



Journée des écoles CFBR – 14 octobre 2021

## LA COCHE G5 PELTON

*O. CHERUY – R. PLASSART (CIH)*



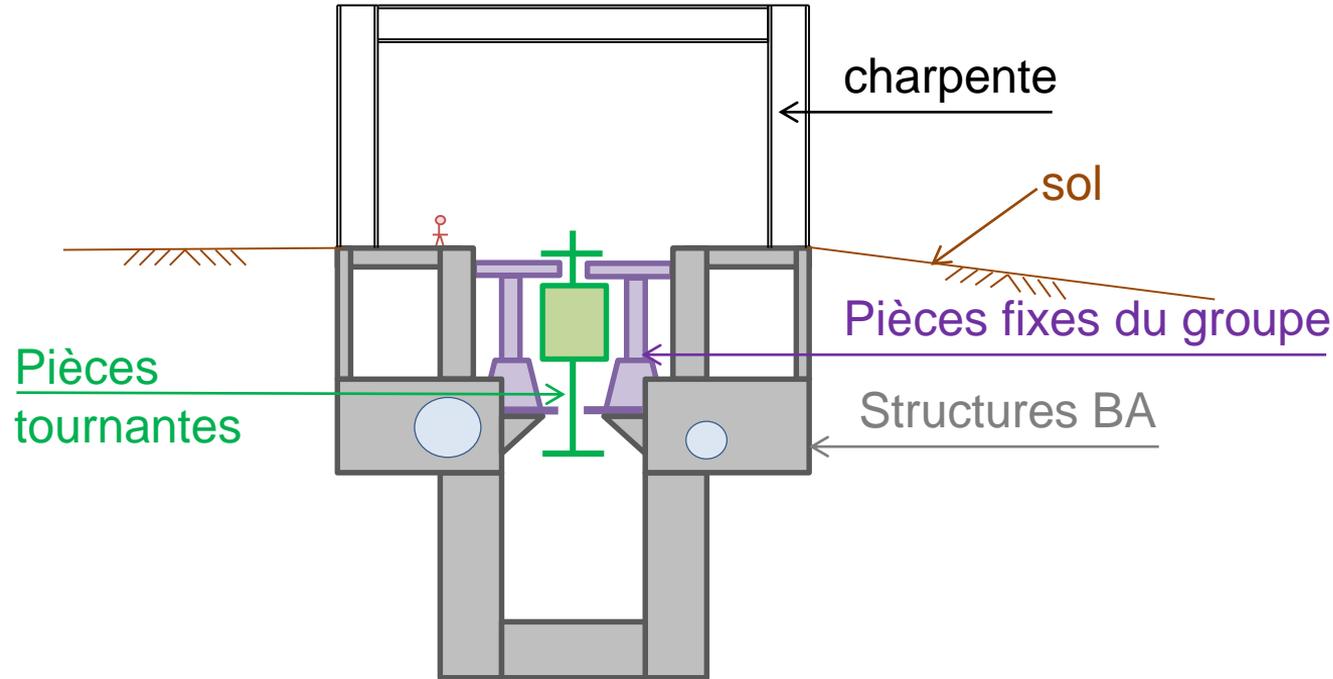
1. Problématique vibratoire (phase APD) et impact sur le design
2. Les travaux souterrains



# 1. Problématique vibratoire et impact sur le design

Données issues du travail de Nicolas Bagneux (EDF-CIH DT-ST)

## ► Rappel sur la notion de calcul vibratoire :



La rotation du groupe engendre des vibrations sur la structure BA

BUT : Déterminer les déplacements max de la structure BA afin d'éviter une détérioration de la ligne d'arbre

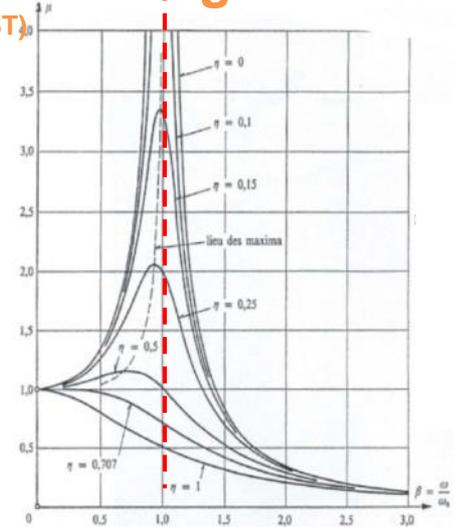
→ Calculs dynamiques

# 1. Problématique vibratoire et impact sur le design

Données issues du travail de Nicolas Bagneux (EDF-CIH DT-ST)

## ► Les données Electro-Mécaniques :

- La **vitesse de fonctionnement** du groupe est de  $428,57 \text{ tr/min}$  soit  $7,14 \text{ Hz}$ . **Si  $F = F_{\text{in}}$  soit  $7,14 \text{ Hz}$  → Résonance**
- La **vitesse d'emballage** du groupe est de  $780 \text{ tr/min}$  soit  $13 \text{ Hz}$
- La **plage de fonctionnement** de la machine est  $[0 ; 13] \text{ Hz}$  (initialement  $[0;15] \text{ Hz}$ )
- **Raideur d'appui** pris en compte pour calcul ligne d'arbre :  $5000 \text{ MN/m}$



Pas de fréquence de la structure BA dans cette plage



Dépendant de la fréquence



# 1. Problématique vibratoire et impact sur le design

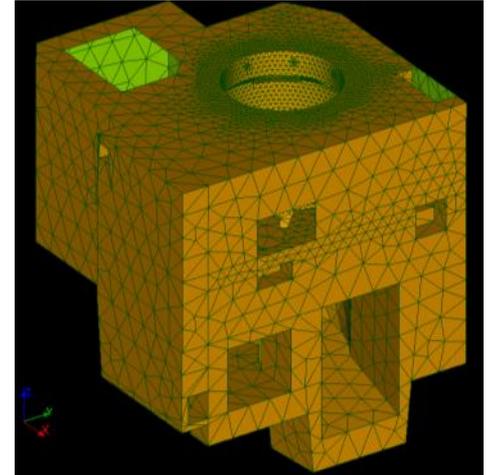
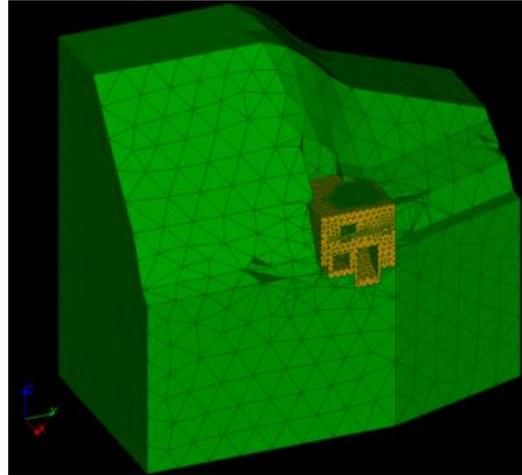
Données issues du travail de Nicolas Bagneux (EDF-CIH DT-ST)

## ➤ Etude vibratoire APD2 solution Falaise :

- Étude numérique Sol+Structure sur Code ASTER en élastique/dynamique
- Étude du décollement à l'interface Béton/rocher avec éléments joints en non linéaire
- Validations des modèles CIH par des contre-calculs réalisés par GDS sur Ansys et SASSI avec prise en compte de l'amortissement radiatif.

## ➤ Résultats :

- Fréquence du GC en dehors des plages du groupe
- Raideur du GC à F nominale du groupe  $> 5000 \text{ MN/m}$
- Raideur du GC à F d'emballlement du groupe à  $4000 \text{ MN/m} \Rightarrow$  Vérification par les mécaniciens





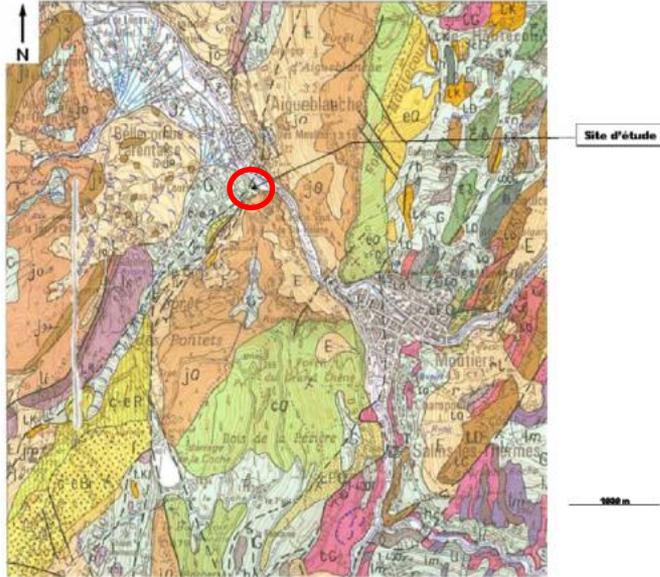
## 2. Travaux souterrains

### ➤ Lot RAM = Raccordement AMont

- Titulaire : Vinci (contrat conception/réalisation)
  - Réalisation d'une paroi clouée au portail d'entrée
  - Creusement en méthode traditionnelle (à l'explosif) de 325 ml de galerie (6 m de diamètre) et d'une caverne de raccordement à la CF existante
- Mission géotechnique G3 : Géolithe
- Mission géotechnique G4 : Ingénierie EDF (TEGG + CIH)
  - Aspects vibratoires : usine en exploitation, galeries existantes et approche conduite forcée,
  - Levés géologiques contradictoires du front (définition du soutènement adapté),
  - Conformité aux modèles géologique et géotechnique du marché.

## 2. Travaux souterrains

### ➤ Contexte géologique et reconnaissances :



- Alternance de schistes noirs et de bancs de brèches calcaires (unité du Quermoz) à proximité du contact régional entre zones externes et internes alpines
- Intégration des données historiques issues des reconnaissances de la caverne de l'usine souterraine de la Coche et des galeries existantes



Photographie 2 : faciès schisteux (SC3 41,30 à 43,30 m)



Photographie 1 : brèches de Tarentaise (SC4 13,70 à 15,70 m)

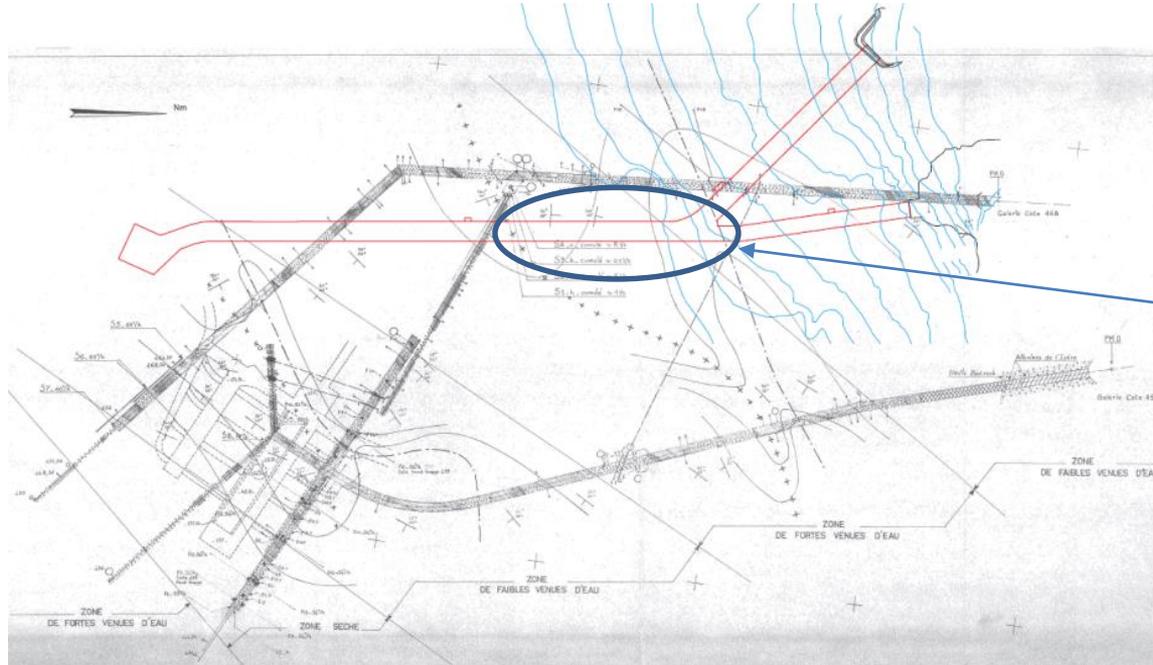
## 2. Travaux souterrains

- Contexte géologique et reconnaissances :
- Choix délibéré de ne pas mener de nouvelles reconnaissances pour la partie souterraine du projet (contexte bien connu, incertitudes géologiques jugées faibles, méthodes de creusement peu sensibles)

Implantation de la nouvelle galerie sur le synoptique de creusement historique



localisation précise des zones fracturées et/ou ouvertes avec fortes venues d'eau possibles (charnières de plis)



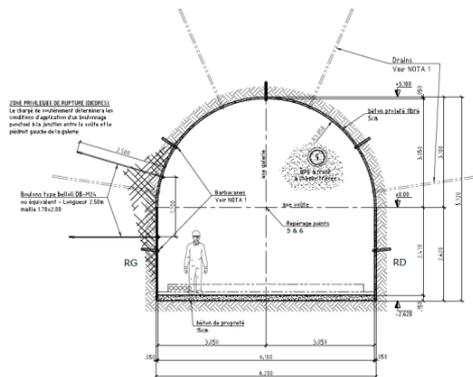
Zone de fortes venues d'eau attendues

## 2. Travaux souterrains

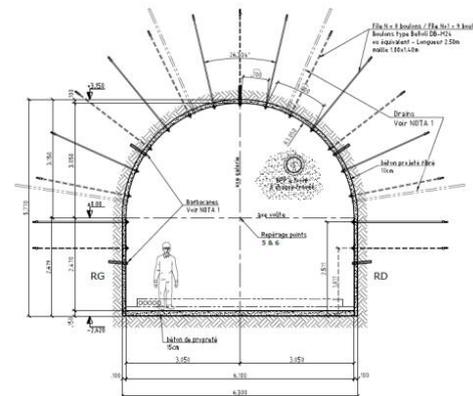
### ➤ Dimensionnement

- 5 profils-types de soutènement, associés à l'évaluation d'une note **Q-Barton**

Soutènement type T1



Soutènement type T3



- Note établie à chaque levé de front dans le cadre de la mission G3 et contrôlée/partagée par la mission G4 (plusieurs levés de front contradictoires effectués)
- Adaptation de la méthode mise en œuvre pour une meilleure justification du type de soutènement :
  - Ajout d'une évaluation complémentaire par la méthode **RMR** (en gardant le lien contractuel au Q-Barton)
  - Bornage de certaines caractéristiques

Données contractuelles :	
Terrain difficile :	$0,1 < Q < 1$
Terrain moyen :	$1 < Q < 10$
Bon terrain :	$Q > 10$

RMR = $50 + 15 \times \log(Q)$ Selon l'AFTES	
Données déduites (non contractuelles) :	
Terrain difficile :	$35 < RMR < 50$
Terrain moyen :	$50 < RMR < 65$
Bon terrain :	$RMR > 65$

# 2. Travaux souterrains

## Exemple de levé de front

TP		LEVE GEOLOGIQUE		EDF		LA COCHE PELTON Lot RAM - Raccordement Amont	
<b>INDICATIONS GENERALES DU FRONT</b>							
N° de levé :	91	Date :	27-mars-17	Heure :	22h45	Géologue :	G. DAVIGNIER
Mode d'excavation :	Explosif + BRH	Direction axe creusement :	N173	Section :	Absoutit	Visa :	F. FONTAINE
N° crotte (éventuel) :	/	Longueur voisie :	2,7	Profil de soutènement N-1 :			T1 SP
<b>PHOTOS ET OBSERVATIONS DU FRONT ET DES PAREMENTS</b>							
<p>PM FRONT 182,40</p>							
<b>DESCRIPTION GEOLOGIQUE</b>							
<p><b>Lithologie / Description du levé :</b> Unité géologique du Quermoz.          La travée est composée à 75% de brèches calcaire et à 25% de schistes noirs calcaire. Nombreux micro-plis dans les schistes noirs calcaire créant des discontinuités stratigraphiques.          Dans les brèches calcaires, des fractures F1 et F2 plurimétriques à remplissages de calcite et de quartz sont visibles. Voûte composée de brèches calcaire, peu fracturé et sans altération.          Bonne tenue lors de la purge.</p>							
<p>Venues d'eau : <input checked="" type="checkbox"/> absente <input type="checkbox"/> ponctuelle <input type="checkbox"/> diffuse      Commentaires : Sec.</p>							
<p>Estimation du débit : Ø L/min (estimé pour 10 m de tunnel)</p>							
<p>Qualité du découpage : <input type="checkbox"/> très bonne <input type="checkbox"/> bonne <input type="checkbox"/> moyenne <input type="checkbox"/> médiocre</p>							
<p>Anomalies éventuelles : (cavités, hors profils importants...)</p>							
<b>DISCONTINUITES (description suivant la méthode AFES - azimut/plongement du vecteur pendage)</b>							
Famille	Type	Orientation (α)	Pendage (β)	Espacement moyen	Ouverture (éventuelle)	Nature du remplissage	Orientation (selon classe AFES)
S0	Stratification	N 130	60°	Centimétrique	/	/	OBS
F1	Diaclases	N 300-330	80°	Pluri-décimétrique	1 mm	Taches altération	OIRab
F2	Diaclases	N 80	80°	Métrique	5mm	Quartz/calcite	OBS
F4	Diaclases	N 250	70°	Métrique	/	/	OIRab

TP		LEVE GEOLOGIQUE		EDF		LA COCHE PELTON Lot RAM - Raccordement Amont	
<b>COMMENTAIRES</b>							
<p>La travée est recoupée par les familles de discontinuités S0, F1, F2, F4.          Présence au front de nombreux micro-plis et des discontinuités stratigraphiques.</p> <p>La stratification est fermée, non altérée et n'est pas prise en compte dans la notation.          Les familles de discontinuités F1 et F2 sont nettement visibles dans les brèches avec une persistance plurimétrique et un remplissage de quartz/calcite et montrant localement des traces d'altérations.</p> <p>Un dièdre formé par la fracturation F2 et F4 est à conforter en rein gauche/voûte.</p> <p>Les notations Q barton et RMR qualifient le terrain en voûte comme bon.</p>							
<p><b>Proposition de soutènement :</b>          Profil T1 avec soutènement ponctuel composé de trois ancrages suivant l'implantation ci-dessous.</p>							
<b>CLASSIFICATION DU FRONT : Qbarton - RMR</b>							
Q Barton				RMR			
PARAMETRES	NOTE min	NOTE max	PARAMETRES	NOTE min	NOTE max		
RQD	80	90	Résistance roche (Rc)	7	7		
Jn (nbre de famille de discontinuité)	4	6	RQD	17	20		
Jr (Indice de Rugosité)	2	3	Espacement des discontinuités	15	15		
Ja (Indice d'altération)	0,75	2	Nature des discontinuités	20	25		
Jw (Indice d'eau)	1	1	Conditions hydrogéologiques	15	15		
Srf (Stress Reduction Factor)	2,5	2,5	Ajustement RMR (selon orientation)	-5	-2		
Valeur du Q Barton	5,3	36,0	Valeur du RMR89	69	80		
Les notes en "Gras" sont les paramètres limitant du soutènement en voûte							
<b>Q Barton représentatif en voûte :</b> > 10				<b>RMR représentatif en voûte :</b> > 70			
Terrain de mauvaise qualité : Q barton entre 0.1 et 1				Terrain difficile : RMR entre 35 et 50			
Terrain moyen : Q barton entre 1 et 10				Terrain moyen : RMR entre 50 et 65			
Bon terrain : Q barton > 10				Bon terrain : RMR > 65			
<b>Soutènement préconisé pour cette travée</b>							
<p>Profil <input checked="" type="checkbox"/> T1 <input type="checkbox"/> T2 <input type="checkbox"/> T3 <input type="checkbox"/> T4 <input type="checkbox"/> T5</p>							
<p>Drainage des venues d'eau : <input type="checkbox"/> OUI <input checked="" type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/> Forage d'appel</p>							
<p>Implantation des confortements ponctuels pour le profil T1</p>							

## 2. Travaux souterrains

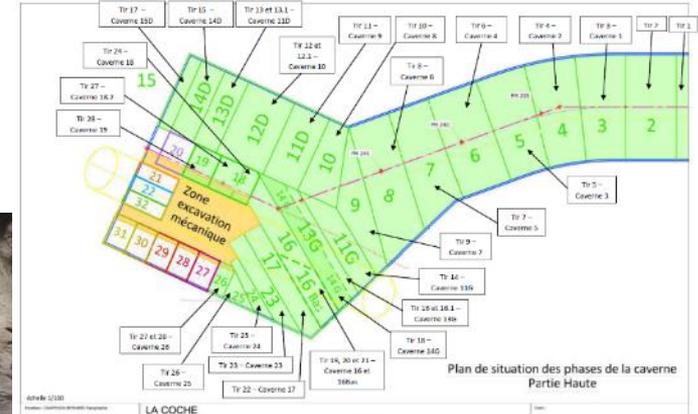
### ➤ Travaux d'exécution :

- Cadence moyenne de creusement :
  - 3 m par volée,
  - 1 volée par jour (2 par jour lors du creusement simultanée des galeries amont et aval),
  - 33 m<sup>3</sup>/j.
- Géologie conforme au modèle
- Pas de venues d'eau aussi fortes que redouté
- Soutènement par clouage relativement limité



## 2. Travaux souterrains

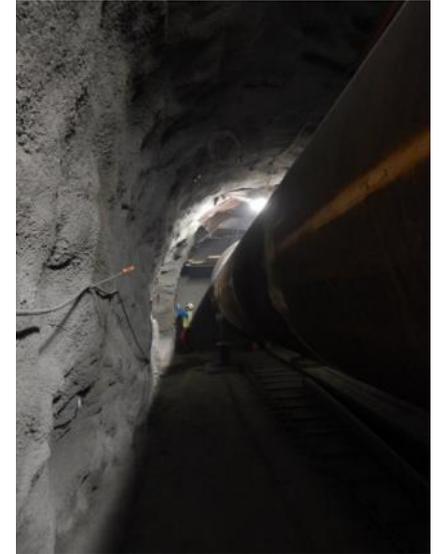
- Approche de la conduite et caverne
- Arrêt à 20 m de la conduite
- Méthode (micro-minage et BRH) et phasage adaptés



## 2. Travaux souterrains

### ➤ Mise en place de la conduite

- Découpage de la CF existante → approvisionnement de la culotte de bifurcation → soudure
- Sur tout le linéaire : approvisionnement des viroles (segments de blindage) soudées entre elles et posées sur pilettes
- Remplissage béton de la caverne et du rameau aval



MERCI DE VOTRE ATTENTION



$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

où  $RQD$  est le *Rock Quality Designation index*,  
 $J_n$  est un nombre caractérisant l'ensemble formé par les familles de joints,  
 $J_r$  caractérise la rugosité des joints,  
 $J_a$  caractérise l'altération des joints,  
 $J_w$  est le facteur de réduction hydraulique des joints,  
 $SRF$  est le facteur de réduction des contraintes (*Stress Reduction Factor*)

### INDICE Q DE BARTON

**RQD (Rock Quality Designation)**

Très médiocre	RQD = 0 – 25%
Médiocre	25-50
Moyen	50-75
Bon	75-90
Excellent	90-100

Notes :  
 (i) Quand la valeur du RQD est < 10 (y compris 0), on utilise une valeur nominale de 10 pour évaluer Q  
 (ii) Les intervalles RQD de 5, i.e. 100, 95, 90, etc. ... sont suffisamment précis

**Jn (indice des familles de joints)**

Rocher massif, joints rares ou absents	Jn = 0.5 - 1
Une famille de joints	2
Une famille + joints erratiques	3
Deux familles	4
Deux familles + joints erratiques	6
Trois familles	9
Trois familles + joints erratiques	12
Quatre familles ou plus, joints erratiques	15
Rocher broyé, meuble	20

Notes : (i) pour les intersections de tunnel, utiliser (3.0xJn),  
 (ii) pour les têtes d'accès, utiliser (2.0xJn)

**Jw (Influence de l'eau en charge)**

Excavation à sec ou faibles venues d'eau (< 5 l/mn localement)	Pw < 1 kg/cm <sup>2</sup>	Jw = 1
Venues d'eau ou pressions faibles, débouillage occasionnel au droit d'un joint	1 – 2.5	0.66
Fortes venues d'eau ou pression importante dans du rocher à joint sans remplissage	2.5 – 10	0.5
Fortes venues d'eau ou pression importante, débouillages fréquents	2.5 – 10	0.3
Très fortes venues d'eau lors des tirs, diminuant ensuite avec le temps	> 10	0.2 - 0.1
Très fortes venues d'eau ou pressions très importantes sans réduction notable avec le temps	> 10	0.1 - 0.05

Notes : (i) les 4 derniers indices sont des estimations grossières. Augmenter la valeur de Jw en cas de mise en place d'un dispositif de drainage.  
 (ii) les problèmes particuliers liés à la formation de glace ne sont pas pris en compte.

**Jr (Indice de rugosité des joints)**

a) Epentes en contact		c) Epentes hors contact après cisaillement	
b) Epentes en contact après cisaillement de - de 10 cm			
Joints discontinus	Jr = 4	Zone argileuse d'épaisseur suffisante pour empêcher le contact	Jr = 1.0
Joints ondulés, rugueux ou irréguliers	3	Zone sableuse, graveleuse ou broyée d'épaisseur suffisante pour empêcher le contact	
Joints ondulés, lisses	2		
Joints ondulés, striés (lisses, luisants, poils)	1.5		
Joints plans, rugueux ou irréguliers	1.5		
Joints plans, lisses	1.0		
Joints plans, striés	0.5		

Nota : (i) les descripteurs se réfèrent à des éléments de petites ou moyennes dimensions, dans cet ordre.  
 Notes : (i) ajouter 1.0 si l'espacement moyen des joints est supérieur à 3 m.  
 (ii) Jr=0.5 si les joints plans et striés comportent des lésions et que celles-ci sont orientées de telle sorte qu'elles peuvent amorcer une rupture.

**SRF (Stress Reduction Factor)**

Coupage recoupant des zones de faiblesse provoquant la décompression du rocher lors du percement	Zones de faiblesse fréquentes, contenant de l'argile ou du rocher décomposé chimiquement, rocher environnant très décomprimé (toutes profondeurs)	SRF = 10
	Zones de faiblesse individuelles, contenant de l'argile ou du rocher décomposé chimiquement (prof. de l'excavation < 50 m)	5
	Zones de faiblesse individuelles, contenant de l'argile ou du rocher décomposé chimiquement (prof. de l'excavation > 50 m)	2.5
	Nombreuses zones de cisaillement en rocher sain, sans argile (toutes profondeurs)	7.5
	Zones de cisaillement individuelles en rocher sain, sans argile (prof. de l'excavation < 50 m)	5
	Zones de cisaillement individuelles en rocher rigide, sans argile (prof. de l'excavation > 50 m)	2.5
	Joints ouverts, rocher très fracturé et décomprimé, " morceaux de sucre ", etc. ... (toutes profondeurs)	5

Nota : (i) réduire l'indice SRF de 25 à 50% si les zones de cisaillement influent sur l'excavation mais ne la traversent pas.

**Ja (Indice d'altération des joints)**

Epentes en contact	Caractère du joint	Conditions	Epente	
	Joints propres	Joint serré, recimenté	Remplissage de quartz, épidote, etc	Ja = 0.75
		Epentes non altérées	Pis d'enduit, taches superficielles	1
		Epentes légèrement altérées	Enduit minéral non radoucissant, grains sans argile	2
	Enduits ou remplissage	Enduits à frottement	Sable, silt, calcaire, etc (non radoucissant)	3
		Enduits à cohésion	Argile, chlorite, talc, etc (radoucissant)	4
Epentes en ou hors contact	Remplissage	Type	Epentes à contacts Remplissage léger (< 5 mm)	Epentes hors contact Remplissage épais
	Matériaux flottant	Sable, silt, calcaire, etc	Ja = 4	Ja = 8
	Remplissage fortement surconsolidé	Remplissage compact d'argile, chlorite, talc, etc	6	5 - 10
	Remplissage légèrement surconsolidé	Surconsolidation légère ou moyenne d'argile, de chlorite, talc, etc	8	12
	Remplissage d'argiles gonflantes	Matériaux gonflants (ex montmorillonite)	8 - 12	13 - 20

		$S_r / \sigma_1$	$\sigma_1 / \sigma_3$	SRF
Rocher sain, problèmes de contraintes in situ	Contraintes faibles, excavation peu profonde	> 200	< 0.01	2.5
	Contraintes moyennes	200 - 10	0.01 - 0.3	1
	Contraintes importantes, structure très serrée (condition normalement favorable à la stabilité mais peut être défavorable à la tenue des piedroits)	10 - 5	0.3 - 0.4	0.5 - 2
	Mouvements de toit modérés (rocher massif)	5 - 3	0.5 - 0.65	5 - 50
	Quelques " chutes de toit " (rocher massif)	3 - 2	0.65 - 1	50 - 200
	" Chutes de toit " importantes (rocher massif)	< 2	> 1	200 - 400

Notes : (i) Si l'état de contraintes initiales est fortement anisotrope (si mesuré) : pour  $S_r < 0.1/0.3 < 10$ , réduire oc à 0.75 oc. Pour  $0.1/0.3 > 10$ , réduire oc à 0.5 oc.  
 (ii) Il est rare que la hauteur de couverture au-dessus du toit soit plus faible que la largeur de l'ouvrage. Si c'est le cas, il est suggéré de porter l'indice SRF de 2.5 à 5.

		q <sub>i</sub> / oc	SRF	
Rocher " poussant "	Déformation plastique du rocher sous l'action de fortes contraintes naturelles	Moyenne pression	1 - 5	5 - 10
		Fortes pression	> 5	10 - 20
Rocher " gonflant "	Action chimique en fonction de la présence d'eau	Moyenne pression		5 - 10
		Fortes pression		10 - 15