





River low

Surface geophysics Time lapse ERT, SP, GPR, SIP

Quels types de fractures sont imagées par la méthode de surface « Ground Penetrating Radar »? Résultats d'expériences réalisées dans le laboratoire souterrain d'Äspö (Suède)

Justine Molron^{1,4}, Niklas Linde², Ludovic Baron², Jan-Olof Selroos³, Caroline Darcel¹ et Philippe Davy⁴

¹Itasca Consultants SAS, Ecully, France (**j.molron@itasca.fr**); ² Université de Lausanne, UNIL, Lausanne, Switzerland; ³ Svensk Kärnbränslehantering AB, SKB, Solna, Sweden, ⁴ Géosciences Rennes, OSUR, CNRS, Université de Rennes 1, Rennes, France



Journée technique : Fracturation et caractérisation des massifs

Paris, le 14 Novembre 2019

aline intrusion



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the Marie Sklodowska-Curie Grant Agreement No 722028



Les applications hydrogéologiques et géomécaniques nécessitent une bonne caractérisation des réseaux de fractures et de leurs propriétés hydrogéologiques et mécaniques



- Les fractures sont les principaux conduits pour l'eau souterraine et présentent un risque potentiel pour le transport de contaminant
- Les fractures jouent un rôle important dans les propriétés de mécanique des roches



Inconvénients:

- Modèles 3D ne s'appuyent pas sur des observations 3D
- \Rightarrow Suppositions sur les propriétés de fractures (ex: forme)
- Taille limitée des affleurements
- Modèles mieux contraints par les observations que par la statistique

Avantages:

- Méthode non-invasive et de surface
- Etude des fractures à différentes échelles
- Résolution suffisante pour imager des fractures d'ouverture < mm



Développer une méthodologie pour conditionner les modèles DFN aux données GPR aux échelles du mètre à une dizaine de mètres



Détection des fuites potentielles autour des barils de déchets sur une échelle d'une dizaine de mètres ⇒ Essentiel pour déterminer si la roche peut stocker des barils de déchets toxiques (cas du stockage en profondeur)



Roches cibles : formations très peu perméables, dont les infiltrations sont dues à des fractures < mm



Laboratoire souterrain de 500 m de profondeur situé sur l'île d'Äspö (Suède). Les expériences sont menées en profondeur dans le but de développer de nouvelles méthodes et technologies pour la construction d'un site de stockage de déchets radioactifs.

Chiffres clés:

- 6000 canisters
- Dimension des trous : 8.5 m de profondeur et 1.8 m de diamètre (pour un canister de 5 m de long et 1 m de diamètre)
- 34 km² de tunnels
- Etape d'enfouissement pendant 45 ans





Oslo

Stockholm





- Les réflexions GPR correspondent-elles aux fractures ouvertes et transmissives ou à d'autres discontinuités géologiques ?
 - ✓ Expérience GPR à 410 m de profondeur
 - ✓ « Picking » des réflexions radar
 - ✓ Vérification de l'origine de ces réflexions par l'analyse de 3 forages et test hydrauliques

- Quelle est la résolution du GPR en terme de taille et orientation de fractures ?
 - Comparaison de la statistique de fractures GPR avec la statistique 3D obtenue via les observations d'affleurements et de forages







(a) GPR non interprété; (b) GPR interprété



Réponse dand BH1 pendant le forage de BH2

Réponse dans BH2 pendant le forage de BH3 (même comportement pour BH1)











But: estimer la proportion des fractures identifiées par le GPR.

Méthodologie: on dérive un modèle statistique 3D de fractures (distribution des tailles et orientations) sur base des observations de traces échantillonnées sur les parois des tunnels.



Modèle statistique de fractures

Cartographie 2D des tunnels

• Distribution des longueurs de fractures (ou de la trace) (Bonnet et al. 2001, Bour 2002, Davy 1993)

 $n(l) = \alpha * l^{-a}$

 α = densité de fractures l = longueur de la fracture (ou de la trace) a = exposant de la loi de puissance

 <u>Règles de stéréologie (2D → 3D)</u> (Piggott, 1997)

$$a_{3D} = a_{2D} + 1$$

 $\alpha_{3D} = \alpha_{2D} \sqrt{\pi} \frac{\Gamma(\frac{2+a_{2D}}{2})}{\Gamma(\frac{1+a_{2D}}{2})}$





Densité observée (GPR)/ densité modélisée (modèle statistique)



- Les réflexions GPR correspondent-elles aux fractures ouvertes et transmissives ou à d'autres discontinuités géologiques ?
 ⇒ Fractures ouvertes (données de forages)
 - ⇒ principalement situées dans les zones les plus transmissives (données hydrogéologiques)
 - \Rightarrow ou dans une section connectée aux autre forages (données de pression)
- Quelle est la résolution du GPR en terme de taille et orientation de fractures ?
 - \Rightarrow 5.5 % de détection : fractures ouvertes et fermées, tout pendage confondu, surface entre 1-10 m²
 - \Rightarrow 42 % de détection : fractures ouvertes et fermées, pendage < 25°, surface entre 1-10 m²
 - ⇒ 79% de détection : fractures ouvertes, pendage < 25°, pas d'information sur la surface

NB: pour imager des fractures sub-verticales, placez le GPR dans les forages ... 🙂

Perspectives:

- Conditionner les modèles DFN avec les données GPR (méthodologie à développer)
- Expérience n°2: imager le trajet d'un traceur dans les fractures afin d'obtenir une image de la connectivité des fractures





Modèle statistique





- 2.4

- 2.0

- 1.6 - 1.2

- 0.8

- 0.4

L 0.0





Annexes

Fractures dans les forages

Parameters		Fractures in boreholes		GPR fractures
Aperture	Dip	Number	Percentage	Imagery probability
open + sealed	0-90°	188	100.0 %	5.5 %
open	0-90°	40	21.3 %	25.8 %
open + sealed	dips < 25°	19	10.1 %	41.6 %
open	dips < 25°	10	5.3 %	79.1 %