



# Modélisation mathématique d'un glissement de faille induit par injection d'eau

**T. S. Nguyen<sup>1</sup>, J. Rutqvist<sup>2</sup> et Y. Gugliemi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Commission canadienne de sûreté nucléaire

<sup>2</sup> Lawrence Berkeley National Laboratory

Conférence ComGeo IV

Assise, Italie



# Contenu

- Justification de la modélisation et des essais d'injection dans des failles
- Essais d'injection dans des failles du mont Terri
- Modèle mathématique de l'injection dans des failles secondaires
- Résultats du modèle
- Conclusion et travaux à venir

# Nécessité de mieux comprendre les mécanismes de glissement de faille



- Sismicité induite due à l'injection d'eaux usées (industrie pétrolière), au stockage de CO<sub>2</sub> et à d'autres activités
- Dans le contexte de l'évacuation des déchets radioactifs dans des formations géologiques, la réactivation potentielle d'une faille située à proximité peut être causée par plusieurs facteurs, comme l'augmentation de la pression interstitielle en raison de la chaleur radiogénique ou l'infiltration d'eau à la suite de futurs cycles de glaciation et déglaciation.

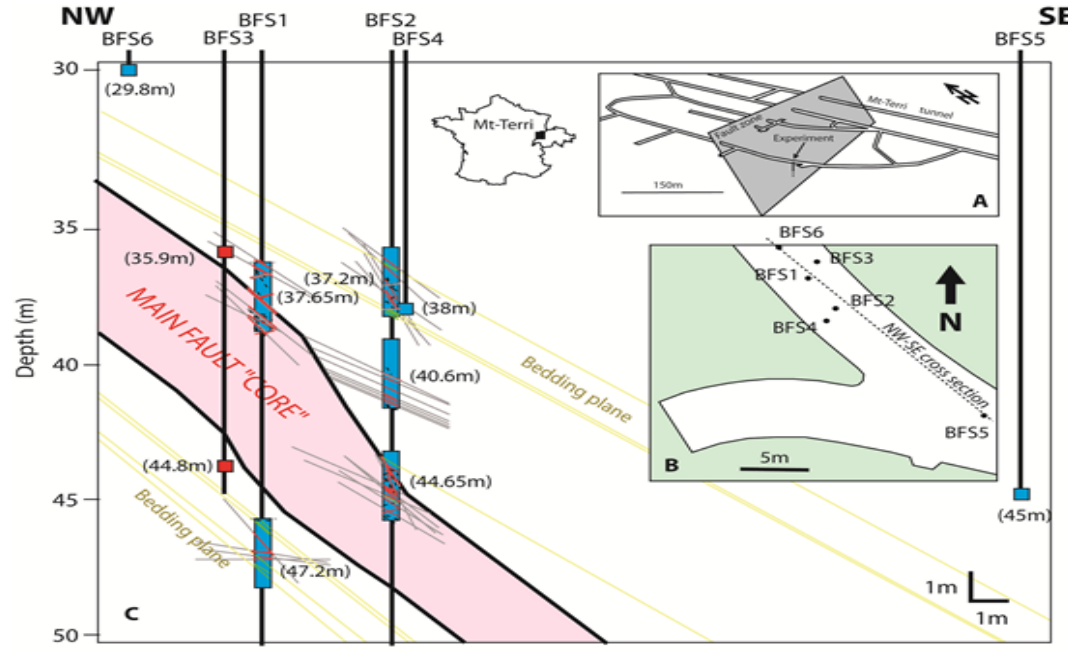
# Rôle de la CCSN dans la modélisation des glissements de faille



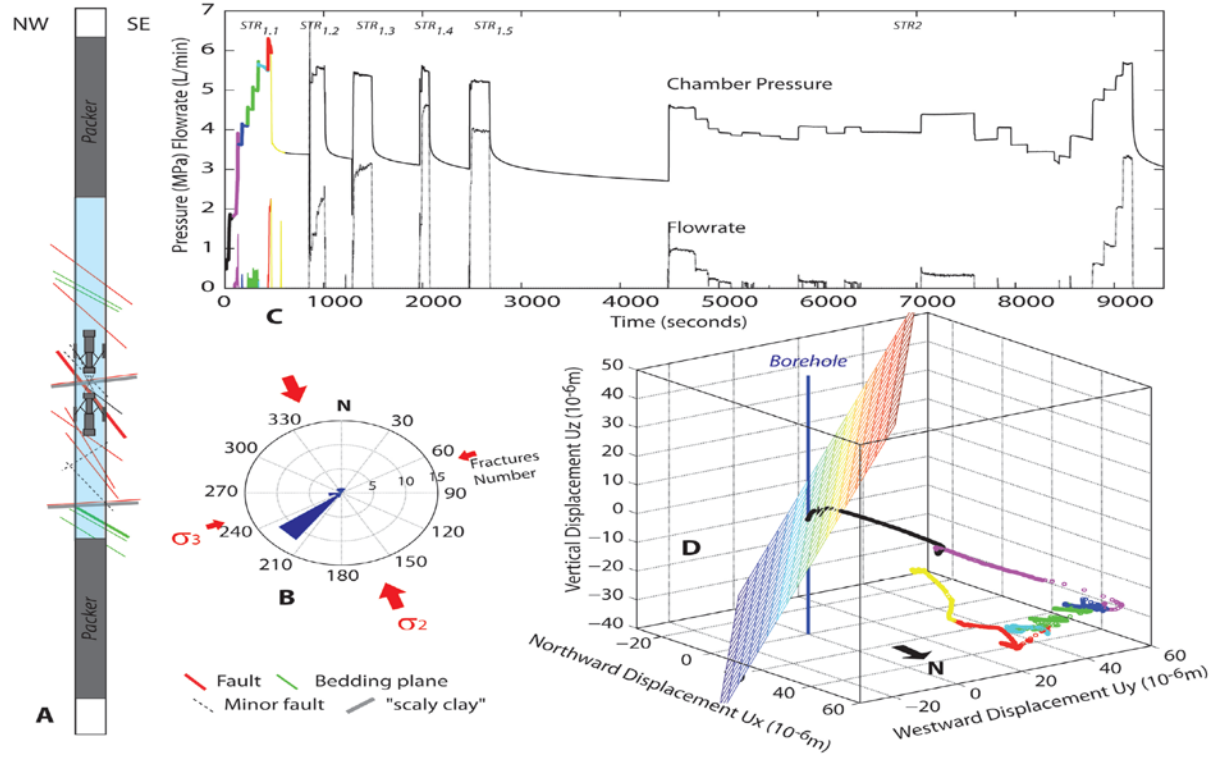
- La Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN) est l'organisme de réglementation nucléaire du Canada.
- La CCSN réalise des études indépendantes sur les aspects relatifs à la sûreté de l'évacuation des déchets radioactifs dans des formations géologiques profondes.
- Dans cet exemple de recherche, la CCSN collabore avec d'autres chercheurs pour la modélisation des essais de glissement de faille au laboratoire souterrain du mont Terri.
- Ces recherches permettront de mieux comprendre les mécanismes de glissement de faille et leurs effets sur la sûreté à long terme des dépôts géologiques en profondeur.



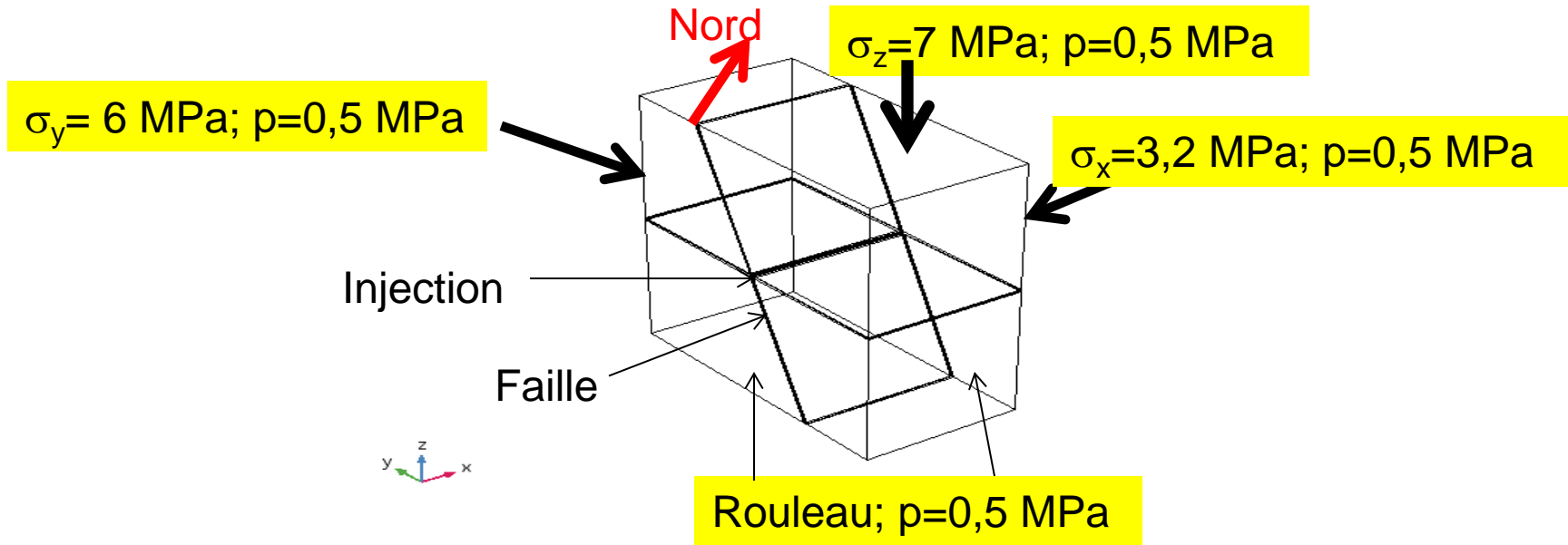
# Essais de glissement de faille au mont Terri



# Injection dans des failles secondaires : installation expérimentale



# Injection dans des failles secondaires : modèle d'éléments finis (EF)



Pendage de faille  $65^\circ$ , direction  $N45^\circ E$



# Modèle de matrice rocheuse

- Matrice rocheuse modélisée en tant que milieu isotrope poroélastique :
  - module de compressibilité de 5,9 GPa, module de cisaillement de 2,3 GPa
  - perméabilité  $10^{-20} \text{ m}^2$





# Propriétés mécaniques de la faille

- Faille modélisée en tant que milieu poroélastoplastique transversalement isotrope :
  - modules d'élasticité de Young : 15 GPa (perpendiculaire au plan de la faille), 60 GPa (parallèle au plan de la faille)
  - module de cisaillement : 4 GPa
  - critère de limite d'élasticité de Mohr-Coulomb avec règle d'écoulement non associée : angle de friction de  $22^\circ$ , angle de dilatation de  $17^\circ$

# Modèle de perméabilité de la faille



➤ Perméabilité de la faille :  $k = \frac{b_h^3}{12s}$

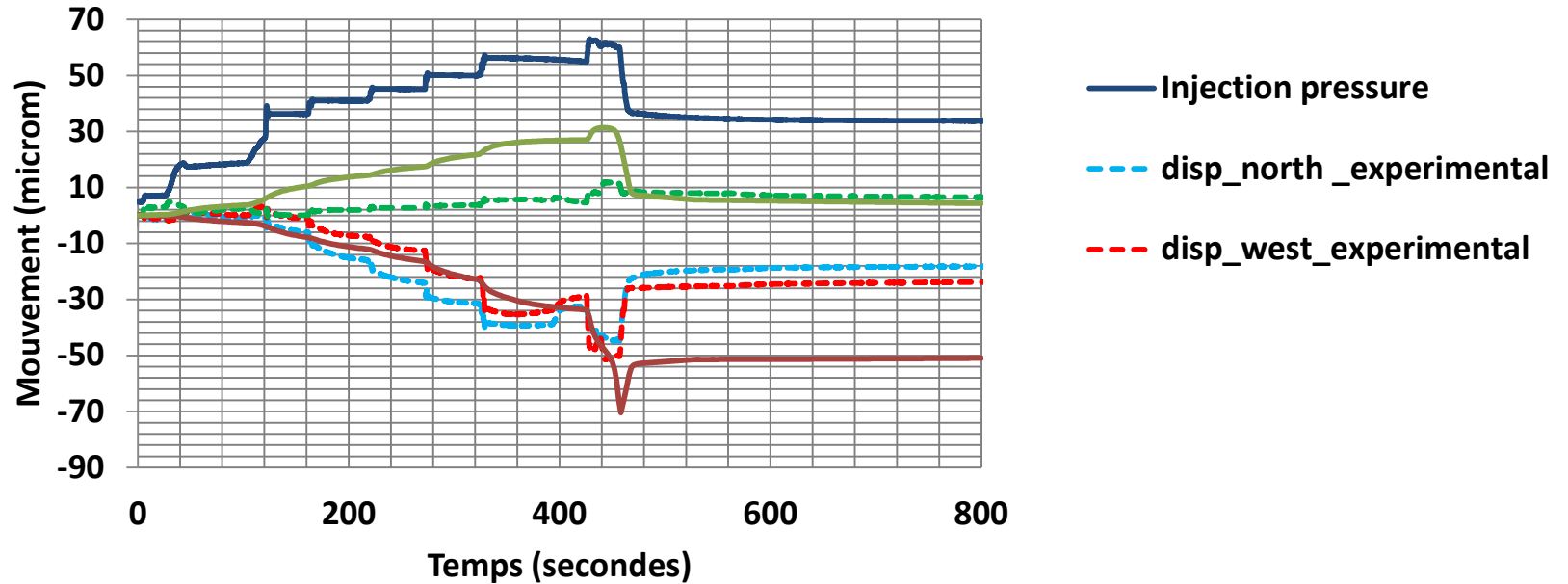
- $s$  : espacement entre les fractures
- $b_h$  : ouverture hydraulique de chaque fracture

$$b_h = b_{hi} + \Delta b_{he} + A\Delta b_{hp}$$

- où  $\Delta b_{he}$  : ouverture de la fracture élastique;  
 $\Delta b_{hp}$  : ouverture plastique;  $A$  : facteur d'exacerbation des dommages

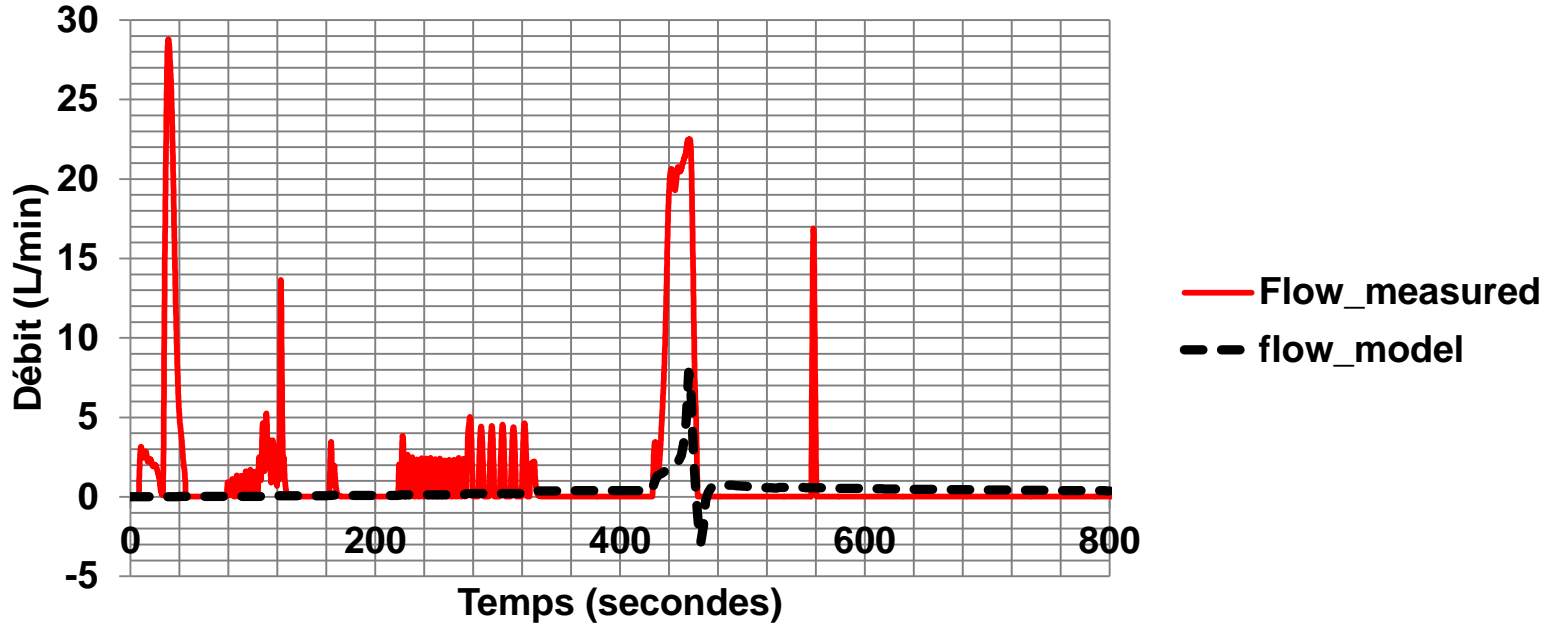


# Mouvement au point d'injection

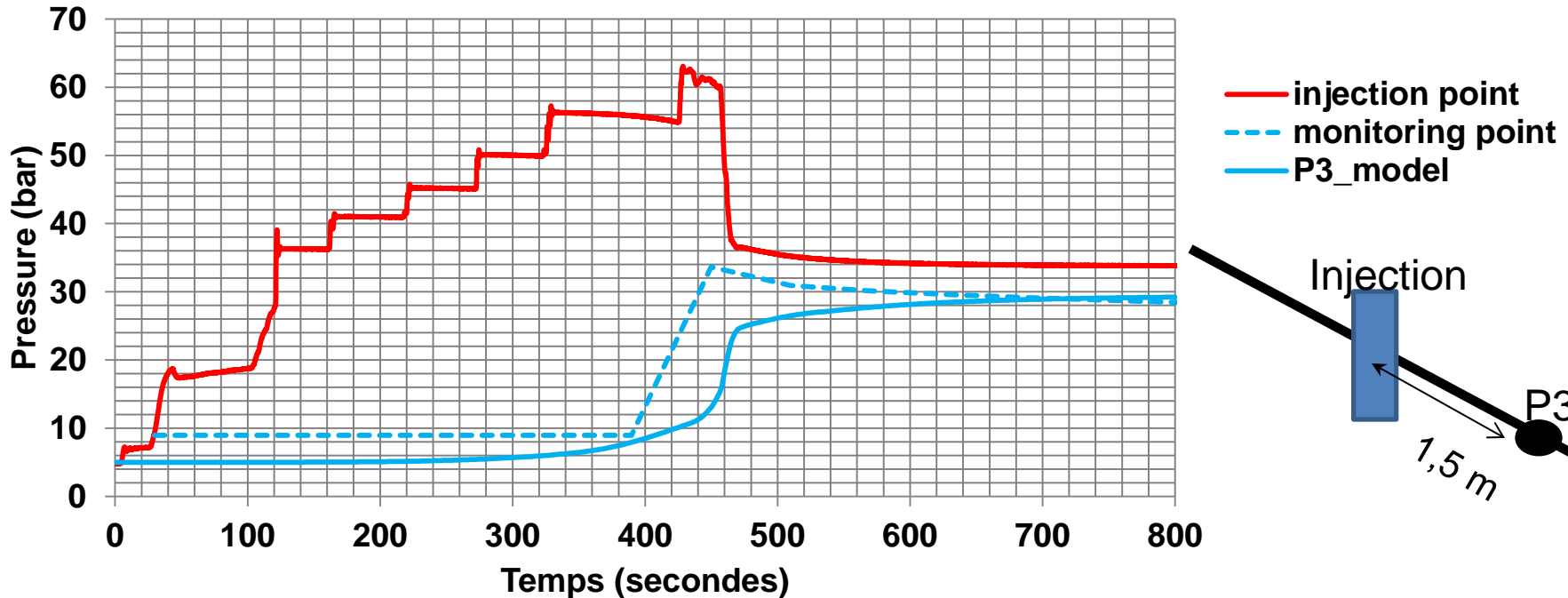




# Débit d'injection

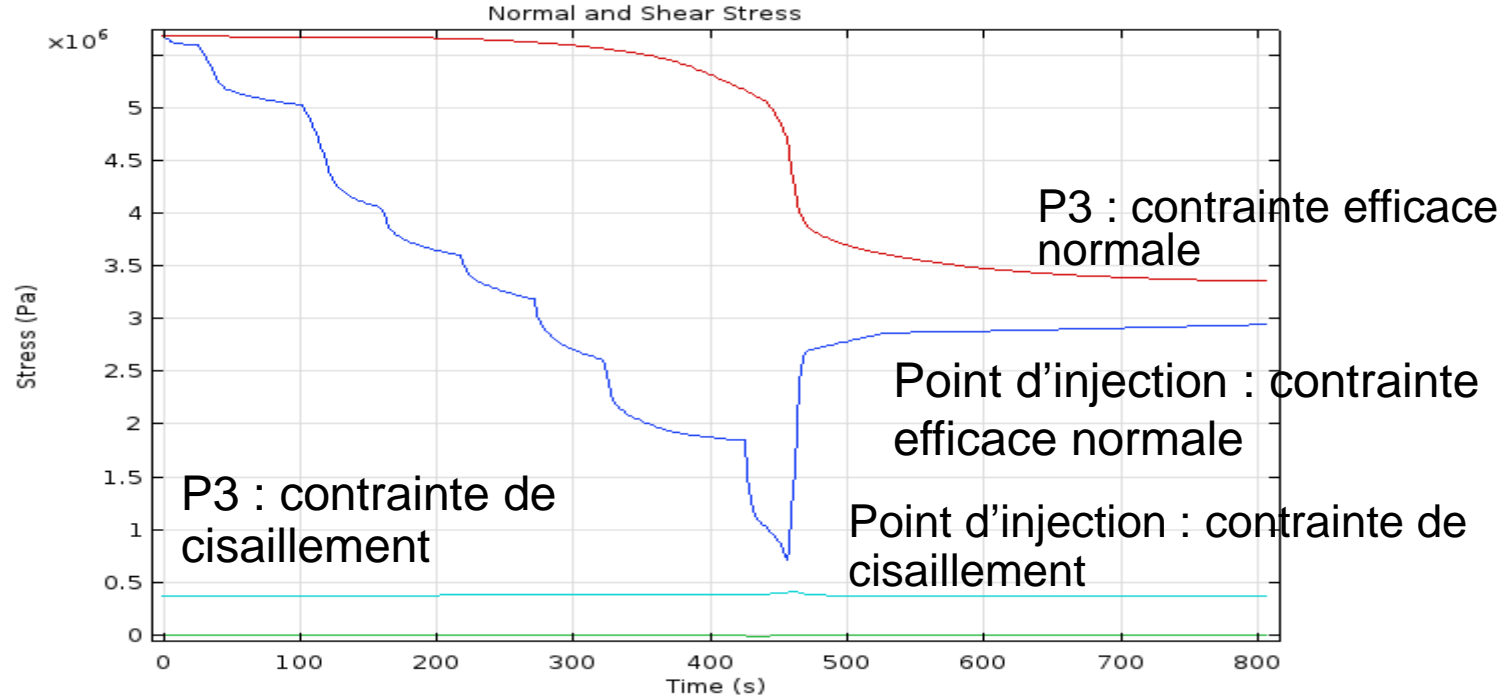


# Pression au point de surveillance P3





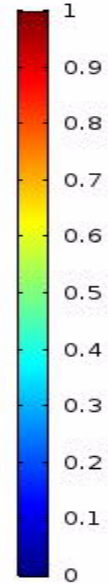
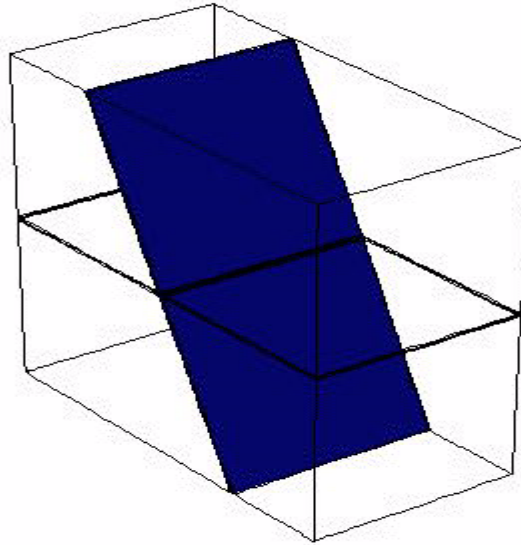
# Contraintes le long de la faille





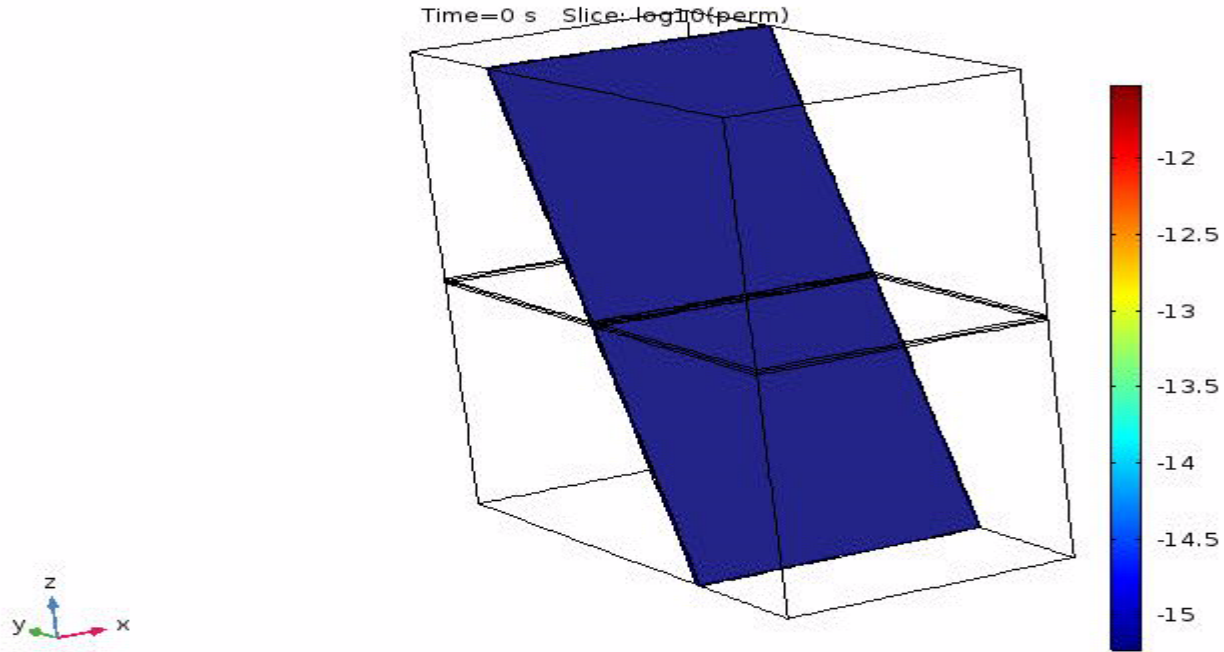
# Rupture de la faille

Time=0 s Slice: solid.epe>0





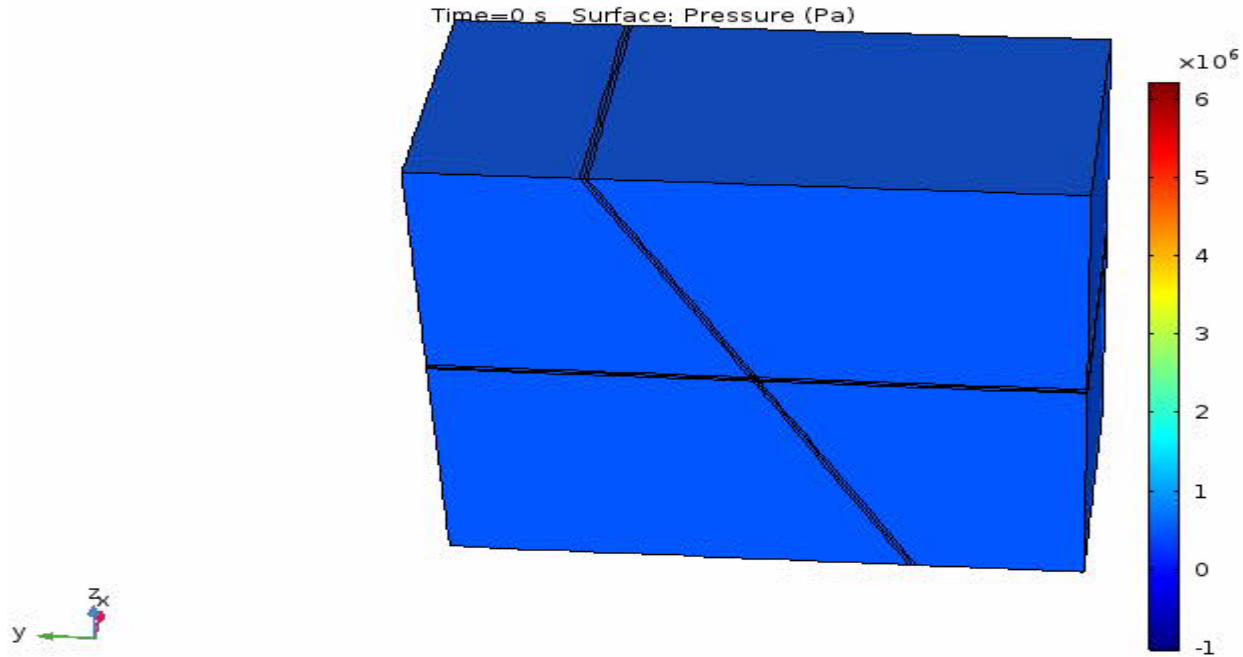
# Perméabilité de la faille



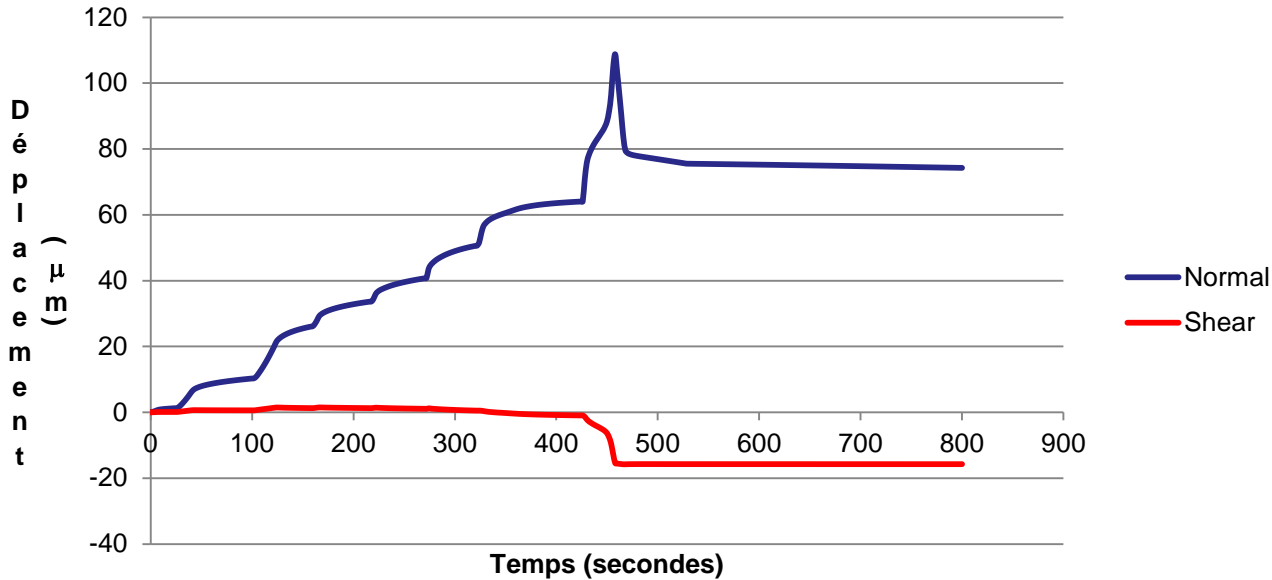




# Ouverture de la faille et pression



# Déplacement normal et de cisaillement au point d'injection





# Conclusion

- Simulation d'essais de glissement de faille au moyen d'un cadre poroélastoplastique
- Cause du glissement de faille et sismicité induite : augmentation de la pression interstitielle
- Au fil de l'augmentation de la pression d'injection :
  - la perméabilité de la faille s'accroît d'abord de manière imperceptible
  - sous une forte pression d'injection, le cisaillement débute et se propage, accroissant la perméabilité de quelques ordres de grandeur autour du point d'injection et causant une hausse marquée du débit d'injection



# Conclusion (2)

- Le cadre poroélastoplastique semble tenir suffisamment compte des mécanismes de base.
- La difficulté consiste à caractériser les propriétés de la faille : hétérogénéité, effets d'échelle, anisotropie, variabilité spatiale, relation entre la perméabilité, la déformation et la contrainte.
- Travaux à venir :
  - modélisation de l'injection dans les failles principales
  - différentes fonctions de perméabilité, plasticité directionnelle
  - modélisation d'événements sismiques déclenchés par un glissement de faille
  - analyse paramétrique : incidence de la chaleur radiogénique générée par un dépôt de déchets sur une faille à proximité



Canadian Nuclear  
Safety Commission

Commission canadienne  
de sûreté nucléaire

# Des questions?

## Merci!

Canada 

# Participez et contribuez!



Consultez notre site Web



Suivez-nous sur Facebook



Suivez-nous sur Twitter



Regardez notre chaîne YouTube



Abonnez-vous aux mises à jour



Communiquez avec nous