



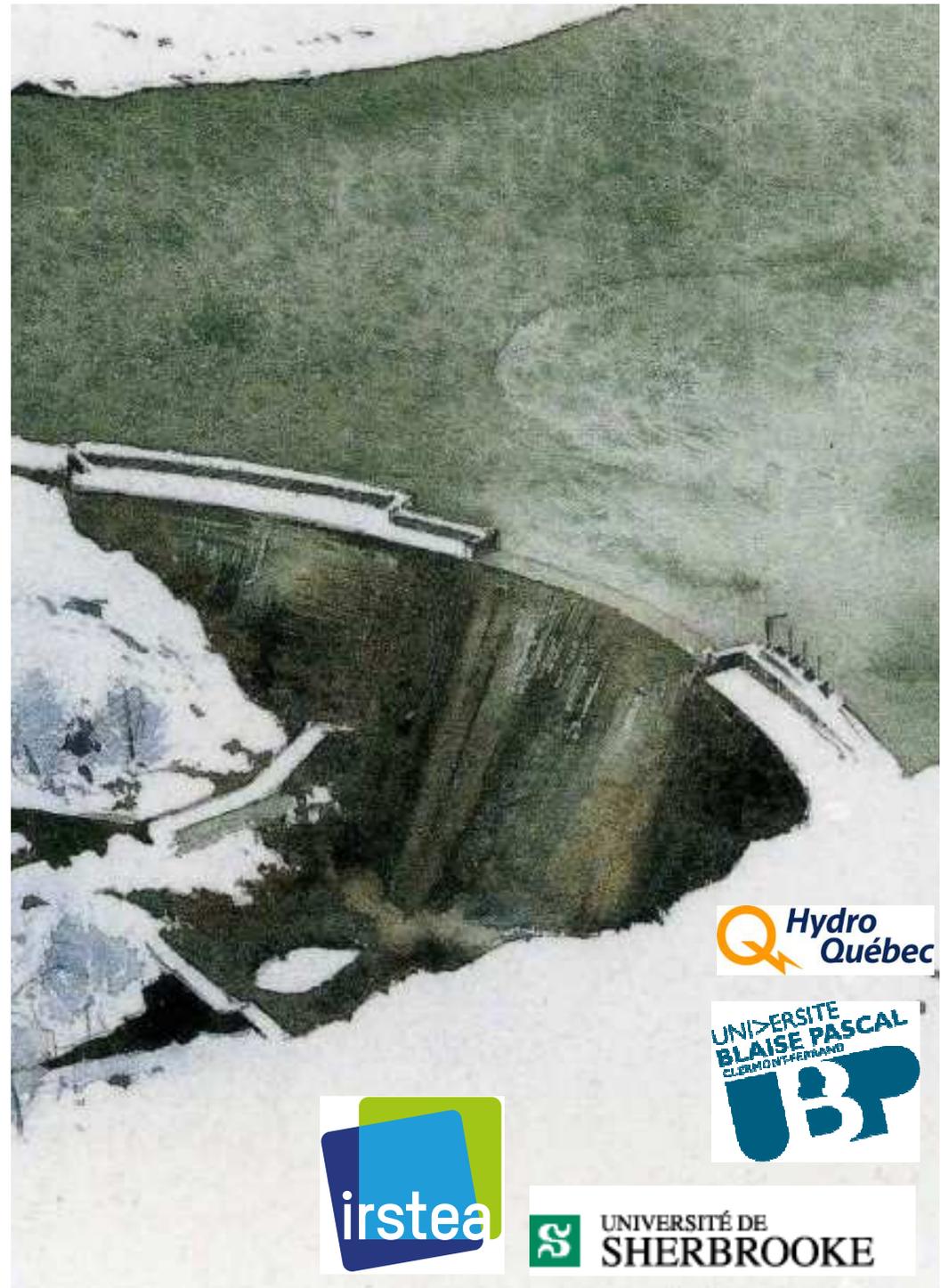
Thème A : Géologie et nature des fondations : reconnaissances, interprétation et caractérisation

## Caractérisation des discontinuités rocheuses au moyen de données de diagraphie d'imagerie acoustique

Application à l'étude des discontinuités des fondations rocheuses d'un barrage-poids

Laurent PEYRAS, Patrice RIVARD,  
Adrien MILLET, Gérard BALLIVY, Claude  
BACCONNET, Pierre BREUL, Marco QUIRION

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



# Contexte – Objectif du programme de R&D

- **La caractérisation des discontinuités est fondamentale dans l'étude des fondations rocheuses des barrages**
  - Massifs rocheux fortement discontinus et anisotropes [Patton, Barton]
  - Massifs rocheux isotropes [Hoek, Brown]
- **Les mécanismes de rupture mettent en jeu principalement les propriétés de résistance au cisaillement des discontinuités**
  - Principalement influencées par l'état de la surface
    - ❖ Rugosité
    - ❖ Altération [Tse, Cruden, Yu, Vayssade]
    - ❖ Ouverture
    - ❖ Remplissage

➔ *Une meilleure caractérisation de l'ouverture des discontinuités par des techniques de diaggraphie acoustique* [Kabir, Blake, Gasc-Barbier, Hallahan]

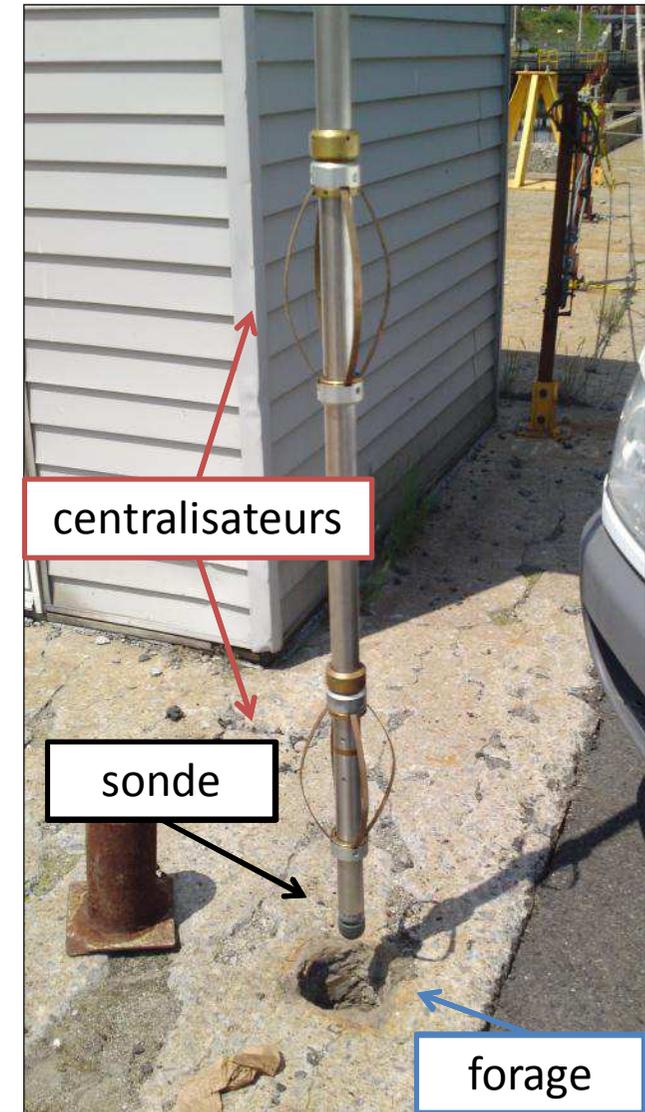
# Principes de la diaggraphie d'imagerie

## Matériels

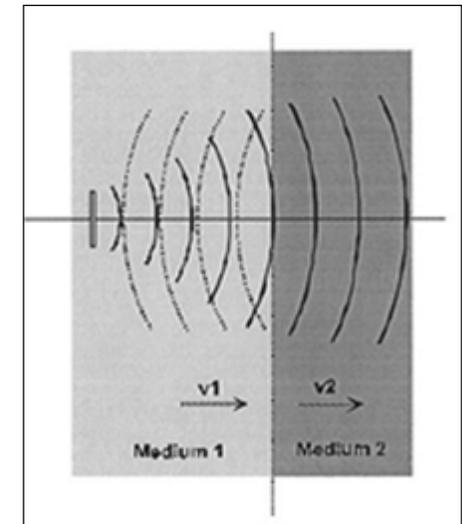
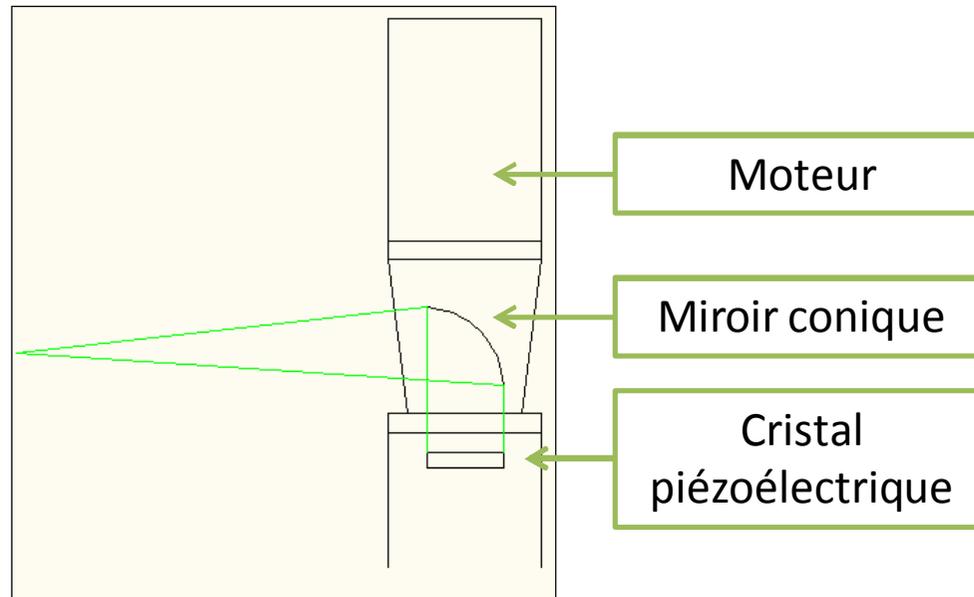
- 1 sonde acoustique
- 1 sonde optique
- 1 trépied
- 1 treuil avec système d'acquisition

## Mesures prises en remontant

- Pas de mesure verticale de 0,8 mm
- Pas de mesure angulaire de 1,25°
- 2 types de diaggraphies: acoustique et optique



# Principes de la diagraphie d'imagerie acoustique



Pour chaque angle ( $1,25^\circ$ ) et  
chaque altitude du forage  
(0,8 mm)

- Amplitude de retour

- Temps de retour

# Principes de la diagraphie d'imagerie acoustique

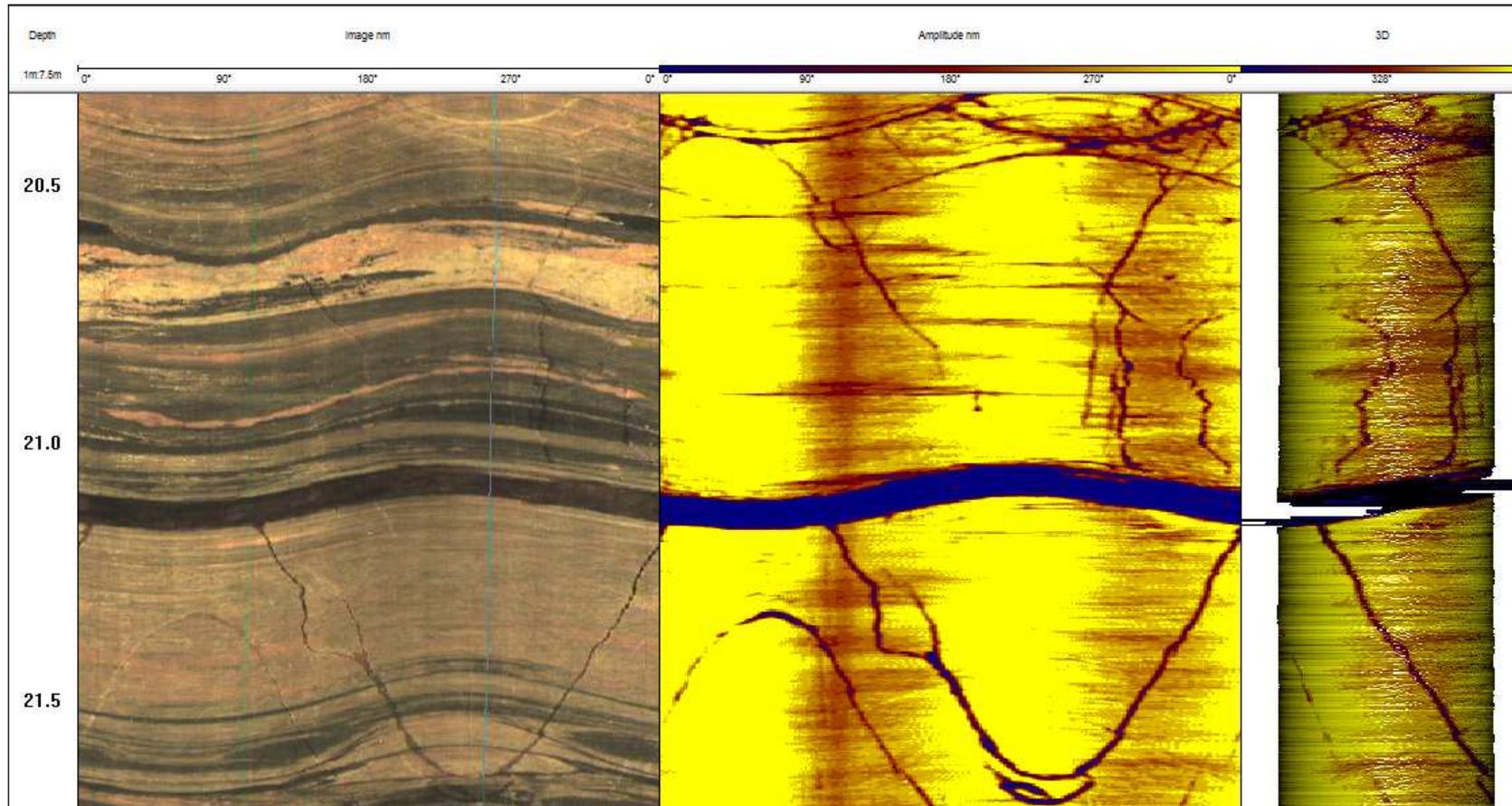


Image optique

Image acoustique

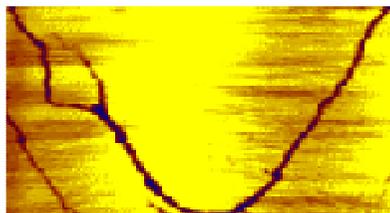
Vue 3D

# Caractérisation des ouvertures des discontinuités par diagraphie d'imagerie acoustique

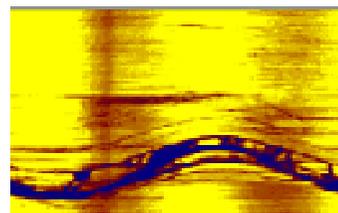
L'analyse visuelle des imageries optiques et acoustiques :

- leur position
- leur pendage
- leur orientation

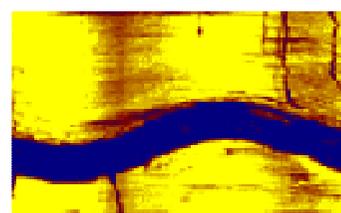
Ces caractéristiques sont notées manuellement ainsi que la nature des discontinuités : ouverte, partiellement ouverte, fermée



*Fracture fermée*



*Fracture partiellement ouverte*



*Fracture ouverte*

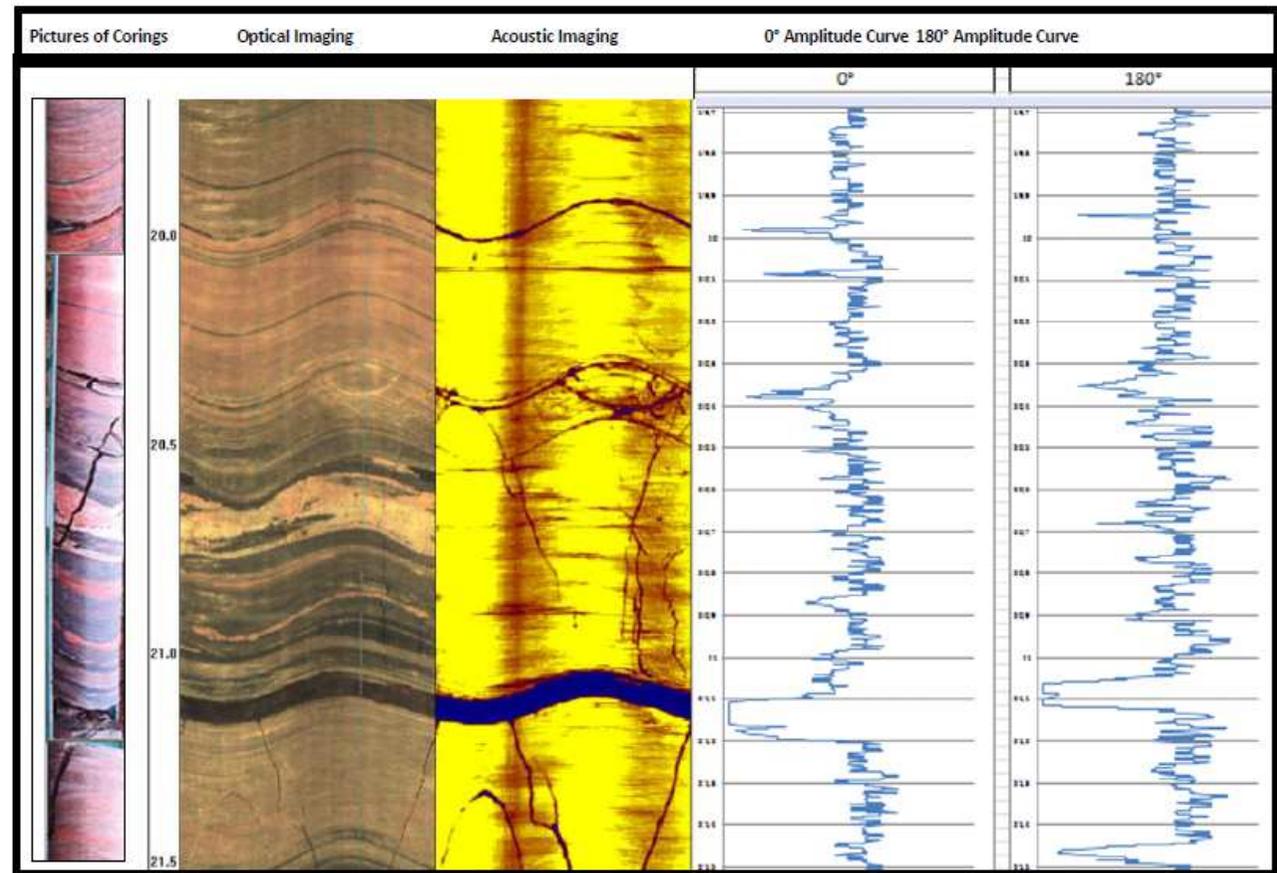
Depth [m]	Azimuth	Dip	ouvert	Type	Description
20.040	304.7	66.9	0	3	Fracture fermée
20.185	61.2	27.5	0	5	Foliation
20.266	237.3	49.6	0	3	Fracture fermée
20.336	53.1	29.7	0	3	Fracture fermée
20.356	56.8	29.2	0	1	Fracture ouverte
20.358	249.5	29.9	0	2	Fracture part. ouverte
20.486	53.3	28.4	0	3	Fracture fermée
20.573	67.7	29.8	0	9	Dyke
20.629	196.3	67.6	0	3	Fracture fermée
20.743	36.5	18.6	0	9	Dyke
20.910	63.7	29.8	0	7	Veine
21.106	42.3	19.3	0	1	Fracture ouverte
21.319	231.1	72.9	0	2	Fracture part. ouverte
21.380	225.4	72.0	0	2	Fracture part. ouverte
21.653	231.6	72.2	0	2	Fracture part. ouverte
21.896	45.5	25.4	0	3	Fracture fermée
22.211	25.5	27.3	0	0	Fissure
22.251	43.7	24.1	0	3	Fracture fermée
22.302	39.9	25.4	0	2	Fracture part. ouverte
22.358	33.5	37.0	0	2	Fracture part. ouverte
22.361	35.8	25.1	0	1	Fracture ouverte
22.499	46.2	24.1	0	4	Contact lithologique
22.646	56.9	18.8	0	5	Foliation
22.780	54.5	18.8	0	5	Foliation

➔ Analyse automatique des amplitudes des ondes acoustiques

# Analyse des amplitudes des ondes acoustiques

L'amplitude des ondes acoustiques dépend de :

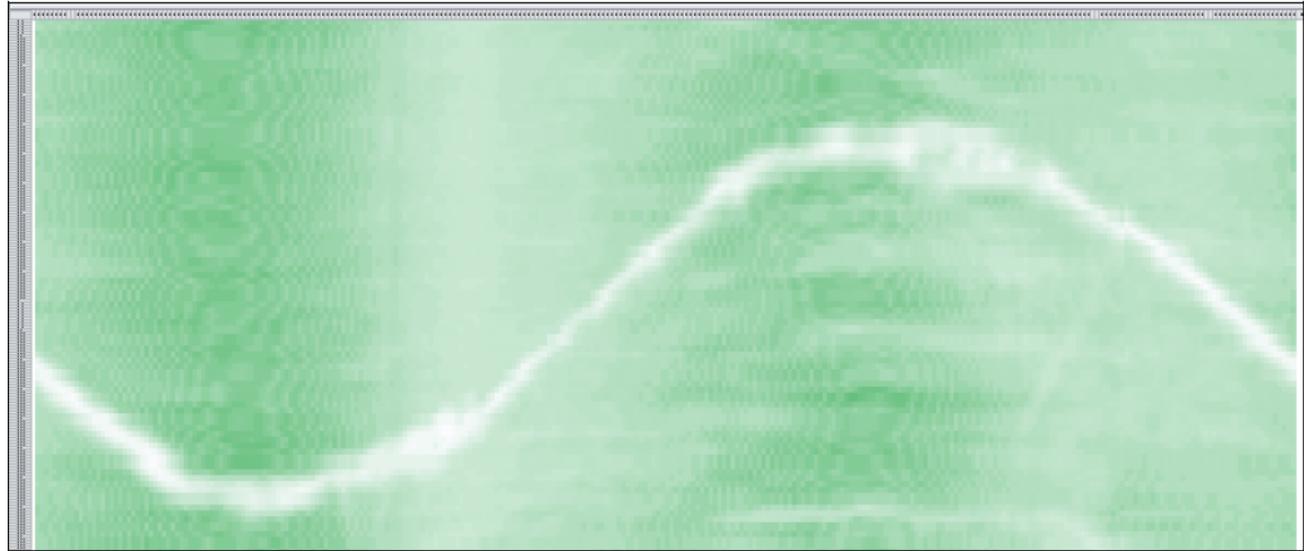
- la géométrie de la paroi (sensibilité mm)
- la nature de la roche et ses propriétés physiques



→ Proposer une démarche pour le traitement de données des amplitudes des ondes acoustiques

# Traitement de données des amplitudes des ondes acoustiques

*Vue Excel  
des valeurs d'amplitude  
d'une discontinuité ouverte*

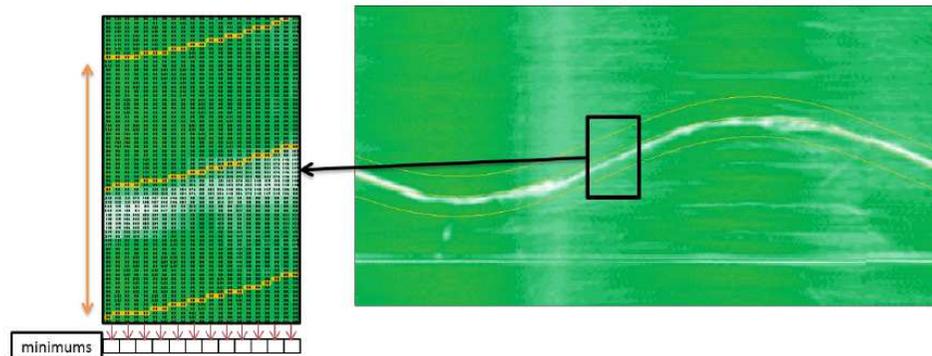


- Les valeurs basses d'amplitude traitées par un filtre de couleur.
- La forme du forage étant un cylindre, la discontinuité un plan incliné, la discontinuité apparaît une fois déroulée sous forme d'une sinusoïde

→ *Rendu très proche de l'imagerie acoustique*

# Proposition de paramètres caractérisant une discontinuité

- Un paramètre qui rend compte de la valeur moyenne de l'amplitude mesurée sur la discontinuité : *l'amplitude résultante*
  - dans une direction donnée  $\theta$ , la valeur minimale de l'amplitude, puis la moyenne des valeurs minimales obtenues dans toutes les directions



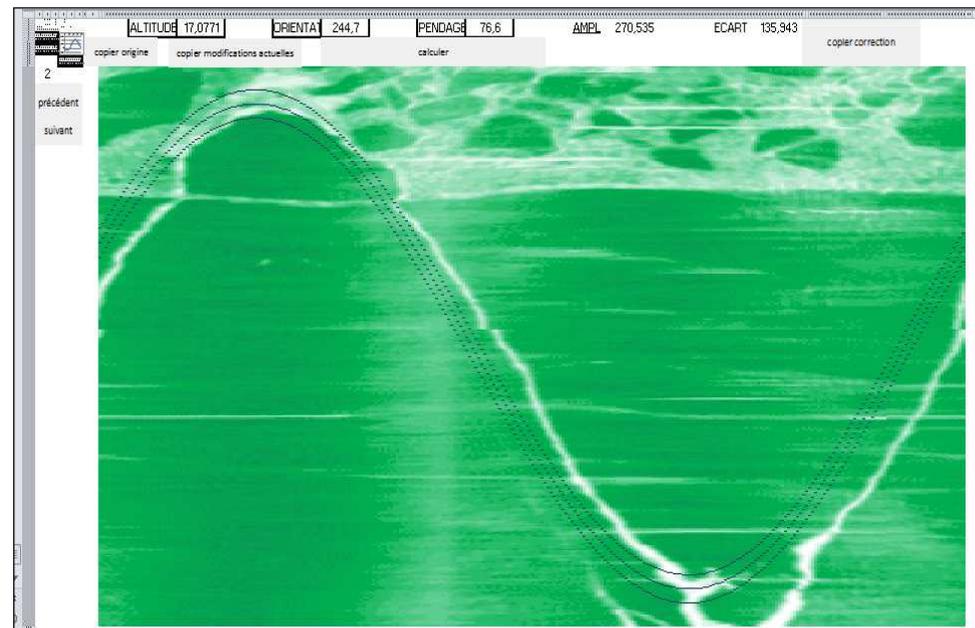
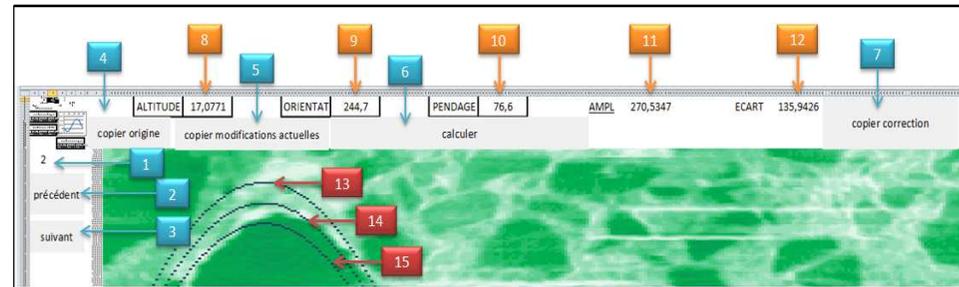
- *L'amplitude résultante* représente la moyenne des valeurs minimales
- Un paramètre qui rend compte de la dispersion des valeurs d'amplitude sur la discontinuité : *l'écart type* de l'amplitude
  - L'écart type des valeurs minimum obtenues dans l'ensemble des directions

# Lien physique entre l'ouverture des discontinuités et les paramètres *amplitude résultante* et *écart type*

- **Une discontinuité ouverte induit une onde réfléchie plus faible**
  - Au contraire, une discontinuité fermée induit une onde réfléchie plus élevée
  - ➔ plus une discontinuité est ouverte, plus le paramètre *amplitude résultante* est faible
- **Pour une discontinuité donnée, la présence de matière (discontinuité fermée) ou l'absence de matière (discontinuité ouverte) diminue la dispersion des amplitudes**
  - ➔ pour les discontinuités ouvertes et fermées, le paramètre *écart type* est faible
- **Au contraire, l'alternance d'absence et de présence de matière (discontinuité partiellement ouverte) favorise la dispersion de l'amplitude**
  - ➔ pour les discontinuités partiellement ouvertes, le paramètre *écart type* est élevé

# Automatisation de la détermination des paramètres *amplitude résultante* et *écart type*

- **Algorithme permettant de déterminer automatiquement à partir du fichier des amplitudes des diagraphies acoustiques**
  - Détermination de l'équation théorique de chaque discontinuité
  - Circonscrire la discontinuité réelles entre deux sinusoides modèles
  - Déterminations de *l'amplitude résultante*
  - Détermination de *l'écart type*

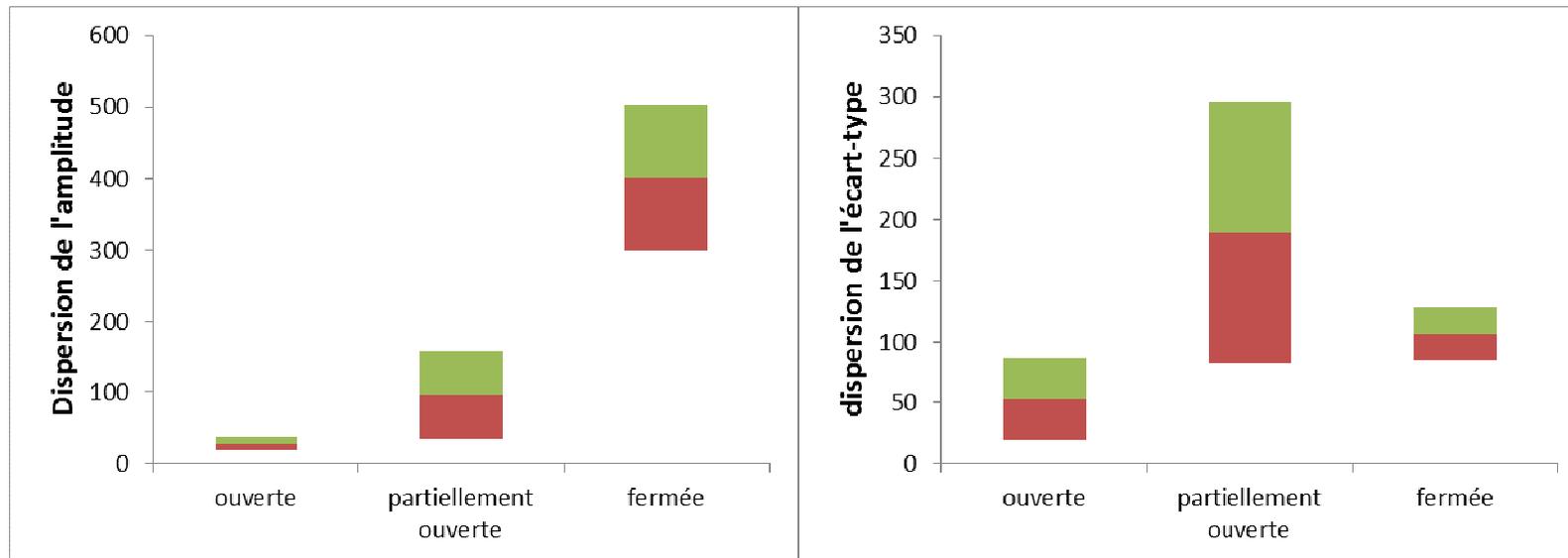


# Application à des fondations métamorphiques d'un barrage poids

- 4 forages verticaux en fondation (30 ml),  
~ 100 fractures
  - Classement manuel des discontinuités
  - Analyse automatisée des paramètres d'amplitude

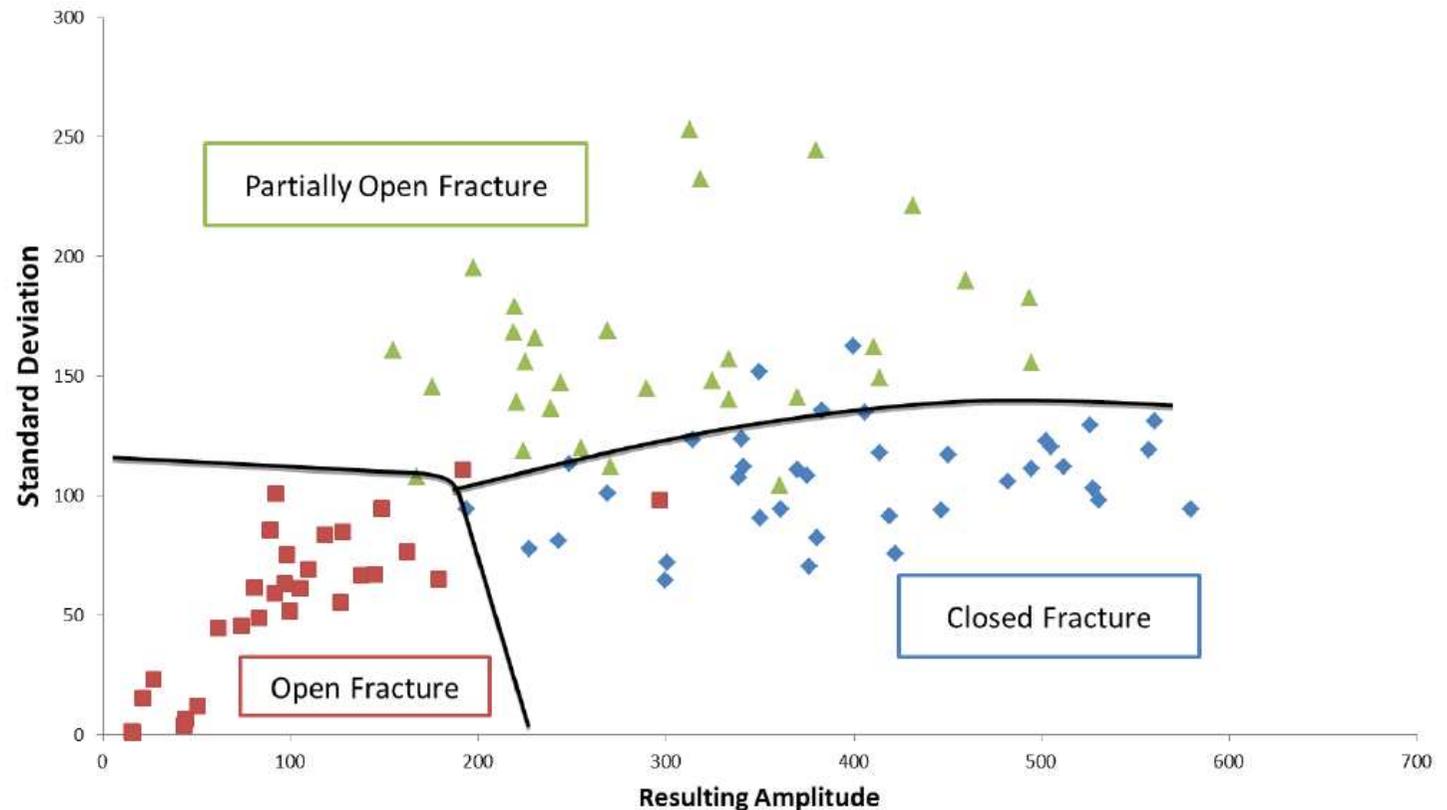


Fondation Gneis et Migmatite



# Application à des fondations métamorphiques d'un barrage poids

- **Discrimination des discontinuités selon les paramètres d'amplitude résultante et d'écart type**
  - Ecart type : pour discriminer {les fractures partiellement ouvertes} et {les fractures fermées + fractures ouvertes}
  - Amplitude résultante : pour discriminer les fractures fermées des fractures ouvertes



# Conclusions

- **Il est possible de caractériser les discontinuités des fondations rocheuses au moyen de données quantitatives de diagraphie d'imagerie acoustique**
  - une discontinuité ouverte induit une onde réfléchie plus faible et donc une amplitude plus faible
  - la présence de matière dans une discontinuité fermée ou l'absence de matière diminue la dispersion des amplitudes
- **Une procédure automatique de classification des discontinuités à partir des données d'amplitude des forages basée sur les paramètres *amplitude résultante* et *écart type***
- **L'application opérationnelle de la méthode**
  - Un sondage de calibration pour déterminer les frontières entre les 3 catégories de fractures
  - L'application de la méthode pour les autres sondages
  - Démarche pertinente pour une analyse des points potentiels de faiblesse mécanique de la fondation
  - Mais ce n'est pas une démarche pour une analyse détaillée géologique des discontinuités d'un massif.