

# RETOUR D'EXPERIENCE DE PAROIS D'ETANCHEITE DE BARRAGES EN REMBLAI ET DE LEURS FONDATIONS

**Aurélie GARANDET** (CNR)  
**Sophie VINCENT** (EDF)  
**olivier GUILHEM** (EDF)  
**Romain ROUSSELET** (EDF)  
**Jean –Jacques FRY** (EDF)

Symposium du CFBR du 29 janvier 2015 à Grenoble (ENSE3)



# ECHANTILLON DE PAROIS D'ETANCHEITE ET GROUPE DE TRAVAIL

## 1. PAROIS EN VALLEES ALLUVIALES

Alluvions peu profondes et paroi ancrée au substratum : Donzère-Mondragon

Aurélie GARANDET (CNR)

Alluvions peu profondes et paroi courte : Digue de Cusset

Olivier GUILHEM (EDF)

Alluvions profondes et paroi non ancrée : Dignes du Rhin

Romain ROUSSELET (EDF)

Paroi dans le noyau rajoutée à la paroi coupant les alluvions: La Saulce

Jean-Jacques FRY (EDF)

## 2. PAROIS EN VALLEES GLACIAIRES

Remplissage fluvio-glaciaire et moraine profonds et paroi courte : Pont des Chèvres

Sophie VINCENT (EDF)

Remplissage fluvio-glaciaire et moraine profonds et paroi longue : Le Verney

Jean-Jacques FRY (EDF)

## 3. PAROIS EN VALLEES GRANITIQUES

Substratum en granite altéré et gore recoupés par Jet-Grouting et injections: Petit Saut

Sophie VINCENT (EDF)

Substratum en granite altéré, gore et alluvions et rideau d'injections: Nèpes

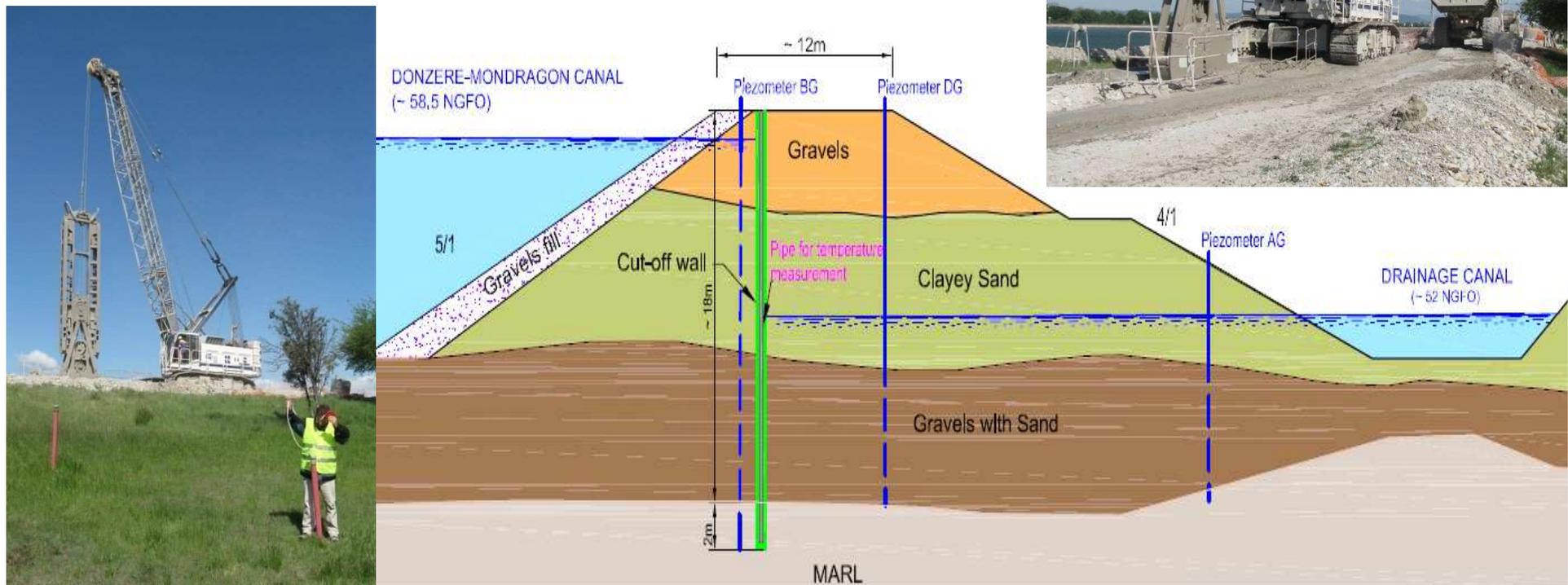
Jean-Jacques FRY (EDF)

# FONDATAIONS ALLUVIALES

# PAROI DE DONZERE MONDRAGON

## ■ Contexte, objectif et travaux réalisés

- 1,5 km d'écran au coulis (60 cm d'épaisseur), de 20 m de profondeur en moyenne ancré dans les marnes + zone ponctuelle d'injection au droit d'un siphon traversant.
- dispositif de contrôle Phase Exe: piézomètres et contrôles visuel
- dispositif d'auscultation : piézomètres et tubes thermométriques



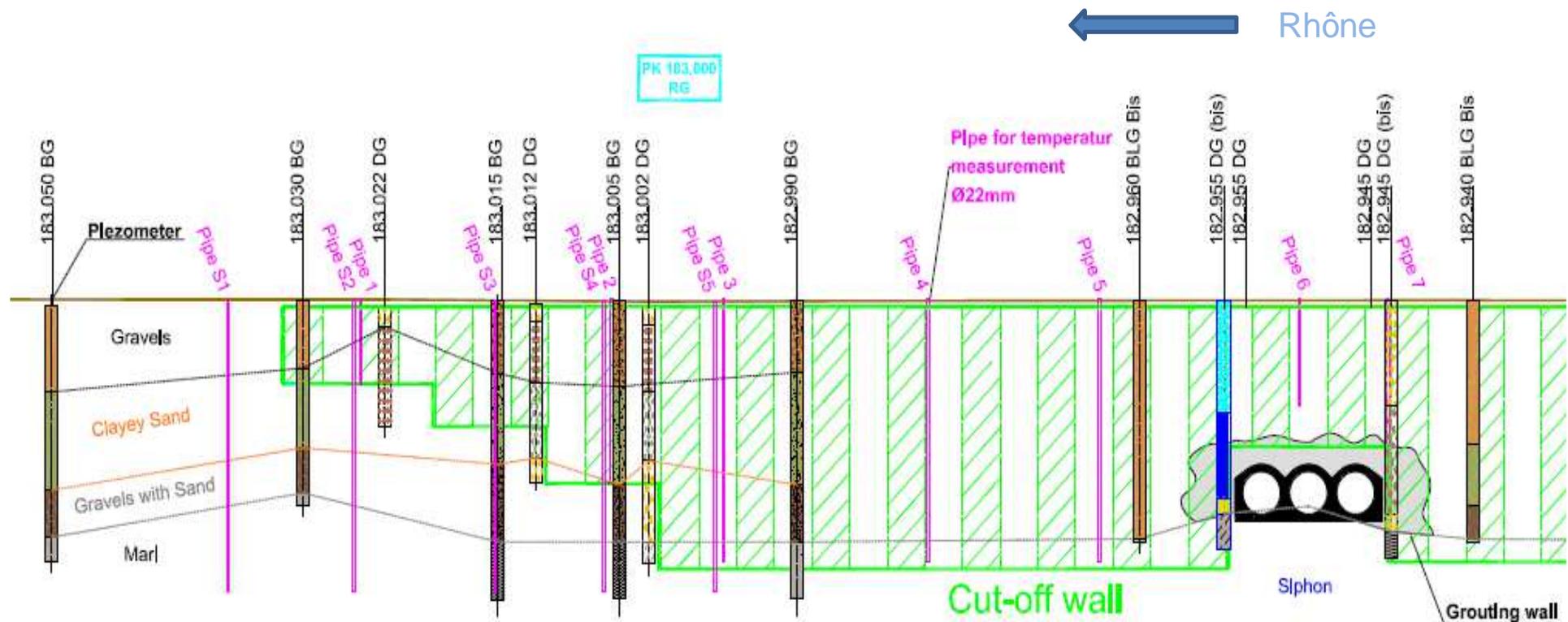
## ■ Résultat

- Piézométrie: rabattement de 3 m en moyenne du niveau aval => objectif atteint

# PAROI DE DONZERE MONDRAGON

## ■ Détection et surveillance des zones de raccordement:

- Interface siphon /marne
- Extrémité aval et amont de la paroi



## ■ Mesures thermométriques : objectifs

- 1 : détection d'anomalie (au cœur de l'étanchéité)
- 2 : mesure des vitesses d'écoulement (plutôt sur les zones d'extrémités)

# PAROI DE DONZERE MONDRAGON

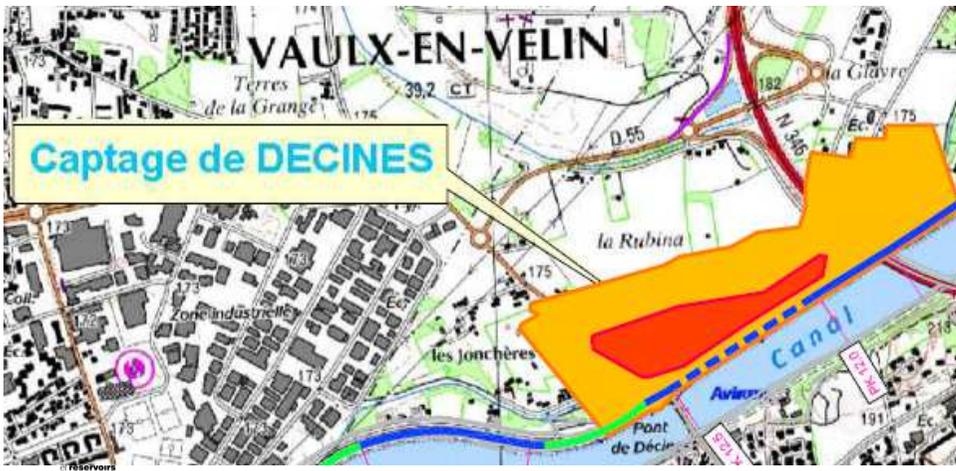
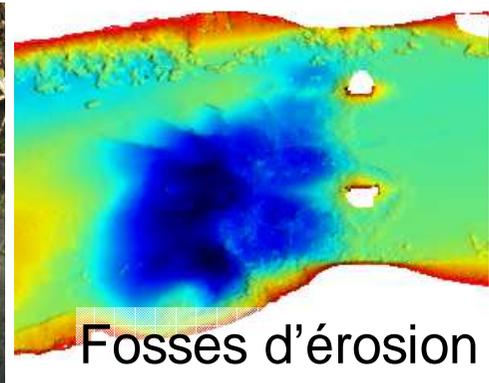
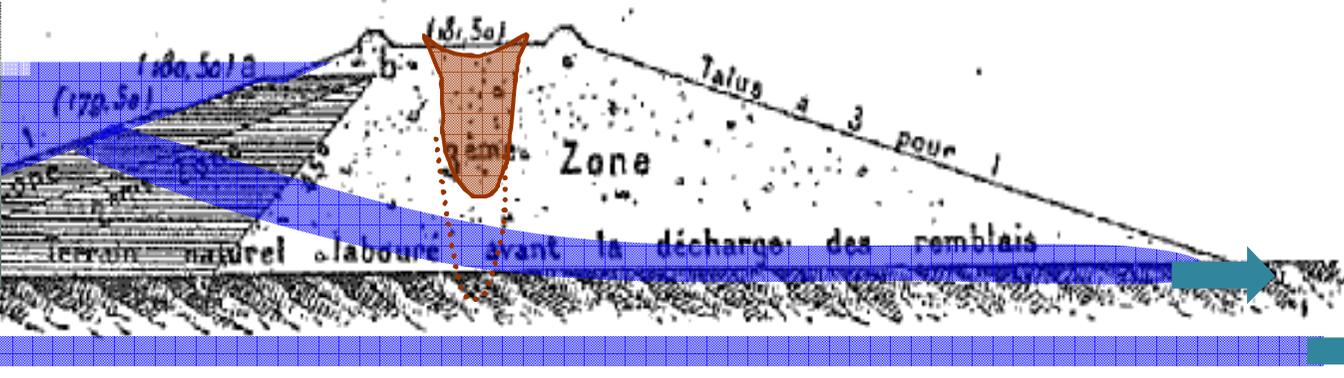
## ■ Résultats : conception + réalisation + contrôle

- paroi au coulis réalisée sans problème, permettant d'atteindre le rabattement hydraulique requis => la piézométrie a permis de vérifier ce rabattement en cours de chantier et continue d'être le moyen d'auscultation principal de l'ouvrage
- Principale difficulté en cours d'exécution: raccordement par injection de coulis à l'interface paroi / siphon / marne (difficulté liée à l'hétérogénéité des sols) => cette difficulté s'est matérialisée par une anomalie de perméabilité dans l'étanchéité qui a été confirmé et précisé par la mesure thermométrique.
- La mesure thermométrique, a aussi permis d'évaluer les vitesses d'écoulements sur la zone de raccordement aval ( $V \sim 10^{-5}$  m/s) pour contrôler le risque d'érosion interne.

## ■ Conclusions

- La création d'un écran étanche dans un ouvrage perméable engendre des interfaces avec le corps de digue et/ou fondation qui doivent être particulièrement bien anticipés, traités et surveillés:
  - ❖ interface substratum
  - ❖ Interface avec éventuel ouvrage traversant
  - ❖ interface de raccordement amont et aval à la digue non traitée
- Pour cette surveillance, la complémentarité des mesures piézométrique et thermométrique est un bon choix

# PAROI DE LA DIGUE R.D. DE CUSSET

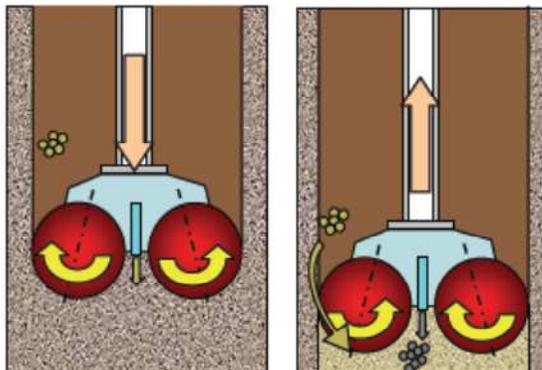


- **Pathologie : érosions externe et interne - Site urbain et problématique de ressource en eau**
- Zone fortement urbanisée : au cœur de l'agglomération lyonnaise.
- Le canal est une source importante d'alimentation de la nappe alluviale.
- 3 champs de captage d'eau potable jouxtent le canal.

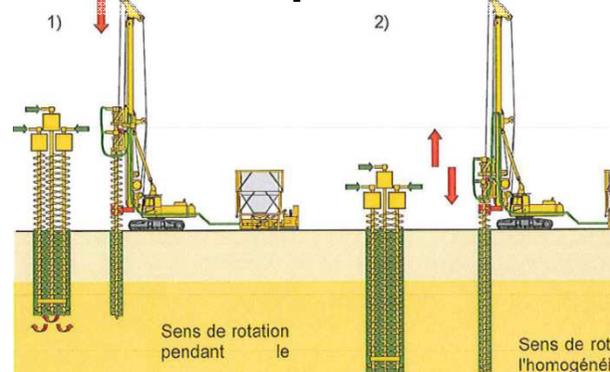
# PAROI CUSSET: DESIGN & PLOT D'ESSAI

- Coupure étanche partielle avec ancrage limité à 2 m dans les alluvions
- Contre-canal de filtration et de drainage en pied de digue, sur tout le linéaire, avec intégration d'une surveillance des fuites par fibre optique.
- Protection du parement amont par enrochement et filtre géotextile au droit de zones d'érosion intense des berges.

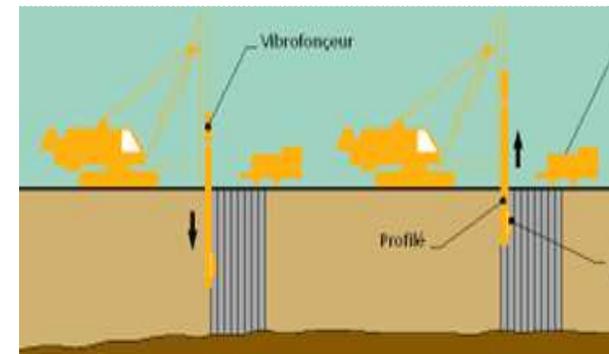
## CSM - Cut Soil Mixing



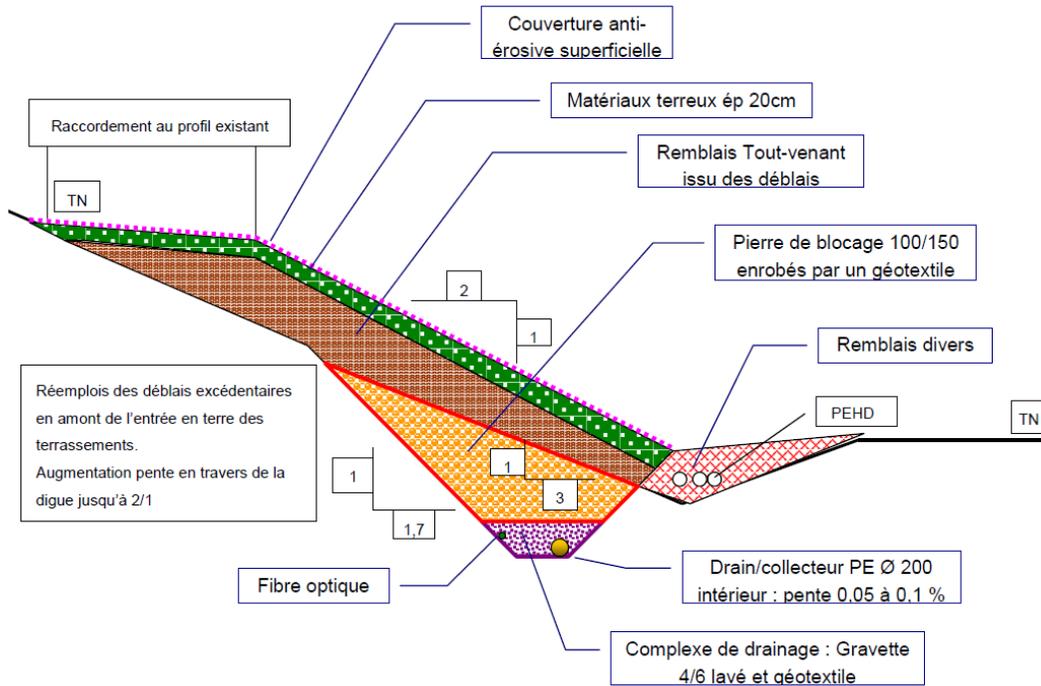
## Paroi Triple Tarière



## Paroi mince



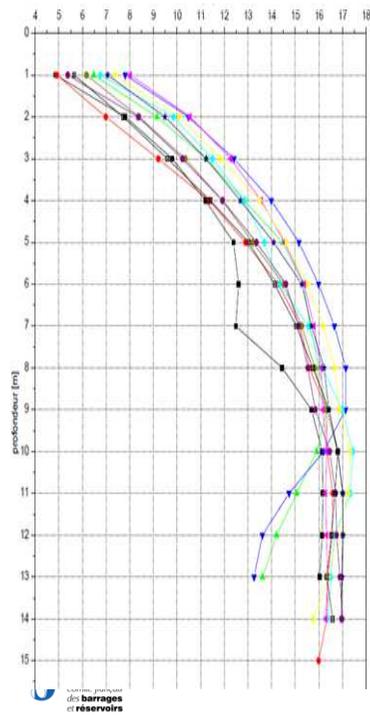
# CUSSET: contre canal en Natura 2000



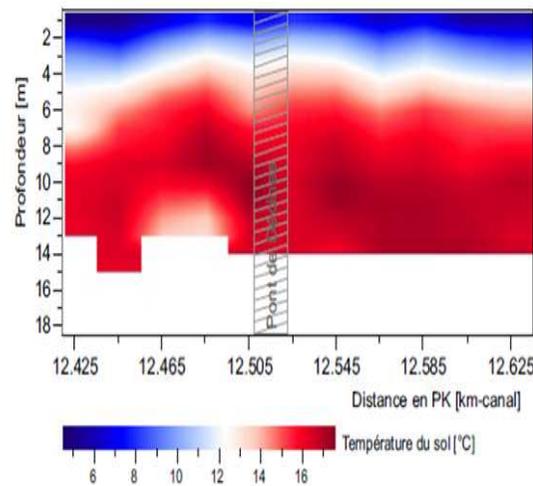
# CUSSET: CONTRÔLE PHASE CHANTIER

- **Sûreté de la digue** : inspections hebdomadaires de toute la digue avec contrôles visuels, mesures des piézomètres, des déversoirs, des zones de fuites, analyse des évolutions dans les 48h ; inspections journalières pour toute zone de travail.
- **Impact sur la nappe** : suivi en continu de deux couples de piézomètres (court et profond) situés à 150 m du pied de digue.
- **Ecran étanche** : mesure de déviation de chaque passe, contrôle thermométrique tous les 20m, mesures vibratoires digue et ouvrages adjacents et acoustiques.

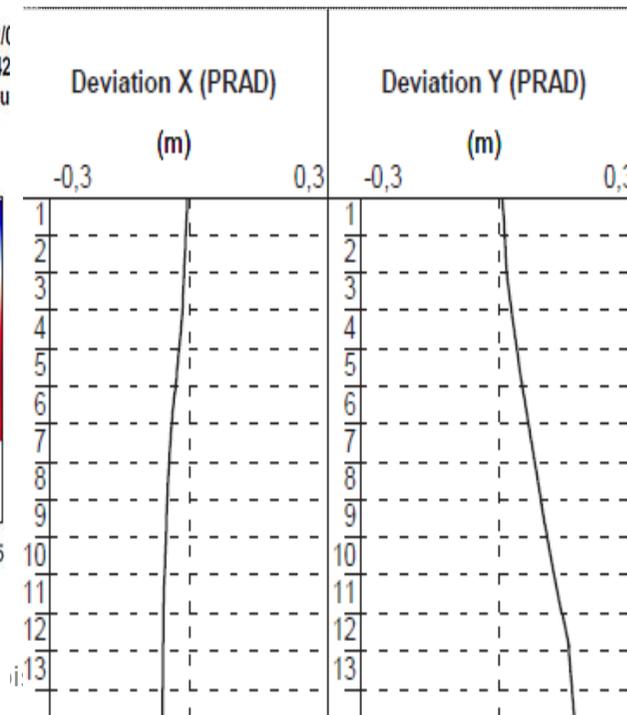
## Contrôle thermométrique d'écoulement



Auscultation thermométrique pour la détection de fuites, 02/K  
 Digue rd du Canal de Jonage, digue de Cusset entre PK12,42  
 Coupe longitudinale du secteur de digue illustrant la distribu  
 températures du sol ( $T(\text{canal}) = 6.5^{\circ}\text{C}$ )

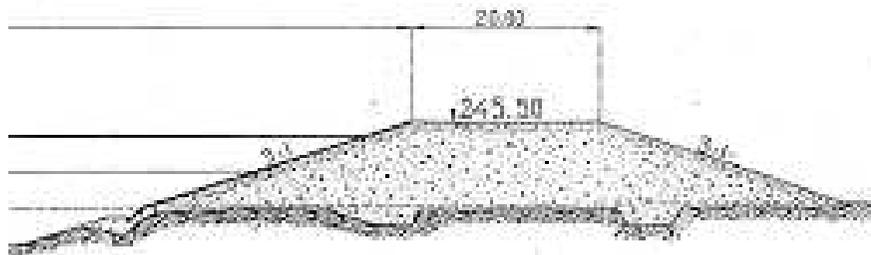


## Contrôle de déviation du profilé

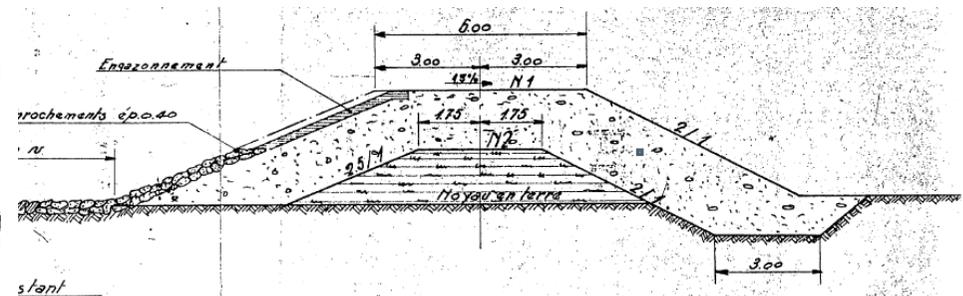


# Retour d'expérience sur le Grand Canal d'Alsace et le Rhin

- Description des ouvrages
  - Dignes du Grand Canal d'Alsace

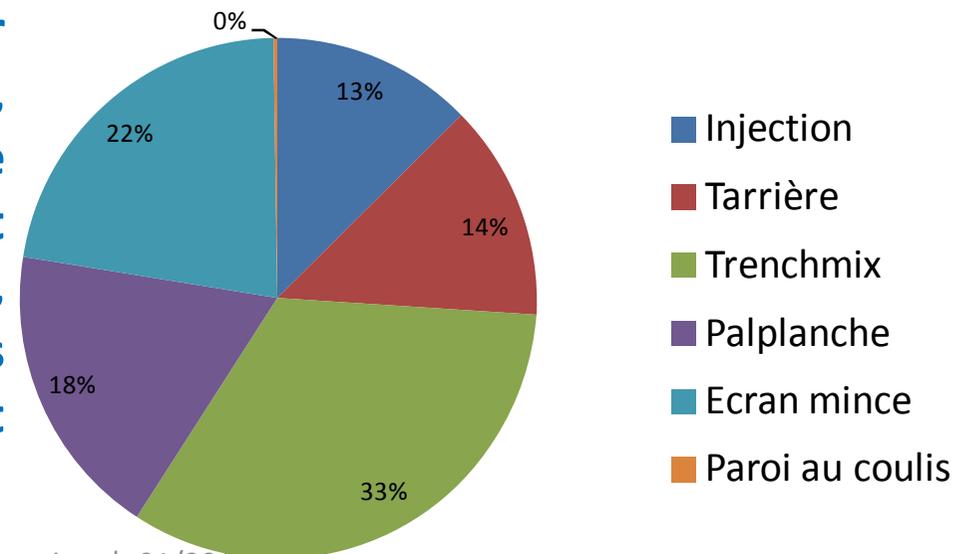


Rhin endigué



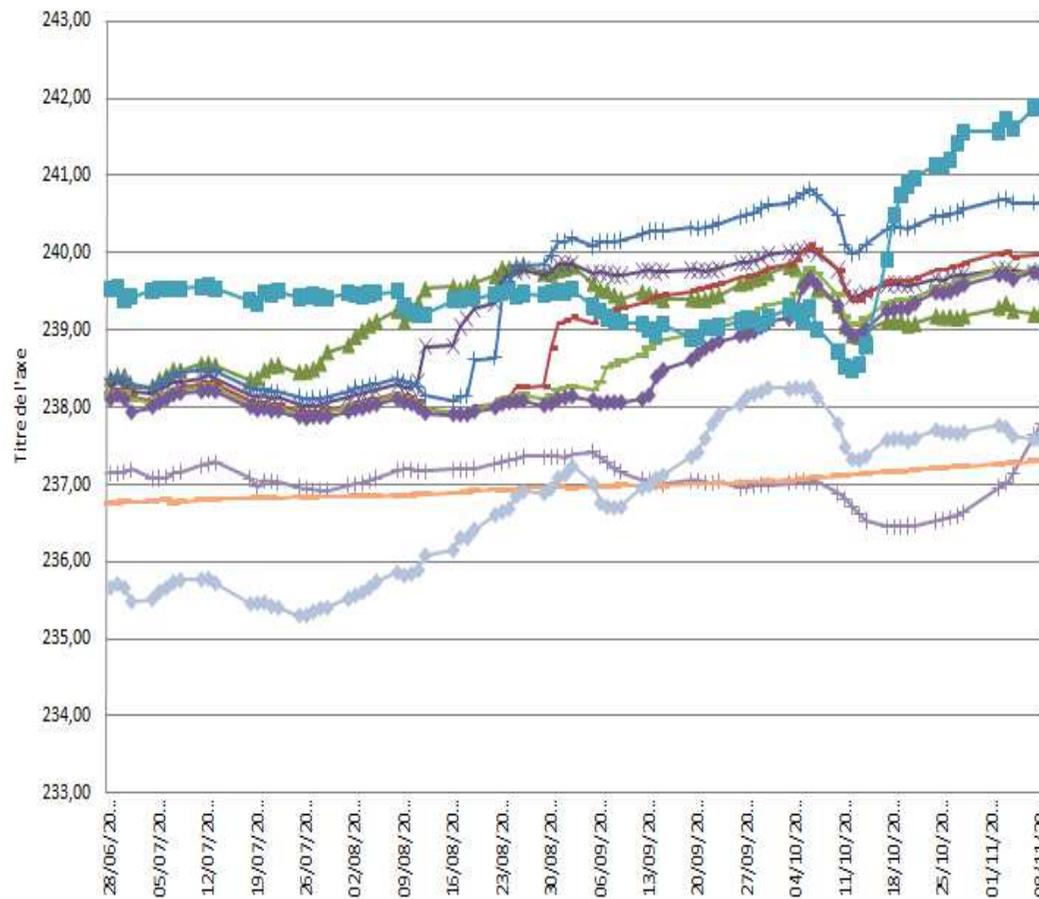
- Les travaux d'étanchéité (environ 30 km au total), entrepris pour limiter les fuites dans le contre canal, entraînent le plus fréquemment une hausse de la piézométrie à l'amont des parois créées et, souvent, l'activation de fuites aux extrémités des parois (effets de bord et apparition des fuites ponctuelles)

Répartition par technique d'étanchéité

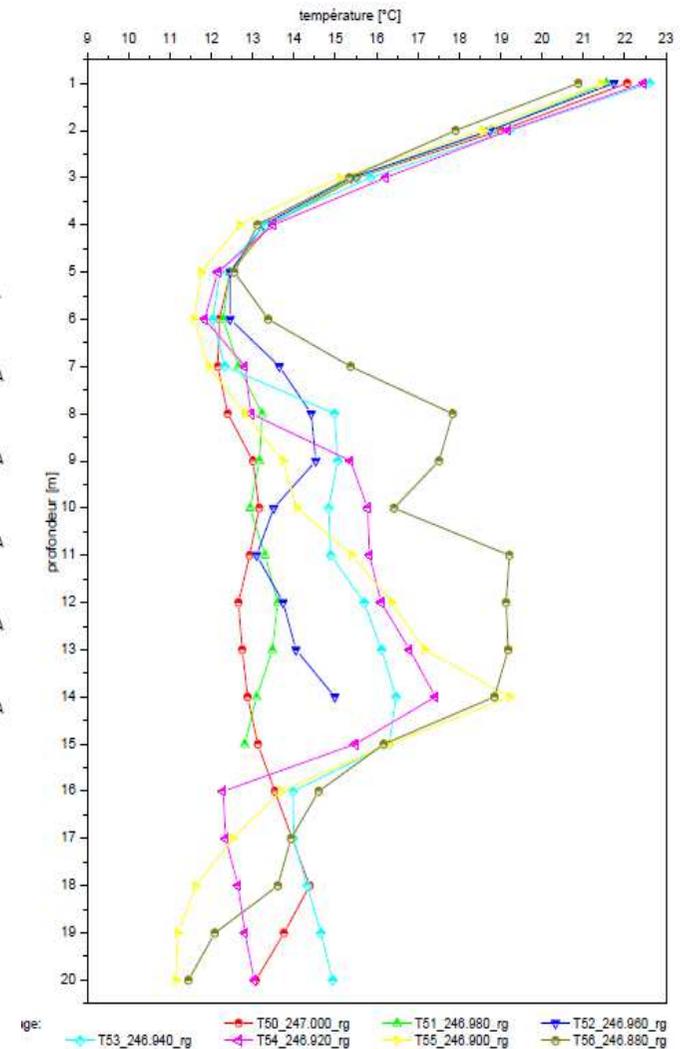


# Retour d'expérience sur le Grand Canal d'Alsace et le Rhin

Lecture des Piezomètres "A"



- RD2000 A (PK175,595)
- RD175,790 A
- RD 175,840 A
- RD 175,890 A
- RD 175,940 A
- RD 175,990 A
- RD 176,210 A
- RD 3000 (PK176,617)
- RD 3200 A (PK176,821)
- RD 3500 A (PK177,128)



# PAROI DE LA SAULCE

## ■ Barrage de La Saulce RD

- Canal de la Durance
- Digue de fermeture H=9m
- Noyau sans filtre

## ■ Géologie et traitement:

- Alluvions de la Durance
- Paroi à la benne H=20m

## ■ Incidents

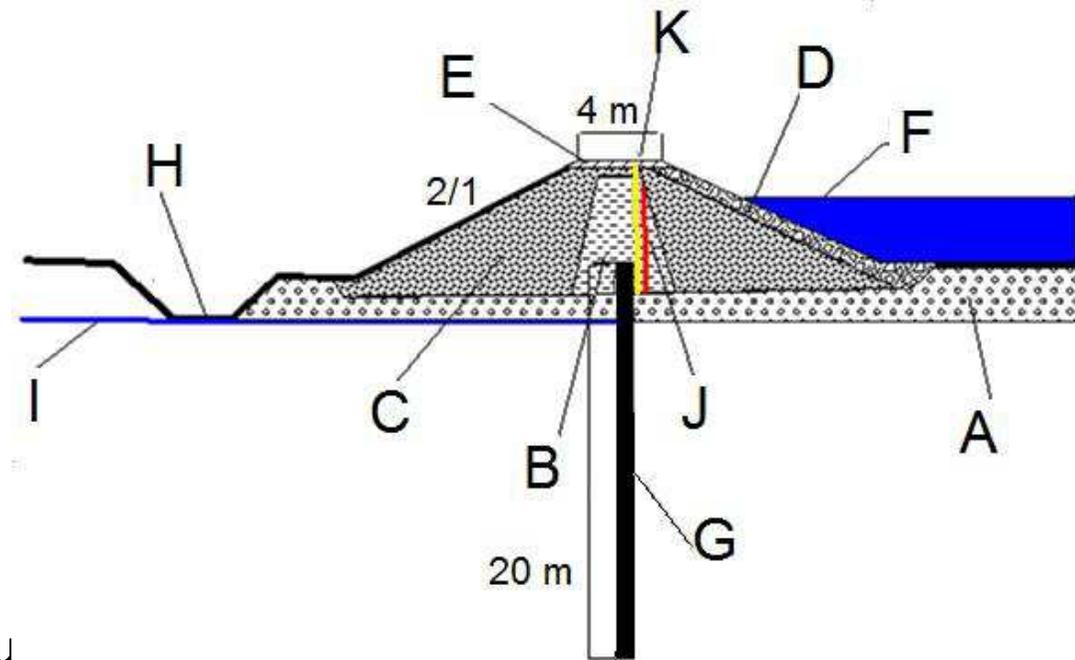
- Fuites et érosion interne du

## ■ Réparation: 2° paroi en 2005

- Rideau de palplanches à l'amont de la paroi

## ■ Résultats 10 ans après

- Plus de fuite,
- piézométrie basse,
- $k_{(\text{thermométrie})} = 10^{-7} \text{ m/s}$  (max  $10^{-6} \text{ m/s}$ )

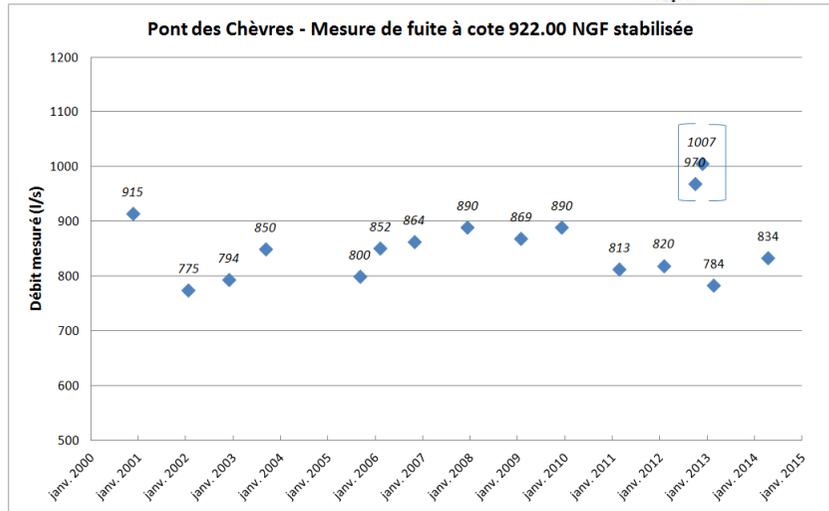
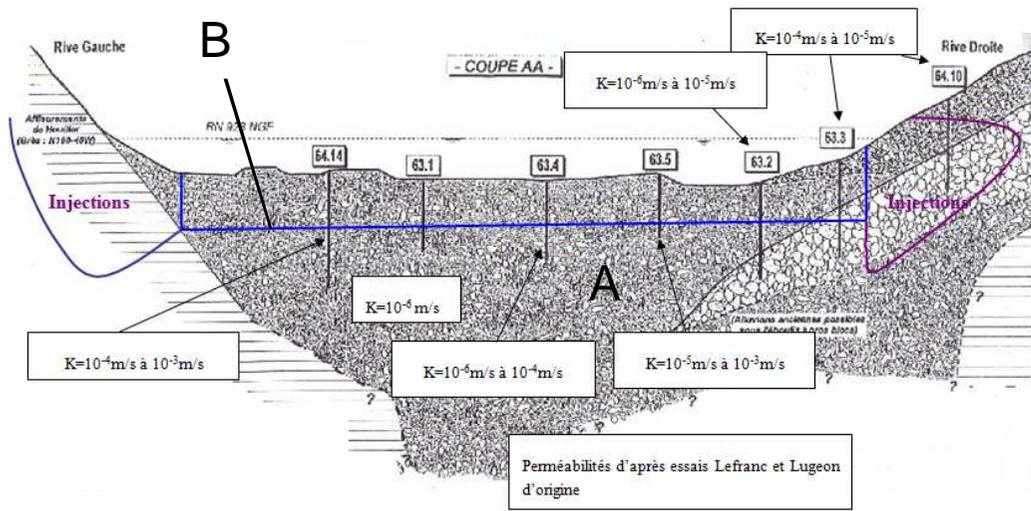
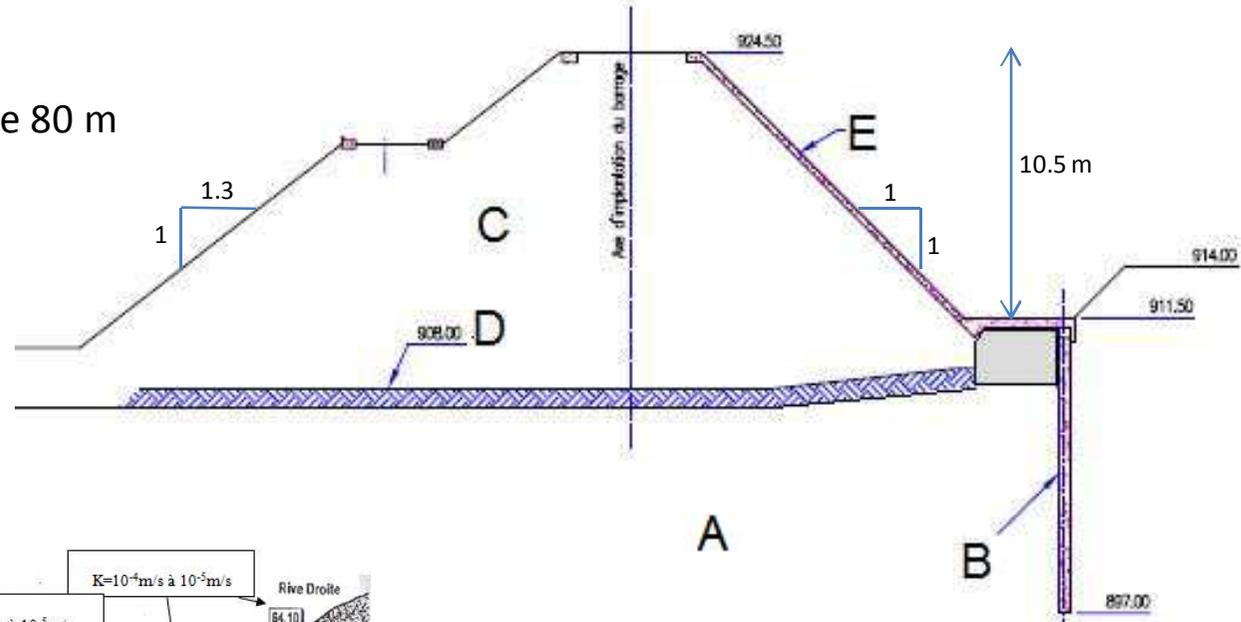


A	Alluvions de la Durance
B	Noyau limoneux
C	Recharge en alluvions compactées
D	Enrochements
E	Crête en grave
F	Niveau Retenue Normale
G	Paroi moulée
H	Canal de drainage
I	Niveau nappe aval
J	Palplanches foncées en 2005
K	Piezomètres installés en 2005

# FONDATIONS GLACIAIRES

# PAROI DE PONT DES CHEVRES

- A Remplissage fluvio-glaciaire de 80 m
- B Paroi moulée de 20 m
- C Remblai en enrochement
- D Filtre
- E Dalles de béton

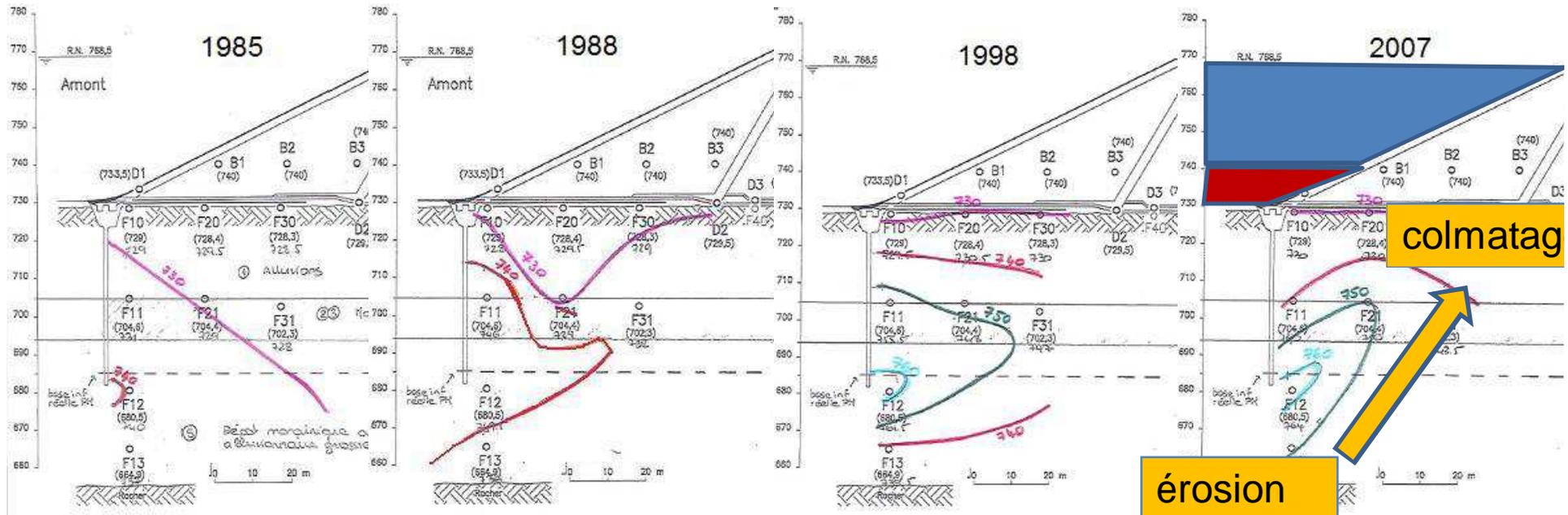
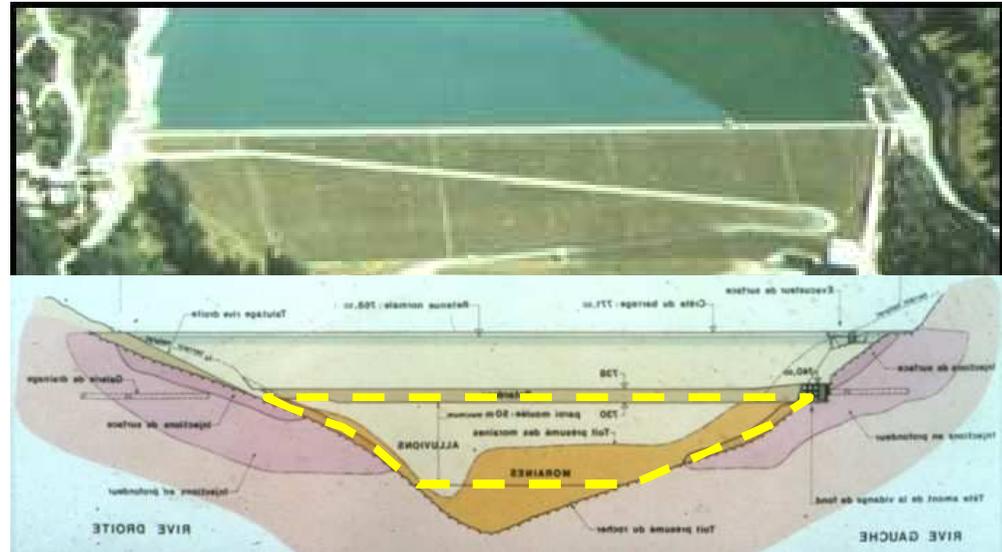






# PAROI DU BARRAGE DU VERNEY

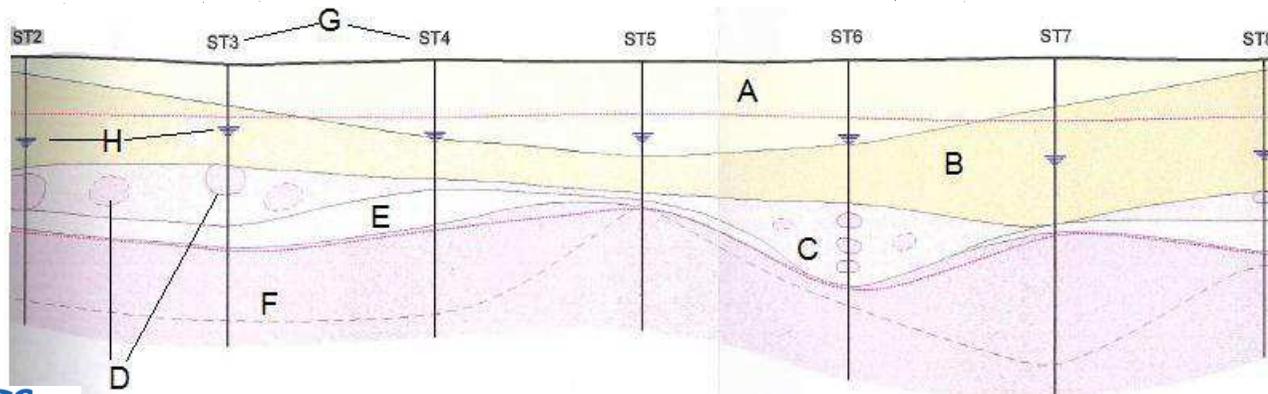
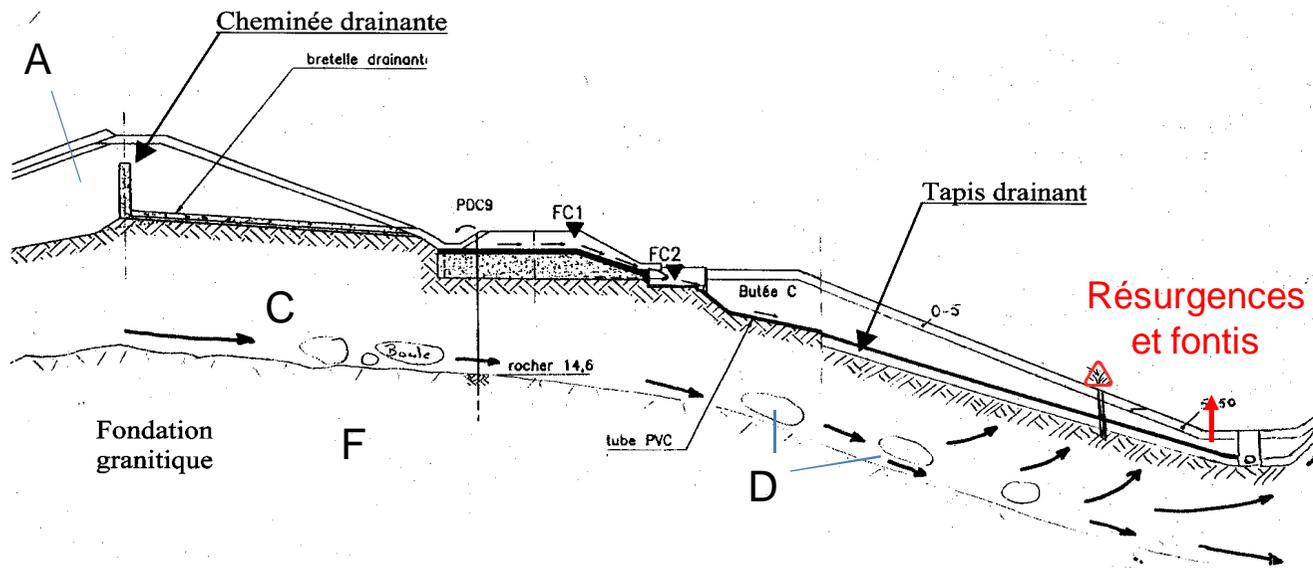
- Géologie: remplissage 80 m
  - Alluvions sur moraine dure
- Paroi moulée + injections:
  - H=47 m e=1,2m à l'amont
- Résultats:
  - Bon raccord avec masque
  - Débit constant (0 caniveau)
  - Suffusion sous contrôle



# FONDATIIONS D'ALTERATION GRANITIQUE

# PAROI DE PETIT SAUT (GUYANE)

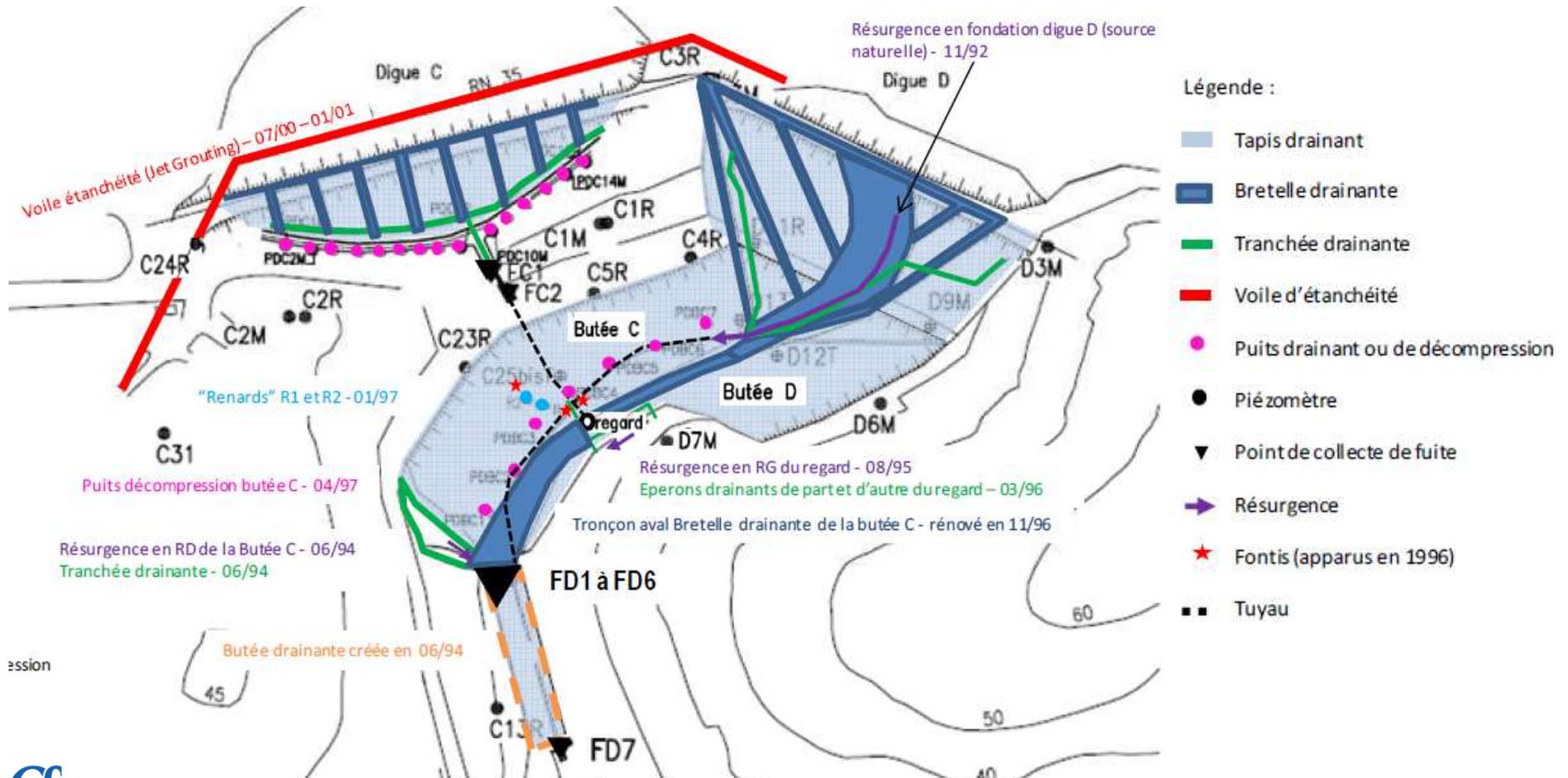
- Digue C : digue de fermeture en argile fondée sur un faciès d'altération granitique



- A Digue C
- B Argile d'altération
- C Gore
- D Boule de granite
- E Granite altéré
- F Granite sain
- G Puits drainants
- H Niveau d'eau

# PAROI DE PETIT SAUT (GUYANE)

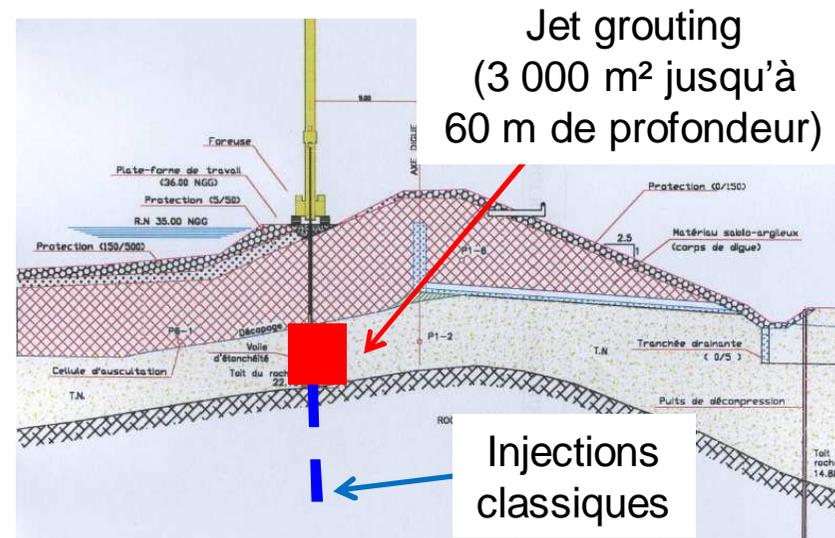
A la mise en eau, observation de désordres (boulanges, érosion de la butée de pied)  
 → travaux correctifs (tapis drainants, puits de décompression, voile d'étanchéité)



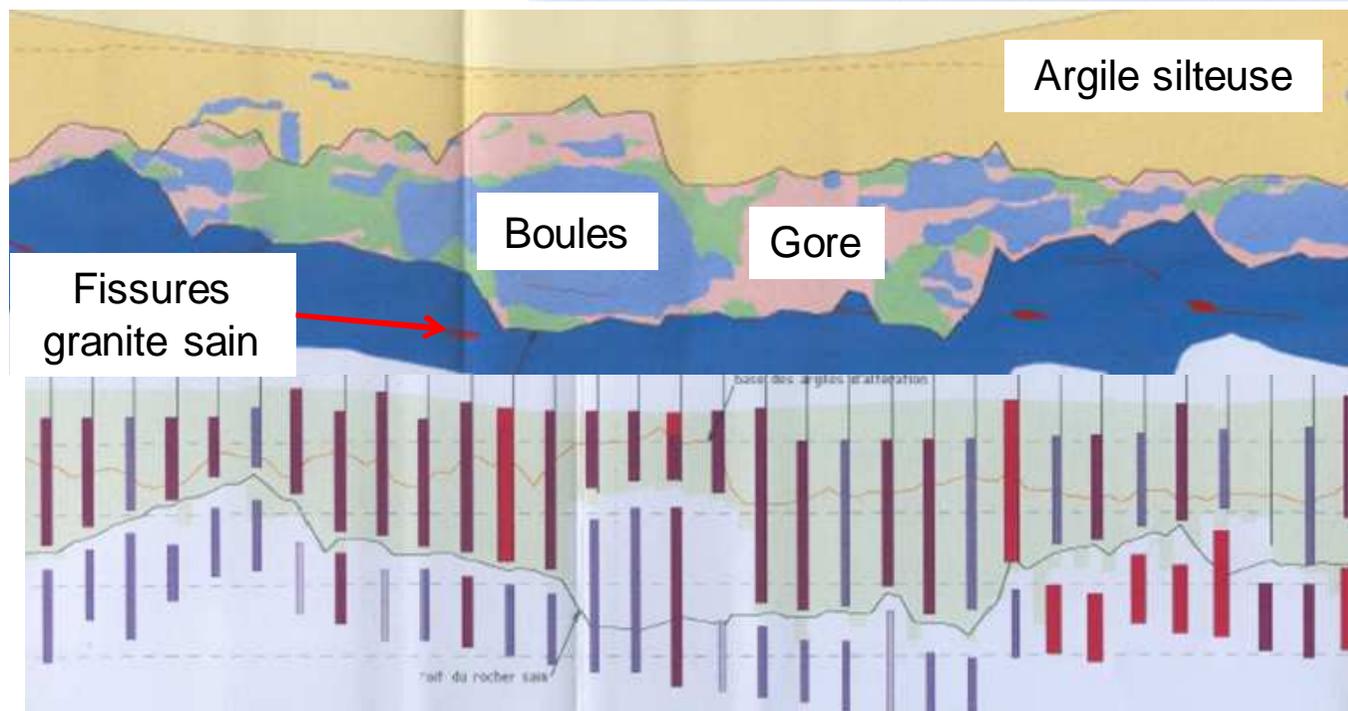
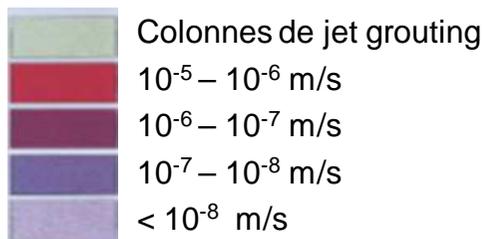
ession

# PAROI DE PETIT SAUT (GUYANE)

- Imperméabilisation réussie de terrains très complexes avec des horizons très variés (zones altérées et saines),
- Baisse de la piézométrie de plus de 2 m dans la zone à risque du pied de la butée C,
- Baisse des fuites de plus de 35 % des écoulements dans la fondation,

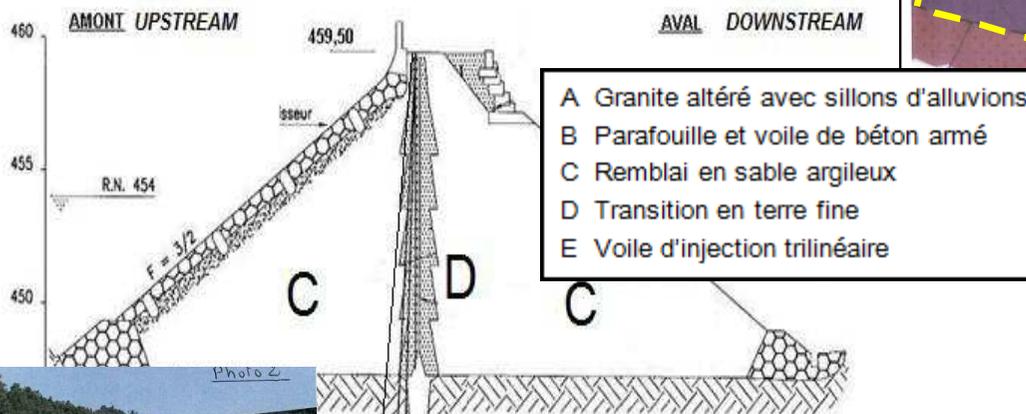
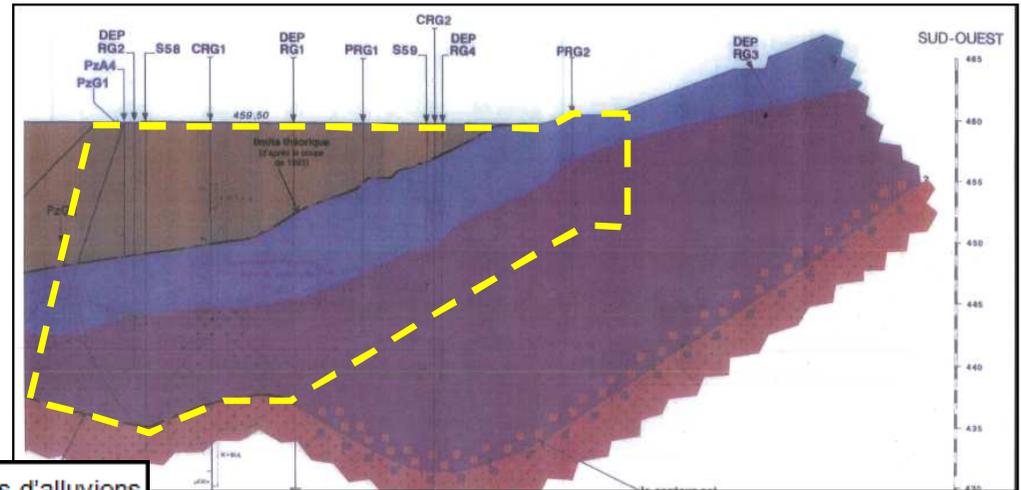


- Contrôles :
  - ❖ forages destructifs,
  - ❖ endoscopie,
  - ❖ inclinomètres,
  - ❖ « pseudo-Lugeons ».



# INJECTIONS RIVE GAUCHE A NEPES

- Digue RG h=13m L=50m (1945)
- Géologie: altération granitique
  - Alluvions, gore et granite altéré
- 3 voiles d'injections en 1992
  - Tubes à manchettes



A Granite altéré avec sillons d'alluvions  
 B Parafouille et voile de béton armé  
 C Remblai en sable argileux  
 D Transition en terre fine  
 E Voile d'injection trilineaire



## ■ Résultats chantier

- Débit divisé par 4
- Piézométrie baissée de 2-3m

## ■ Performance actuelle

- Piézométrie constante à RN
- Piézométrie croit en crue
- Vitesse écoulement forte
- Tassements continuent
- Surveillance nécessaire

# CONCLUSIONS

- **Le choix de la paroi dépend de:**
  - La profondeur à atteindre
  - La taille des blocs dans la zone à traiter
  - Le coût de la technique
- **La pérennité de la paroi dépend de:**
  - La qualité de la mise en place
- **L'efficacité de la paroi ancrée dépend de:**
  - Qualité des raccordements (sinon érosion décuplée)
  - Techniques de contrôle : piézomètres, thermométrie, essais d'eau
- **L'efficacité de la paroi non ancrée dépend de:**
  - Résistance à l'érosion interne de la zone de raccordement
  - Complément de résistance à l'érosion interne à l'aval du remblai
  - Techniques de contrôle : piézomètres, thermométrie, essais d'eau
  - Nécessité de surveillance