

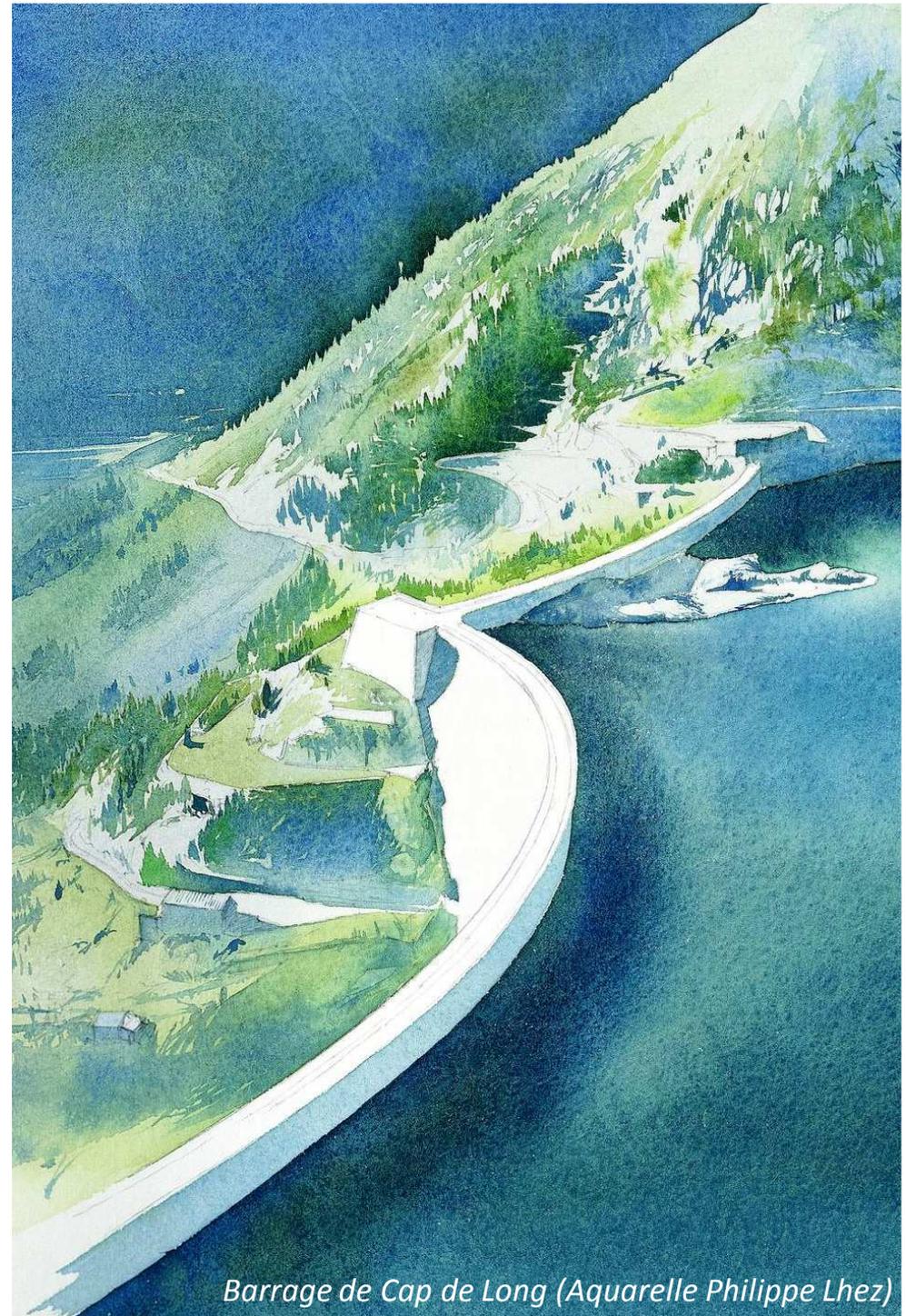


Thème A: Géologie et nature des fondations : reconnaissances, interprétation et caractérisation

UNE NOUVELLE CARACTÉRISATION DES FONDATIONS ROCHEUSES POUR UNE MEILLEURE APPROCHE DE LA RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT D'UNE INTERFACE BÉTON-ROCHE.

Auteurs: Hussein Mouzannar, Marion Bost, Patrick Joffrin (IFSTTAR)

Colloque CFBR – Fondations des Barrages  
8 et 9 avril 2015 – Chambéry



Barrage de Cap de Long (Aquarelle Philippe Lhez)

# SOMMAIRE

## 1.INTRODUCTION

## 2.RUGOSITÉ D'UNE SURFACE ROCHEUSE

## 3.CHOIX DU SYSTÈME DE MESURE DE LA RUGOSITÉ

CRITÈRES DE CHOIX

DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE MESURE EXISTANTS

PRÉSENTATION DU SYSTÈME DE STÉRÉO-CORRÉLATION D'IMAGES AVEC PROJECTION DE LUMIÈRE TEXTURÉE

## 4.ESSAI DE MESURE DE LA RUGOSITÉ

## 5.RÉSULTATS

## 6.CARACTÉRISATION DE LA RUGOSITÉ

PARAMÈTRES DE RUGOSITÉ ÉVALUÉS

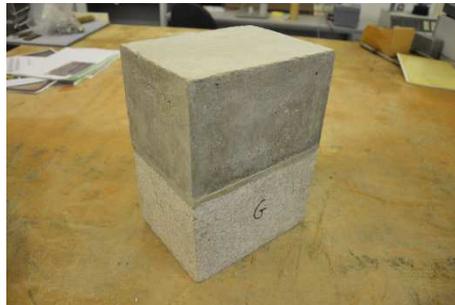
CALCUL DES PARAMÈTRES STATISTIQUES

ANALYSE

## 7.CONCLUSION & PERSPECTIVES

# INTRODUCTION

Cette étude sur la morphologie des fondations rocheuses s'inscrit dans le programme du projet CIBEFHY. Mon sujet de travail est d'étudier l'effet d'échelle sur l'évaluation de la résistance au cisaillement d'une interface béton-roche à la base d'un barrage-poids.



Eprouvette en petite dimension  
(surface de 0,03m<sup>2</sup>)



Eprouvette en grande dimension  
(surface de 1,5m<sup>2</sup>)

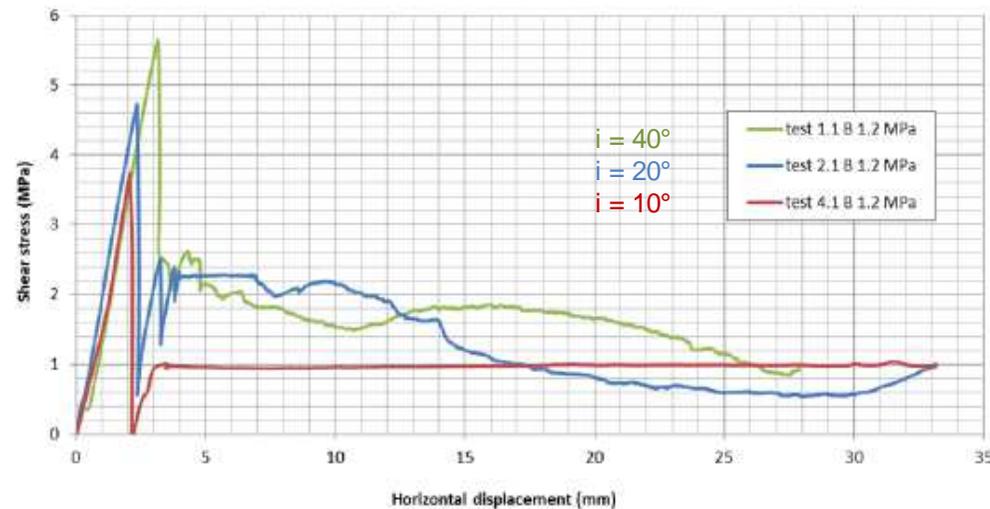
**L'étude expérimentale est en cours. Les résultats se sont pas encore disponibles.**



ESSAI à la grande boîte de cisaillement du CEREMA DTerCE

# INTRODUCTION

- Effet de la rugosité sur la résistance au cisaillement de l'interface béton-roche



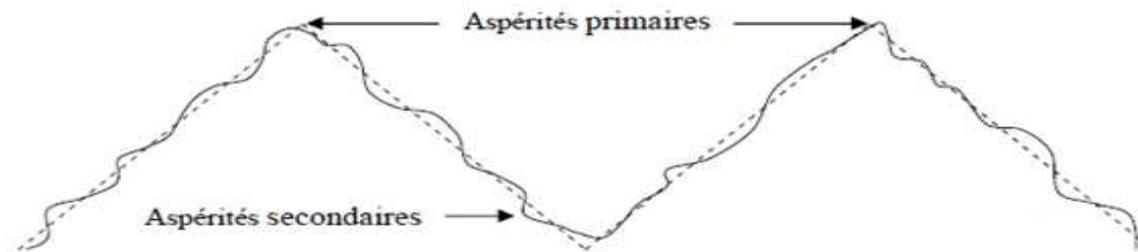
Influence de la rugosité sur le cisaillement d'une interface béton-roche (Gutiérrez, 2013)

**Comment caractériser la rugosité de la surface rocheuse d'une fondation?**

# RUGOSITÉ D'UNE SURFACE ROCHEUSE

## ■ Définition

Rugosité = irrégularités géométriques de la surface rocheuse.



Représentation des irrégularités à différentes échelles (Jing, 1992)

## ■ Caractérisation de la rugosité

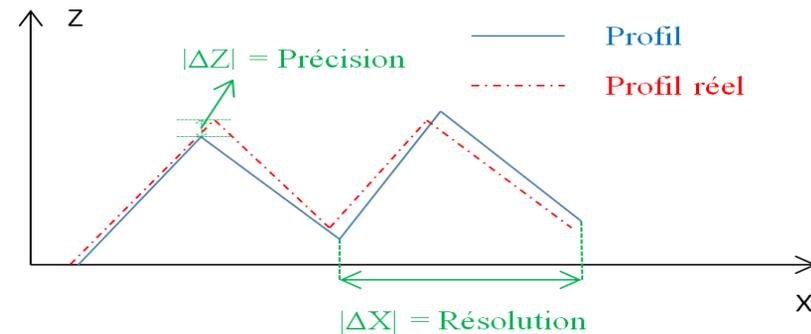
Pour caractériser la rugosité de la surface rocheuse, il faut:

- Système de mesure:
  - ❖ Appareils de contact
  - ❖ Appareils optiques
- Paramètres de rugosité
  - ❖ Paramètres statistiques
  - ❖ Paramètre empirique JRC
  - ❖ Paramètres tridimensionnels de Grasselli
  - ❖ Dimension fractale
  - ❖ Paramètres géostatistiques

# CHOIX DU SYSTÈME DE MESURE - 1

- Critères de choix du système de mesure pour caractériser la rugosité de la fondation rocheuse d'un barrage :

- Critères généraux :
  - ❖ Bonne précision verticale de mesure
  - ❖ Bonne résolution latérale de mesure
- Critères adaptés pour notre cas :
  - ❖ Possibilité d'utilisation in-situ
  - ❖ Possibilité de mesure d'une grande surface



Définitions de la résolution et de la précision

# CHOIX DU SYSTÈME DE MESURE - 2

## ■ Différents systèmes de mesures

Appareil de mesure	Illustration	Mode d'acquisition	Précision (mm)	Résolution	Digitalisation de grande surface	In-situ	Remarques
Peigne conformateur		Manuelle par profil, en parcourant la surface à mesurer	$10^{-2}$	Selon la distance entre les aiguilles et le diamètre de l'aiguille	Difficile pour cause de temps nécessaire et de difficulté d'assemblage de mesures	Possible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usure des aiguilles ;</li> <li>- Non adapté pour microrugosité.</li> </ul>
Profilomètre mécanique		Manuelle par profil, en parcourant la surface à mesurer	$10^{-2}$	selon le diamètre de la pointe et la vitesse de balayage : entre 0,5 et 2mm	Difficile pour cause de temps nécessaire et de difficulté d'assemblage de mesures	Possible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usure des aiguilles ;</li> <li>- Non adapté pour microrugosité.</li> </ul>
Profilomètre laser		Manuelle par profil, en parcourant la surface à mesurer	$10^{-2}$	Selon la vitesse de balayage : max 0,2mm	Possible si adaptation d'un support pour l'appareil	Non	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problème avec les cristaux de quartz ;</li> <li>- Vitesse d'acquisition dépendante de l'opérateur.</li> </ul>
Photogrammétrie		Globale de la surface par prise de deux photos de deux angles différents	$10^{-1}$	Selon la résolution de l'optique et la distance de mesure	Possible	Possible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problème de repérage de la position des appareils photo ;</li> <li>- Calibration.</li> </ul>
Stéréo-corrélation d'images avec projection de lumière texturée		Globale de la surface par prise de deux séries de photos simultanées	$10^{-2}$	Selon la résolution des capteurs et la distance de mesure	Possible	Possible	Le plus utilisé dans les études récentes sur surfaces rocheuses.

# CHOIX DU SYSTÈME DE MESURE - 3

- Système de stéréo-corrélation d'images avec projection de lumière texturée



Appareil ATOS Compact Scan (société GOM)

- Facilité d'utilisation, de transport et de traitement des données;
- Mesures précises indépendamment des conditions ambiantes de lumière;
- Par reconnaissance de forme, il est possible d'assembler plusieurs sous-surfaces digitalisées en une grande surface;
- La résolution de mesure de l'appareil dépend des capteurs utilisés et de la distance de mesure:
  - ❖ La résolution des capteurs et l'objectif utilisé définissent le nombre de pixels mesurés
  - ❖ La distance de mesure détermine les dimensions de la surface exposée à la lumière texturée

# ESSAI DE MESURE DE LA RUGOSITÉ

- Des surfaces rocheuses naturelles de blocs de granite de différentes dimensions ( $0,03\text{m}^2$  et  $\sim 1\text{m}^2$ ) ont été digitalisées en utilisant la technique de stéréo-corrélation d'images avec projection de lumière texturée.
- La surface rocheuse doit être propre, sans de trace de peinture sombre.



Surface de granite digitalisée de dimensions  
900mm x 750 mm

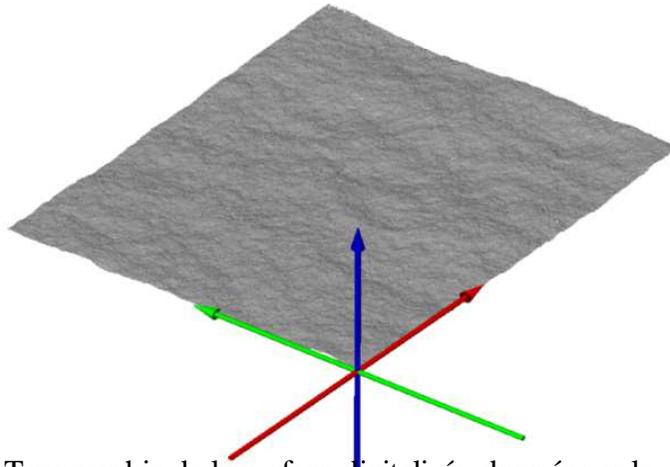


Surface de granite digitalisée de dimensions  
200mm x 145mm

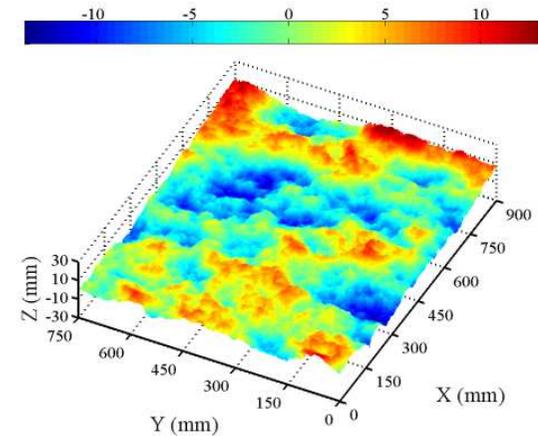
- Des points cibles ont été collés sur les parois latérales des blocs. Ils sont détectés par le logiciel de traitement permettant ainsi une meilleure reconnaissance des zones chevauchées entre les images issues de prises de vues différentes pour la reconstruction de la surface 3D.

# RÉSULTATS

- Le traitement des données de mesure s'effectue par un logiciel spécifique au système de mesure qui prend en compte la calibration initiale de l'appareil et qui se base sur le principe de la triangulation de Delaunay. Le temps de traitement est relativement court vu les dimensions de surfaces digitalisées (15min/1m<sup>2</sup> de surface).



Topographie de la surface digitalisée donnée par le logiciel de traitement propre au système



Topographie de la surface relative au plan moyen de la surface digitalisée

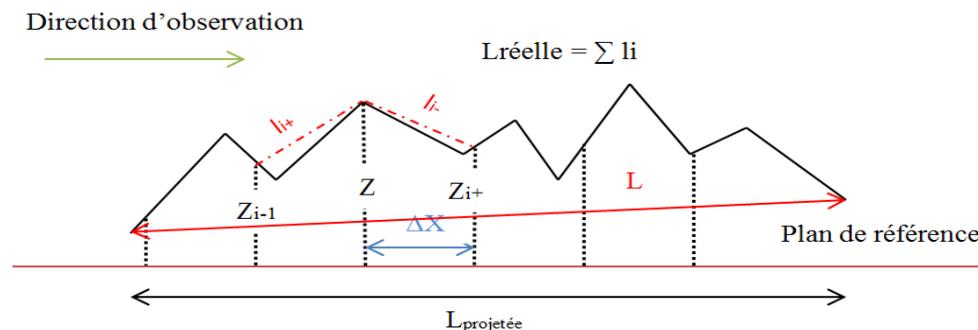
- A la sortie, on peut obtenir tous les éléments géométriques nécessaires pour caractériser la rugosité de la surface rocheuse en calculant des paramètres de rugosité.

# CARACTÉRISATION DE LA RUGOSITÉ - 1

## ■ Paramètres de rugosité évalués

- La rugosité de la surface est étudiée à l'aide de quelques paramètres statistiques. Le but est de comparer les valeurs de ces paramètres calculées sur des portions de la surface de différentes dimensions et selon différentes conditions de calcul (plan de référence).
- Les paramètres statistiques caractérisant la rugosité de la surface rocheuse se basent sur des éléments de description géométrique de la surface. Les paramètres pris en compte dans cette étude sont:

- ❖ Etendue:  $K = Z_{\max} - Z_{\min}$
- ❖ RMS (Root Mean Square) = moyenne quadratique des hauteurs



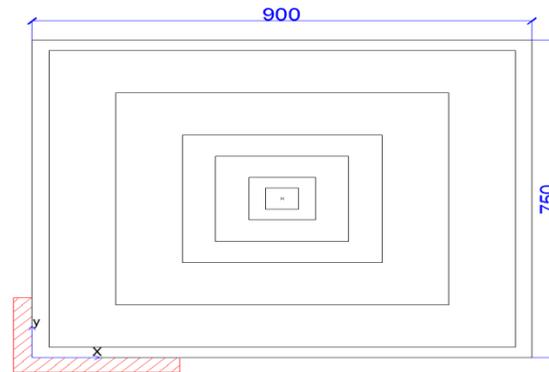
Eléments géométriques utilisés pour calculer les paramètres statistiques

Une nouvelle caractérisation des fondations rocheuses pour une meilleure approche de la résistance au cisaillement d'une interface béton-roche | 04/2015

# CARACTÉRISATION DE LA RUGOSITÉ - 2

## ■ Calcul des paramètres statistiques

- Sept fenêtres rectangulaires concentriques de différentes dimensions sont prises sur la grande surface rocheuse digitalisée afin d'étudier l'effet d'échelle sur les valeurs de paramètres calculés.

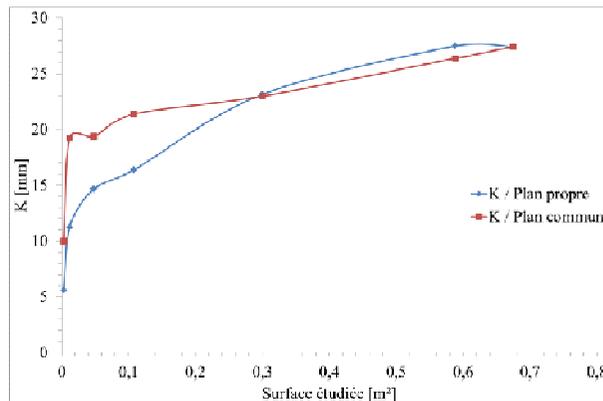


Représentation schématique des différentes fenêtres considérées dans l'étude de l'effet d'échelle

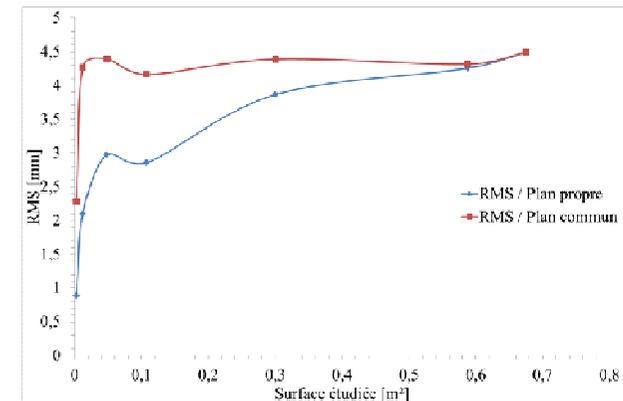
- Les paramètres ont été calculés pour chacune de ces surfaces en considérant d'une part le plan de référence comme le plan moyen de la surface effective de calcul et d'autre part, le plan de référence comme le plan moyen de la plus grande des surfaces.

# CARACTÉRISATION DE LA RUGOSITÉ - 3

## ■ Résultats



Evolution du paramètre K avec la surface de mesure pour les deux types de plan de référence



Evolution du paramètre RMS avec la surface de mesure pour les deux types de plan de référence

- Effet d'échelle : les paramètres ont tendance à augmenter avec l'augmentation de la surface de calcul.
- Effet du plan de référence : les deux paramètres ont des valeurs moins élevées quand ils sont calculés par rapport au plan moyen propre à la surface de calcul.
- Surface élémentaire représentative : l'évaluation de ces deux paramètres relativement à un même plan quelque soit la surface de mesure tend à diminuer significativement l'effet d'échelle au-delà d'une certaine surface de mesure.

# CONCLUSION & PERSPECTIVES

- La technique de stéréo-corrélation d'images avec projection de lumière texturée est trouvée la plus adaptée pour effectuer rapidement et facilement une mesure in-situ sur de grandes surfaces avec précision et résolution. Cette technique permet une reproduction précise de la morphologie d'une surface rocheuse.
- La caractérisation locale de la rugosité sur une petite surface combine un double biais par rapport à la rugosité réelle à grande échelle : l'effet d'échelle dû à la variation de la surface de mesure et le changement de référentiel de calcul.
- La méthode de détermination de la surface élémentaire représentative pour caractériser la fondation rocheuse d'un barrage-poids doit être étudiée.
- La recherche de nouveaux paramètres de caractérisation de la rugosité moins sensibles à l'effet d'échelle et aux conditions de mesure est actuellement en cours.

# MERCI