



# LES TRAVAUX DE MAINTENANCE DES DIGUES CNR

CFBR - Journée Jeunes Ingénieurs

Thu Nga LE

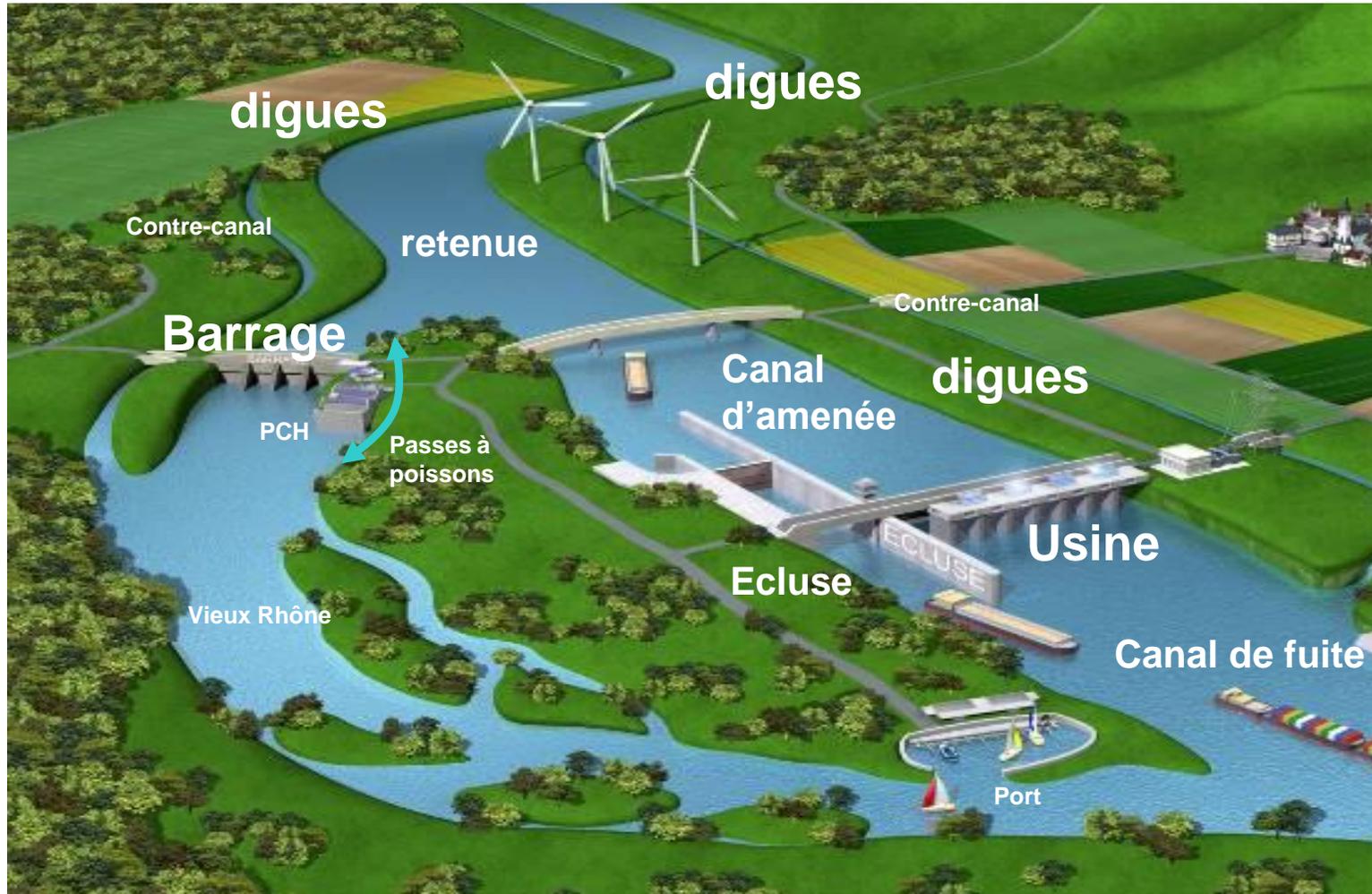
13/10/2018

- DES TYPES D'OUVRAGES, FONCTIONNEMENT, PATHOLOGIE
- PRINCIPAUX TYPES DE CONFORTEMENT DE DIGUES
- RÉPARATION DES PROTECTIONS AMONT DE DIGUES



## TYPES D'OUVRAGES, FONCTIONNEMENT ET PATHOLOGIE

# AMENAGEMENTS CNR



## Aménagement-type CNR – 19 aménagements

### Digues CNR :

- 400 km de digue en charge
- quelques km de digue de protection (digue sèche)

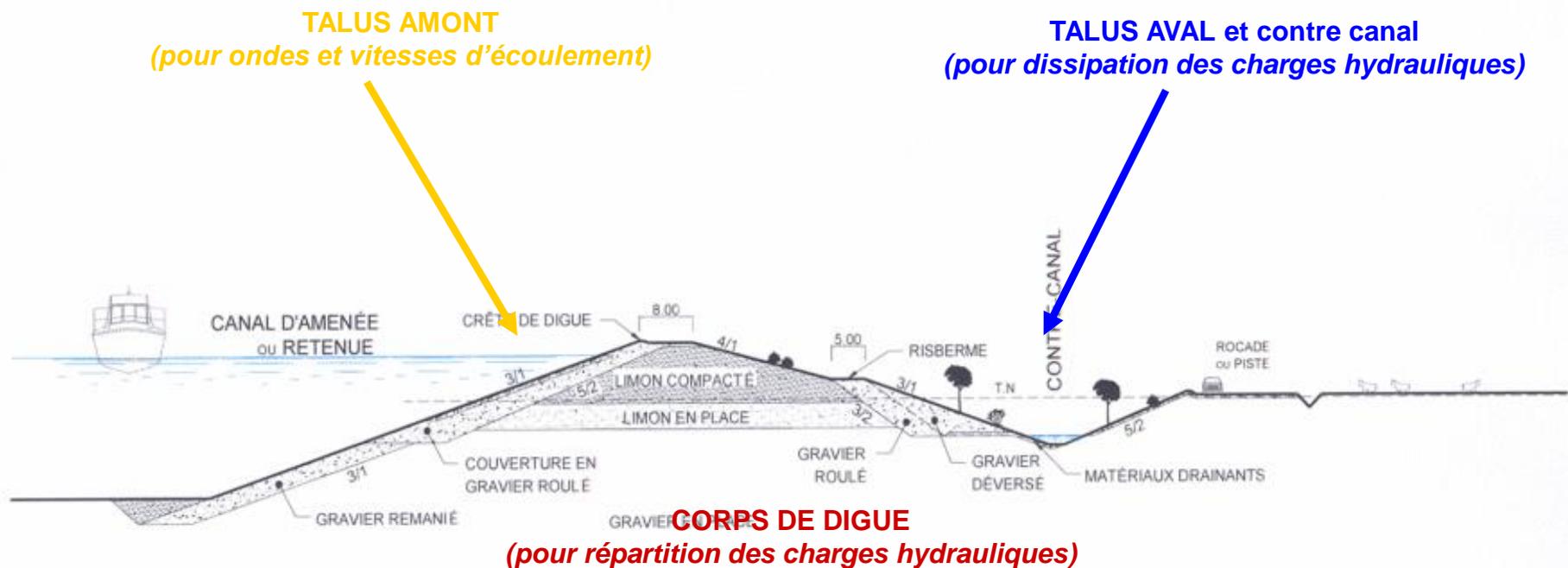


## TYPE D'OUVRAGES ET FONCTIONNEMENT

Digues CNR : digues perméables + contre-canal  
Les digues CNR sont dimensionnées pour :

- reprise des charges hydrauliques,
- dissipation des charges hydrauliques
- Vagues/ondes, batillage (bateaux + vent),
- vitesses d'écoulement du fleuve

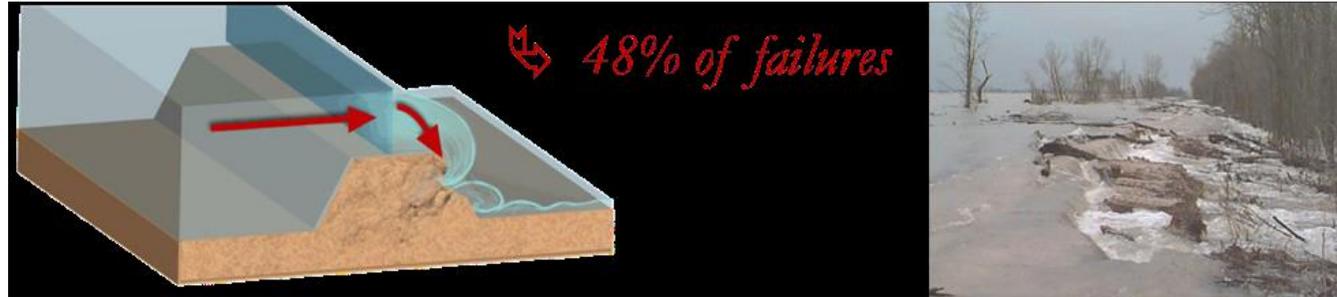
DIGUE MIXTE  
COUPE



# PATHOLOGIE DES BARRAGES EN TERRES

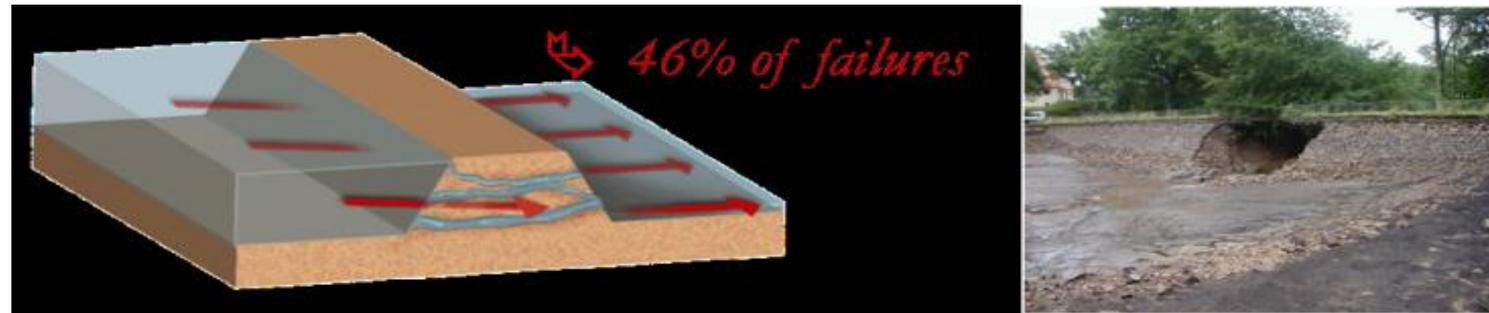
- **Erosion externe**

Surverse ou affouillement du pied



- **Érosion interne**

A la CNR représente 93% des incidents de digues



- **Glissement du talus**

Amont ou aval

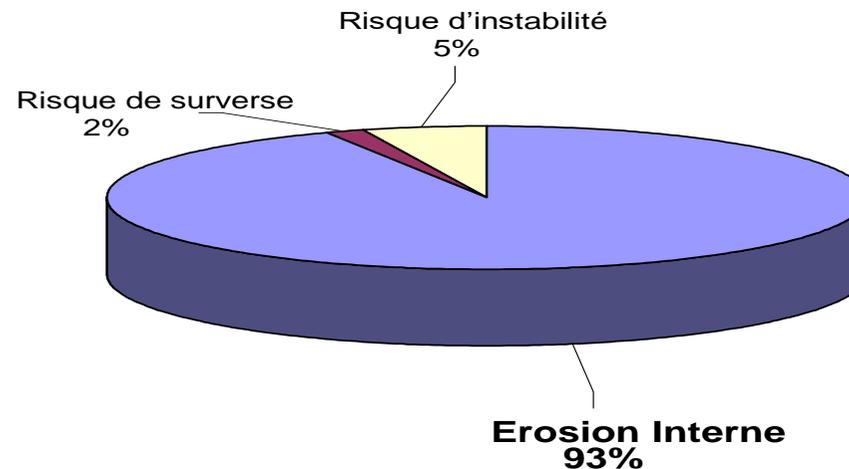


Statistiques issue de l'ICOLD sur l'ensemble des ruptures mondiales de 1800 à 1986 (hors Chine)

# Aucune rupture de digue à ce jour

Environ 30 incidents actifs

## Repartition type incident



Erosion interne : processus d'arrachement et de transport de matériaux constitutifs de l'ouvrage par un écoulement de percolation suffisamment élevé.

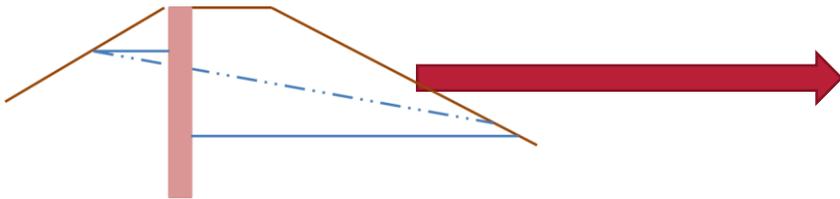


## PRINCIPAUX TYPES DE CONFORTEMENT DE DIGUES

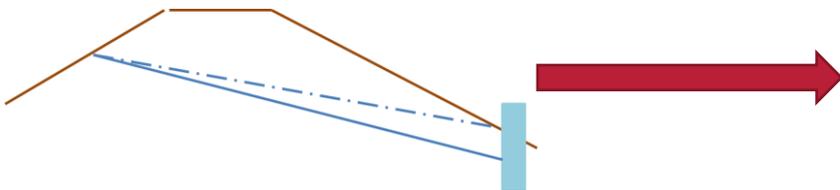
# Quels types de confortements de digues pour quelles pathologies ?

## Types de confortement

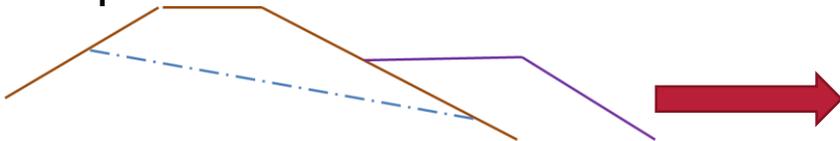
### ● Etanchéité



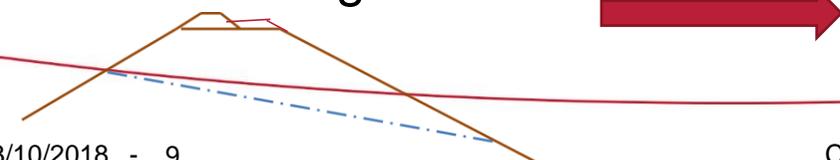
### ● Drainage



### ● Epaulement



### ● Remise à niveau des crêtes de digues



## Pathologies à traiter – Objectifs du confortement

Objectif : Couper ou limiter les écoulements d'eau dans le corps de digues

Pathologies pouvant être traitées :

- Risque d'instabilité (glissement de talus aval)
- Risque d'érosion interne

Objectif : Abaisser la charge piézométrique

Pathologies pouvant être traitées :

- Risque d'instabilité (glissement de talus aval)

Objectif : 1. Apporter du poids supplémentaire en pied de digue  
2. Bloquer la sortie des matériaux

Pathologies pouvant être traitées :

- Risque d'instabilité (glissement de talus aval)
- Risque d'érosion interne

Objectif : Rétablir la cote de crête de digue

Pathologies pouvant être traitées :

- Risque de surverse.

# Techniques de confortement par l'étanchéité

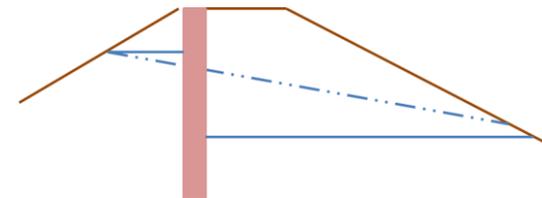
Objectif : Couper ou limiter les écoulements d'eau dans le corps de digues

Pathologies pouvant être traitées :

- Risque d'instabilité (glissement de talus aval)
- Risque d'érosion interne

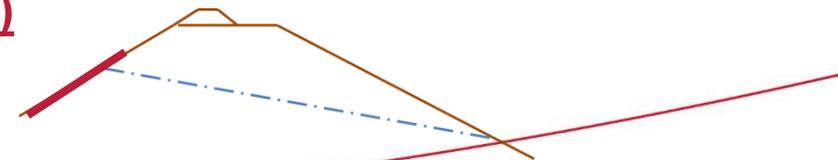
### Ecran vertical dans le corps de digue

- Paroi étanche à la pelle
- Paroi étanche à la benne
- Paroi mince
- Injections
- Soil mixing
- Palplanches



### Etanchéité du talus amont (mise en œuvre sous eaux)

- Clapage par matériaux fins
- Pose de membrane d'étanchéité



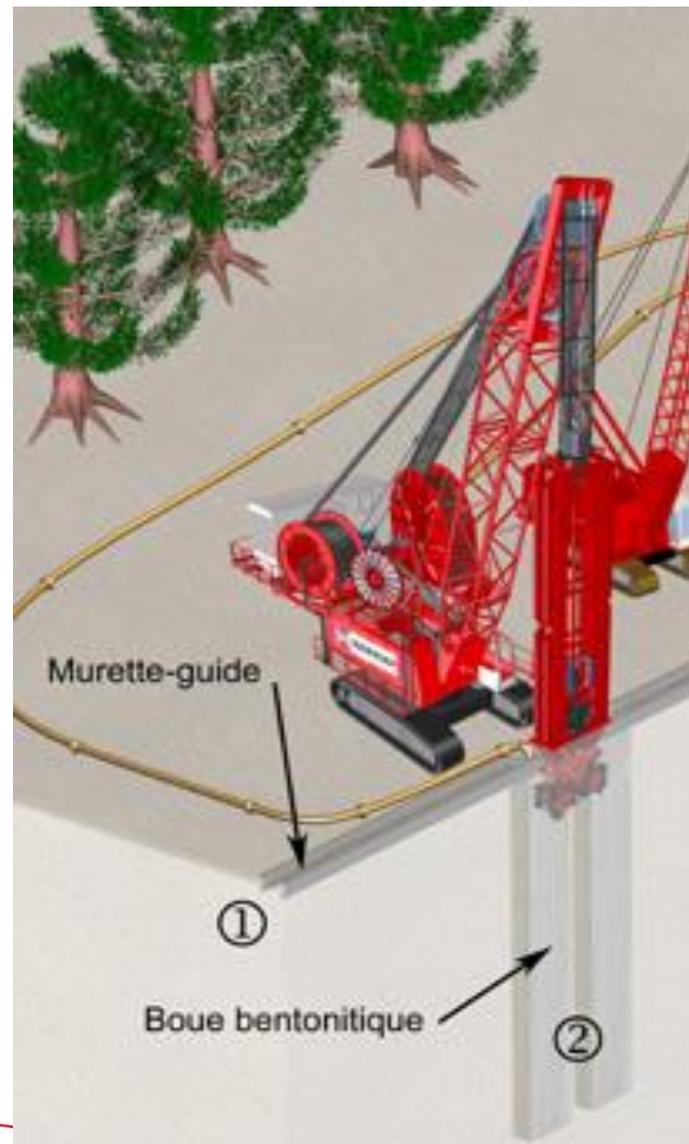
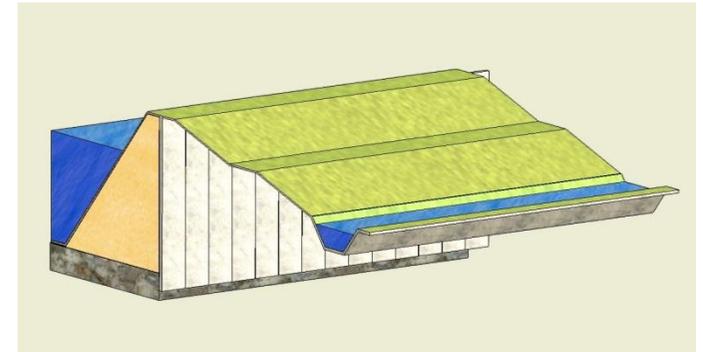
# PRINCIPAUX TYPES DE RÉPARATION DE DIGUES

## Techniques d'étanchéité - Paroi étanche à la benne

Réalisation d'une tranchée à la benne preneuse  
Remplissage au fur et à mesure de la fouille au mélange bentonite ciment

*Quelques chantiers*

- Donzère Mondragon (2009) – 1.5 km
- Beauchastel (2013) – 600 m
- Bourg-Les-Valence (2014) – 200 m
- Avignon (2015) – 260 m
- Bourg-Les-Valence (2018) – 120 m



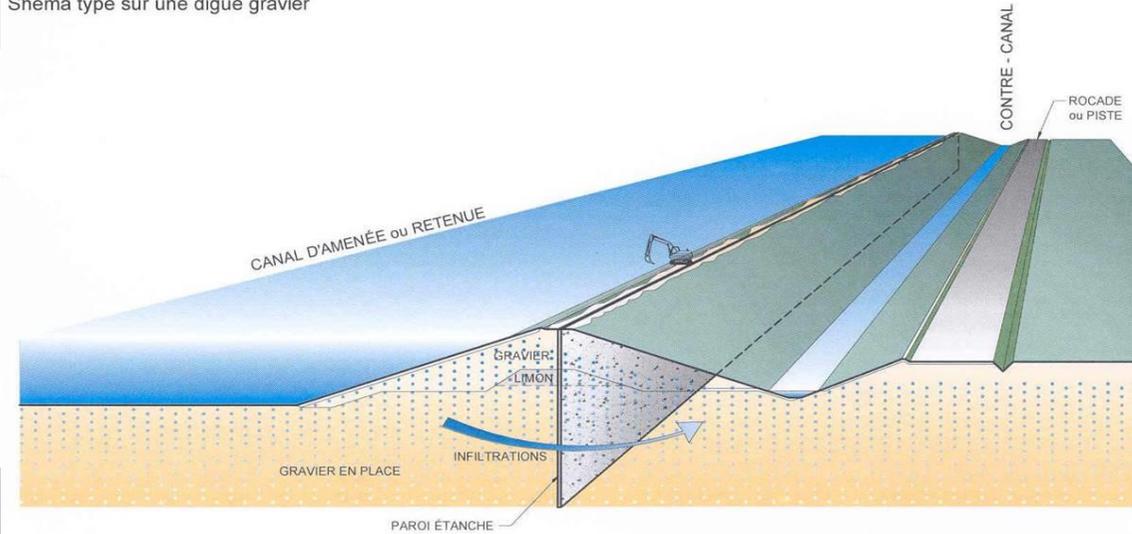
*Descente de la benne preneuse*

# PRINCIPAUX TYPES DE RÉPARATION DE DIGUES

## Techniques d'étanchéité - Paroi étanche à la pelle retro

Déblais à l'avancement à l'aide d'une pelle  
(prof limitée à 10-12 m)  
Remplissage de la fouille au coulis (eau +  
bentonite + ciment).  
Épaisseur de la paroi : 50 à 60 cm  
Évacuation des matériaux de déblais

PRINCIPE D'ÉTANCHEITÉ PAR PAROI ÉTANCHE  
Schéma type sur une digue gravier



*Chantier de paroi épaisse à  
la pelle BE 118.5 RG*

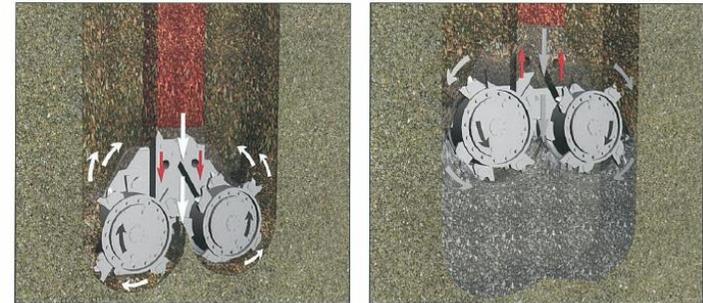
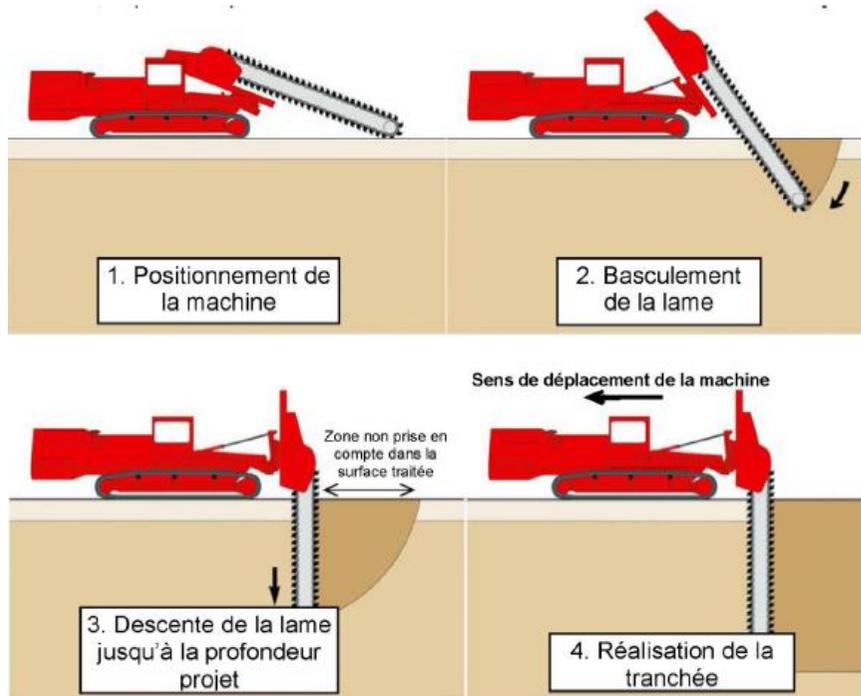
# PRINCIPAUX TYPES DE RÉPARATION DE DIGUES

## Techniques d'étanchéité – Soil-mixing

**Principe** : Mélange du sol en place avec un coulis bentonite-ciment.

Différents types d'outils : de la trancheuse (trenchmix), tarière, technologie de l'hydrofraise ...

Avantage: Peu de déblais extraits.



# PRINCIPAUX TYPES DE RÉPARATION DE DIGUES

## Techniques d'étanchéité – Soil-mixing



### Trenchmix

- Canal de DM (200 ml en 2008)
- Utilisée plus récemment à Chavanay (320 ml en 2014)



### Triple tarière - Avignon 2019



### Hydrofraise - Bourg-Lès-Valence

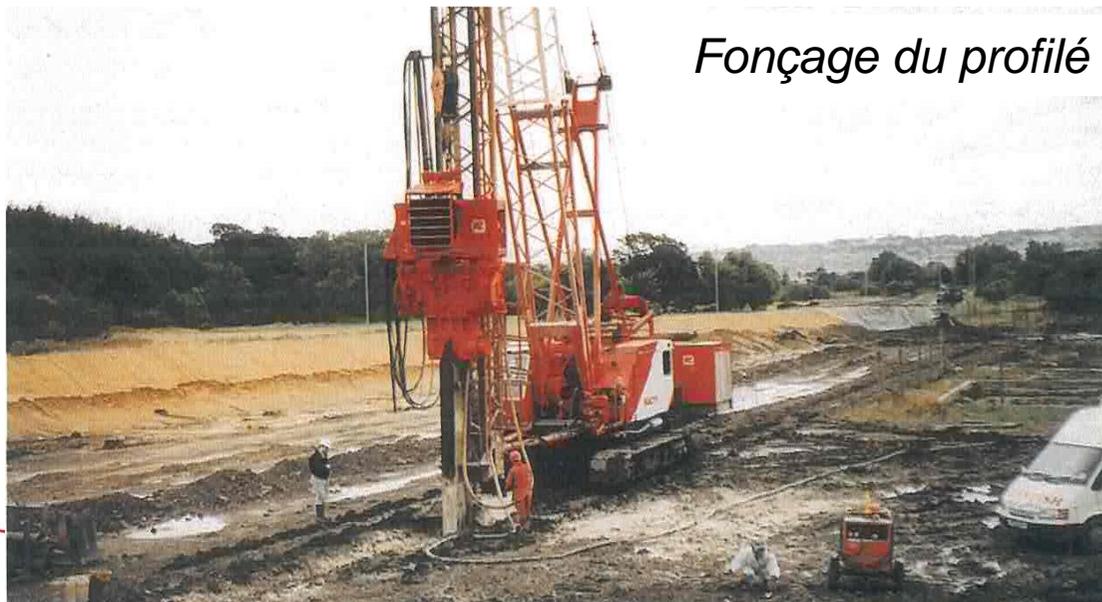
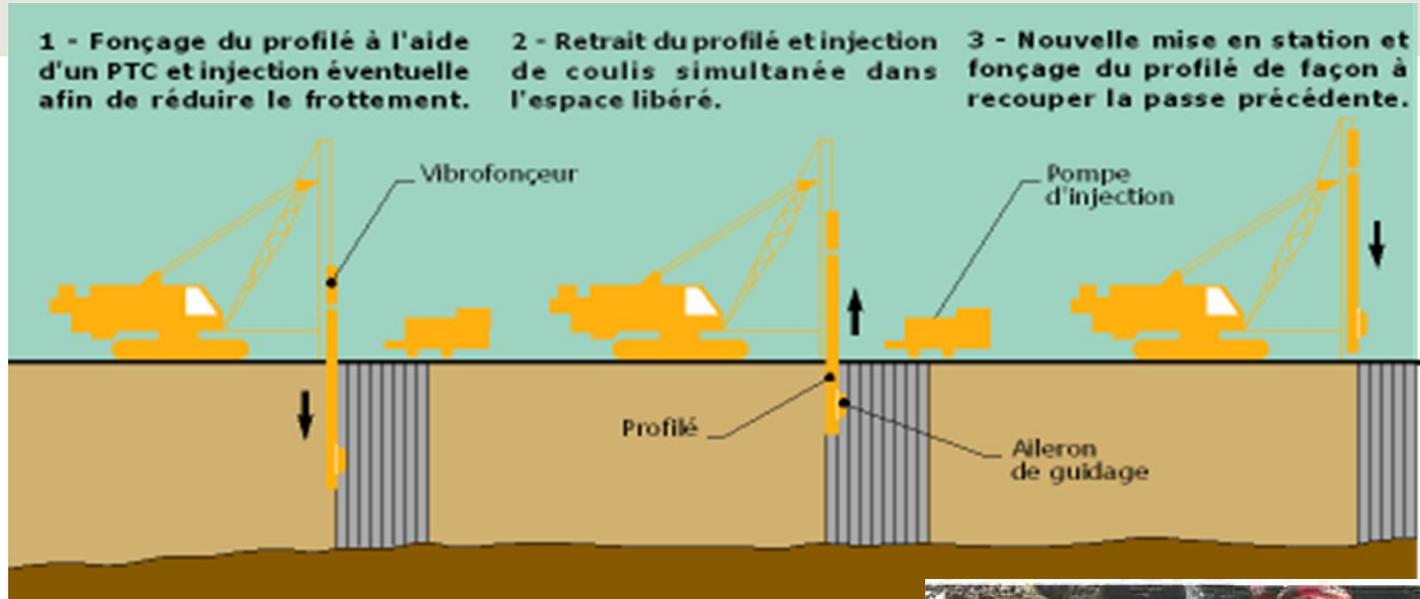
# PRINCIPAUX TYPES DE RÉPARATION DE DIGUES

## Techniques d'étanchéité – Paroi mince

**Etape 1 :** Fonçage d'un profilé métallique en I.

**Etape 2 :** Retrait du profilé et injection d'un coulis bentonite-ciment dans l'espace libéré

**Etape 3 :** Fonçage du profilé de façon à recouper le profilé précédent



*Fonçage du profilé*

*Marque du profilé*

*Epaisseur de la paroi : quelques centimètres*

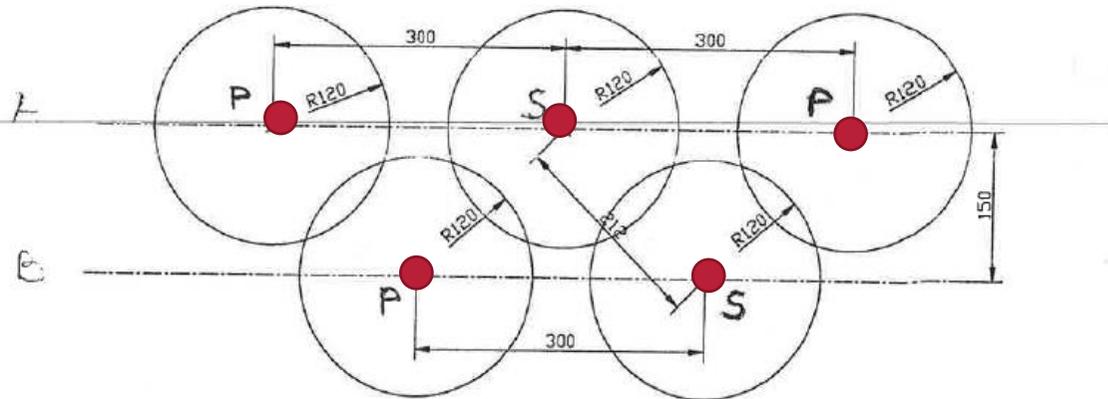
*Canal de fuite de Donzère traité en paroi mince*



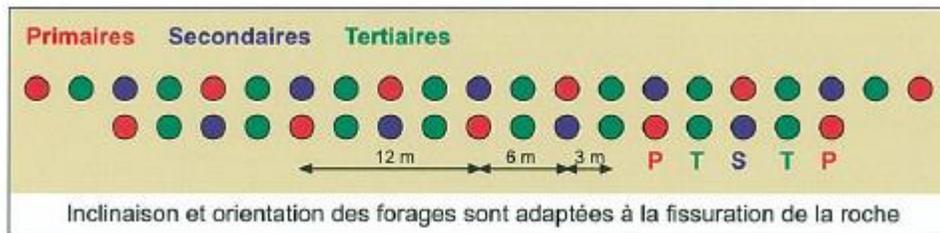
# PRINCIPAUX TYPES DE RÉPARATION DE DIGUES

## Techniques d'étanchéité : Injections au coulis bentonite-ciment

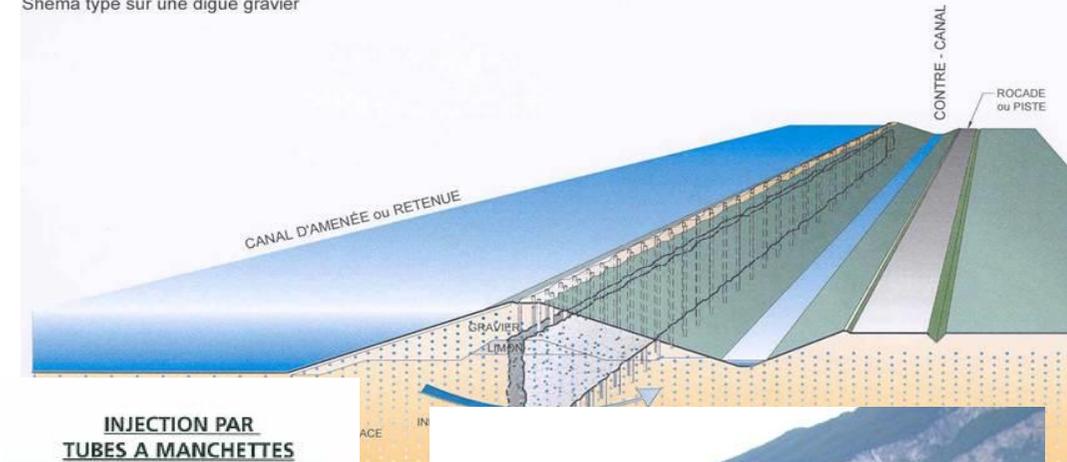
**Etape 1 :** Forages espacés de 1 à 2 m sur 2 à 3 lignes.  
Remplissage des forages au « coulis de gaine ».



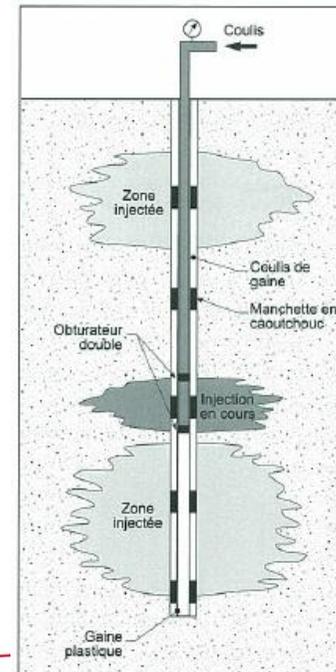
**Etape 3 :** Injections de coulis sous pression suivant un phasage de forage primaires / secondaires.



PRINCIPE D'ETANCHEITE PAR INJECTION CLASSIQUE  
Schéma type sur une digue gravier



INJECTION PAR  
TUBES A MANCHETTES



Injection à l'obturateur double



### Chantiers

- Bregnier Cordon
- Avignon
- Bourg-Les-Valence en 2018

# PRINCIPAUX TYPES DE RÉPARATION DE DIGUES

## Techniques de confortement par étanchéité du talus amont

### Clapage amont

Principe :

Sur un talus amont en enrochements : Recouvrir le talus de matériaux assez fins pour remplir les interstices et diminuer la perméabilité de la clé amont.

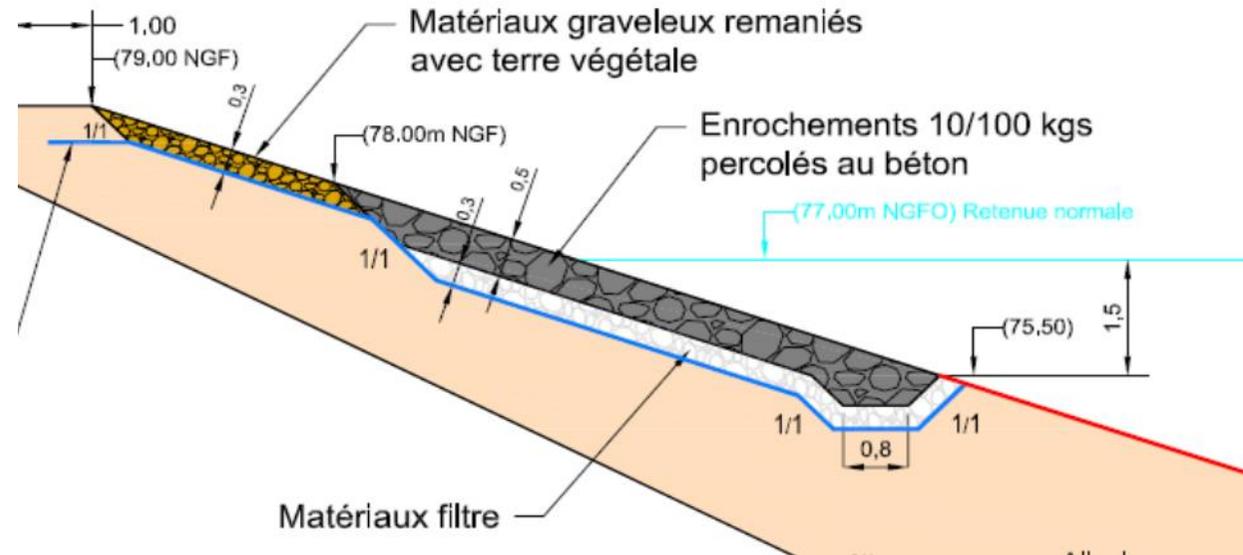


Par voie fluviale (tuyauterie de rejet d'une drague par exemple) ou par voie terrestre (pelle...)

# PRINCIPAUX TYPES DE RÉPARATION DE DIGUES

## Techniques de confortement par étanchéité du talus amont

### Membrane d'étanchéité



- Mise en place d'un GéoSynthétiques Bentonitiques (= membrane d'étanchéité mise en œuvre en eau)

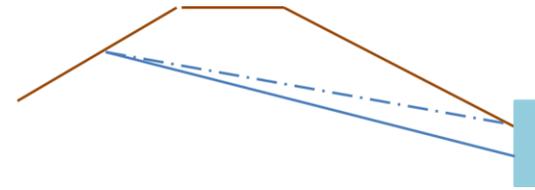
## Techniques de drainage

Objectif : Abaisser la charge piézométrique

Pathologies pouvant être traitées :

- Risque d'instabilité (glissement de talus aval)

- Restauration de la clé drainante
- Forage de décompression ou forage drainant
- Eperons drainants





# PRINCIPAUX TYPES DE RÉPARATION DE DIGUES

## Techniques de drainage - Restauration de la clé drainante



### Déroulement travaux :

Travail par plots.

Respect cotes / Phasage en plot (fermeture plot soirs et WE)

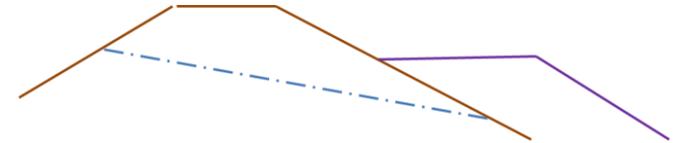


## Techniques d'épaulement

Objectif : 1. Apporter du poids supplémentaire en pied de digue  
2. Bloquer la sortie des matériaux

Pathologies pouvant être traitées :

- Risque d'instabilité (glissement de talus aval)
- Risque d'érosion interne



### Chantiers

- Digue Chautagne
- Digue Vallabrègue en 2016

# PRINCIPAUX TYPES DE RÉPARATION DE DIGUES

## Techniques d'épaulement

### Chantiers

- Digue Chautagne
- Digue Vallabrègue en 2016



Décapage terre végétale  
(PK146.9RD CE)



Remblais matériaux drainants (PK146.9RD CE)



Après travaux  
(PK146.9RD CE)

### Constats :

- Fuites avec fines
- Charges hydrauliques détectées dans les piézomètres
- Pente du talus aval

Nouveau procédé en cours de développement par Soletanche – CNR - EDF

## BOREAL : Bio-renforcement des Ouvrages hydriques en remblais

### Principe:

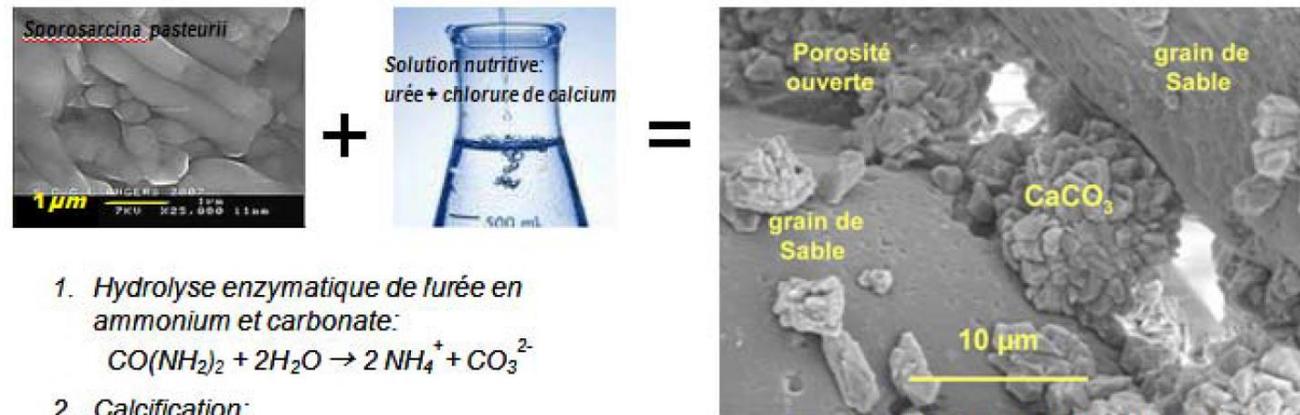
Injecter un coulis dans l'ouvrage.  
Lorsqu'il a lieu entre des grains de sols, une réaction biochimique les lie entre eux.

### Résultats:

- Apport de la cohésion
- Perméabilité du sol non affectée
- > écoulements naturels maintenus

### Pathologies pouvant être traitées :

- Risque d'érosion interne
- Risque lié aux séismes (liquéfaction)



Solution nutritive: urée + chlorure de calcium

1. Hydrolyse enzymatique de l'urée en ammonium et carbonate:  
 $CO(NH_2)_2 + 2H_2O \rightarrow 2NH_4^+ + CO_3^{2-}$

2. Calcification:  
 $Ca^{2+} + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3$

Précipitation in situ de calcite en qqs jours

# CONCLUSIONS

- Les ouvrages CNR sont soumis à une charge permanente :
  - **Surveillance** REGULIERE des ouvrages
  - Sûreté hydraulique PRIMORDIALE en cas de travaux car les ENJEUX sont FORTS
- Depuis la réalisation des ouvrages, l'Etat de l'Art a évolué notamment sur la cinématique de dégradation des ouvrages (ex : érosion interne, ...) => permet de mieux DIAGNOSTIQUER, SURVEILLER, ANTICIPER, PROGRAMMER et REALISER les travaux....
- De nouvelles techniques de confortement et de surveillance (FO, BOREAL, soilmixing...) sont apparues ou sont en cours de développement permettant de minimiser les risques en phase provisoire de chantier. Reste à élargir leur champ d'application ou les mettre en œuvre sur les ouvrages en charge.

L'énergie au cœur des territoires

[cnr.tm.fr](http://cnr.tm.fr)

