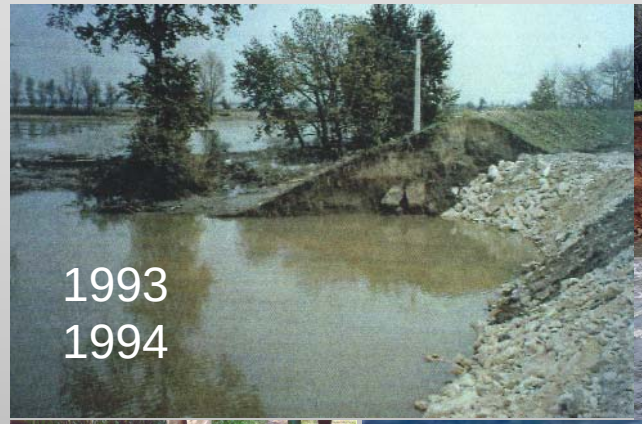
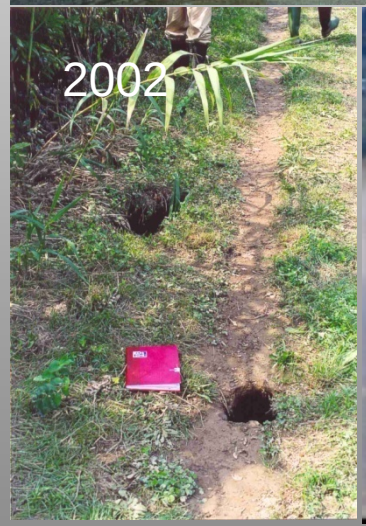
LE PROJET NATIONAL

ERINOH

(ERosion INterne dans les Ouvrages Hydrauliques) 2007-2011

PROJET ERINOH





Érosion Interne # 1 rupture par an en France

Le Programme en 8 thèmes et 2 financements

A – Bases de données et grille d'analyse

B – Seuils et cinétiques d'érosion (ANR)

C – Simulation Migration/colmatage

D – Pérennité des parois et sols injectés

E – Logiciel de modélisation du renard

F – Méthodes de détection d'érosion interne (ANR)

G – Tests et expérimentations en vraie grandeur

H – Publications et Recommandations

THEME H : RECOMMANDATIONS

Volume 1 : ESSAIS DE LABORATOIRE
(animation Cemagref –LCPC)

Volume 2 : METHODES DE DETECTION
(animation EDF)

Volume 3 : METHODES D'INGENIERIE
(animation ISL EDF)

ESSAIS DE LABORATOIRE ET CRITERES D'INITIATION

Les modes d'initiation

A – Erosion de conduit

B – Erosion régressive

C – Erosion de contact

D – Suffusion

Les zones d'initiation

A – Autour des conduites

B – En crête : fissures et trous

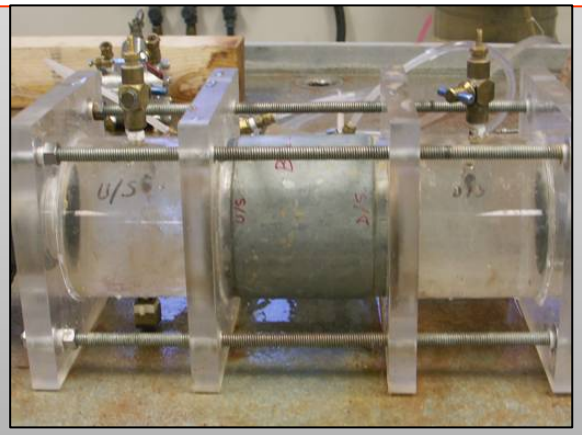
C – Au contact des ouvrages GC

D – En fondation

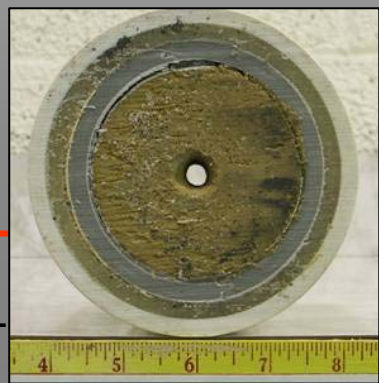
PROJET ERINOH

Érosion de conduit

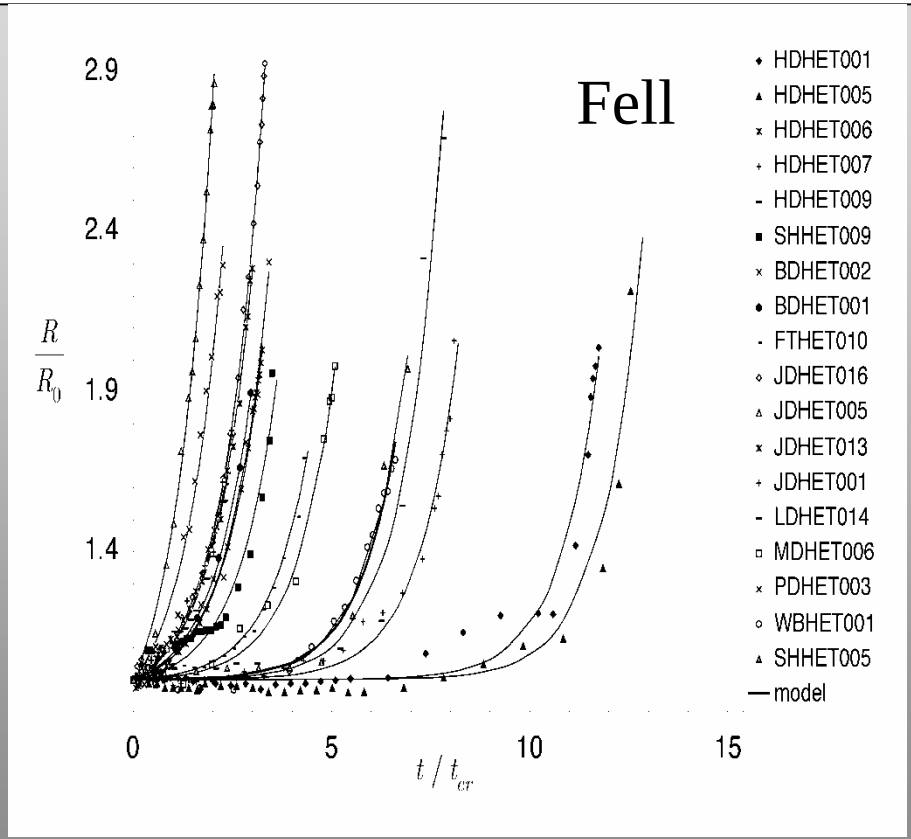
Digue en argile sur fondation en argile

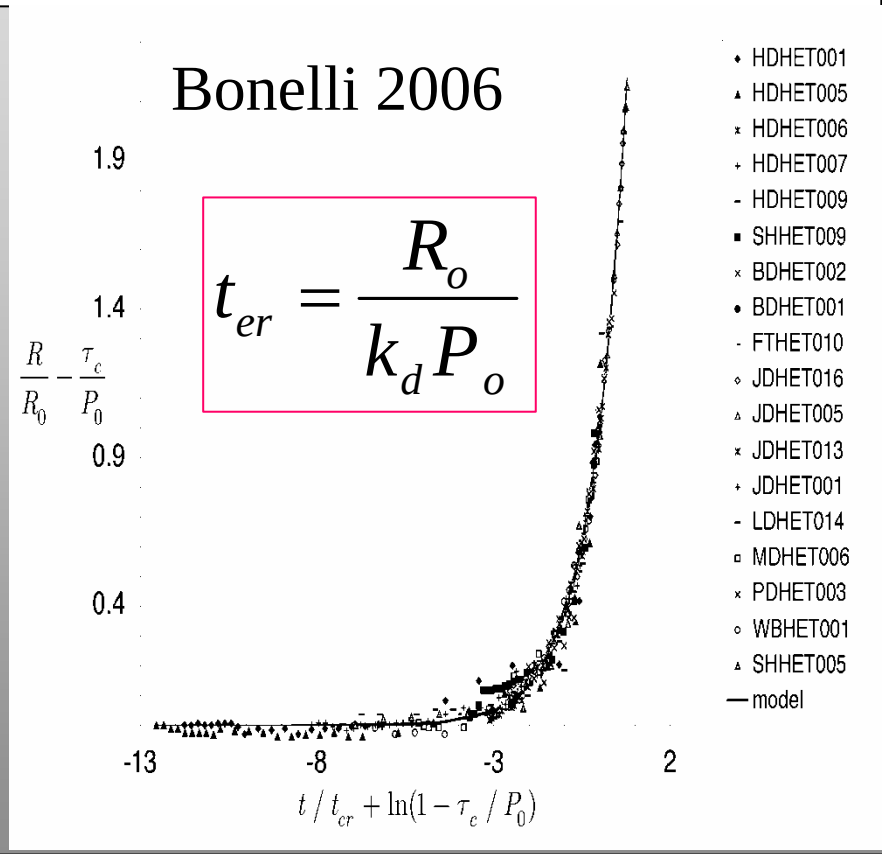


Test de HET (CEMAGREF LCPC)

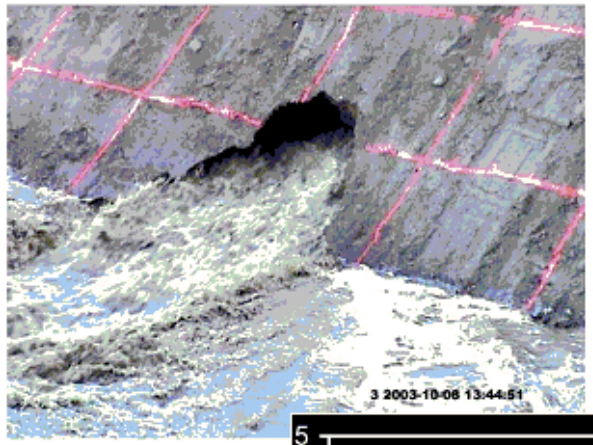


Cinétique d'érosion dans une digue en argile



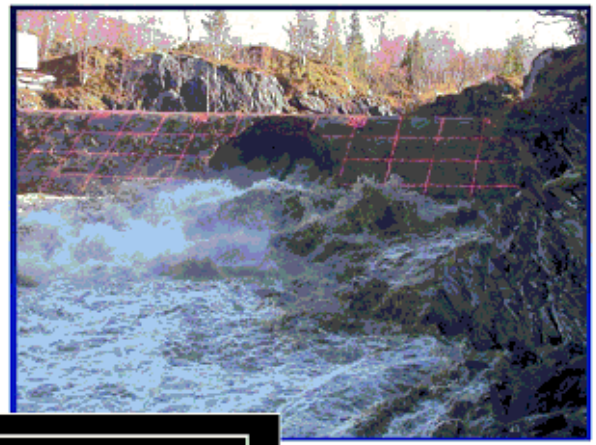


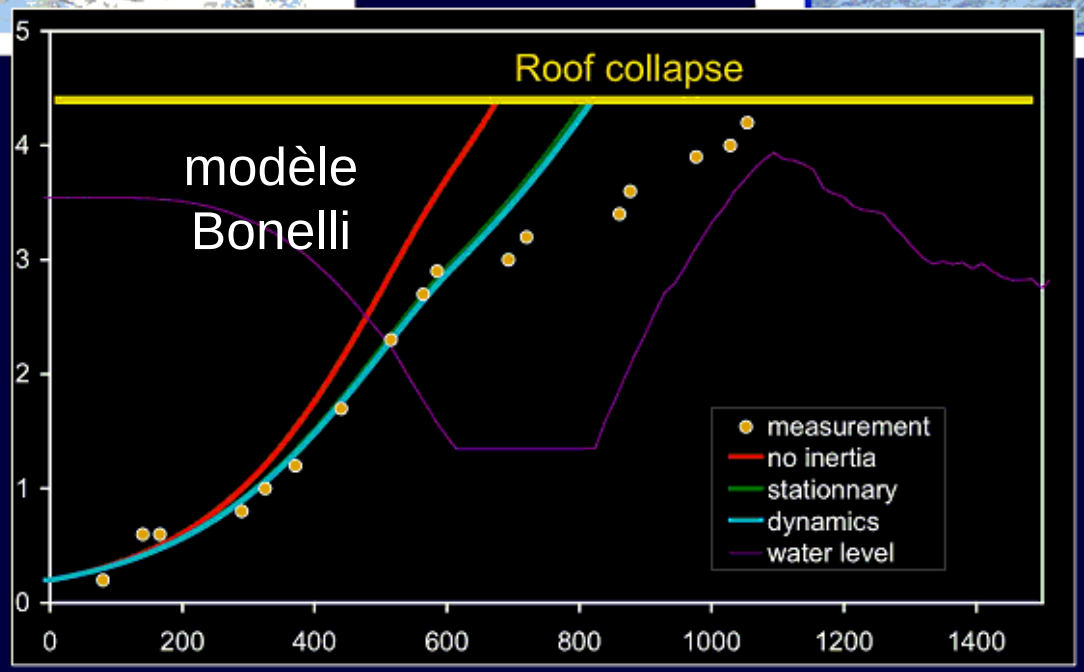
Calcul de l'hydrogramme de crue



Norway
IMPACT
FP5 Project

Rossvatn
(Norvège)





Calcul EDF - CEMAGREF

$\tau_c \approx 5$ Pa

$k_{er} \approx 10^{-2}$ s/m

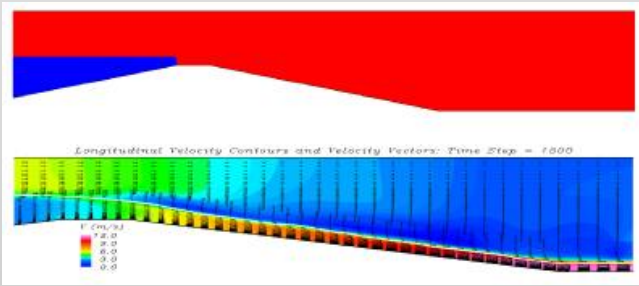
Mesures 2009

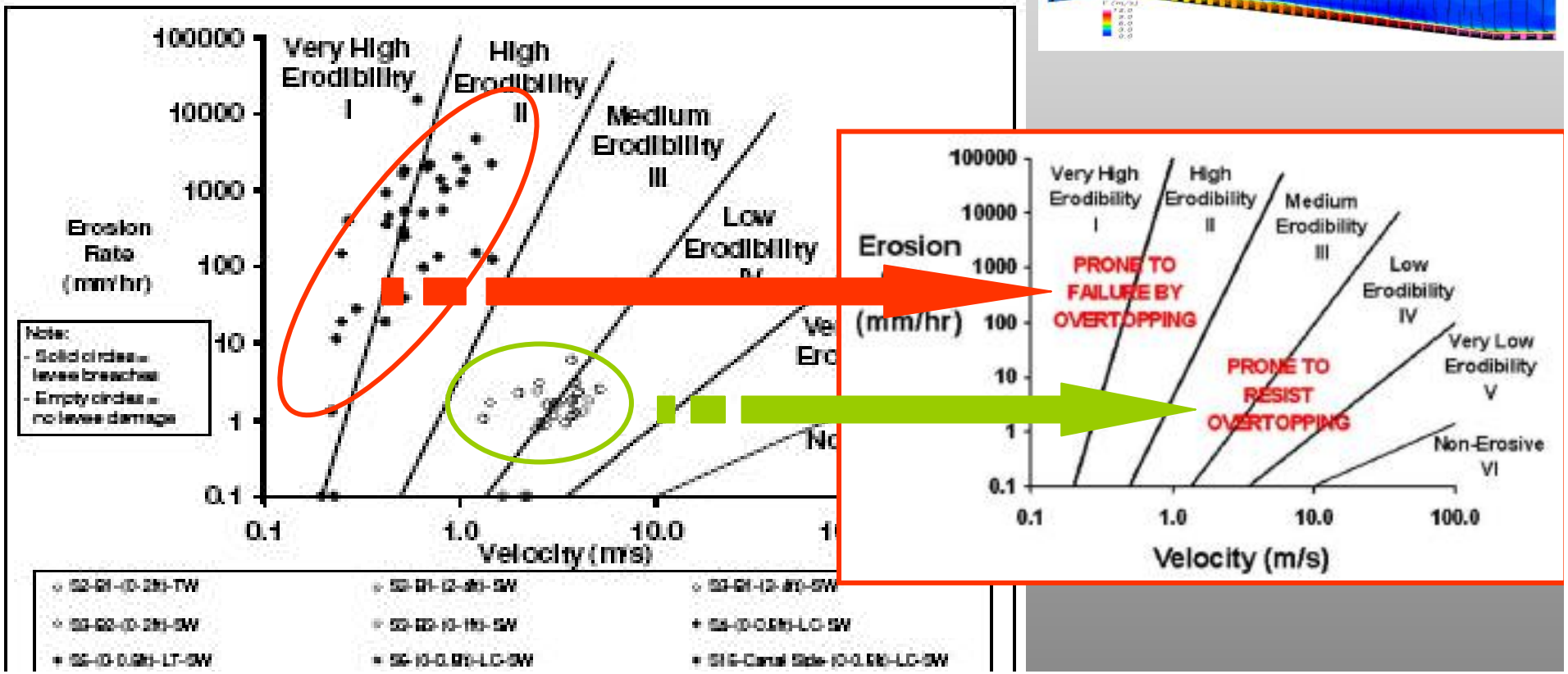
τ_c <1 Pa

$0{,}9.10^{-2} < K_{er} < 3.10^{-2}$

PROJET ERINOH

RESISTANCE A L'ÉROSION : EXEMPLE DE KATRINA (USA)

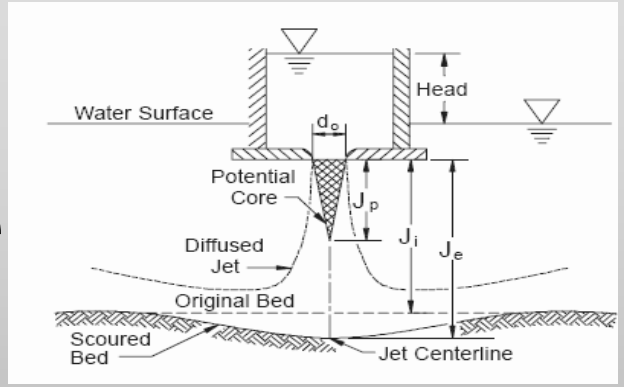




Résistance à la submersion (vagues ou tsunamis) d'après J-L Briaud

PROJET ERINOH

Thème B : digue en sable argileux, silt, argile dispersive

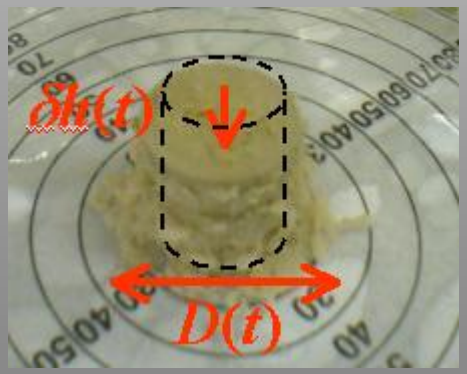


Si HET impossible

=> JET test

=> kd et τ_c

ou essai de dispersion

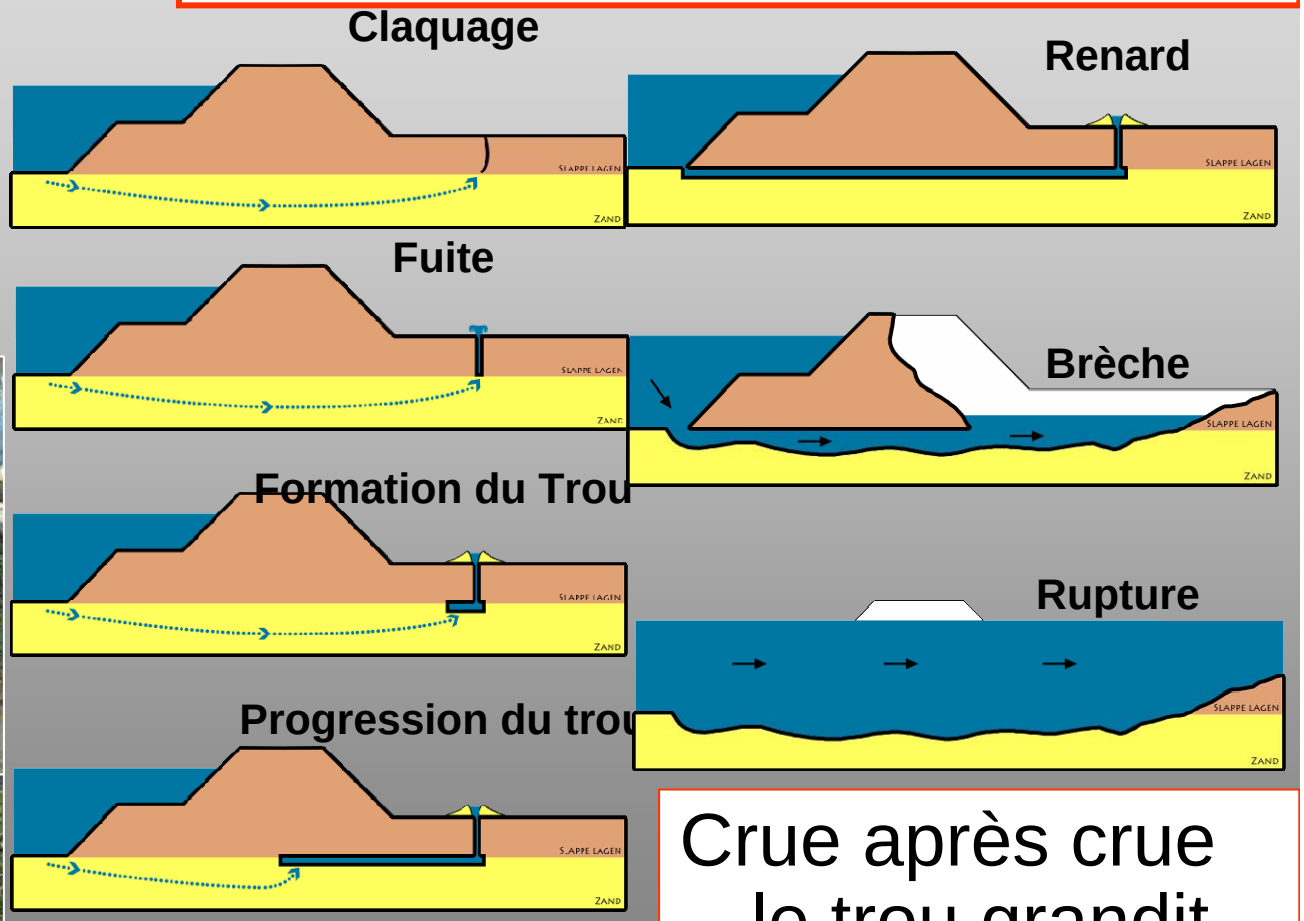


(château de sable)

PROJET ERINOH

Érosion régressive

Digue en argile sur fondation en sable

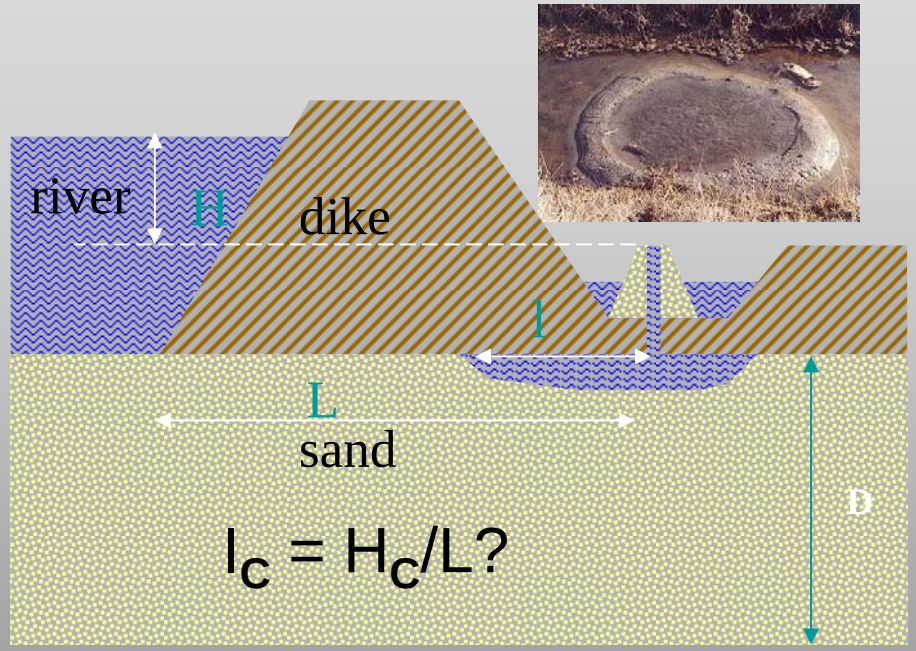


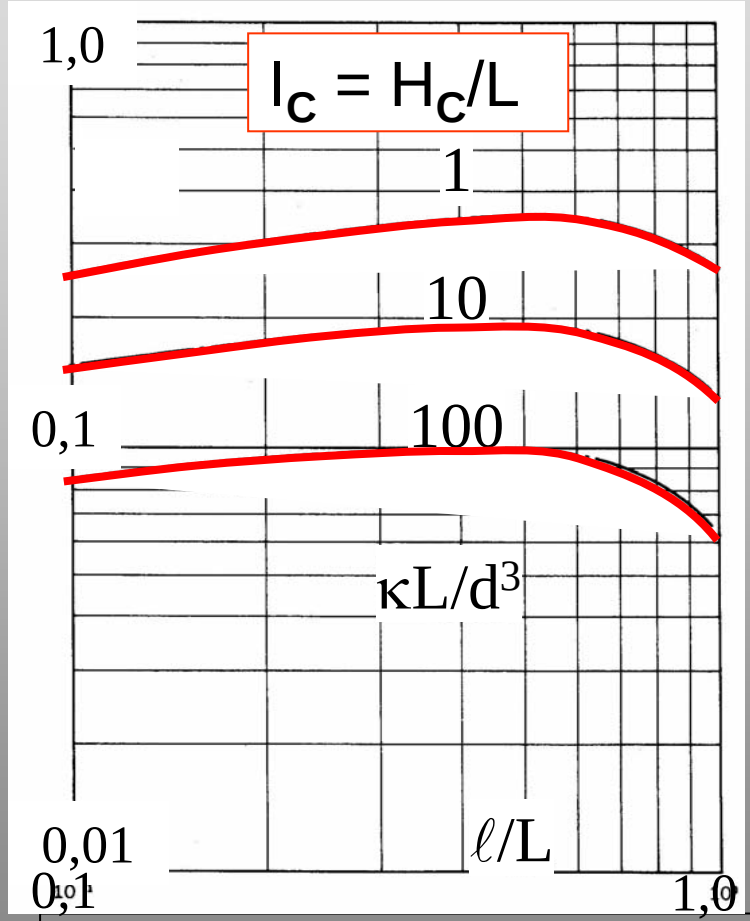
Crue après crue le trou grandit jusqu'à la rupture

PROJET ERINOH

Érosion régressive

Digue en argile sur du sable





$$\Delta H_c = \alpha \cdot c \cdot \frac{\gamma_p}{\gamma_w} \tan(\theta)(0.68 - 0.10 \ln(c)) \cdot L$$

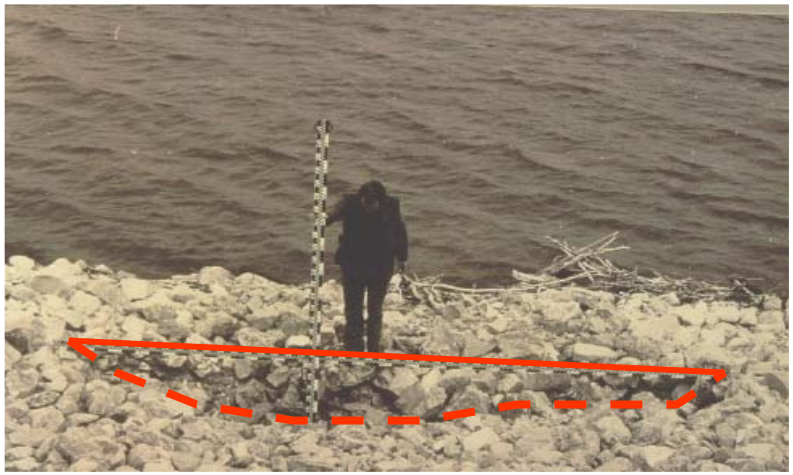
$$\alpha = \left(\frac{D}{L}\right)^{\left(\frac{0.28}{\left(\frac{D}{L}\right)^{2.8} - 1}\right)}$$

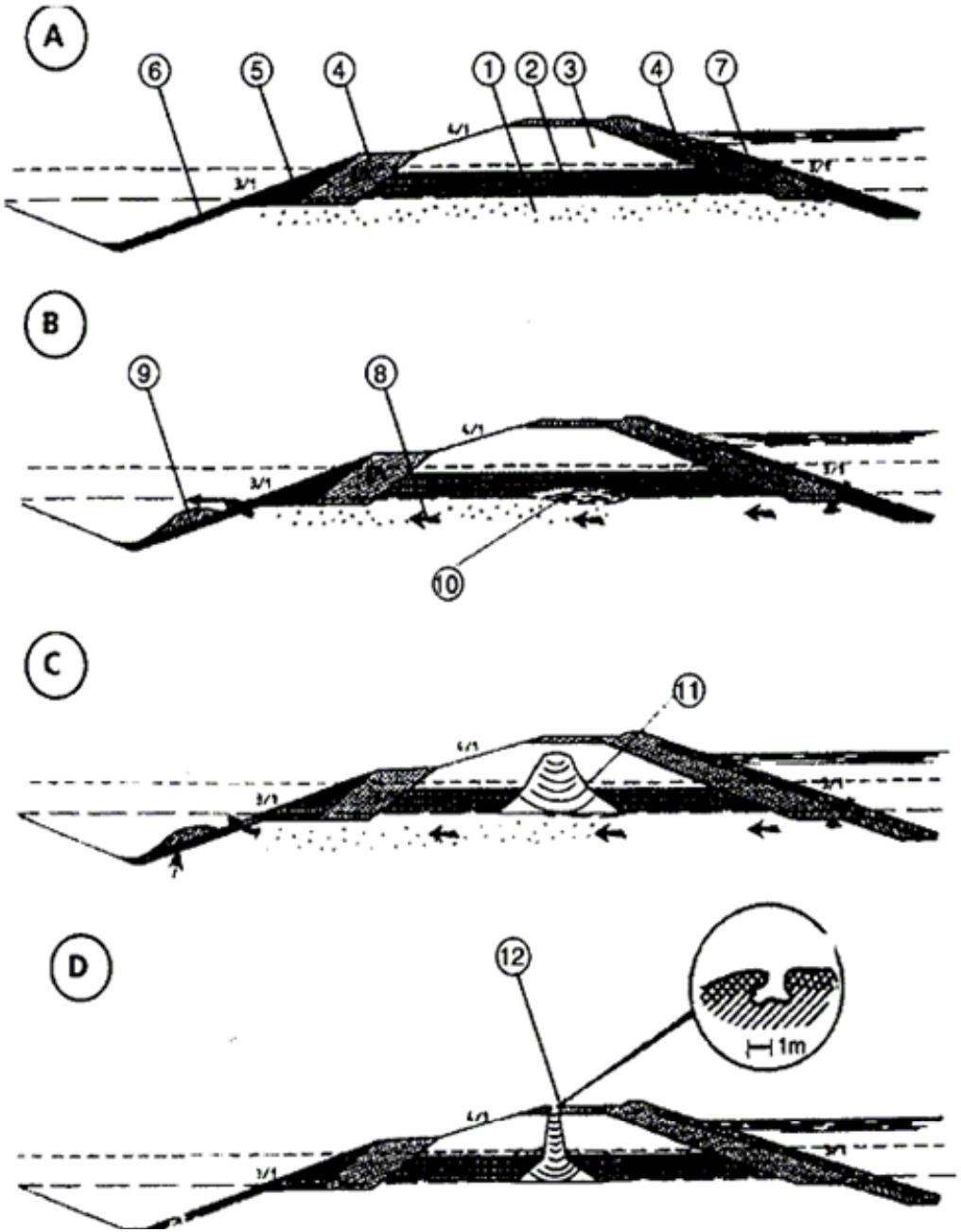
$$c = \eta d_{70} \left(\frac{1}{\kappa L}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Sellmeijer (1988)

Digue en alluvions : Limon sur/sous gravier

Érosion de contact





RGC&U RÉSEAU GÉNIE CIVIL & URBAIN

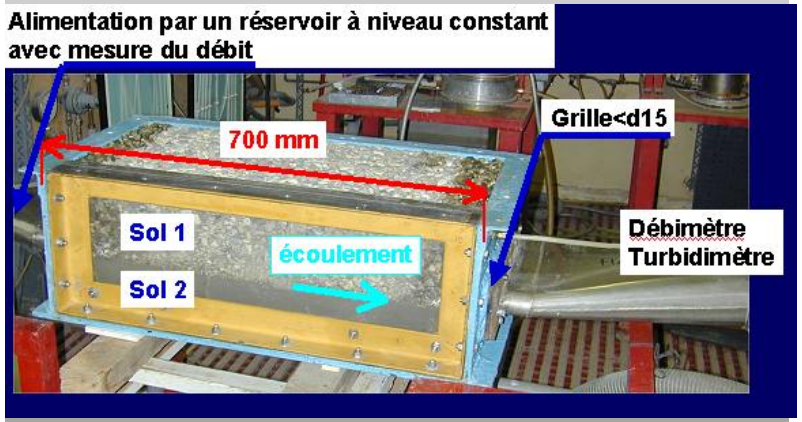
ANR

IREX

CFM

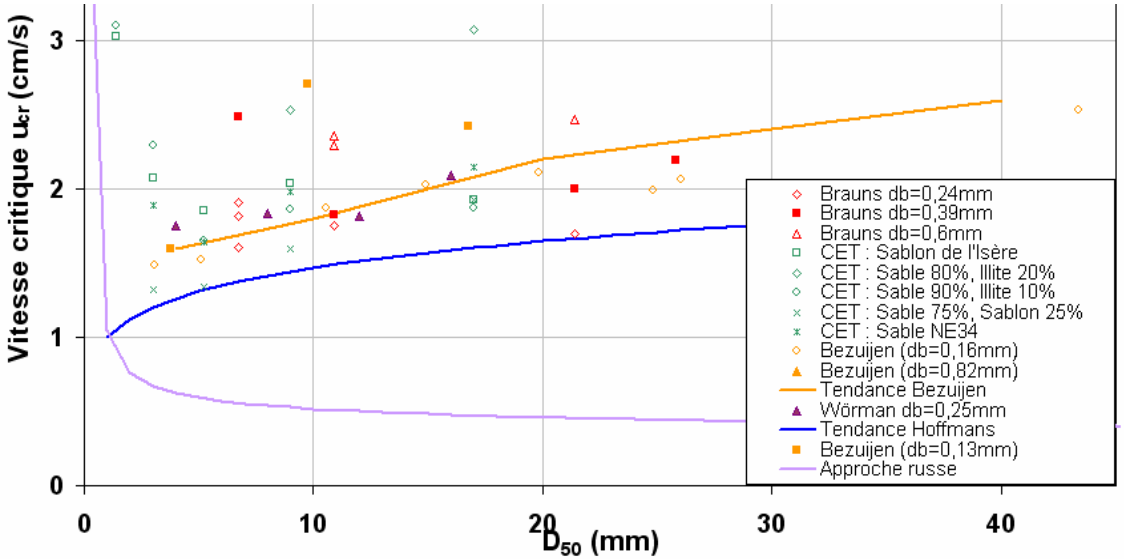
Digue en alluvions : Limon sur/sous gravier

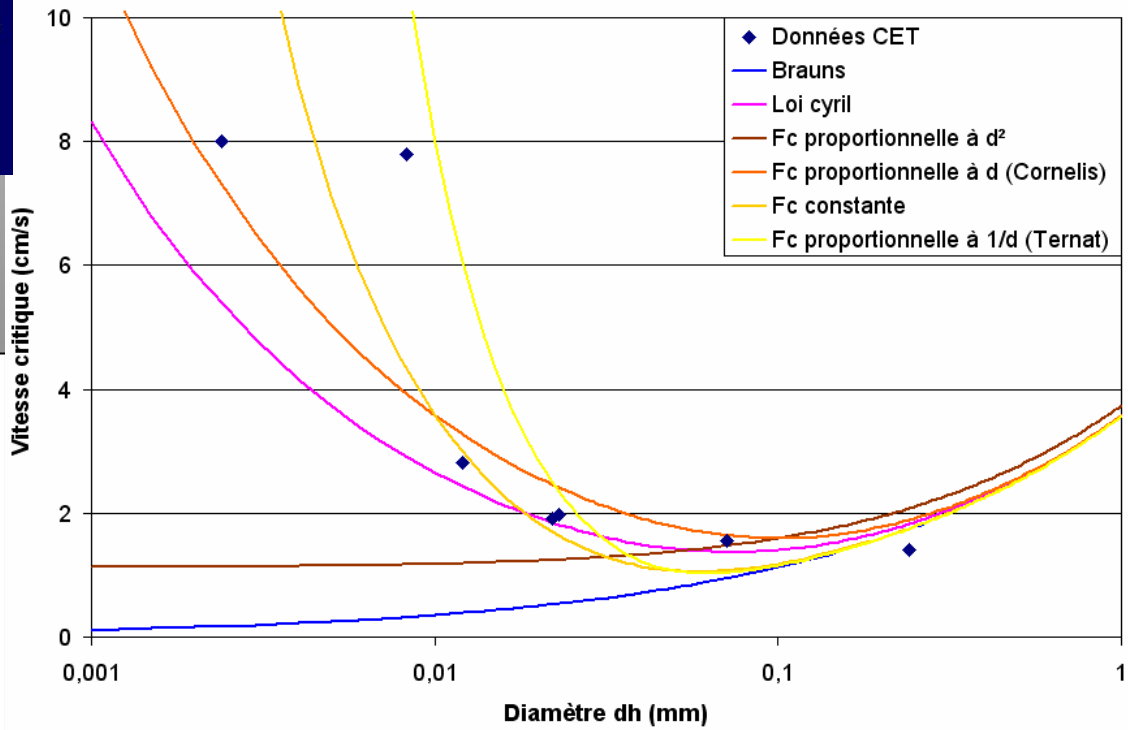
Érosion de contact



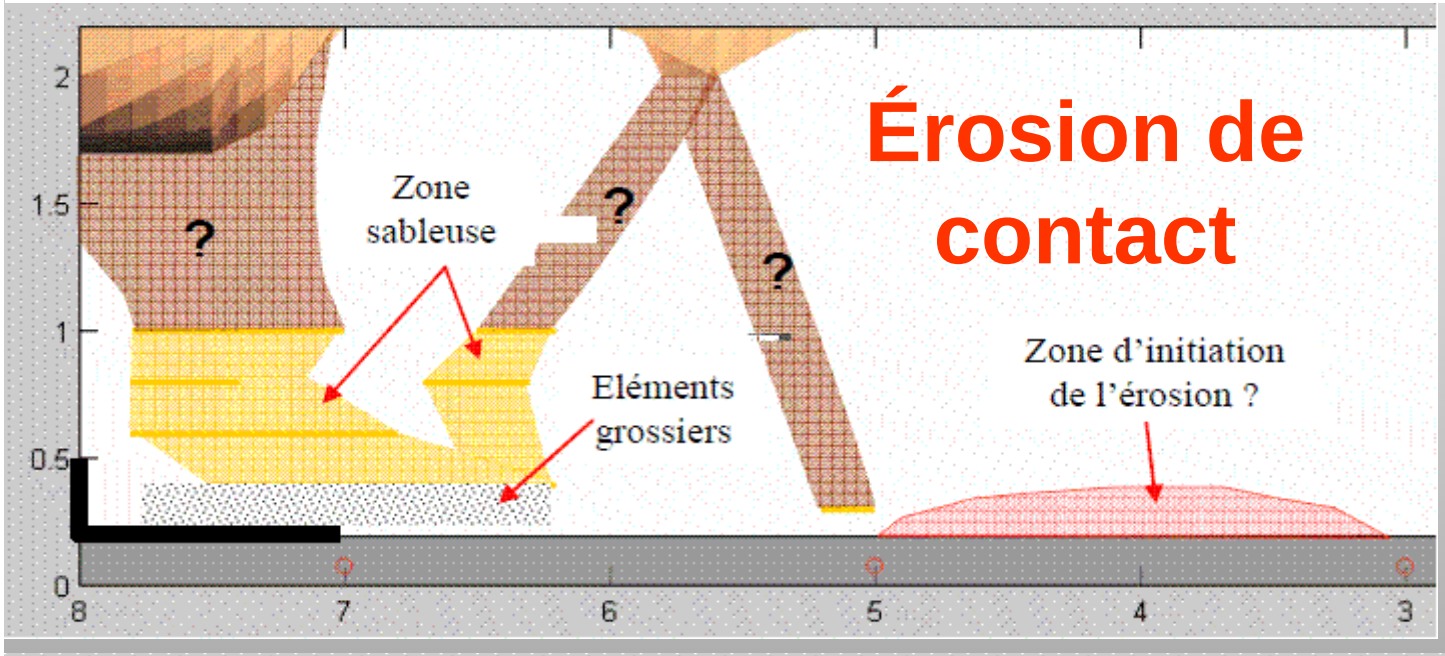
LTHE Y-H Faure, C. Guidoux, R. Beguin

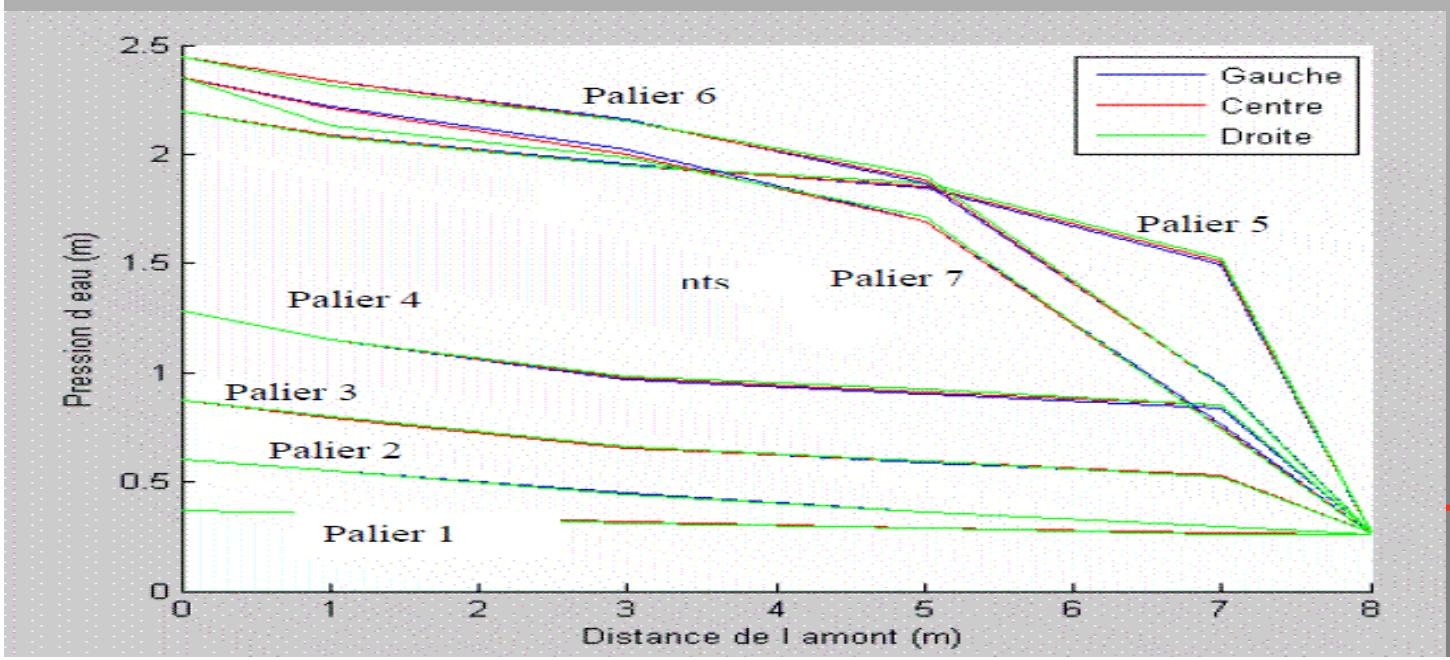
Pas d'érosion si vitesse d'écoulement < #1cm/s





Digue en alluvions: Limon sur gravier (Labo CNR)



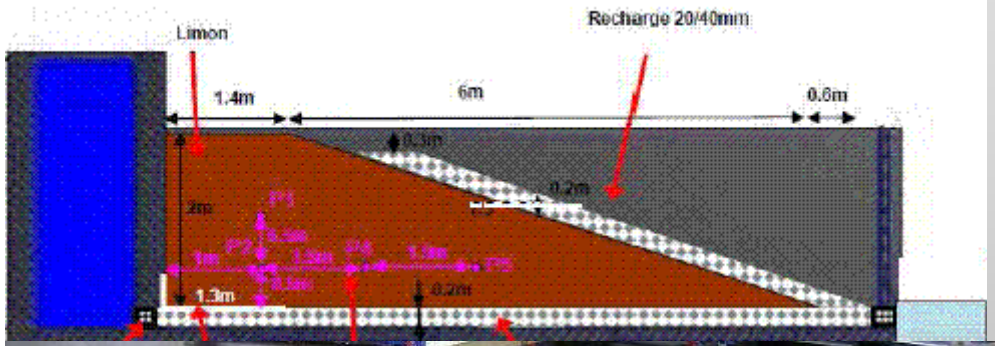


Colmatage du gravier malgré l'absence de filtre !

(Analyse en cours)

R. Beguin et S. Reynaud, M. Scotti

Digue en alluvions: Limon sur gravier (Labo CNR)



Érosion de contact

renard si claquage hydraulique

…

S. Reynaud, M. Scotti et R. Beguin

PROJET ERINOH

Suffusion

Digues en alluvions

RGC&U RÉSEAU GÉNIE CIVIL & URBAIN

ANR

IREX

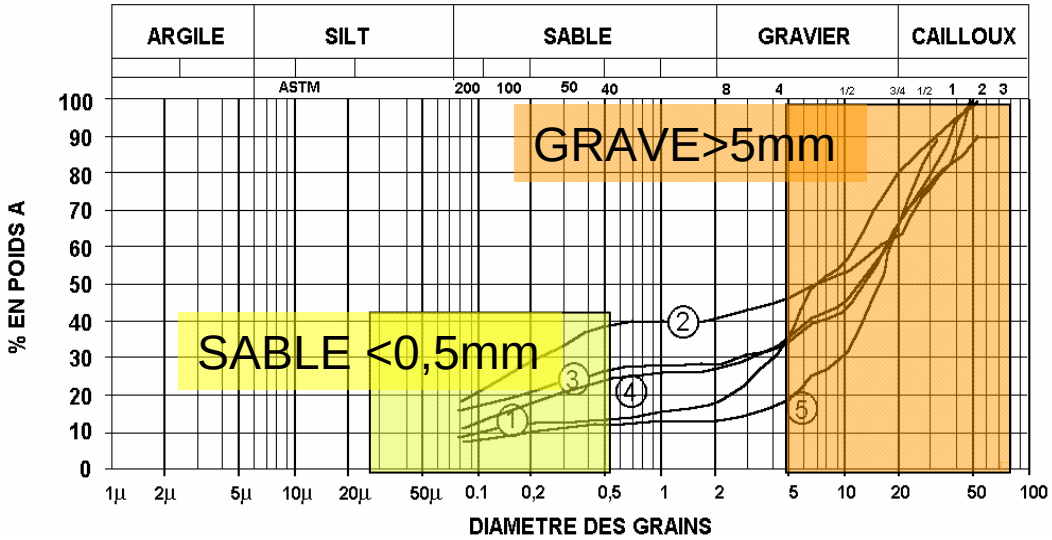
CFMS Pa

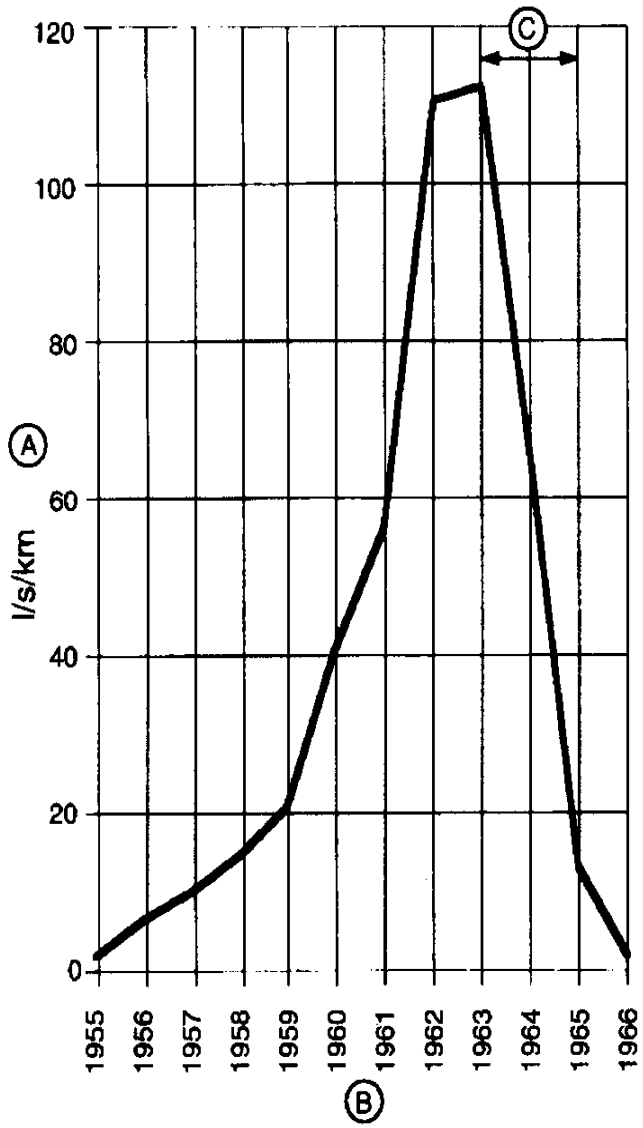
P

Suffusion

Digue en alluvions graveleuse

Pas d'érosion si vitesse d'écoulement < # 0,5 cm/s ? (M. GOLTZ 2009)





Digue de Cusset - Évolution des fuites au Pk 14.6

Cusset bank - Point 14.6 leakage variation

Ⓐ *Specific leakage (l/s/km*
Ⓑ *Date*
Ⓒ *Grouting*

METHODES DE DETECTION

MAINTENANCE CURATIVE

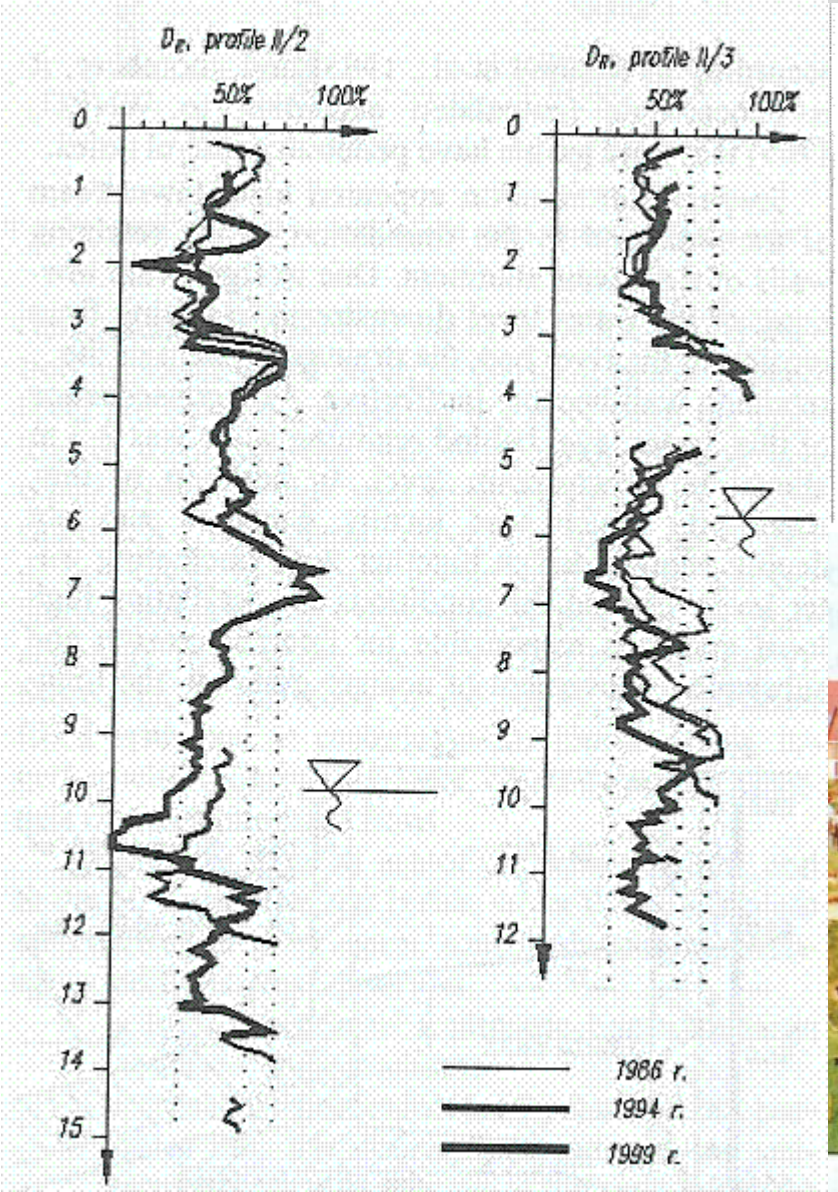
Quelles investigations ?

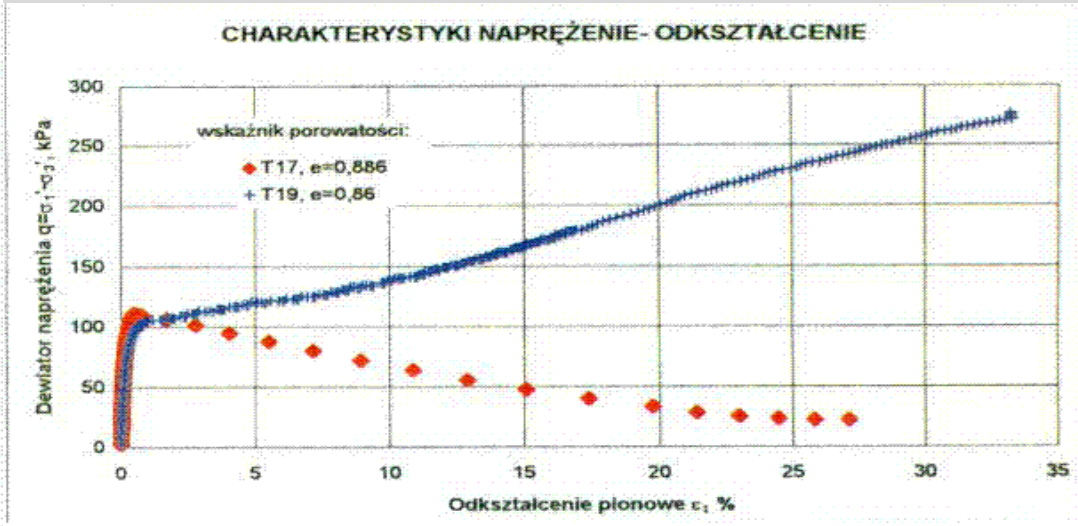
Un ensemble de méthodes complémentaires :
Les 4P (en plus des carottages)

- Panneaux électriques (+ traçage à la saumure)
- PS (cartographie, inversion, grand rendement)
- Pénétromètres
- Perméafor

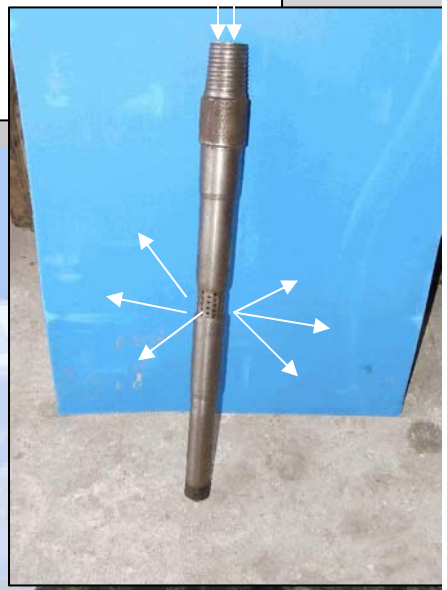
PROJET ERINOH

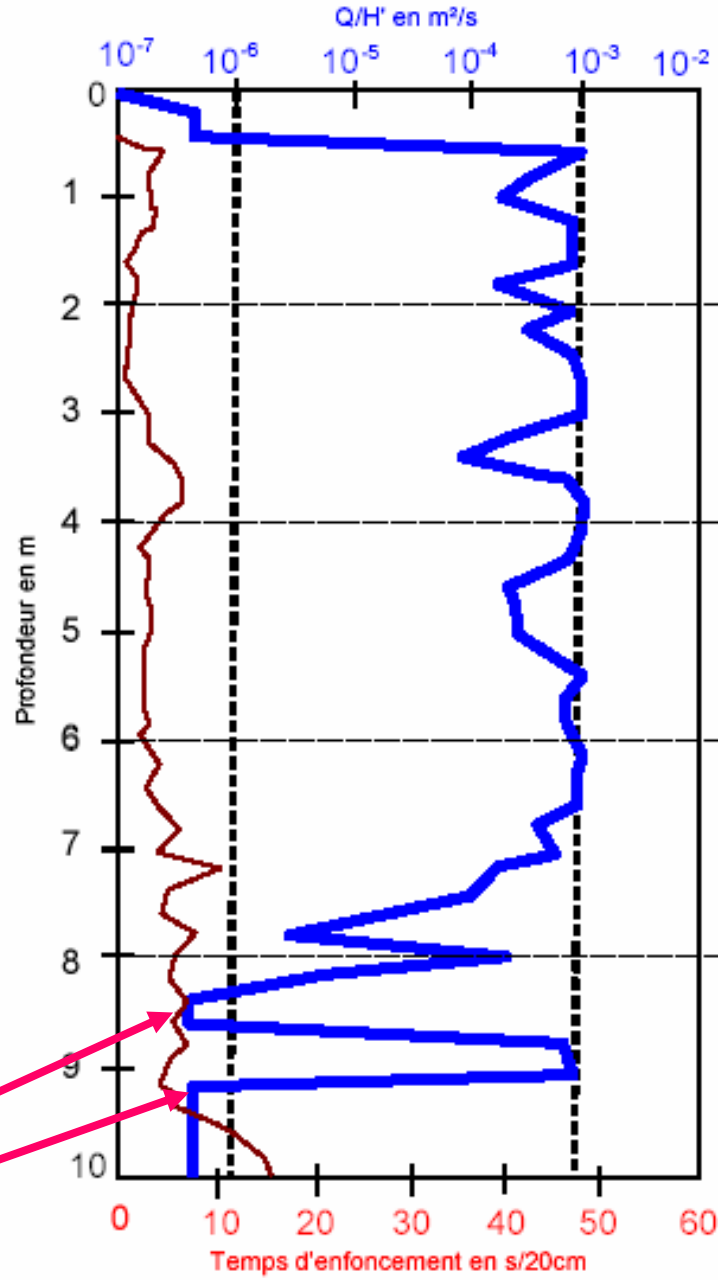
L'érosion interne peut mener à la liquéfaction





l'érosion de contact : Détection avec le Permeafor





érosions de contact

METHODES DE DETECTION

MAINTENANCE PREVENTIVE :

quelle technique permettrait au maître d'ouvrage un suivi rigoureux et une stratégie d'investissement par étapes ?

Une auscultation « rapprochée »

dans le temps et dans l'espace

Le projet Ijkdijk

METHODES DE DETECTION

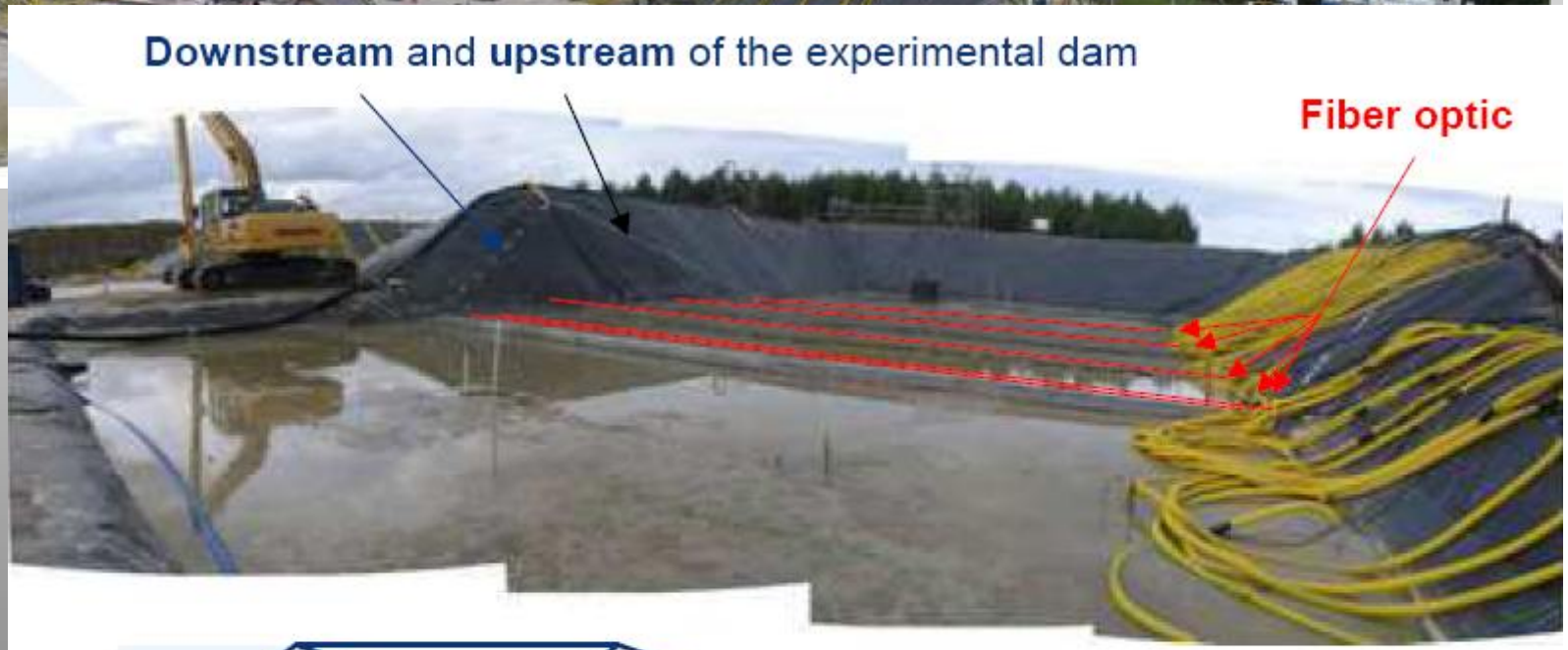
MAINTENANCE PREVENTIVE :

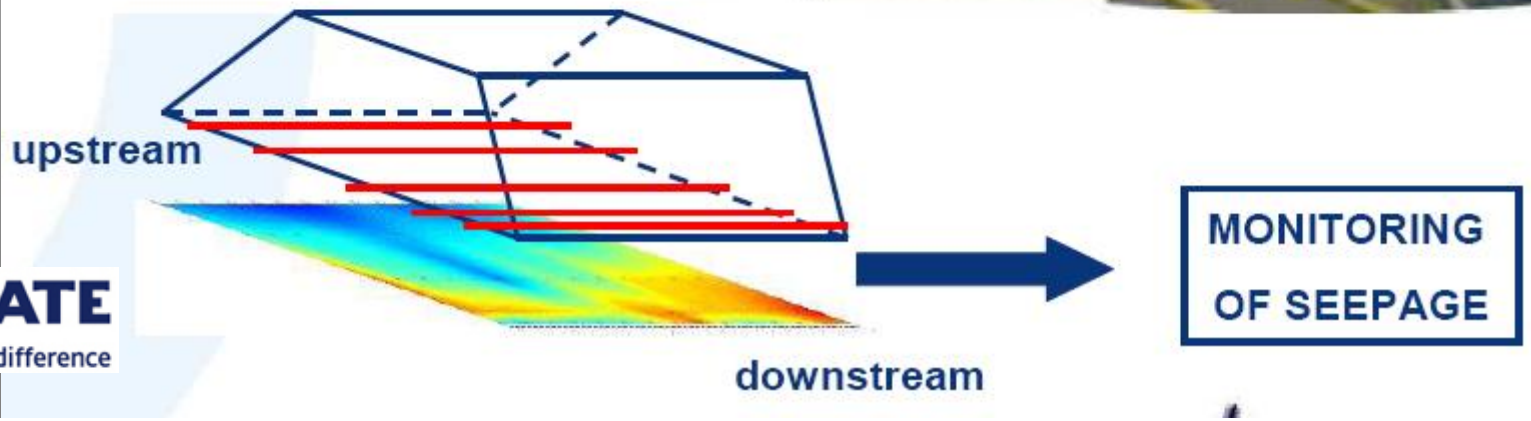
En 2009 Deltares (Hollande) organise un test International de comparaison des solutions innovantes de détection de rupture par érosion régressive :

La détection par fibre optique apparaît la méthode la plus fiable

Validation de la surveillance préventive au projet IJkdijk

Le site





TENCATE
materials that make a difference

IJdijk Projet : inspection visuelle

→ Regular visual inspections close to the downstream toe

BLUE tag

=

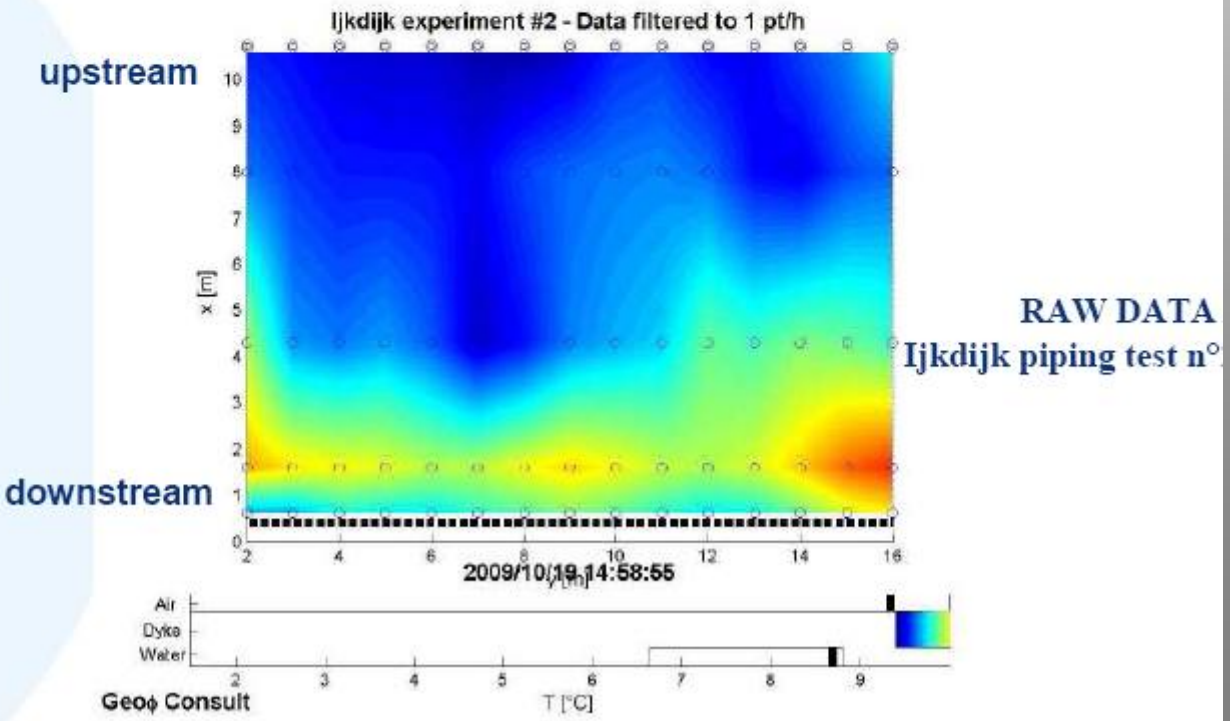
seepage without departure of fine particles

RED tag

=

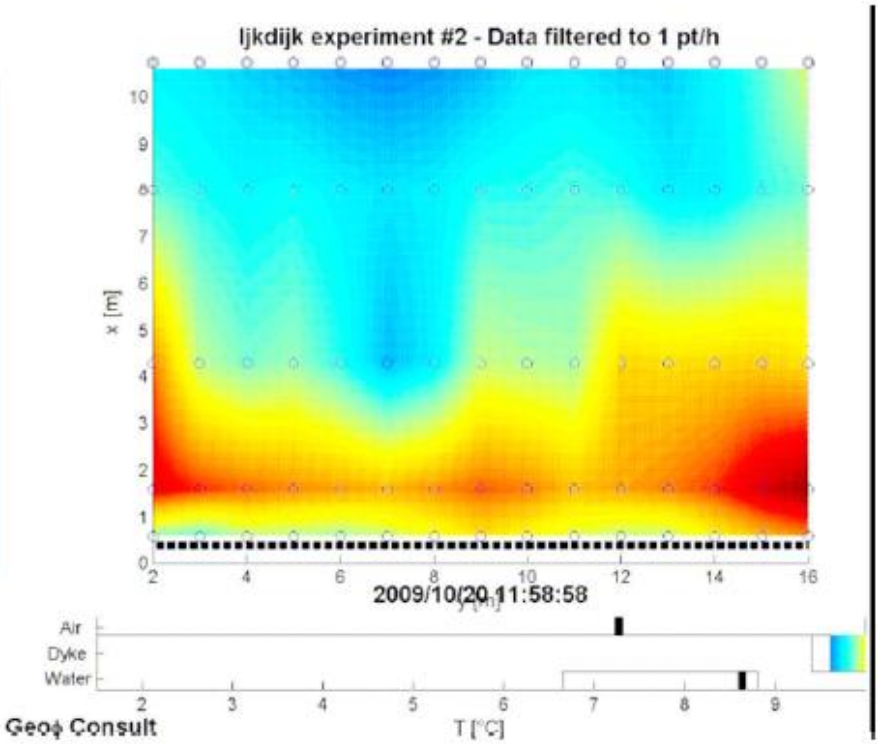
leakage with departure of fine particles

Surveillance en temps réel par fibre optique



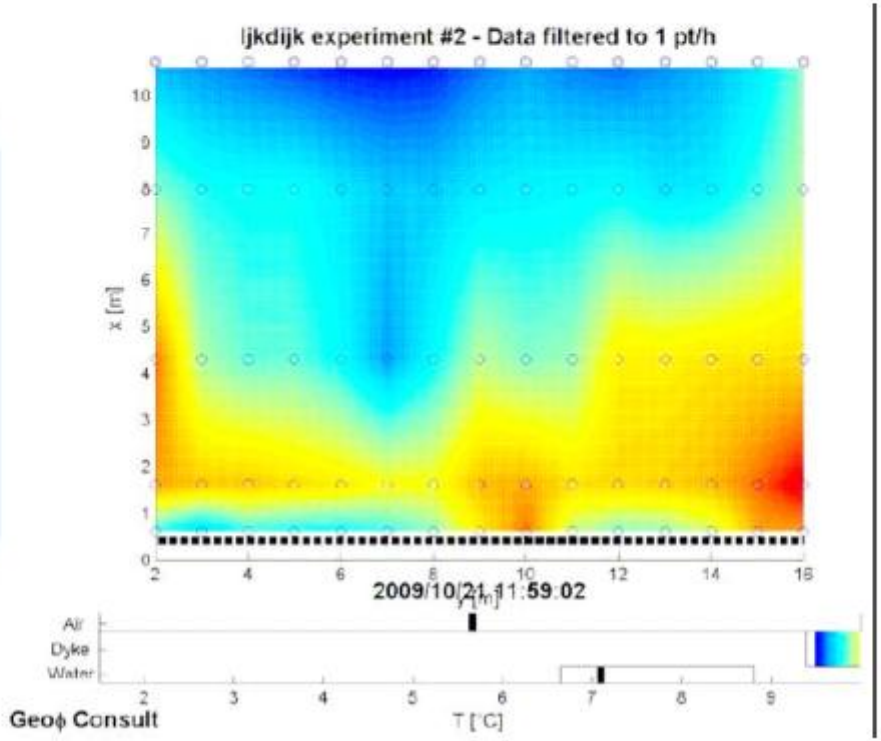
TENCATE
materials that make a difference

Surveillance en temps réel par fibre optique



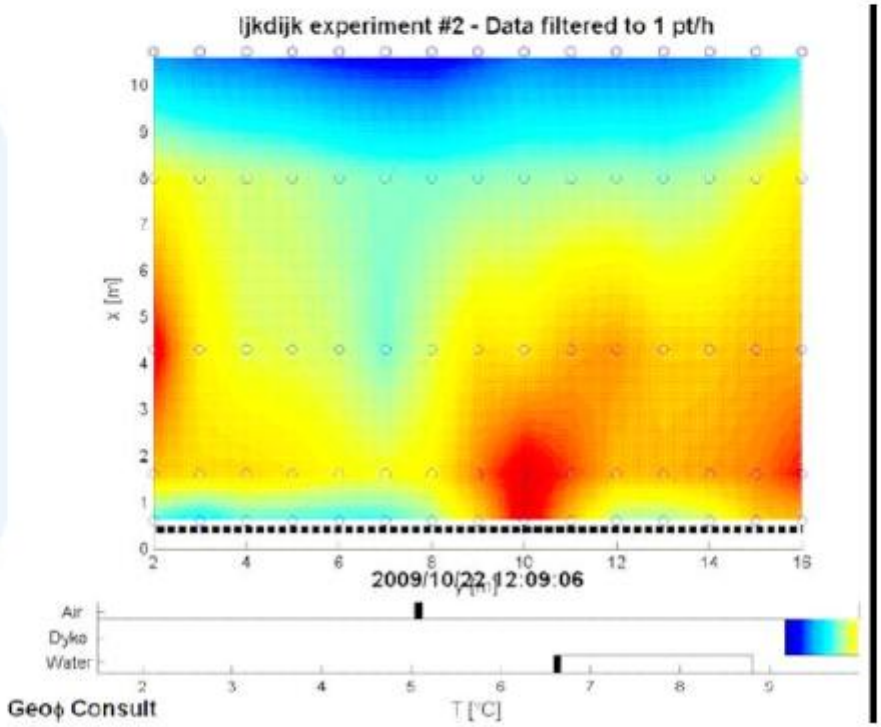
TENCATE
materials that make a difference

Surveillance en temps réel par fibre optique



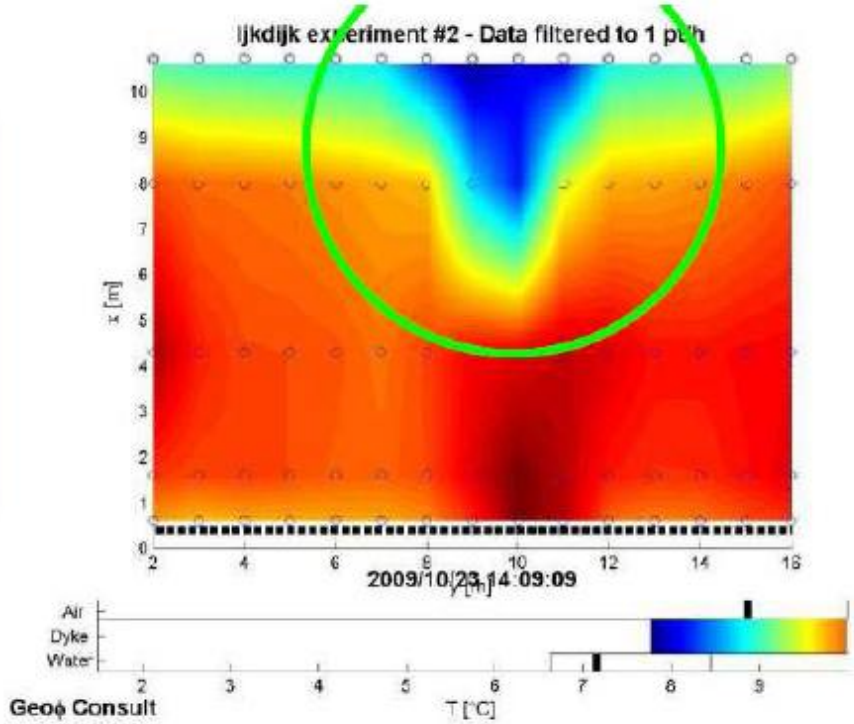
TENCATE
materials that make a difference

Surveillance en temps réel par fibre optique



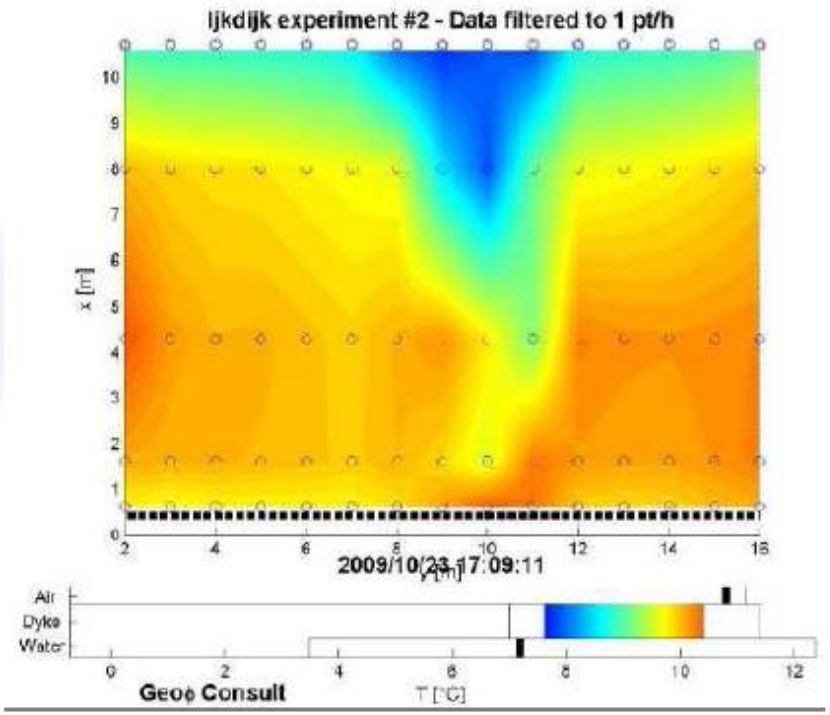
TENCATE
materials that make a difference

Surveillance en temps réel par fibre optique



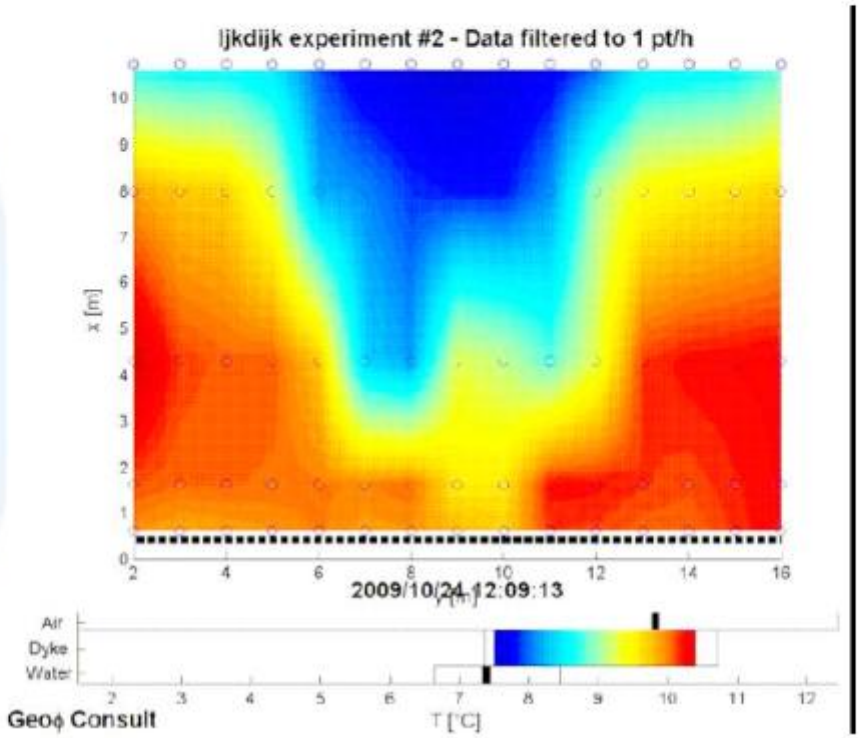
TENCATE
materials that make a difference

Surveillance en temps réel par fibre optique



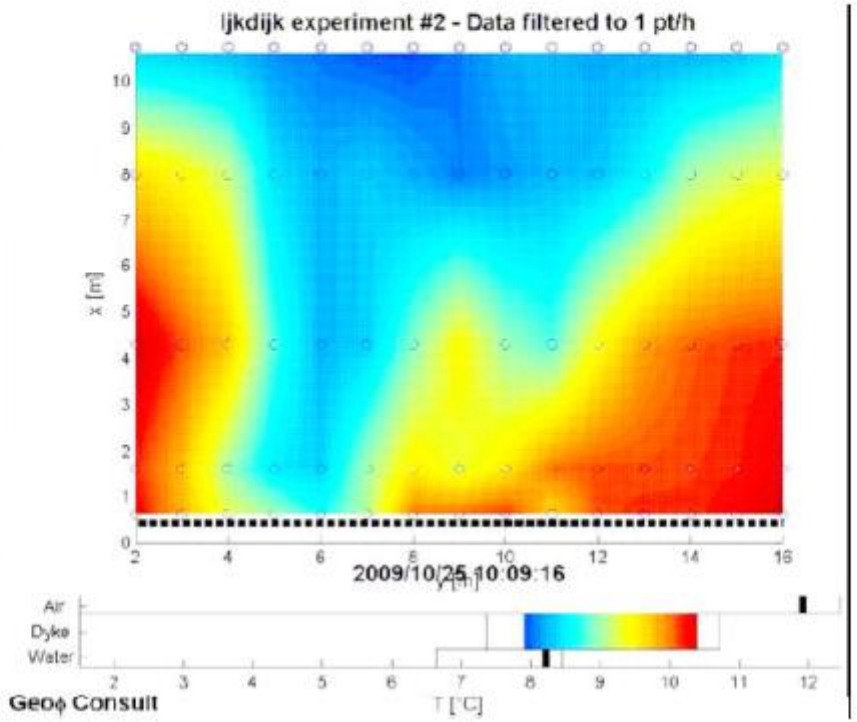
TENCATE
materials that make a difference

Surveillance en temps réel par fibre optique



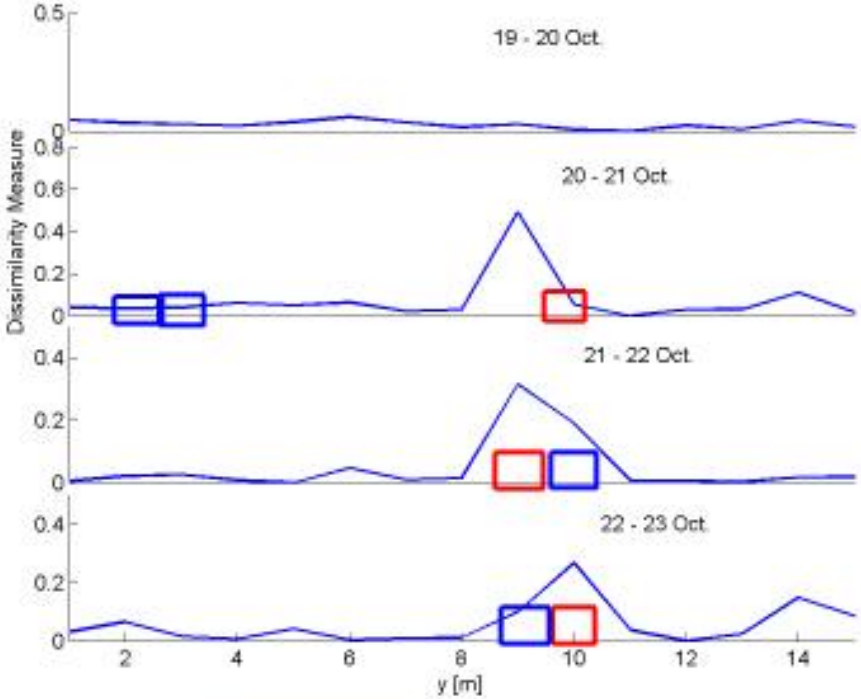
TENCATE
materials that make a difference

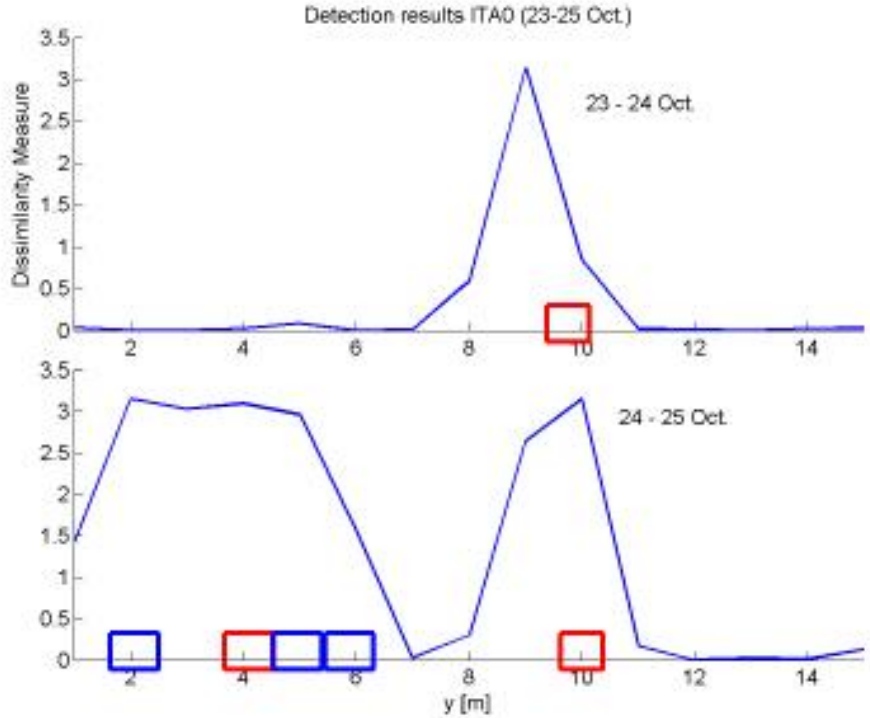
Surveillance en temps réel par fibre optique



TENCATE
materials that make a difference

Seconde interprétation : analyse statistique journalière





2nd Piping Test: duration = **6 days**:

- **raw data** = leakage detection **2 days** before rupture

- **Signal processing** (Daily Analysis Approach)
  = anomalies' detection **5 days** before rupture

Bilan des tests de surveillance préventive

Experimental Phase #	Total Experiment Duration (days)	Precursors : raw data (time before rupture)	Precursors : daily analysis results (time before rupture)
1.	4	3 hours	3 days
2.	6	2 days	5 days
3.	5	31 hours	3 days
4.	5	21 hours	1 day

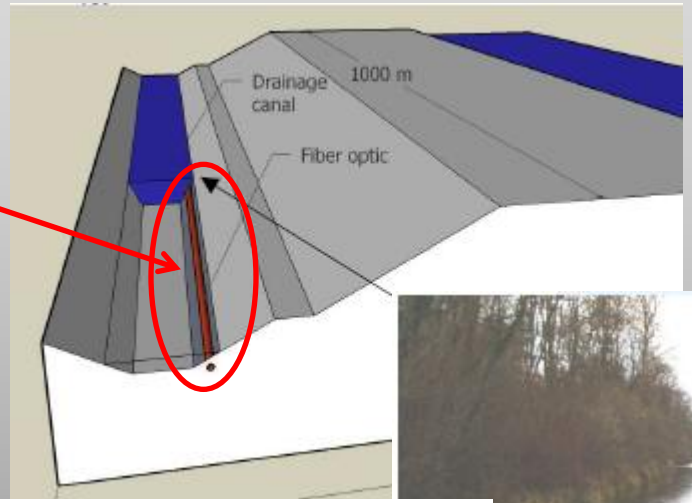
METHODES DE DETECTION

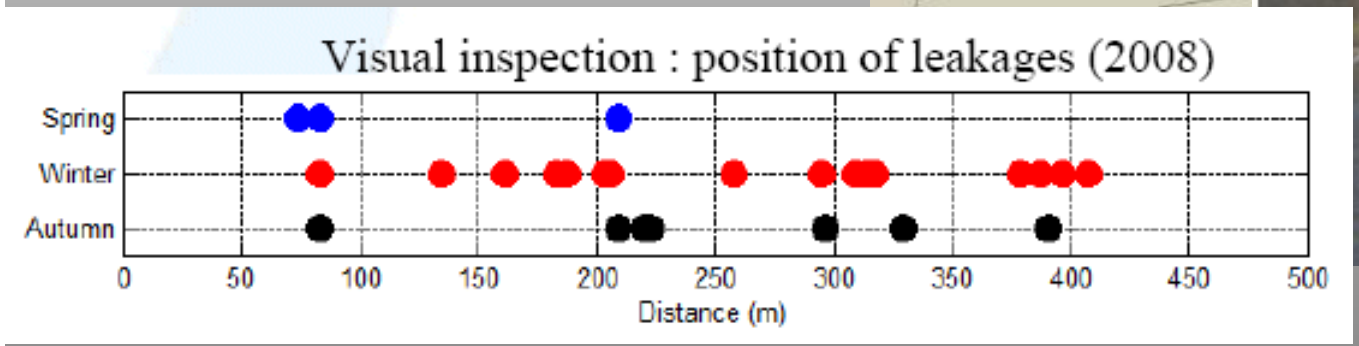
Suite aux succès constatés par le PN ERINOH de la validation de la détection et du suivi de l'érosion interne par une ausculation distribuée et continue à base de fibre optique

EDF a décidé d'équiper plusieurs de ces aménagements de ce système de surveillance préventive

Auscultation des fuites en pied de digue

La fibre optique est installée dans le canal de drainage

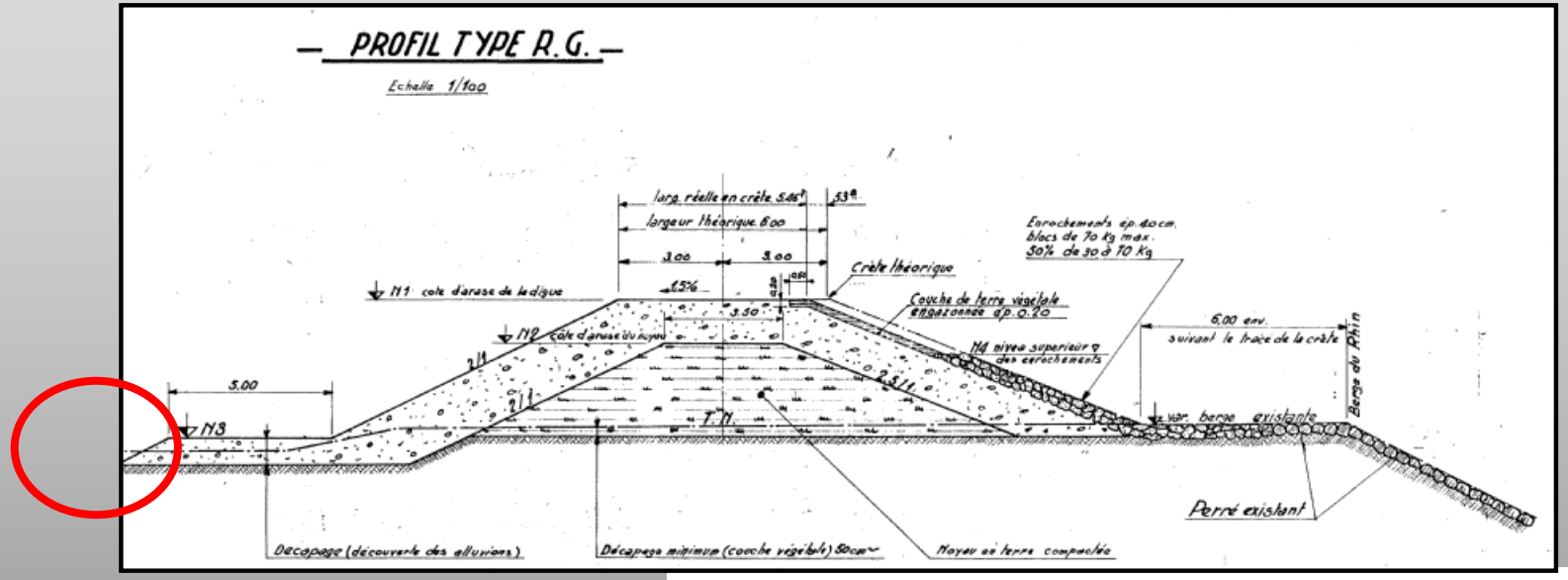




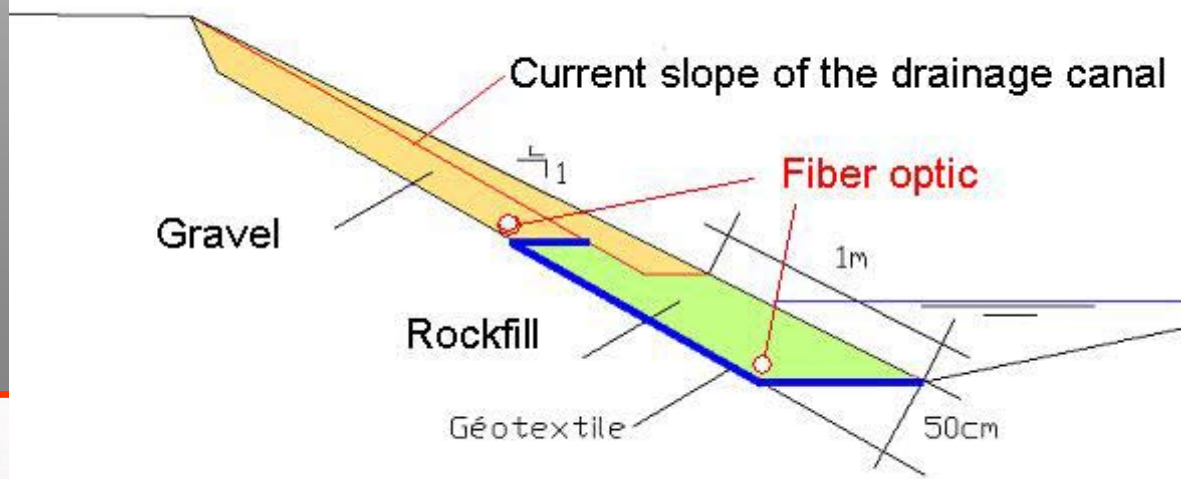
- **Pas de besoin de réparation dans l'immédiat**

PROJET ERINOH

Surveillance de la digue de Markolsheim

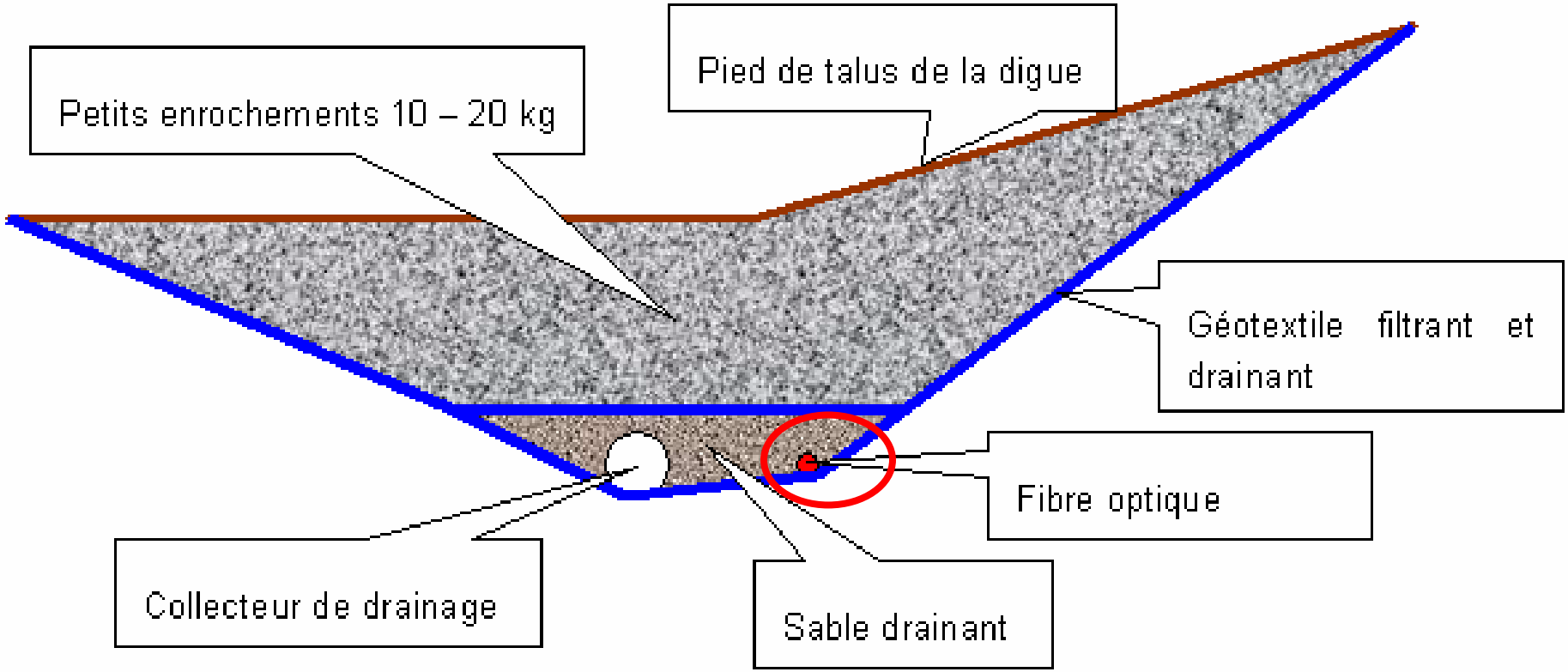


Surveillance en pied : 2 fibres optiques : mesures en continu



Réhabilitation de la digue de Cusset

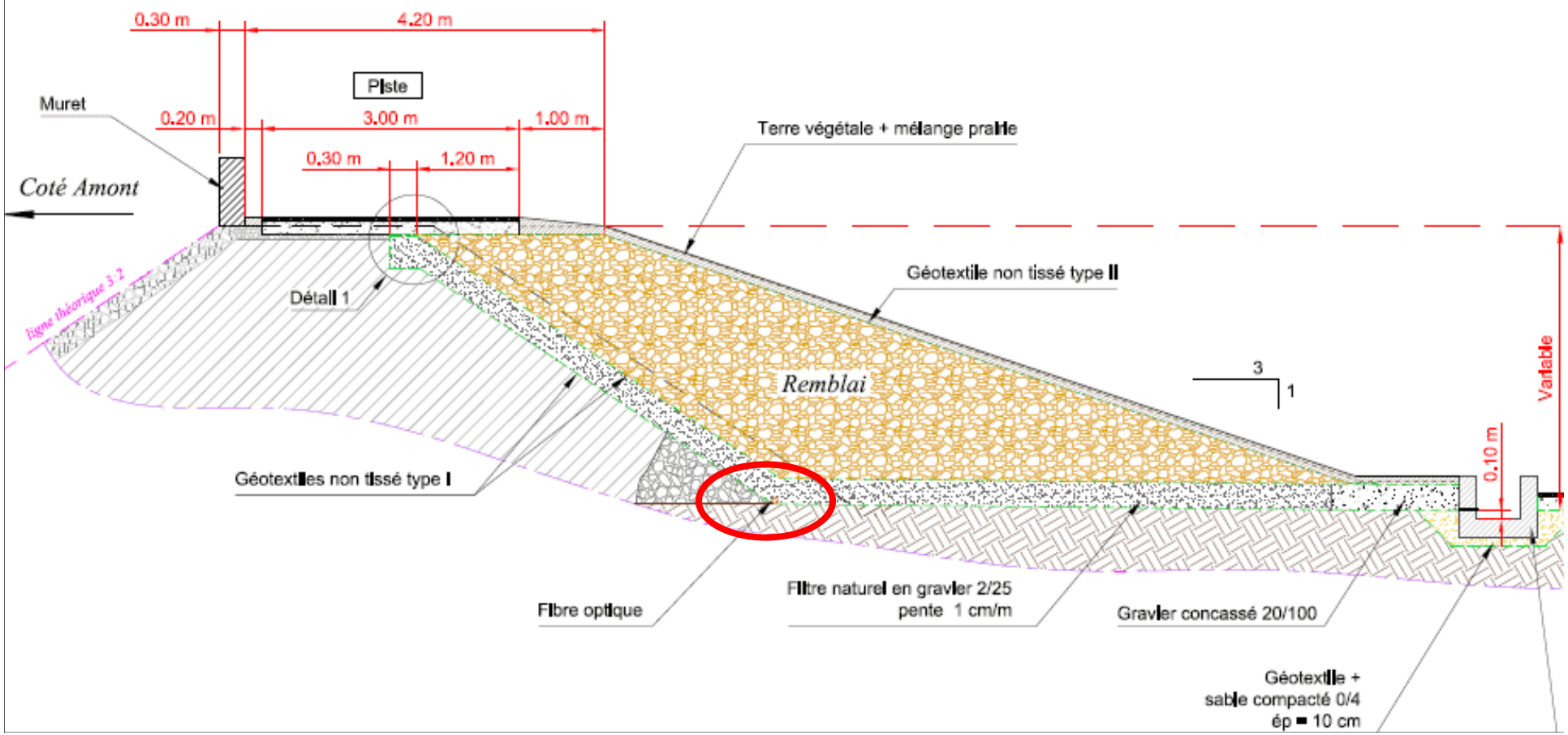
Digue 113 ans, fondation très perméable: fibre installée en 2011 mesures en continu/an



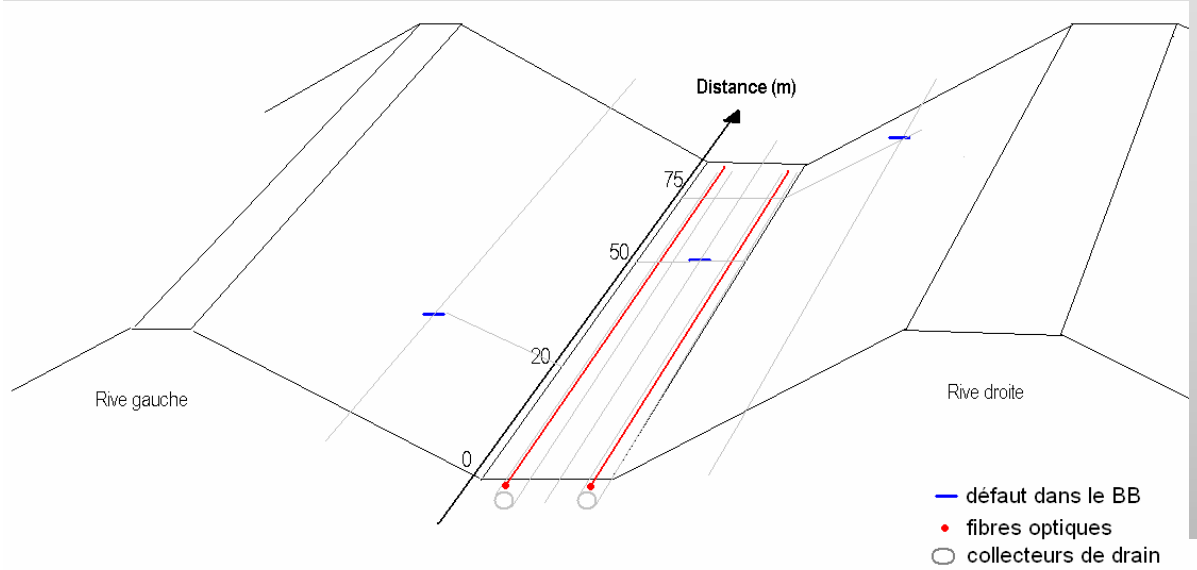
PROJET ERINOH

Réhabilitation de la digue Sud du Lac Mort

Ouvrage ancien, remblai homogène, pente raide : fibre optique en pied : 1 à 2 mesures/an



PROJET ERINOH



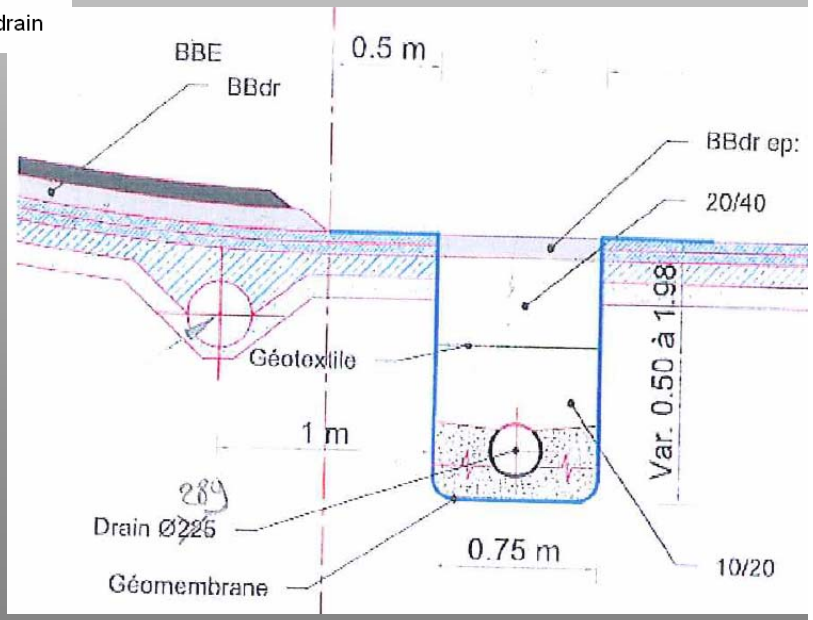
Réhabilitation du canal de Curbans

Durance

Bief de 5 km

réfection béton bitumineux

2 fibres optiques en 2012



CONCLUSIONS

1. L'érosion interne est le danger principal des digues
2. La détection des zones d'initiation est impérative pour la sécurité
3. Une méthode de détection et de suivi de l'initiation a été validée

PROJET ERINOH

ERINOH c'est :

et CETMEF, CNR,Coyne et Bellier, EDG, EGIS, CERMES, ESTP,FNTP,TRSN, ISL,MCC, SNCF, SOLETANCHE-BACHY, SOTRESOL, FUGRO, SAFEGE, TENCATE,VNF sans oublier :