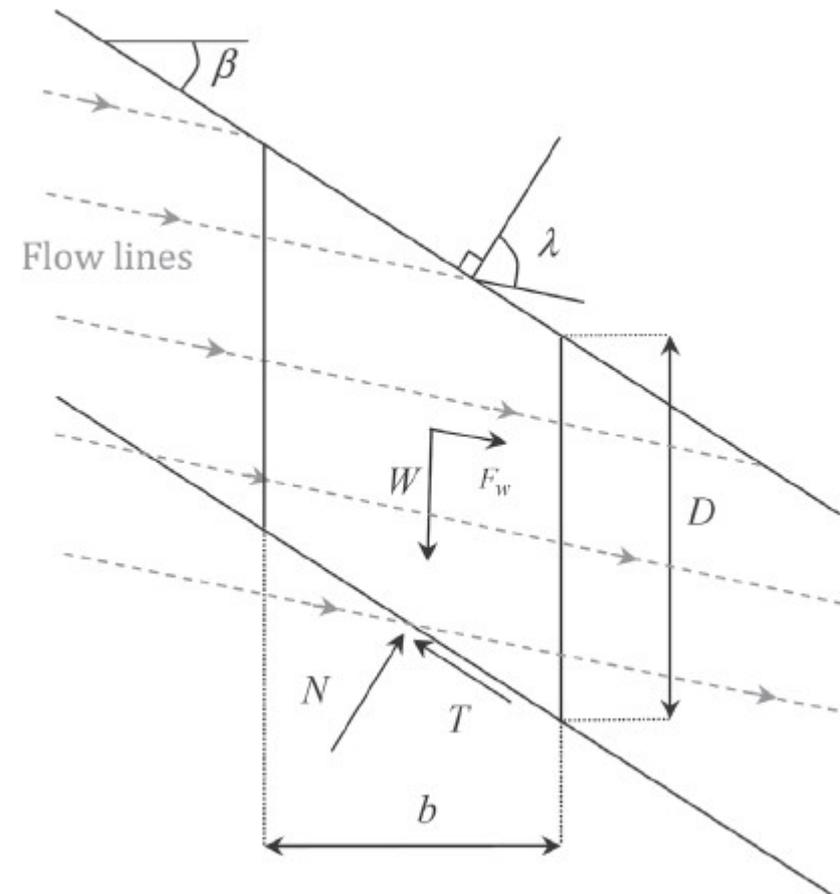
- Méthodes globales plus détaillées
 - ➔ Méthode simplifiée/Sellmeijer/Schmertmann



Déterminer le risque d'érosion interne

Nouveau

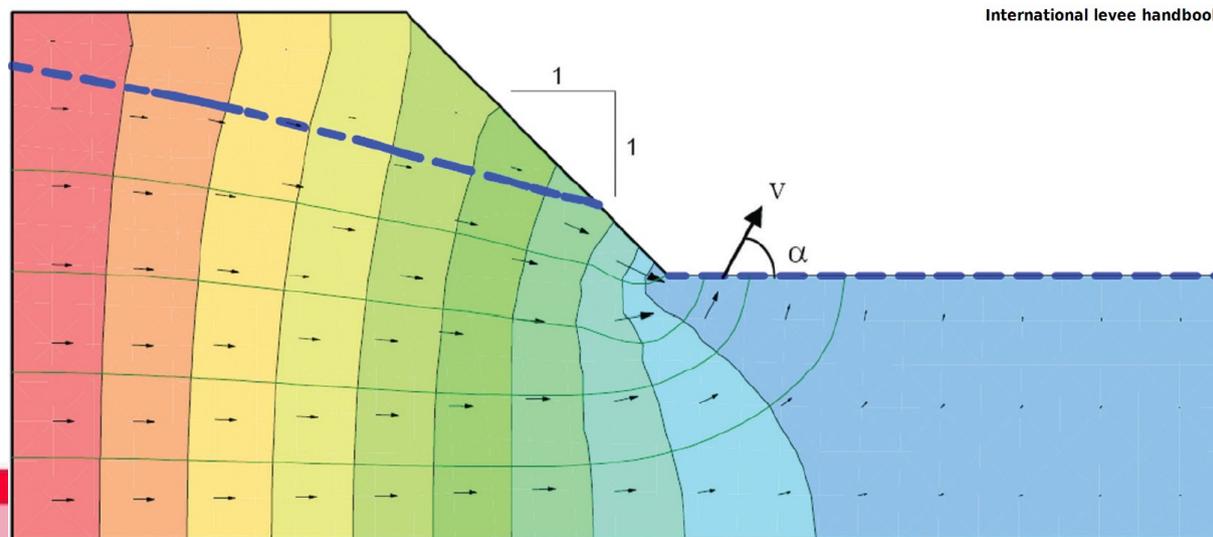
- Méthodes locales
 - Liées aux différents types d'érosion interne
 - Nécessitent de connaître avec précision les gradients/ vitesses d'écoulement



Évaluation du risque de glissement de peau (International Levee Handbook)

Déterminer le risque d'érosion interne

- Modélisation des écoulements.
 - Acceptent des constitutions d'ouvrages hétérogènes
 - Permettent de déterminer s'il y a écoulement
 - Permettent de connaître les vitesses/ gradients locaux



Déterminer le risque d'érosion interne

- Prise en compte des facteurs aggravants
- Problème difficile
 - ➔ Anisotropie des matériaux
 - ➔ Interface entre matériaux meubles et surfaces rigides
 - ➔ Zone d'influence des racines
 - ➔ Profondeur des terriers



Il faut retenir des hypothèses, si possible partagées par tous

Traiter l'érosion interne

- Surveillance
 - Nécessite de préciser les points à relever
 - Inspections régulières/ en période de crue
- Mesures de gestion
 - Canalisations
 - Structures encastrées
 - Végétation
- Information et sensibilisation

Traiter l'érosion interne

- Maintenance

- ➔ Prévenir le développement des ligneux par un fauchage régulier

- Mesures préventives

- ➔ Choisir judicieusement les matériaux d'apport

- ➔ s'assurer du respect des règles de compactage

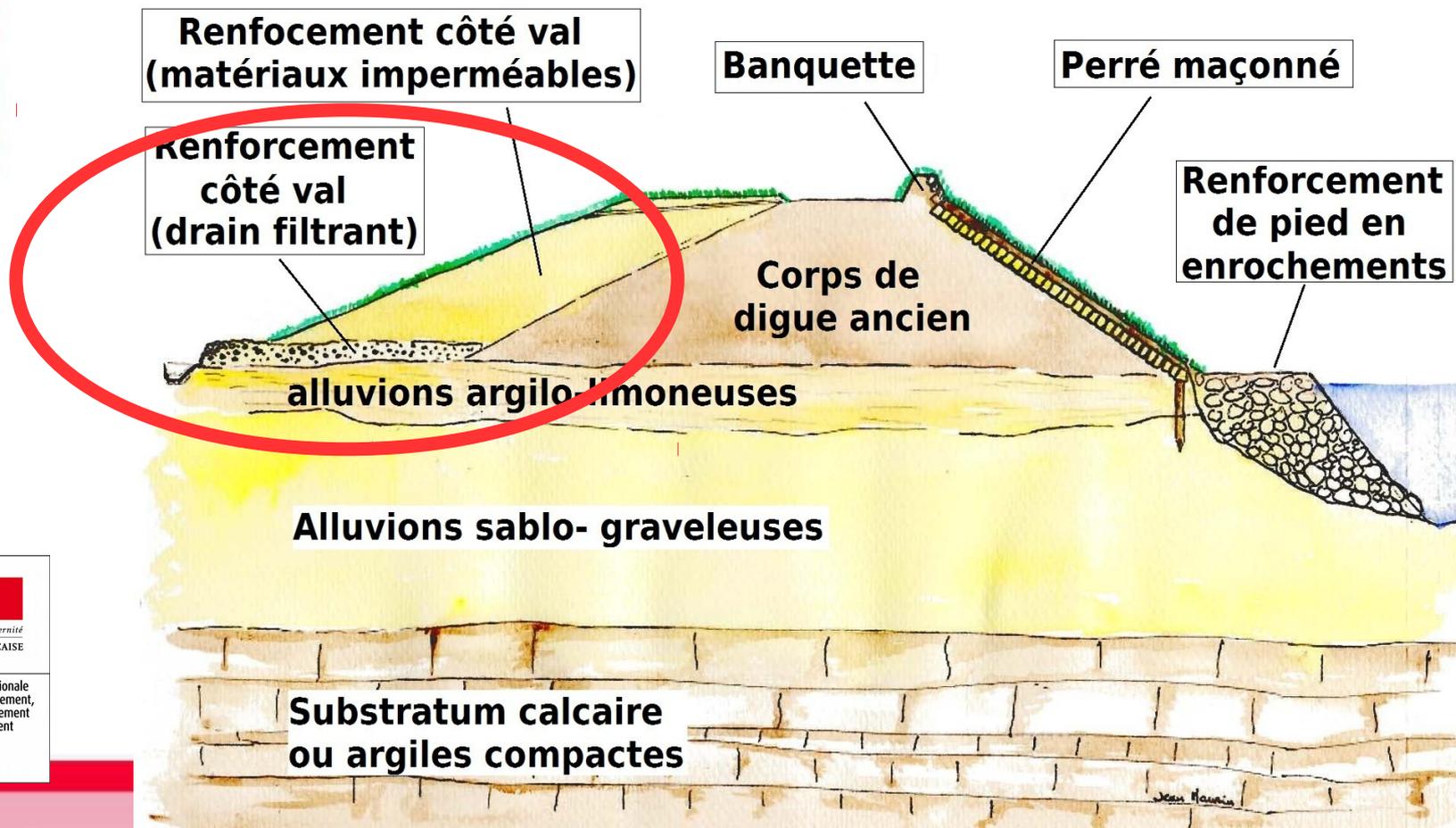
- ➔ Lorsque des transitions sont inévitables, apporter un soin tout particulier à leur réalisation

Traiter l'érosion interne

- Réparations des dommages causés
 - ➔ Végétation/ canalisations
 - ✓ Supprimer la cause du problème
 - ✓ Restaurer l'étanchéité de la levée
 - ➔ Animaux fouisseurs
 - ✓ Faire en sorte qu'il n'y ait plus d'animaux fouisseurs sur la digue
 - ✓ Remédier aux dégâts causés par les terriers
 - ✓ Prévenir l'apparition ultérieure de terriers (y compris les zones adjacentes)

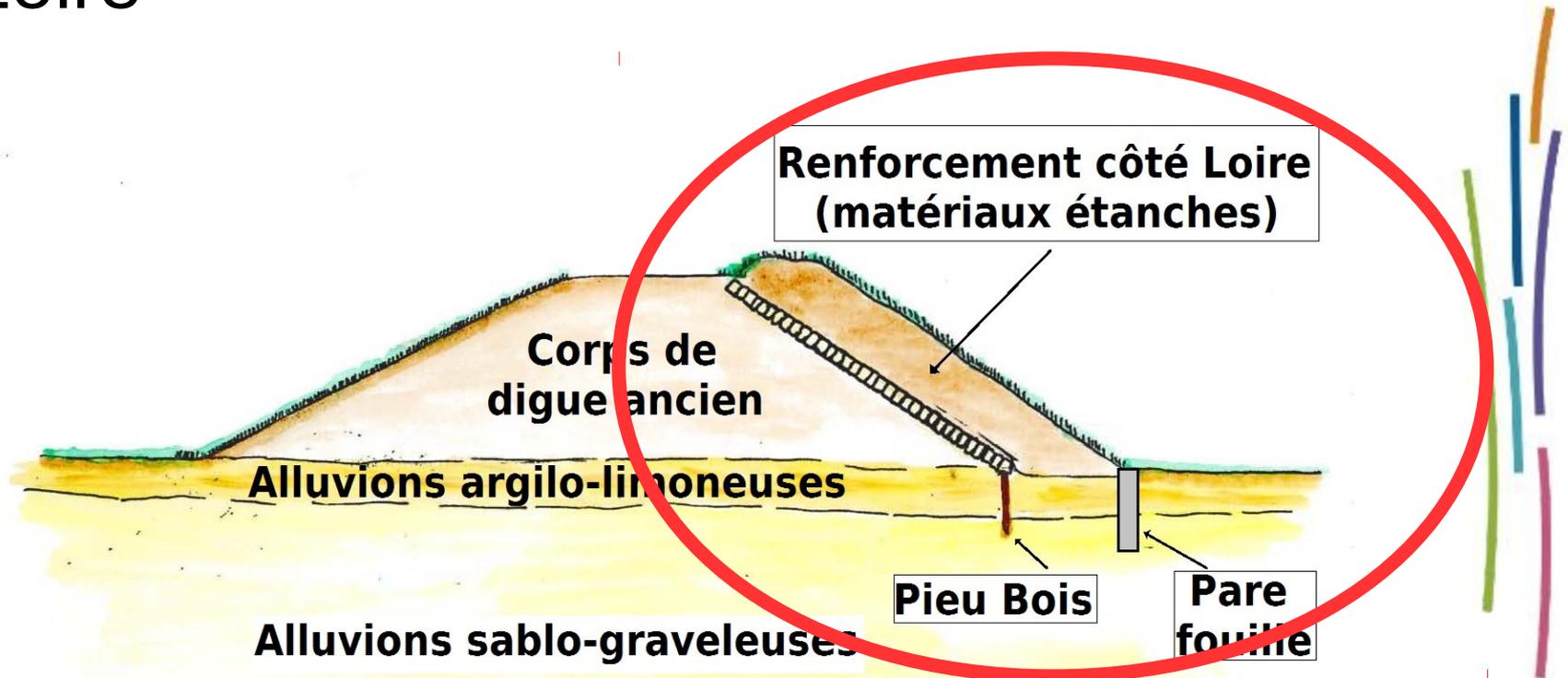
Renforcements contre l'érosion interne

- Mise en place d'un filtre/drain côté zone protégée



Renforcements contre l'érosion interne

- Mise en place d'un masque argileux côté Loire



Efficacité relative, notamment
au niveau de la fondation

Renforcements contre l'érosion interne

- Écrans étanches en corps de digue



Travaux d'urgence contre l'érosion interne

- Nécessite
 - Un dispositif de surveillance actif
 - La possibilité d'intervenir très rapidement
- Techniques employées
 - Installation d'un filtre/drain côté val
 - Autres techniques ?

A quoi va servir ce guide ?

- Informer/ sensibiliser sur l'érosion interne sur les levées de Loire
- Permettre une meilleure prise en compte de ce risque dans les différentes activités liées aux digues
- Formaliser et partager les règles de l'art sur la Loire moyenne



Merci pour vos relectures !

Et après?

Guide	Diffusion prévisionnelle
Érosion interne	2015
Mélanges en place	2015
Canalisations	2015
Pied de levées	2016
Animaux fouisseurs, ...	Ultérieurement



Au delà du bassin de la Loire

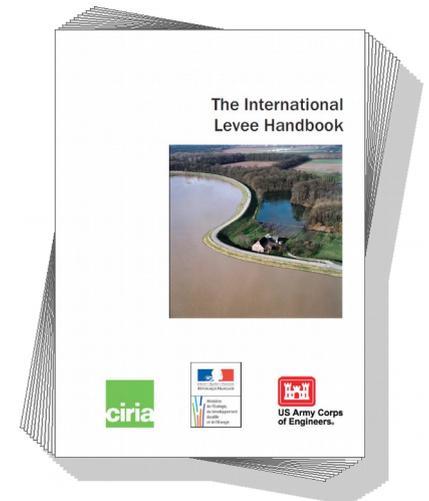
- Groupe de travail réparations et confortements des digues
- Journées techniques France Dignes
- Traduction de l'International levee handbook



Nous avons besoin



de vous!



Merci de votre attention

