

Modélisation d'une faille à proximité d'une zone d'injection de fluide (géothermie profonde)

Léonard Duval-Laude

Novembre 2025

1 Cas horizontal ($\phi = \pi/2$)

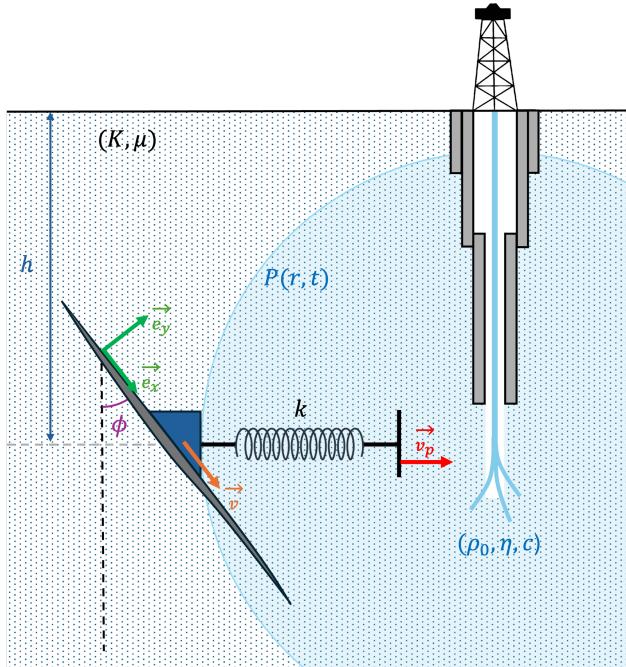


Figure 1: Modélisation d'une faille située à une distance r du point où le fluide est injecté par la centrale de géothermie profonde.

D'après l'article "JGR Solid Earth - 2015 - Segall - Injection induced seismicity Poroelastic and earthquake nucleation effects", on a l'expression de la pression fluide en fonction du temps t à une distance r du point d'injection (où q est le débit volumique, K la perméabilité, η la viscosité dynamique et ρ_0 la masse volumique du fluide) :

$$P(t) = \frac{q}{4\pi\rho_0 r} \frac{\eta}{K} erfc(\frac{r}{2\sqrt{ct}}) = P_\infty erfc(\sqrt{\frac{\tau}{t}}) \quad (1)$$

avec:

$$P_\infty = \frac{q}{4\pi\rho_0 r} \frac{\eta}{K}, \quad \tau = \frac{r^2}{4c}$$

En l'absence de pression fluide, seule la pression lithostatique σ_0 s'exerce: $\sigma_0 = \rho g h$ (ρ la masse volumique moyenne de la croûte continentale)

La pression de fluide "soulage" la contrainte normale ($\sigma_{eff} = \sigma_0 - P(t)$) et on a:

$$\eta v = -k(l^* + \delta - v_p t) - f(t)(\sigma_0 - P(t)) \quad (2)$$

On dérive par rapport au temps :

$$\eta \frac{dv}{dt} = -k(v - v_p) - \left(\frac{df}{dt}(\sigma_0 - P(t)) - \frac{dP}{dt}f(t) \right) \quad (3)$$

On multiplie par $\frac{d_c}{v_p b \sigma_0}$ (idem que le cas sans pression de fluide) :

$$\left(\bar{\eta} + \frac{\alpha}{\bar{v}} \left(1 - \frac{P(t)}{\sigma_0} \right) \right) \frac{d\bar{v}}{dt} = -\kappa(\bar{v} - 1) + \left(\bar{v} - \frac{1}{\bar{\theta}} \right) \left(1 - \frac{P(t)}{\sigma_0} \right) + \left(f_0 + a \ln(\bar{v}) + b \ln(\bar{\theta}) \right) \frac{d_c}{v_p b \sigma_0} \frac{dP}{dt} \quad (4)$$

Or, on a:

$$\frac{P(t)}{\sigma_0} = \bar{P}_\infty \operatorname{erfc}\left(\frac{\bar{r}}{2\sqrt{\bar{c}t}}\right) \quad (5)$$

$$\frac{d_c}{v_p b \sigma_0} \frac{dP}{dt} = \frac{1}{b} \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \frac{\bar{P}_\infty}{\bar{t}} \frac{\bar{r}}{\sqrt{\bar{c}\bar{t}}} e^{-\left(\frac{\bar{r}}{2\sqrt{\bar{c}\bar{t}}}\right)^2} \quad (6)$$

Les variables adimensionnées étant:

$$\bar{r} = \frac{r}{L^*} = \frac{r}{\frac{\mu d_c}{b \sigma_0}}, \quad \bar{c} = c \frac{b^2 \sigma_0^2}{v_p \mu^2 d_c}, \quad \bar{P}_\infty = \frac{P_\infty}{\sigma_0}$$

$$\boxed{-\kappa(\bar{v} - 1) + \left(\bar{v} - \frac{1}{\bar{\theta}} \right) \left(1 - \bar{P}_\infty \operatorname{erfc}\left(\frac{\bar{r}}{2\sqrt{\bar{c}\bar{t}}}\right) \right) + \left(\frac{f_0}{b} + \alpha \ln(\bar{v}) + \ln(\bar{\theta}) \right) \frac{\bar{P}_\infty}{\bar{t}} \frac{\bar{r}}{2\sqrt{\pi\bar{c}\bar{t}}} e^{-\left(\frac{\bar{r}}{2\sqrt{\bar{c}\bar{t}}}\right)^2}} \quad (7)$$

2 Avec un angle ϕ quelconque

L'équation (3) devient alors:

$$\eta \frac{dv}{dt} = -k(v \sin(\phi) - v_p) \sin(\phi) - \left(\frac{df}{dt}(\sigma(t) - P(t)) + \frac{d(\sigma - P)}{dt}f(t) \right) \quad (8)$$

L'équation finale précédente (7) devient:

$$\boxed{-\kappa(\bar{v} \sin(\phi) - 1) \sin(\phi) + \left(\bar{v} - \frac{1}{\bar{\theta}} \right) \left(\frac{\sigma(t)}{\sigma_0} - \frac{P(t)}{\sigma_0} \right) - \left(\frac{f_0}{b} + \alpha \ln(\bar{v}) + \ln(\bar{\theta}) \right) \frac{d(\sigma - P)}{dt} \frac{d_c}{v_p \sigma_0} d\bar{t} = \frac{d\bar{v}}{\bar{v}}} \quad (9)$$

Sachant que :

$$\sigma(t) = \sigma_0 \sin(\phi) - k(v_p t - \sin(\phi)\delta - l^*) \cos(\phi) \quad (10)$$