



# Barrage de Migoëlou

Les reconnaissances géotechniques  
révèlent des marges importantes vis-à-  
vis de la stabilité au glissement des  
contreforts

Symposium du CFBR, jeudi 25 janvier 2024  
Aix-les-Bains



# Sommaire

EDD décembre 2020 :  
étude de  
comportement →  
justification de la  
stabilité des contreforts

Reconnaisances  
géotechniques  
septembre 2021

Analyse du résultat des  
reconnaisances 2022-  
2023 et influence sur la  
justification de la  
stabilité



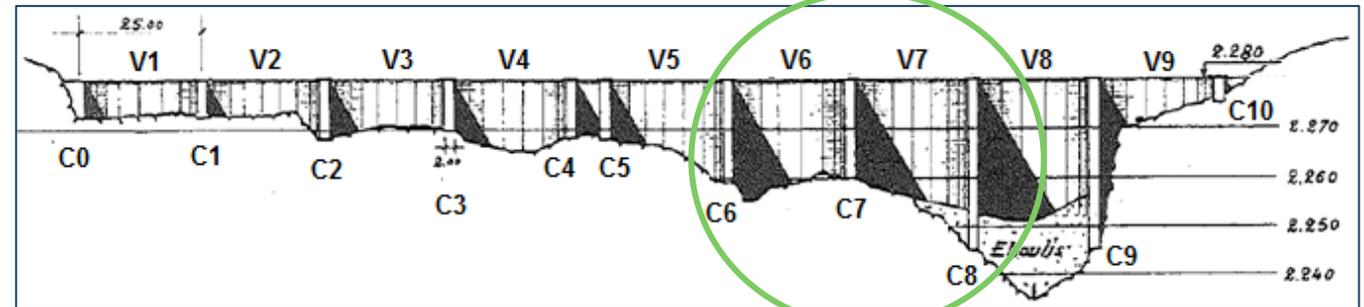
*Barrage de Migoëlou – Vue aval*



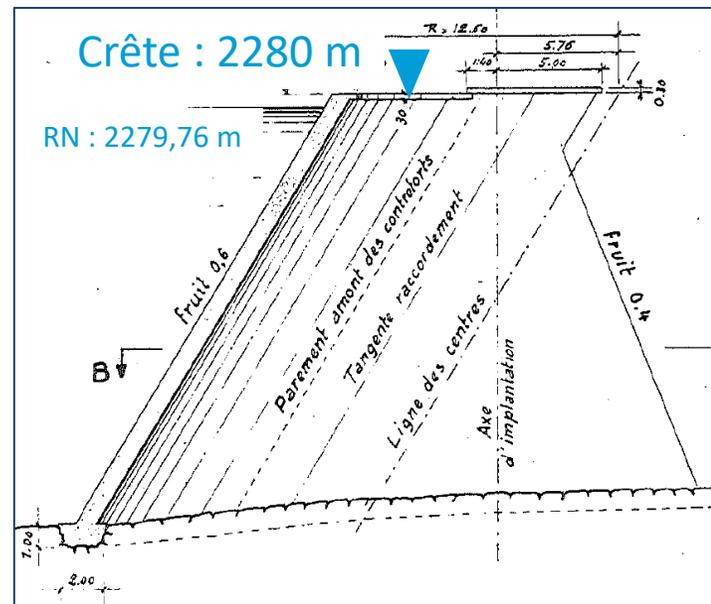
*Barrage de Migoëlou – Vue satellite*

# Etude de comportement (EDD 2020) : Présentation du barrage

- Construction : 1955-1958
- Mise en eau : 1959
- Matériau : béton
- Fondation : granite sain
- 9 voûtes, 10 contreforts
- Epaisseur voûtes = 1 m
- Epaisseur contreforts = 2 m
- Hauteur contreforts :
  - C6 et C7 = 20m
  - C8 = 30m



Vue aval



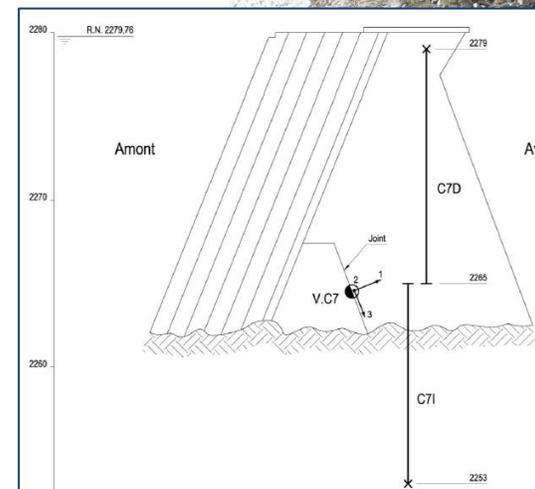
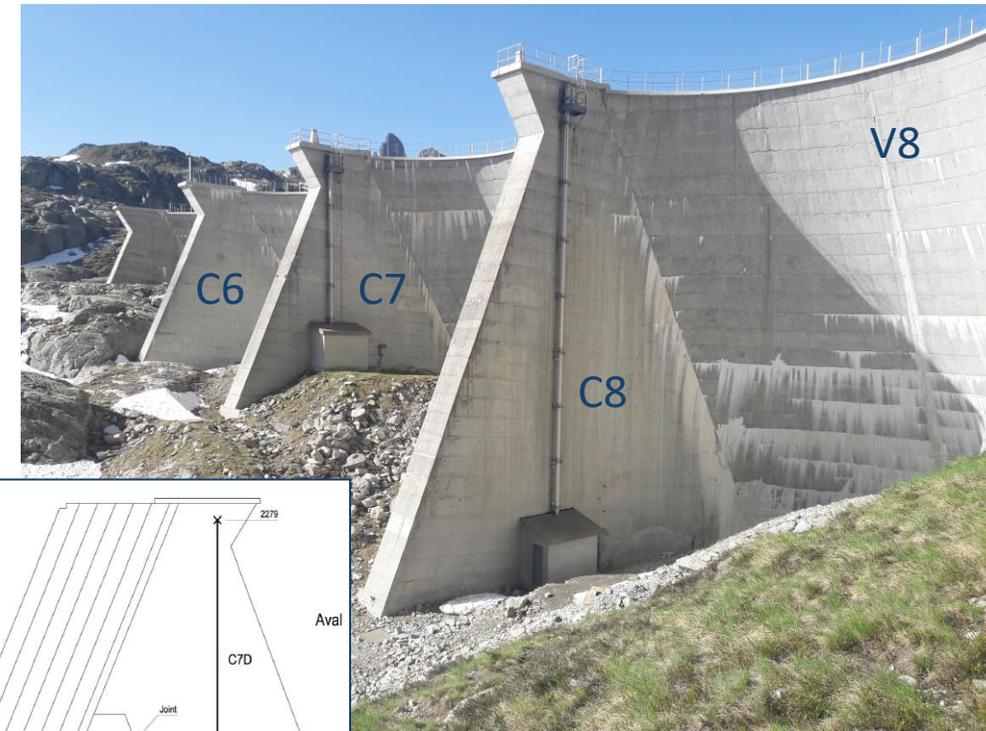
Coupe type d'un contrefort



Photo des C7 et C8 (vue aval)

# Etude de comportement (EDD 2020) : Auscultation, comportement et état du barrage

- Auscultation :
    - Très bon comportement de l'ouvrage
    - Déplacements réversibles faibles
    - Déplacements irréversibles vers l'aval très faibles
  - Etat général :
    - Parement aval peu fissuré et en très bon état général
    - Etanchéité parement amont renouvée par membrane CARPI en 2008
- A priori pour l'étude de comportement, pas de difficulté particulière anticipée !

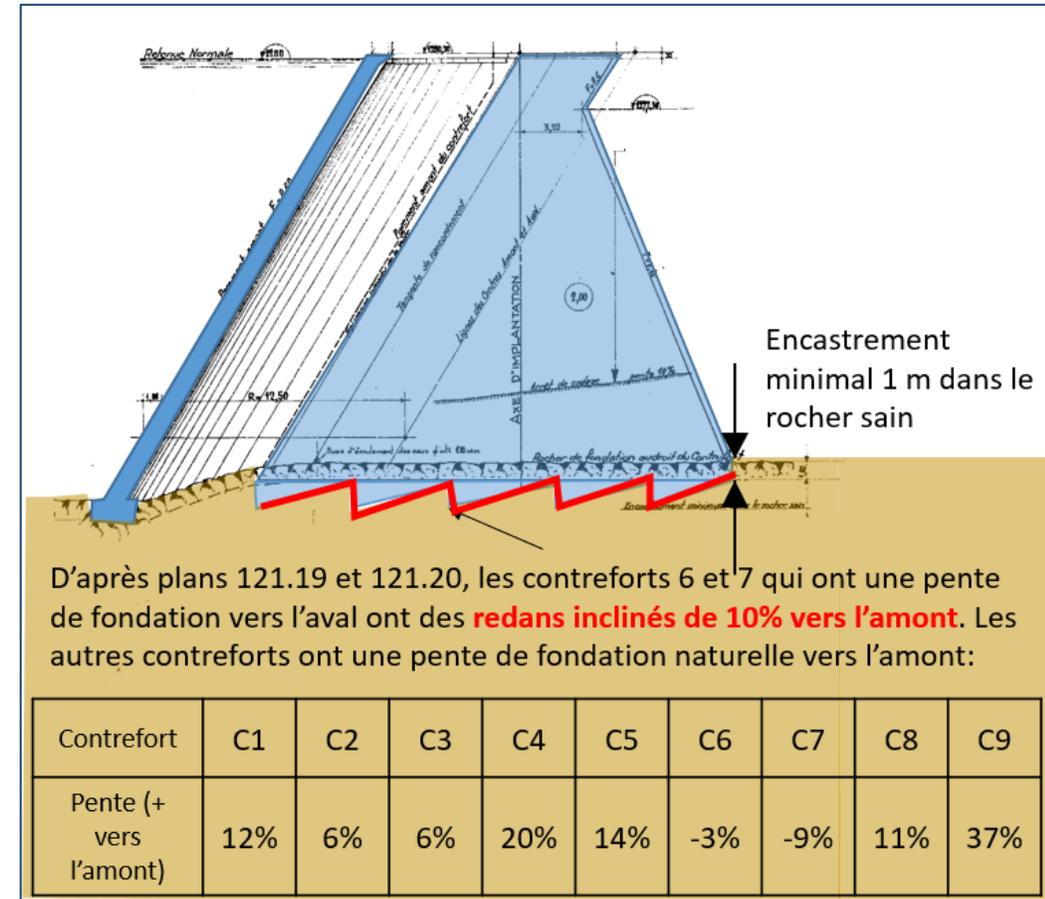


Pendules au contrefort C7

Vue RG des contreforts C6, C7, C8

# Etude de comportement (EDD 2020) : Informations sur la fondation du barrage

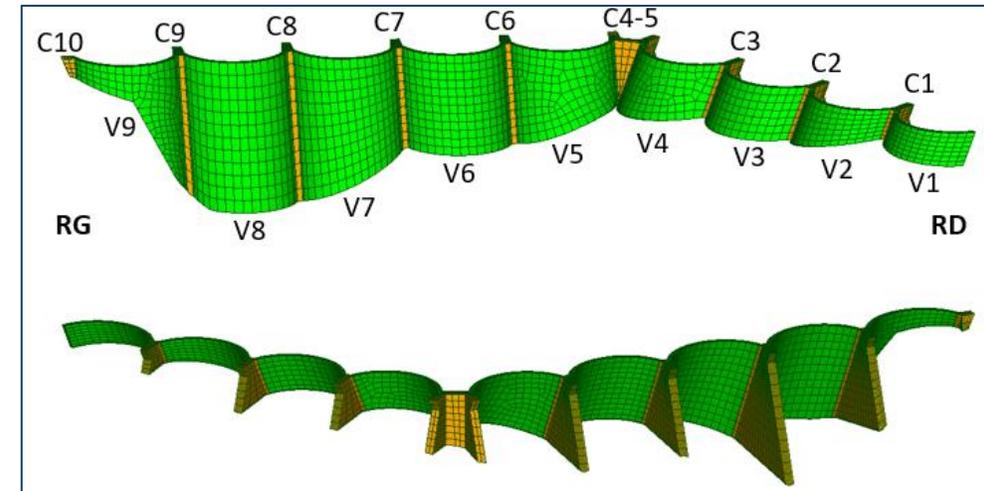
- Aucun plan de fond de fouille « conforme à exécution » retrouvé dans nos archives. D'après les plans disponibles :
  - Tous les contreforts les plus hauts ont une pente favorable de fondation d'au moins 10% (11% pour le contrefort C8), sauf C6 et C7.
  - Pour C6 et C7, des « redans » sont indiqués sur des plans de principes de ferrailage, inclinés favorablement de 10%.
  - Un encastrement minimal de 1 m dans le rocher sain est indiqué.



Dispositions constructives – Informations sur la fondation des contreforts

# Etude de comportement (EDD 2020) : Hypothèses de calcul pour le cas RN (contreforts)

- Stabilité à RN de C6, C7, C8
- *Recommandations CFBR pour la justification de la stabilité des barrages-poids (2012)*
- Mécanisme de rupture : glissement
- Résultantes issues du modèle numérique (modélisation avec joint au contact béton rocher)
- Paramètres de résistance en cisaillement du contact béton-rocher :



Maillage du modèle numérique du barrage

$$\varphi_{\text{contact}} = 45^\circ$$

$$C = 0 \text{ kPa}$$

$$\varphi_{\text{redans / pente favorable}} = 5,7^\circ \text{ (égal 10\%)}$$

# Etude de comportement (EDD 2020) : Conclusions de l'étude de comportement de l'EDD 2020

- 1<sup>er</sup> calcul : évaluation du facteur de sécurité avec cohésion nulle :

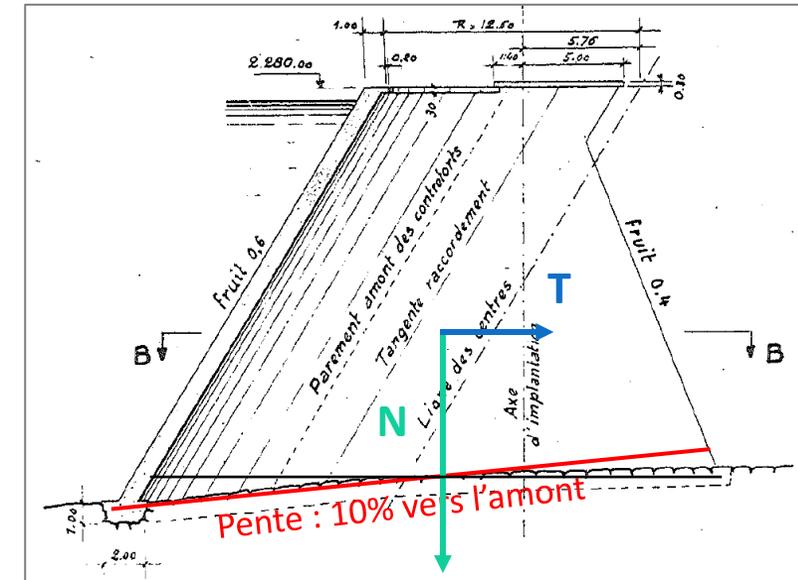
$$FS = \frac{N \cdot \tan(45 + 5,7) / 1,5}{T}$$

- 2<sup>nd</sup> calcul : évaluation de la cohésion mobilisée afin d'avoir FS = 1

$$C_{mob} = \left( T - N \cdot \frac{\tan(\varphi)}{1,5} \right) \cdot \frac{3}{S}$$

Calcul	C6	C7	C8
FS (pour $\varphi=45+5,7^\circ$ et $C=0$ )	1,04	0,93	0,97
$C_{mob}$	---	160 kPa	100 kPa

Résultantes et pente de fondation considérée pour le calcul de stabilité à RN des contreforts



Résultantes et pente de fondation considérée pour le calcul de stabilité à RN des contreforts

→ Hypothèse forte sur la présence des redans ou de la pente favorable vers l'amont à vérifier !

# Reconnaitances géotechniques : Objectifs

## 1. Vérifier la géométrie du contact :

a) Présence des redans pour les contreforts C6 et C7 ?

Réalisation de nombreux sondages pour recouper le contact béton-rocher et reconstituer la géométrie

b) Présence d'un encastrement des contreforts en fondation ?

Levé topo du TN tout au long du contrefort (à comparer avec l'altitude du contact béton-rocher)

c) Vérification de la pente « favorable » du contrefort C8

2 sondages suffisent

## 2. Evaluer la qualité du contact béton-rocher :

a) Est-il collé ?

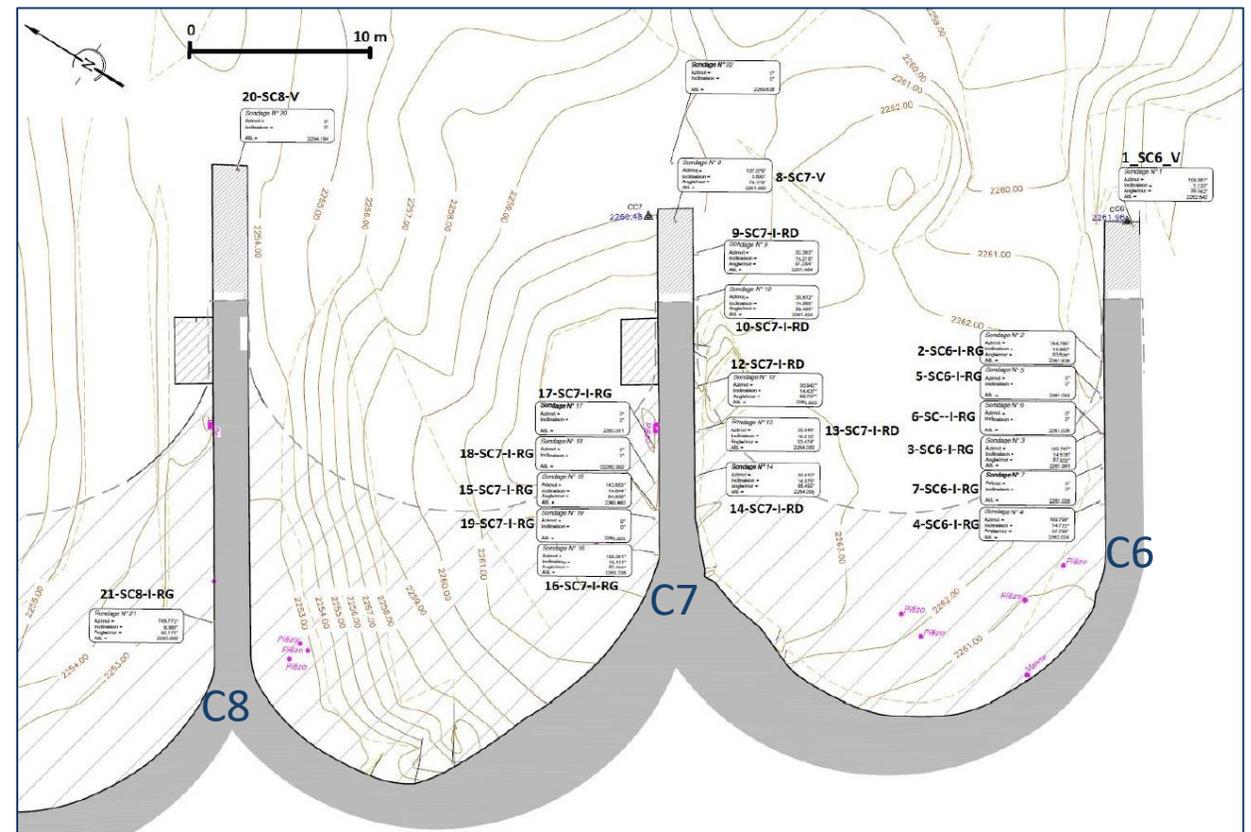
Imagerie de paroi

b) Quels sont les paramètres de résistance en cisaillement du contact ?

Essais de cisaillement sur contacts prélevés intacts

# Reconnaitances géotechniques : Sondages réalisés

- C6 :
    - 1 sondage vertical
    - 6 sondages inclinés (depuis la RG)
  - C7 :
    - 1 sondage vertical
    - 10 sondages inclinés (5 RD, 5 RG)
  - C8 :
    - 1 sondage vertical
    - 1 sondage incliné
- 20 sondages, Total 95 ml de forage



Vue en plan de l'implantation des sondages réalisés

# Reconnaissances géotechniques : Réalisation

- Période :  
24/08/2021-30/09/2021 (forte contrainte de fin de chantier avant chutes de neige)
- Machines de forage :
  - Légères car héliportage
  - Premiers sondages réalisés au carottier double, autorisé en cours de travaux carottier simple (respect des délais : forages deux fois plus rapides)



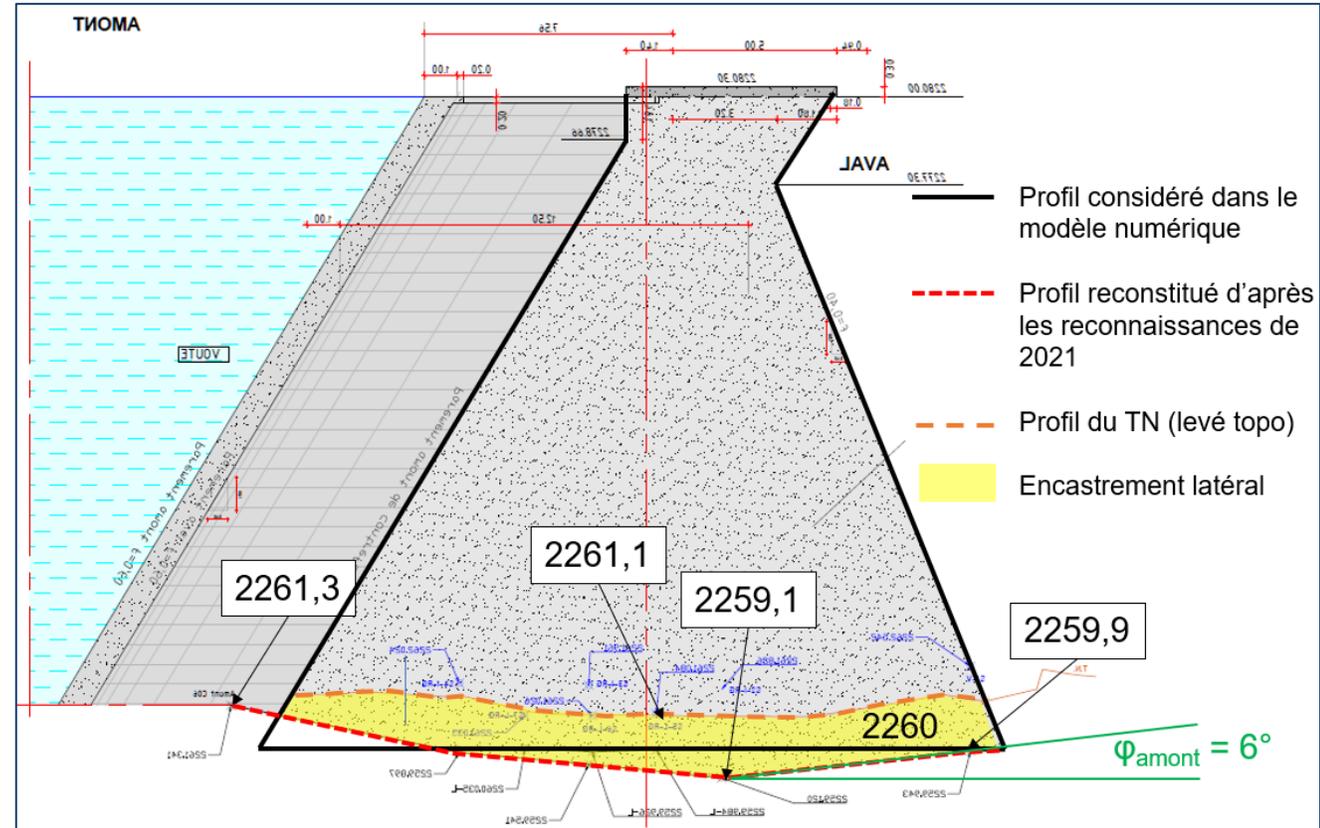
*Mise en station du forage vertical au contrefort C7*

# Analyse des résultats des reconnaissances : Objectif 1 → vérifier la géométrie du contact

- C6 :



Vue RG du contrefort C6



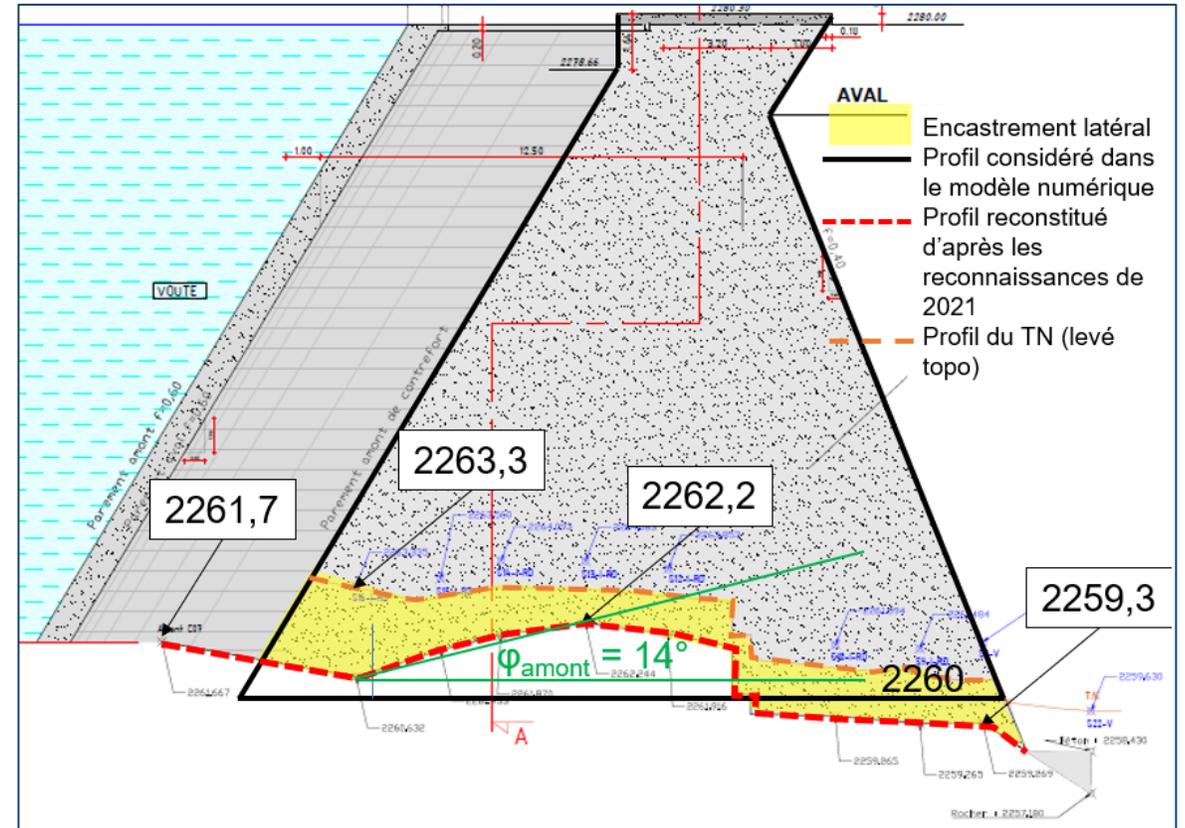
Profil amont-aval du contrefort C6 – comparaison du levé topographique du TN et des contacts observés par sondages

# Analyse des résultats des reconnaissances : Objectif 1 → vérifier la géométrie du contact

- C7 :



Vue RD du contrefort C7



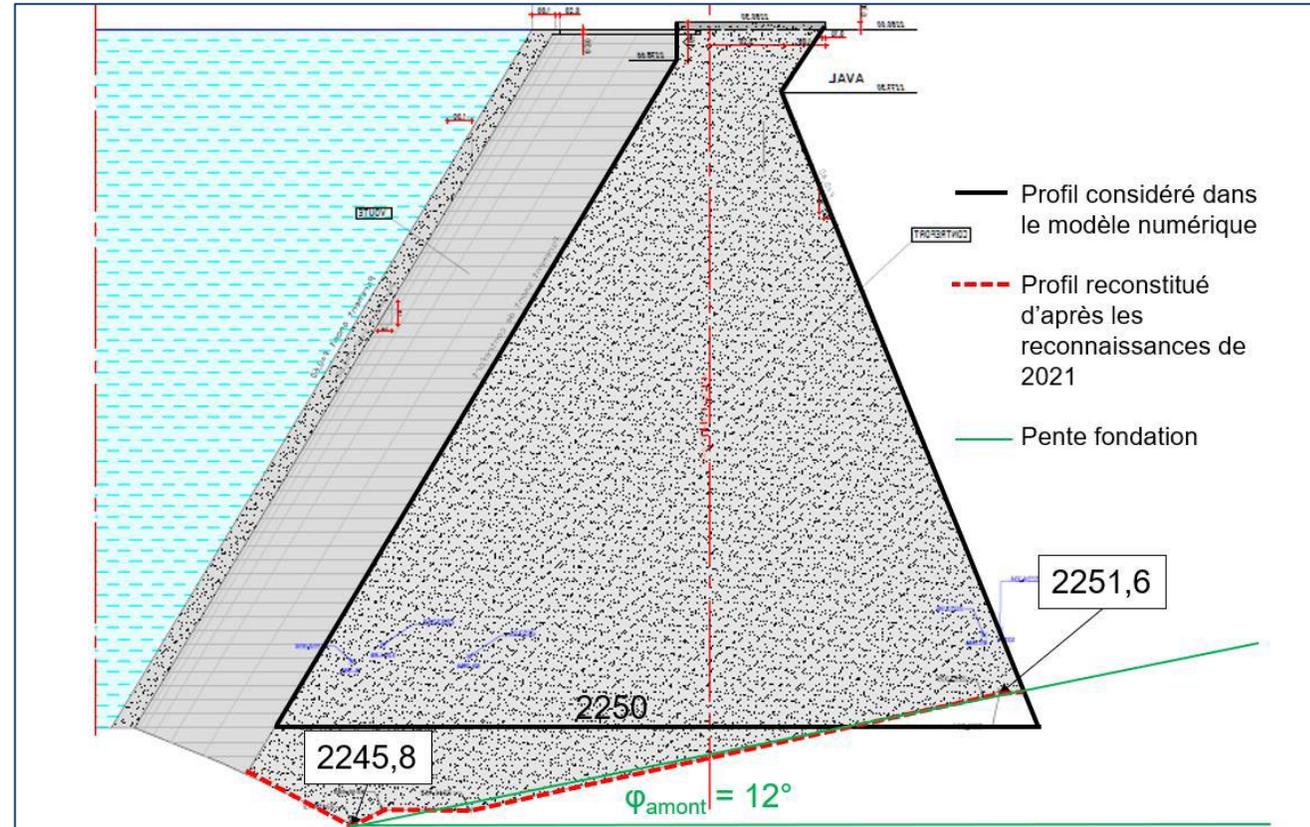
Profil amont-aval du contrefort C7 – comparaison du levé topographique du TN et des contacts observés par sondages

# Analyse des résultats des reconnaissances : Objectif 1 → vérifier la géométrie du contact

- C8 :



Vue RD du contrefort C8



Profil amont-aval du contrefort C6 – comparaison du levé topographique du TN et des contacts observés par sondages

# Analyse des résultats des reconnaissances :

## Objectif 1 → vérifier la géométrie du contact

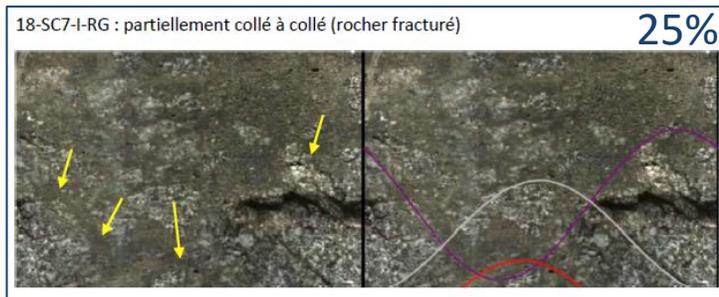
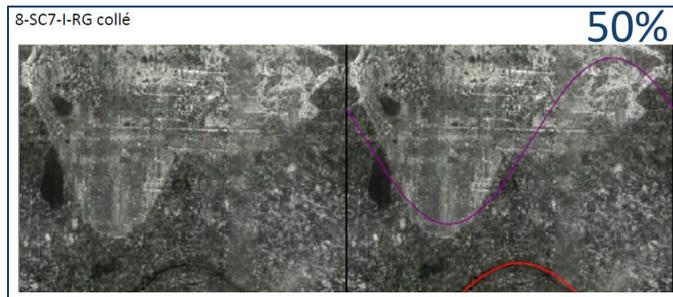
- **Conclusion**

- L'hypothèse de la présence d'indentation macroscopique d'une pente favorable vers l'amont d'a minima  $5,7^\circ$  est vérifiée pour tous les contreforts ;
- La présence d'un encastrement latéral d'a minima 1 m peut être considérée pour les contreforts C6 et C7 → cet encastrement va « ajouter » de la surface de contact béton-rocher à considérer dans le calcul.

# Analyse des résultats des reconnaissances :

## Objectif 2 : évaluer la qualité du contact béton rocher

- Imagerie de parois : 75% des contacts apparaissent collés à partiellement collés



*Exemples d'imageries de parois au contact béton-rocher : contact collé, partiellement collé et disjoint*

- Peu de contacts béton-rocher testables (raison géométrique: joint trop incliné), essais de cisaillements réalisés sur :
  - 4 joints rocheux
  - 1 contact béton-rocher

# Analyse des résultats des reconnaissances :

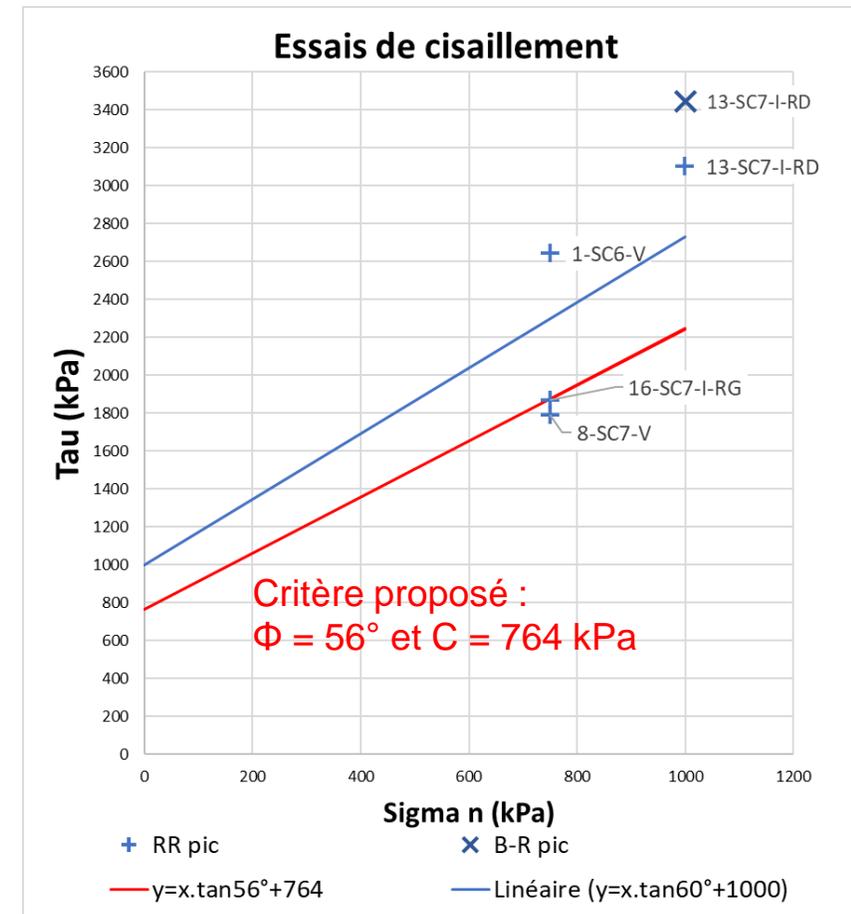
## Objectif 2 : évaluer la qualité du contact béton rocher

- Résultats des essais de cisaillement (extrait de la synthèse des reconnaissances du géologue) :

« Les valeurs très élevées de résistance au cisaillement sont dues à une ondulation très prononcée de la surface de contact, qui génère à la fois une forte dilatance, mais aussi une cohésion élevée (mobilisation de la cohésion matricielle très élevée, sur une surface réduite, lors de la rupture de ces excroissances au contact). »



Forte ondulation des joints à l'origine d'une dilatance très élevée



Résultats des essais de cisaillement de joints

# Calcul des facteurs de sécurité avec les nouveaux paramètres

- Résultats de la stabilité au glissement :

$$FS = \frac{N * \frac{\tan(\varphi_{tot})}{1.5} + S_{tot} * \frac{C}{3}}{T}$$

Etude		$\Phi_{contact} + \Phi_{geom} = \Phi_{tot} (^\circ)$	C (MPa)	$S_{contact} + S_{encastrement} = S_{tot} (m^2)$	FS
Etude de comportement (2020)	C6	45 + 5.7 = 50.7	0.000	48.2	1.04
	C7		0.160	49.6	1.00
	C8		0.102	70.4	1.00
Résultats des reconnaissances (2023)	C6	56 + 5.7 = 61.7	0.764	48.2 + 70 = 118.2	2.55
	C7			49.6 + 70 = 119.6	2.25
	C8			70.4	1.70

Synthèse des résultats de calcul de stabilité au glissement à RN des contreforts C6, C7, C8 : avant et après reconnaissances géotechniques

# Conclusion et REX

- Les reconnaissances géotechniques ont mis en évidence l'excellente qualité de fondation → on réalise rarement des campagnes de reconnaissances sur les ouvrages « sains » sans pathologie.
- Raisons de la réussite de ces reconnaissances :
  - Objectifs des reconnaissances clairs :
    - Définis par le géologue et par la personne en charge de l'étude
    - Partagés avec l'entreprise qui va les réaliser → permet de répondre au mieux au cahier des charges
  - Suivi de chantier « au plus proche » et adaptations en temps réel

Merci pour votre attention

[pauline.boffety@edf.fr](mailto:pauline.boffety@edf.fr)