

Modélisation statistique géométrique tri-dimensionnelle d'un réseau discret de fractures

D. Billaux, C. Darcel

Itasca Consultants S.A.S.

Ph. Davy, J.R. de Dreuzy, O. Bour

Géosciences Rennes

Travaux réalisés pour le compte de SKB, Suède

Pourquoi des champs de fractures ?

Modéliser le comportement hydrogéologique et géomécanique dans des milieux cristallins

- Chemins préférentiels d'écoulement / de transport
- Élément essentiel des propriétés mécaniques à petite et grande échelle

Problématique (1)

Notre connaissance n'est que statistique: seules les plus grandes fractures peuvent être étudiées de manière déterministe.

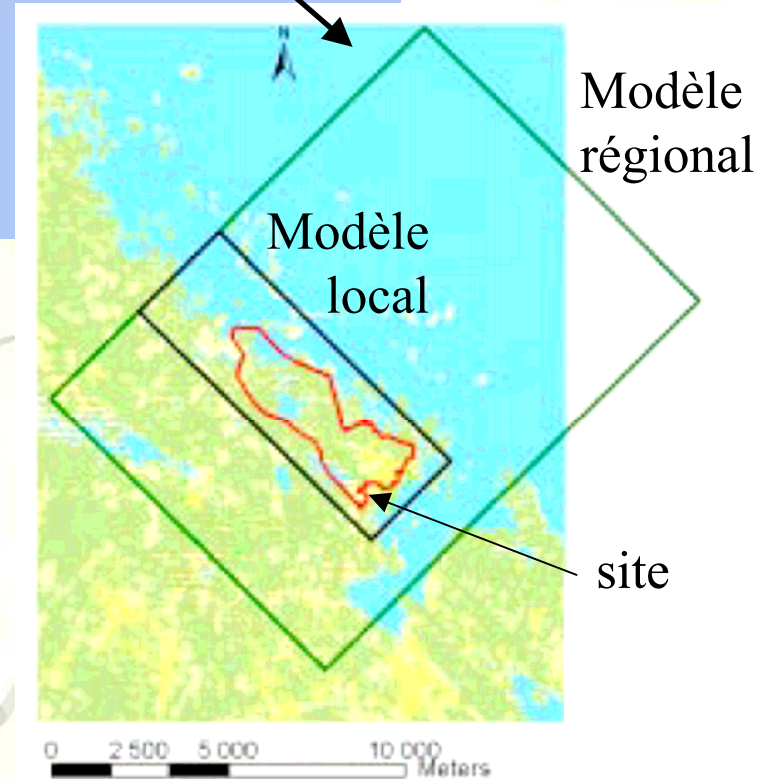
Les mesures sont restreintes à de rares zones d'échantillonnage: sondages, affleurements, linéaments, très grands accidents.

Problématique (2)

La façon dont nous relient entre elles ces observations à différentes échelles et en différents lieux met en jeu:

- les lois d'échelle,
- la variabilité dans l'espace.

Le site de Forsmark



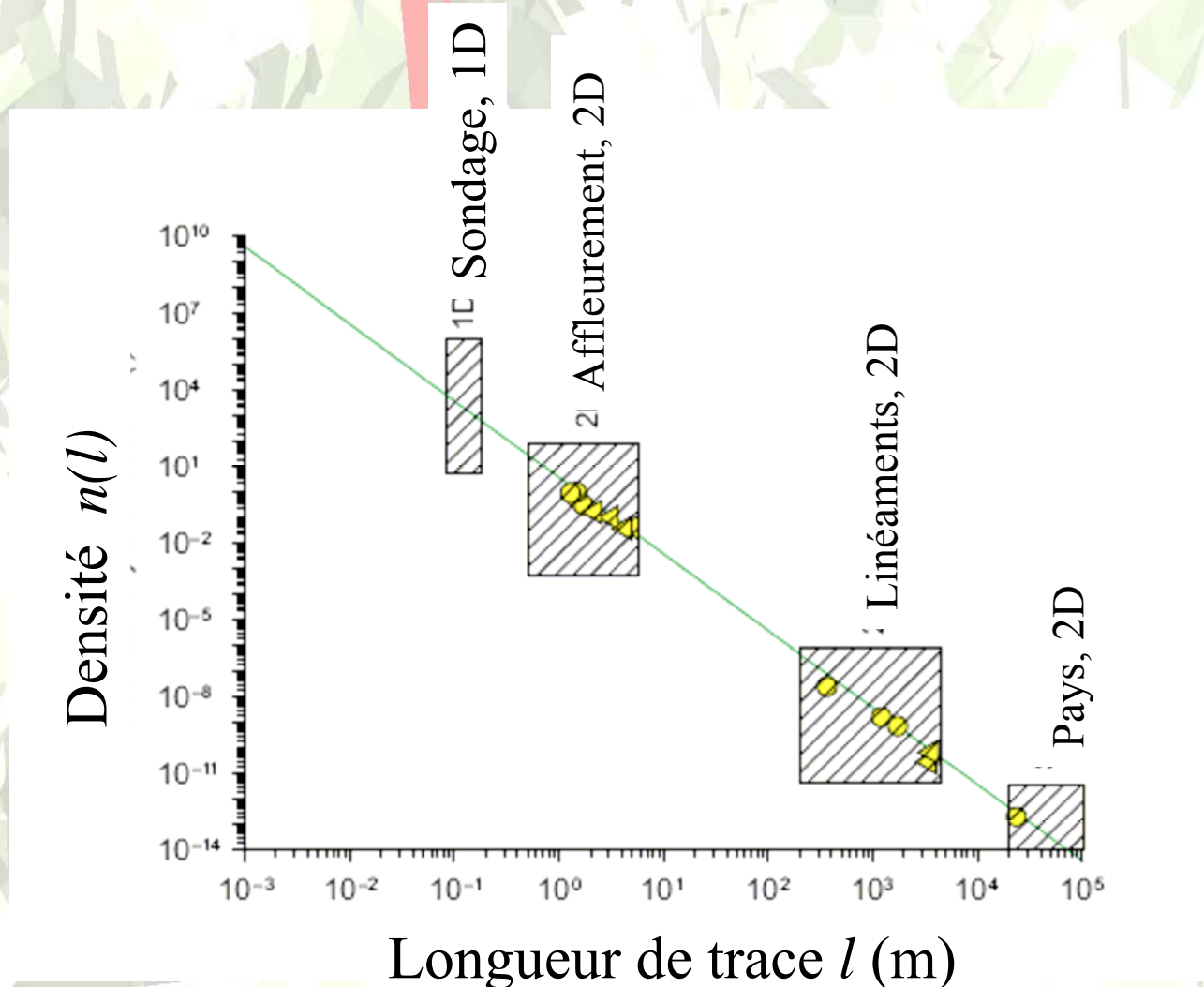
Objectif / méthode

Études préalables à la construction d'un stockage souterrain de déchets radioactifs, en massif cristallin.

Construction d'un modèle statistique géométrique 3D du réseau de fractures discrètes (notation usuelle: DFN), associé au site de Forsmark.

Développement et mise en pratique d'une méthode globale pour analyser la fracturation d'un site à partir de données recueillies sur des puits, des affleurements et des cartes de linéaments.

Échelles d'intérêt et échelles d'échantillonnage



Modèles de réseaux de fractures (1)

En 3d, une fracture circulaire est définie par :

- une position.
- un diamètre (l),
- une orientation (θ, φ),

La loi d'échelle est exprimée par $N_{3d}(L, l, \theta, \varphi)$, nombre de fractures:

- dont le centre est dans un domaine de taille L ,
- de diamètre entre l et $l+dl$,
- d'orientation entre (θ, φ) et ($\theta+d\theta, \varphi+d\varphi$)



Loi de puissance?

Modèles de réseaux de fractures (2)

$$N_{3d}(L, l, \theta, \varphi) = L^{D_{3d}} l^{-a_{3d}} \alpha_{3d}(L, \theta, \varphi)$$

Loi d'échelle

Diamètre en loi de puissance

Terme de densité

Données (1) : sondages

« 1D »

Échelle kilométrique / quelques cm



Carottes de sondage

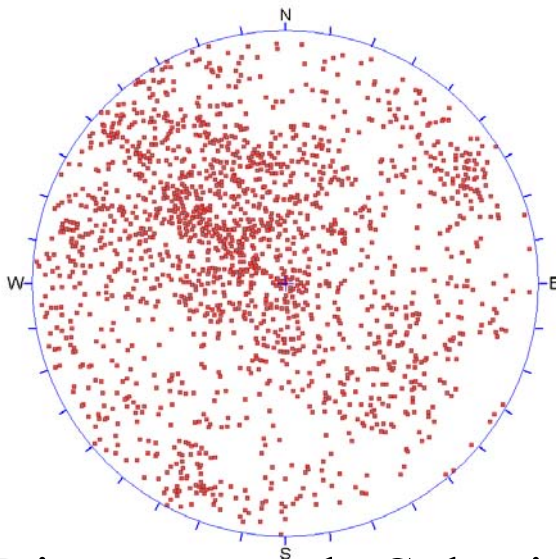
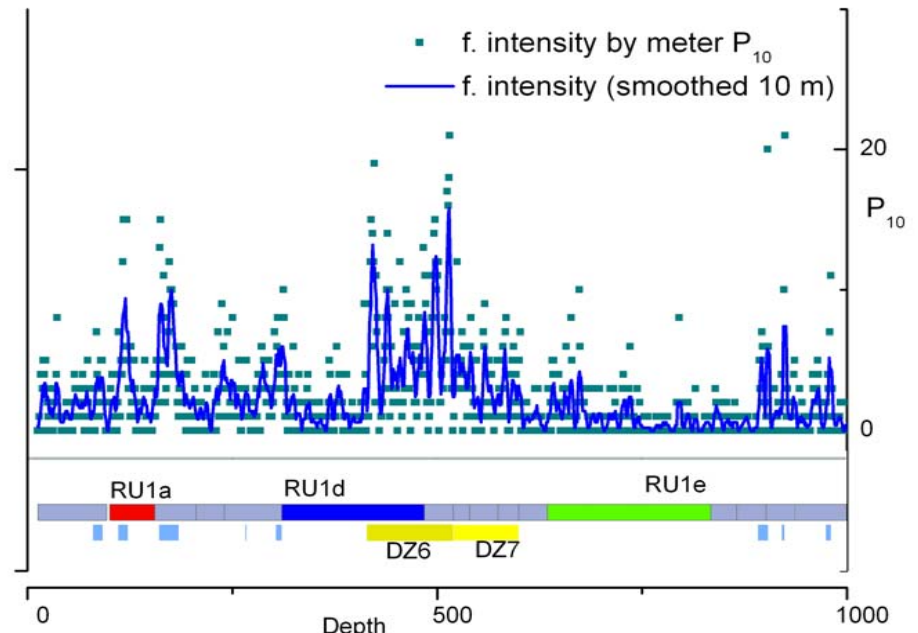


Diagramme de Schmidt



Densité, et interprétation géologique

Données (2) : affleurements

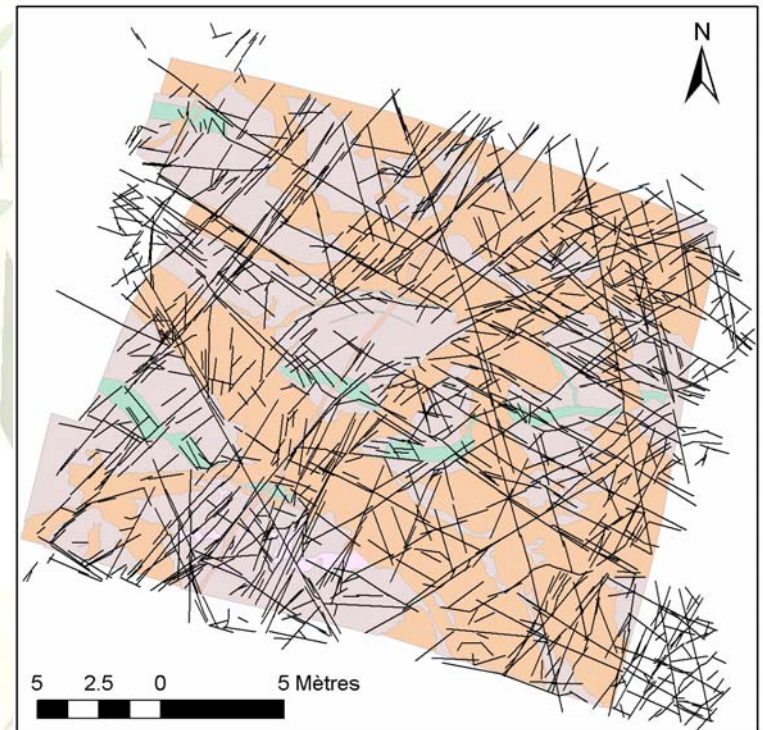
« 2D »

Échelle décamétrique



Un affleurement

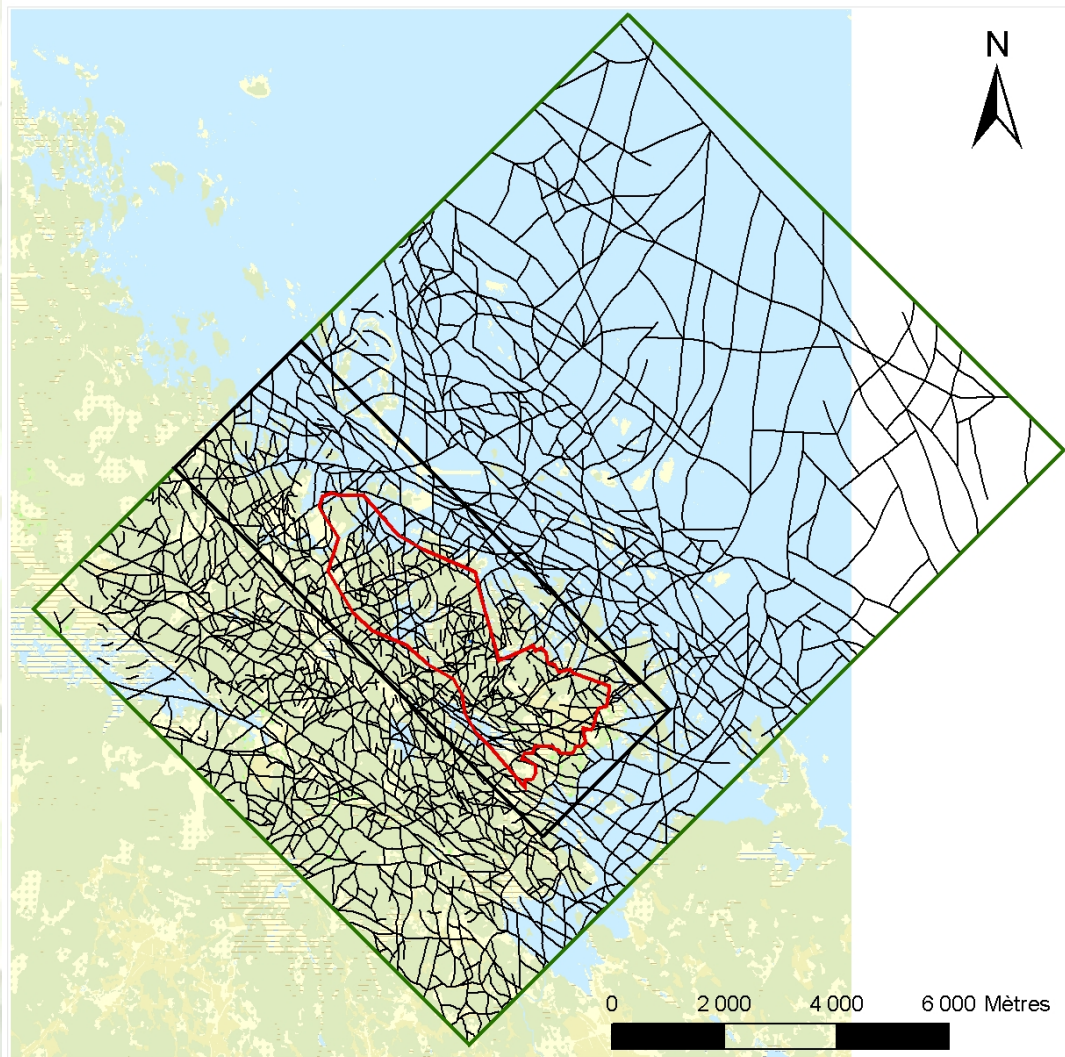
Traces de fractures (lignes
noires), et lithologie



Données (3) : linéaments

« 2D »

Échelle 500 m à 10 km



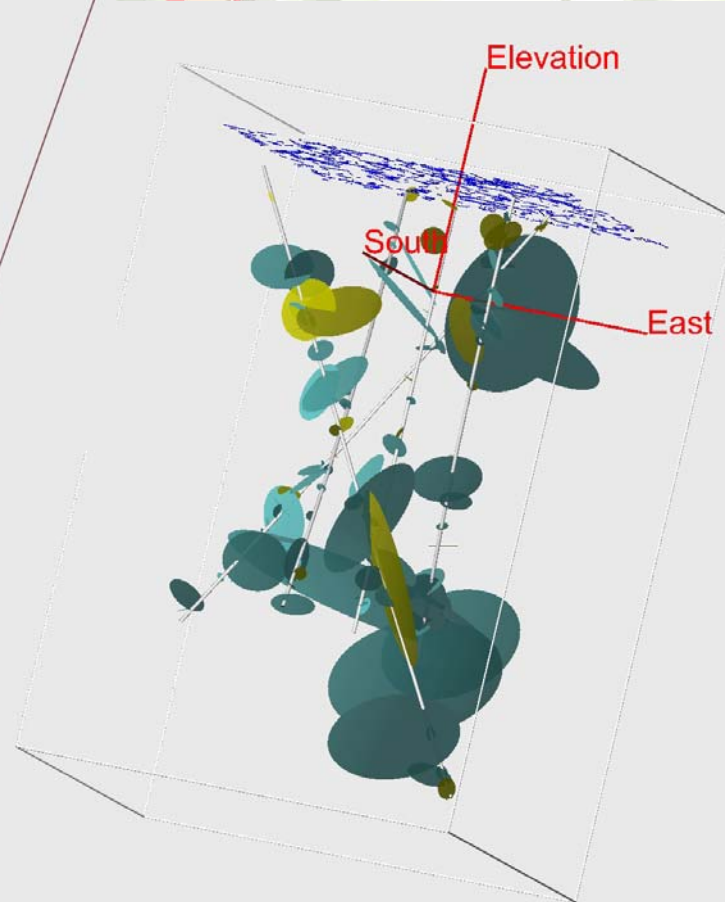
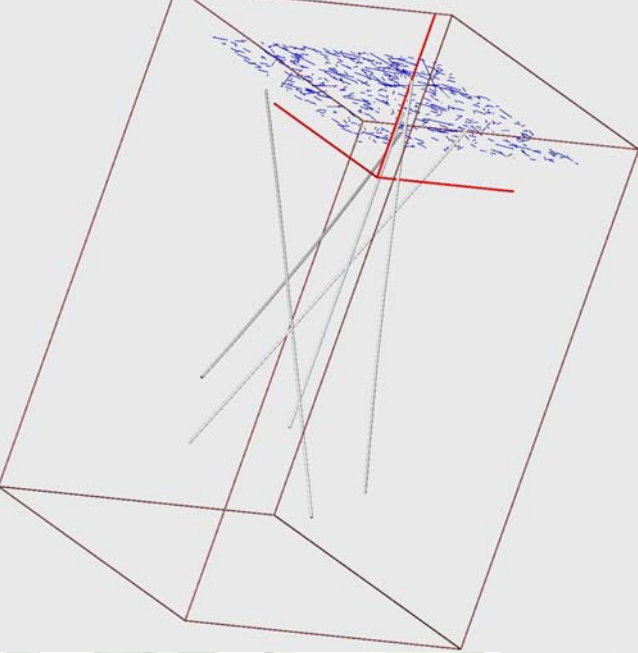
Linéaments interprétés à partir de données topographiques,
géophysiques et magnétiques

Construction du modèle global

La comparaison des différents échantillons est nécessairement basée sur une reconstruction de la distribution 3D “parente”.

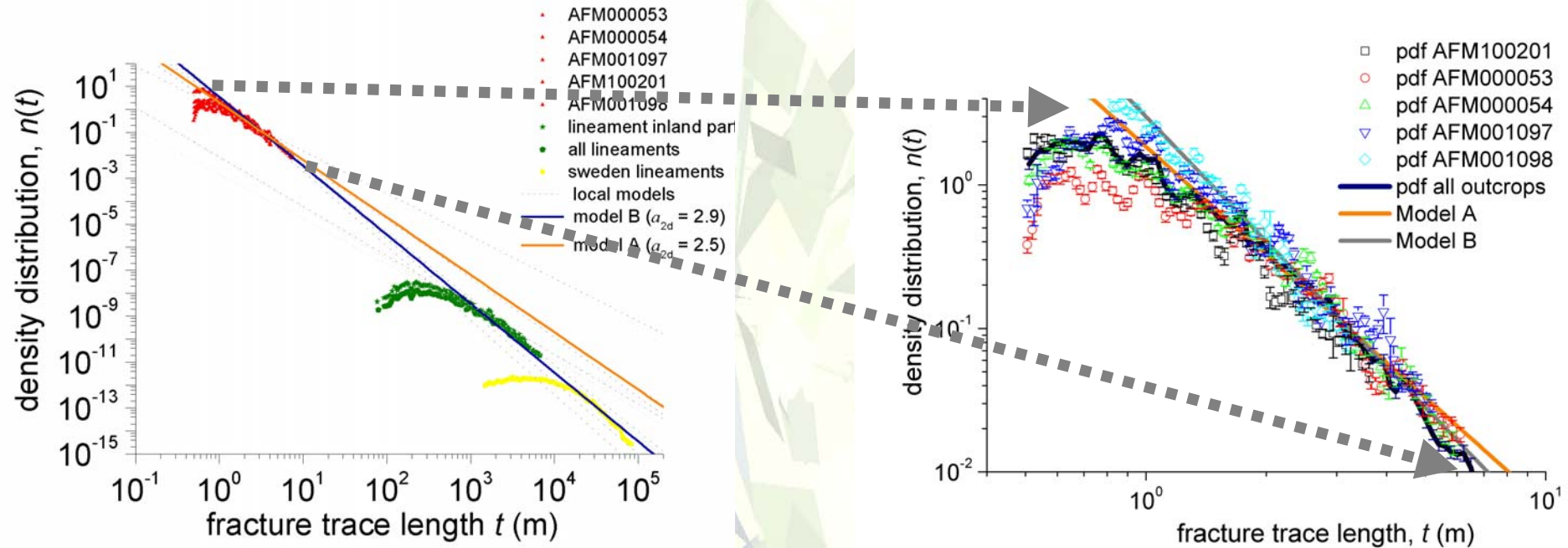
À cause des lacunes dans les données, cette comparaison dépend du modèle conceptuel choisi.

Stéréologie



Affleurements et linéaments

Les propriétés des linéaments ne sont compatibles qu'avec un modèle approché des affleurements



Distribution globale des tailles de fractures

Tailles de fractures dans les affleurements

Sondages et Affleurements (1)

Pour pouvoir comparer, nous intégrons
(le long d'un sondage et sur les affleurements)
les variations du paramètre de densité en
fonction de la taille et de l'azimuth:

$$\alpha_{3d}(\varphi) = \int_l \int_{\theta} \alpha_{3d}(l, \theta, \varphi) \cdot dl \cdot d\theta$$

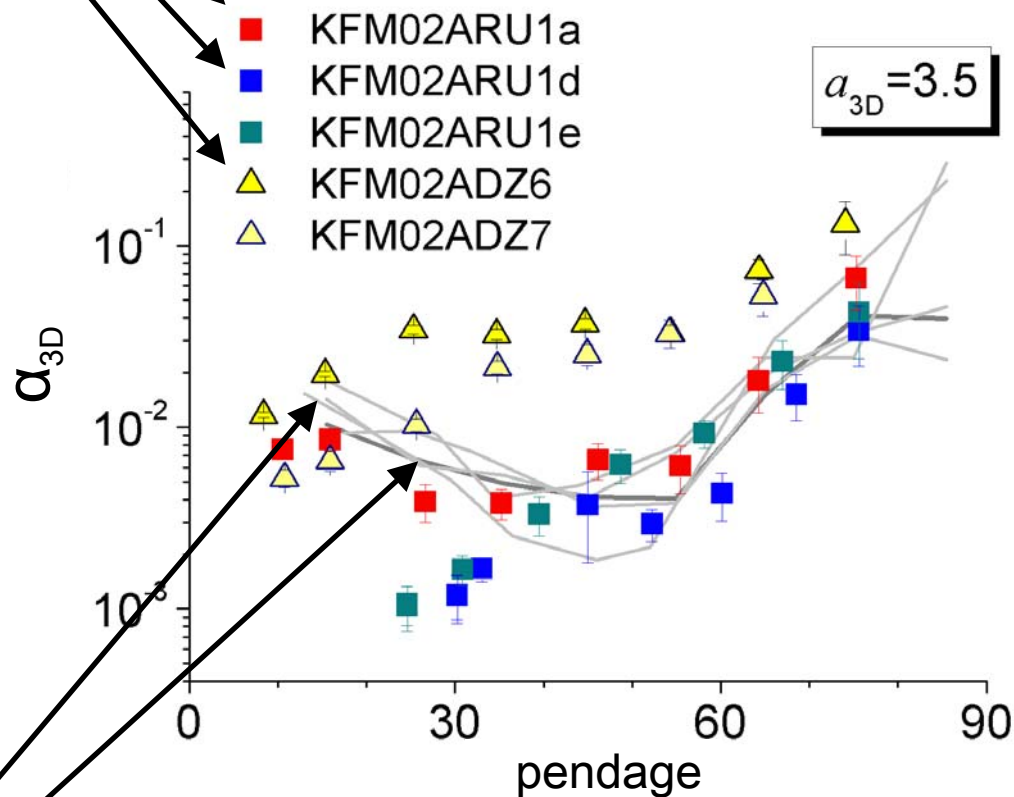
Ensuite, nous comparons les variations de ce
paramètre « global » avec le pendage, pour
les divers cas

Zones lithologiques en sondage,
profondeurs croissantes

Il n'y a
correspondance
que pour la partie
superficielle du
sondage, et pour
le modèle
incompatible avec
les linéaments

Affleurements

Sondages et Affleurements (2)



Variations du terme de densité
avec le pendage de la fracture

Conclusions (1) : le site de Forsmark

Le modèle de distribution en loi de puissance est cohérent statistiquement de l'échelle de la carotte (80 mm) à celle de l'affleurement (~ 10 m).

La cohérence jusqu'à l'échelle du linéament (10 km) est discutable.

La fracturation subhorizontale est nettement plus importante à faible profondeur, mais les fractures subverticales ne semblent pas affectées.

Conclusions (2) : construction d'un modèle de réseau de fractures

L'analyse de l'effet d'échelle doit être partie intégrante de la construction du modèle.

Les outils pour vérifier la cohérence existent, pour des modèles assez sophistiqués.

Le processus doit être itératif: une hypothèse sur le modèle statistique permet de bâtir le cadre de la vérification de cohérence, laquelle permet ensuite de valider – ou non – l'hypothèse utilisée.