

Résumé

La géothermie est une alternative à explorer pour diversifier les sources d'énergie au Québec. Grâce à l'avancement des technologies, il est désormais possible d'envisager la production d'électricité dans les bassins sédimentaires profonds, comme celui des Basses-Terres du Saint-Laurent.

La conductivité hydraulique des roche-réservoirs est un facteur majeur à explorer pour l'exploitation d'un réservoir géothermique en profondeur. Cette conductivité doit être évaluée dans le grès de base à proximité de l'interface avec le socle, puisqu'il s'agit d'une zone ayant un fort potentiel lorsque le contact est suffisamment profond.

Le taux de fracturation est faible et la majeure partie des fractures à proximité de l'interface sont remplies par des ciments ou de la matrice. Le socle est plus fracturé, mais les fractures sont aussi remplies de ciment ou de matrice.

Les résultats de diagraphie et les analyses faites par l'industrie pétrolière montrent des porosités variant en général de 0 à 5%. En lame mince, on voit que la porosité est très faible en dehors de quelques zones non cimentées ou ayant peu de matrice dans lesquelles la porosité peut atteindre 25 à 30%. Ces zones et ces anomalies sont aussi observées en diagraphie.

Les mesures de perméabilité produite avec les essais aux tiges indiquent des valeurs variant de 0,02 md à 6 md dans le Covey Hill. Les mesures dans le Cairnside donnent des valeurs de perméabilité variant de 0,00003 md à 28 md.

Les simulations de pompage montrent qu'une perméabilité inférieure à 0,5 md ne permet pas une exploitation réaliste, car le rabattement y est alors trop fort, augmentant fortement les coûts énergétiques du pompage.

Introduction

Le spectre des changements climatiques dus à l'augmentation des gaz à effet de serre amène à réévaluer les sources d'énergie utilisées.

Peut-on produire de l'énergie géothermique dans les Basses-Terres du Saint-Laurent?

Les facteurs géologiques clés pour l'exploitation d'un réservoir géothermique sont:

- Le gradient géothermique, la profondeur cible, la conductivité thermique et la conductivité hydraulique (figure 1).

Problématique:

❖ **les zones ciblées, le grès de Potsdam et l'interface socle-bassin (figure 2) sont-elles assez perméables pour permettre l'exploitation de l'énergie géothermique qui y est contenue?**

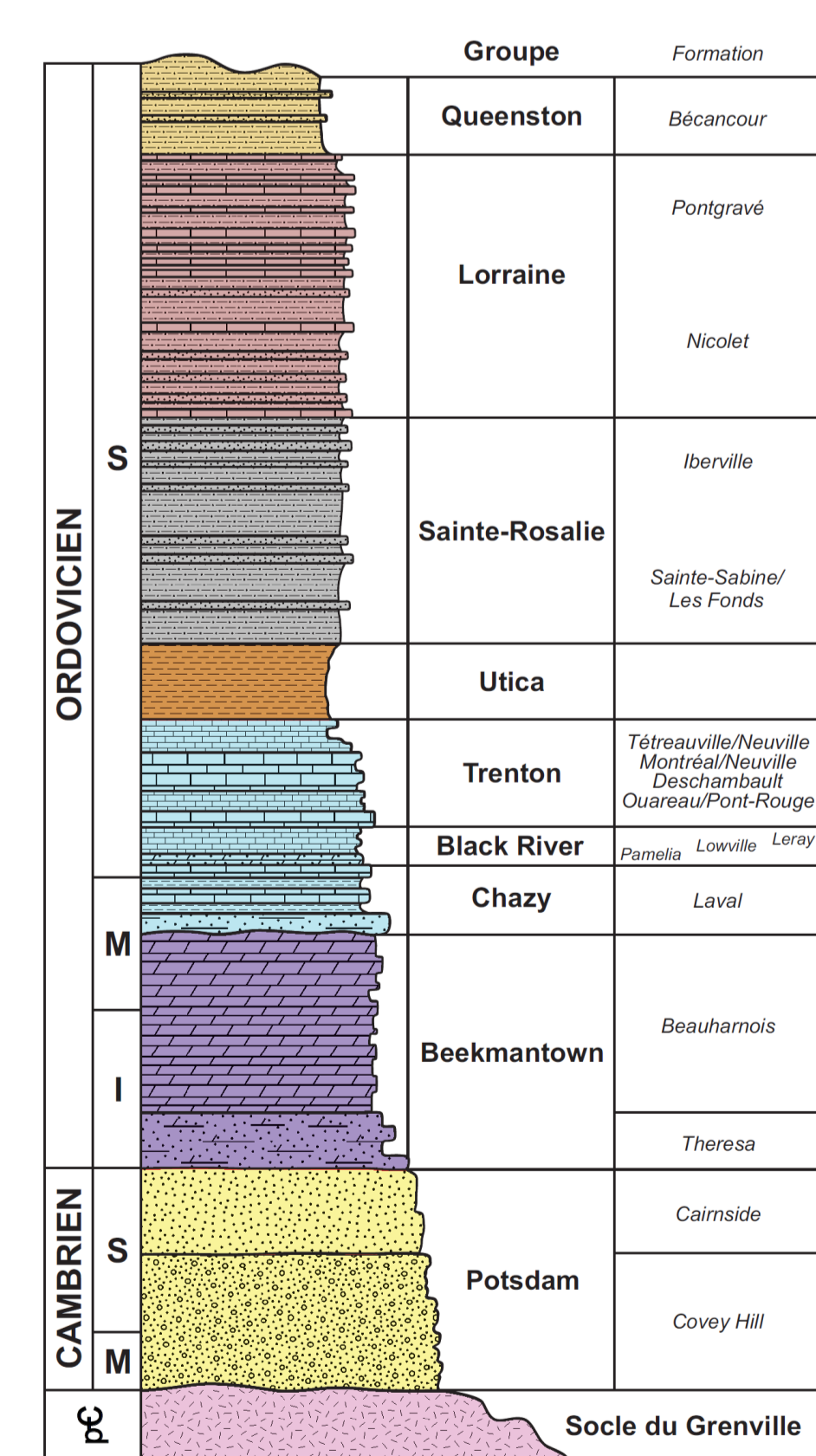
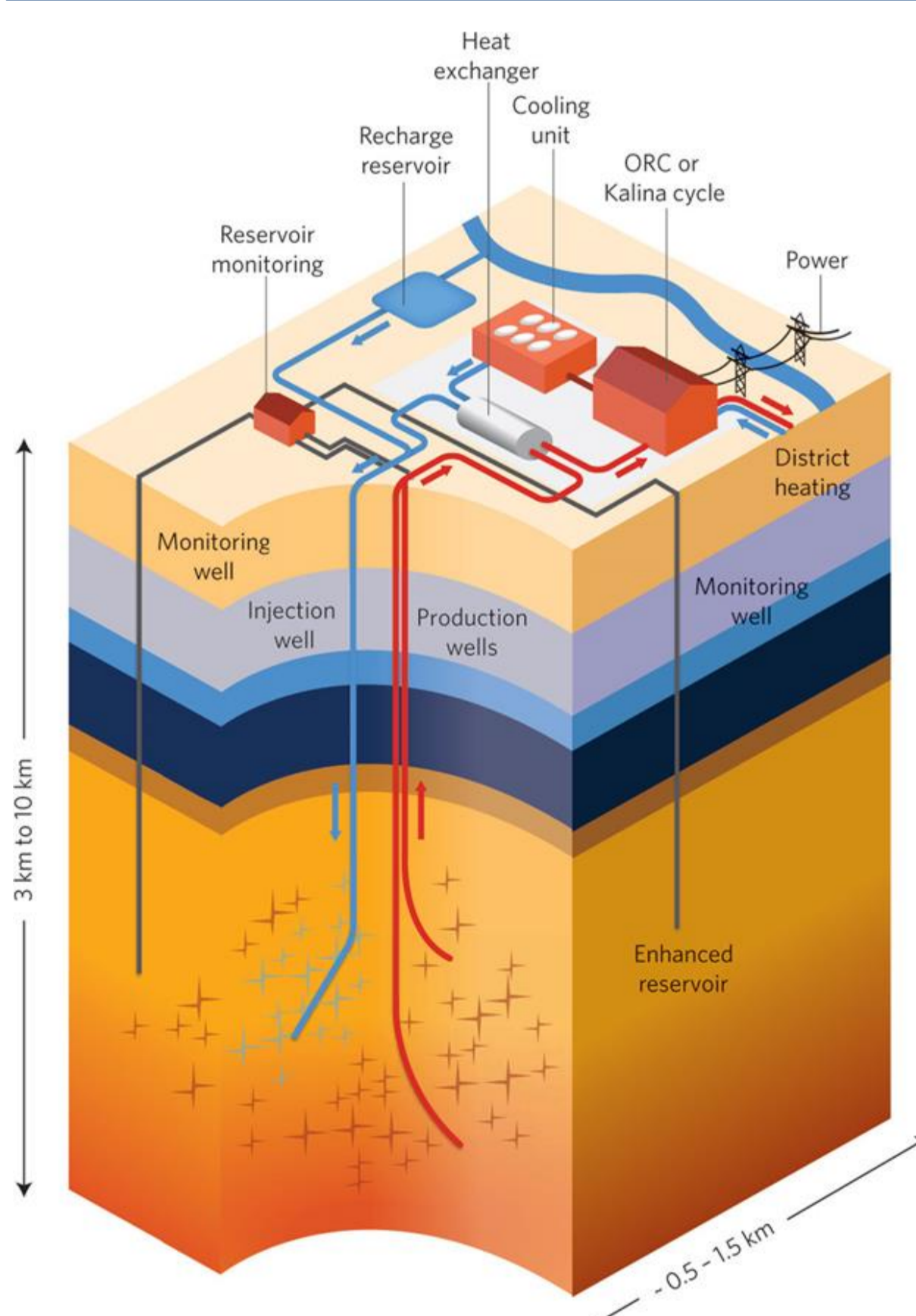


Figure (1): Système géothermique (Goldstein et al. 2011)⁷

Figure (2) Stratigraphie des Basses Terres du Saint-Laurent (Comeau et al. 2012)⁸

Méthodes

Caractérisation de la fracturation sur le terrain:

- Prélèvement des données dans des zones définies.
- Données → direction, longueur, et pondération qualitative.

Caractérisation de la nature des fractures et de la lithologie de la roche.

- Carottes analysées, lames minces prélevées et analysées.
- Travaux précédents compilés.

Caractérisation de la porosité

- Analyse des lames minces.
- Analyse des rapports de forage.
- Analyse des diagraphies.

- Bulk density :
- Sonic logs :

$$\phi_d = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f}$$

$$\phi_s = \frac{\Delta t - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}}$$

(ρ_b) bulk density; (ρ_{ma}) densité de la matrice; (ρ_b) densité du fluide contenu dans les pores de la formation; (ρ_f) porosité. (Δt) le temps de transit des ondes sonores dans l'unité; (Δt_{ma}) temps de transit dans la matrice (Δt_f) temps de transit dans le fluide (ϕ_s) porosité.

Caractérisation de la perméabilité

- Calcul de la perméabilité à partir des essais aux tiges:

$$p_w = p_0 - \frac{2.3q\mu}{4\pi kh} \log \frac{t_0 + \Delta t}{\Delta t} \quad kh/\mu = 162.6 \frac{q_a}{\Delta p}$$

$$p_w = p^* - 162.6 \frac{q\mu B}{kh} \log \frac{t + \Delta t}{t} \quad B = z \frac{T}{T_{sc}} \frac{p_{sc}}{(p^* + p_w)/2} \quad \text{Horner 1951}^1$$

(p_w) pression mesurée à la tête de puits (dans l'équation de (B)), il est possible d'approximer (p_w) à (p_{sc}) la pression du puits ouvert avec circulation de fluide (Matthews and Russel²); (p_0) la pression initiale en l'état de la formation; (q) taux de production du puits avant la fermeture; (μ) la viscosité du fluide/gaz; (k) la perméabilité de la formation; (h) la hauteur de la formation testée; (t_0) temps de production; (Δt) le temps écoulé depuis la fermeture du puits après la production initiale; (p_0) la pression initiale en l'état de la formation; (B) un facteur du volume du gaz calculé (B) est fonction de (T) la température absolue; (T_{sc}) la température absolue aux conditions standard; (z) le facteur de compressibilité du gaz; (p_{sc}) la pression aux conditions standards.

Simulation de pompage:

- Sans fracture: Theis (1935)/Hantush (1961)^{3,4,5}
- Avec fracture: Gringarten-Ramey (1974)⁶

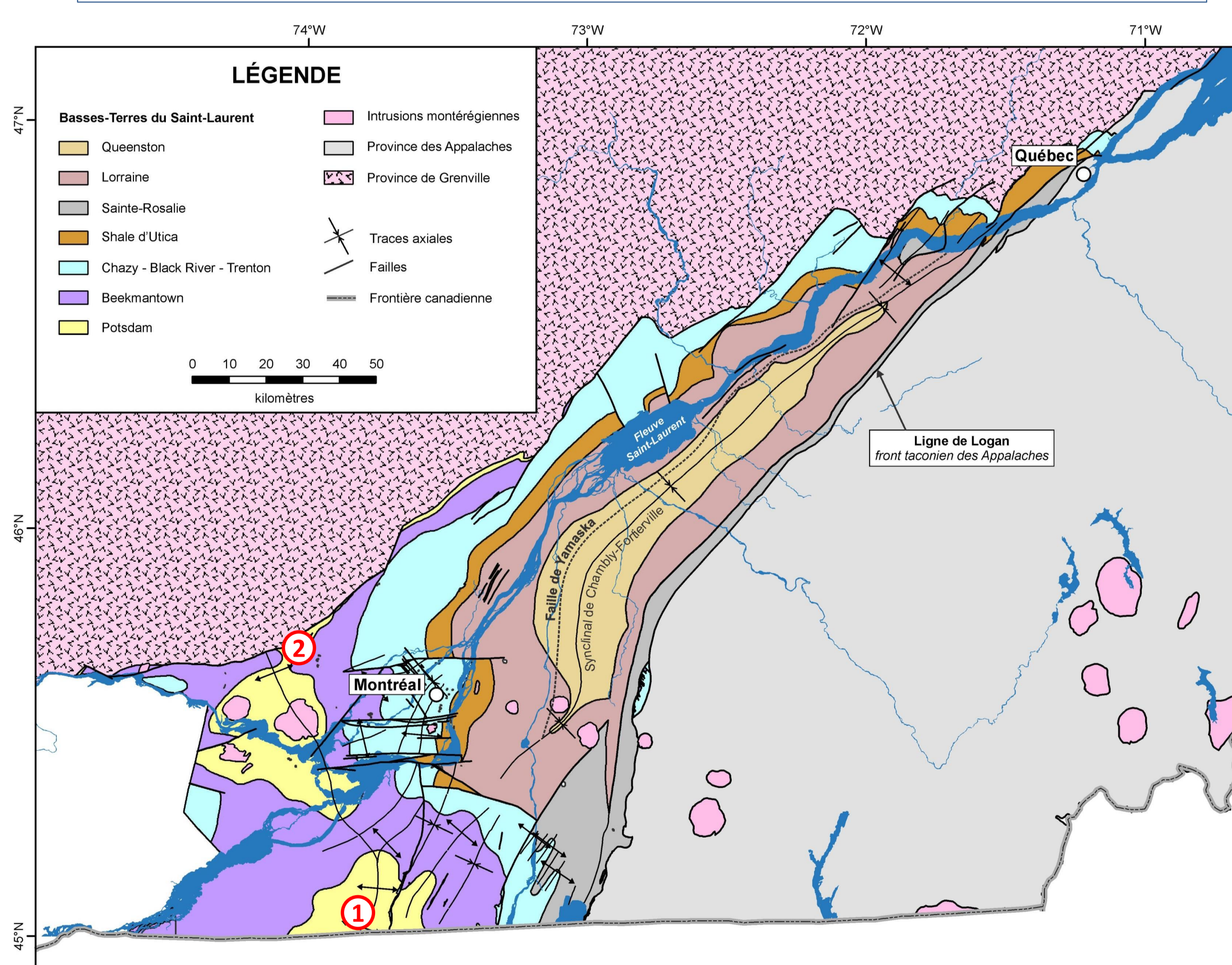


Figure (3) Carte géologique des Basses-Terres du Saint-Laurent (Comeau et al. 2012)⁸

Résultats

Données de fracturation:

- Peu de fractures dans le Covey Hill, le peu de fractures présentes sont très souvent fermées (cimentées ou contenant de la matrice argileuse)
- De nombreuses fractures dans le socle, mais fermées (cimentées ou contenant de la matrice argileuse) (figure 5)

Données de porosité:

- Socle a une porosité nulle ou quasi nulle
- Porosité du Potsdam généralement faible (inférieure à 5%) (figure 5)
- Zone hétérogène avec porosité allant jusqu'à 30% en lame mince

Donnée de conductivité :

- Conductivité très hétérogène allant de 0,00003 md à 20+ md. La majorité est inférieure à 1 md avec quelques mesure supérieures à 10 md

Simulation:

- Généralement il serait difficile d'exploiter les aquifères avec des conductivités inférieures à 0,5 md sans fracturation

Discussion et Conclusion

Le Potsdam est faiblement fracturé et généralement peu poreux. Il est par contre important de noter que les diagraphies, les lames minces et les rapports de forage montrent tous qu'il existe d'importantes zones de forte porosité et que de manière générale le Potsdam et surtout le Covey Hill sont hétérogènes.

Les données de conductivité sont elles aussi généralement faibles. Elles présentent le portrait d'une roche souvent cimentée ou avec des pores contenant une matrice fine. Par contre certains DST montrent des zones de forte conductivité. Les données disponibles ne permettent pas de relier les zones de forte porosité aux zones de forte perméabilité, mais on peut penser que celles-ci sont reliées.

Les simulations montrent que les zones de relativement forte perméabilité pourraient être exploitables. Les simulations montrent aussi que la fracturation a un impact majeur sur la conductivité et que la production de fractures artificielles pourrait permettre l'exploitation de zones normalement non exploitables.

En conclusion, il est possible d'exploiter l'énergie contenue dans les aquifères chauds, mais il est difficile d'établir une cible dans une zone si hétérogène. Si la possibilité de devoir fracturer artificiellement la roche est envisageable, nous nous retrouverions alors dans une situation où il serait encore plus facile de déclarer l'exploitation possible.

Figure (4) Direction des fractures, Covey Hill, Colline Covey Hill. -1 Direction des fractures, Cairnside, Carrière Unimin. -2 Voir figure (3) pour localisation.

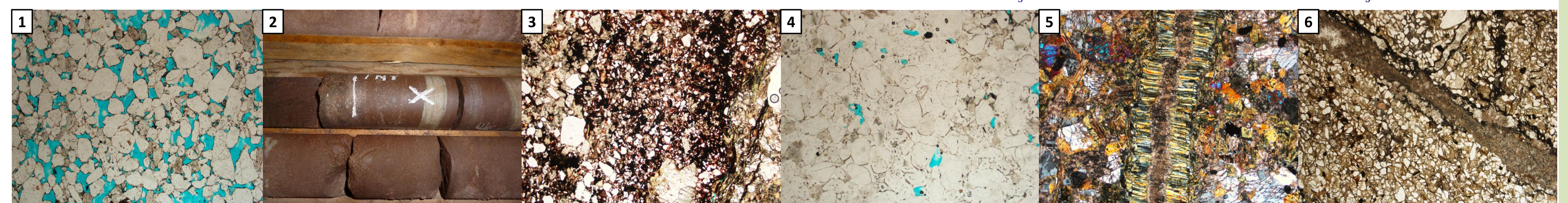
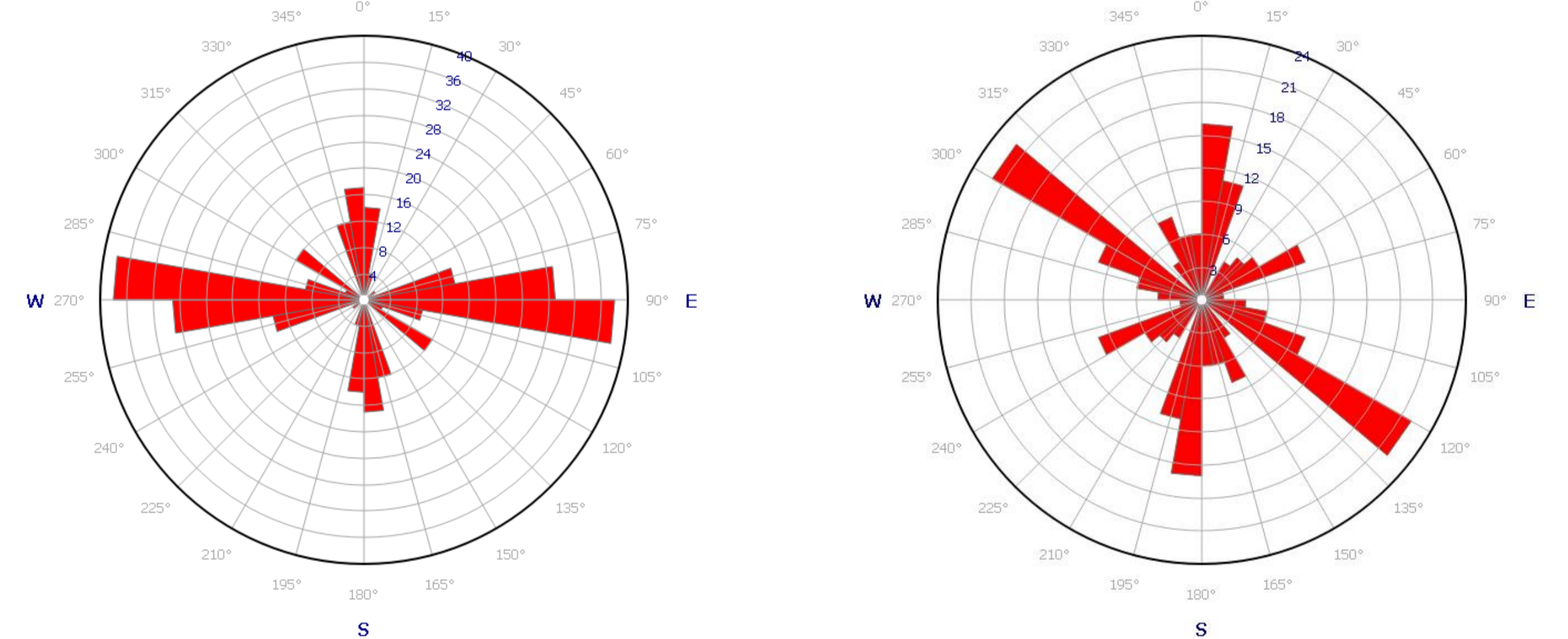


Figure (5) 1. Grès avec forte porosité, 2. Interface socle Potsdam, 3. Interface Socle-Potsdam, 4. Grès classique, 5. Fracture cimenté dans le socle, 6. Fracture cimenté dans le grès.

Contact

Laurent Gauchat
INRS Eau Terre Environnement
Courriel: Laurentgauchat@gmail.com

Remerciements



Références

- Horner, D. R. (1951). Pressure Build-Up in Wells, proc., Third World Pet. Cong., E. J. Brill, Leiden II, 503.
- Matthews, C. S. and Russell D. G. (1967) Pressure buildup and flow tests in wells, Society of petroleum engineers of AIME, Chapter 3, 3.5 pp. 18-33.
- Theis, C.V., (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage, Am. Geophys. Union Trans., vol. 16, pp. 519-524.
- Hantush, M.S., (1961). Drawdown around a partially penetrating well, Jour. of the Hyd. Div., Proc. of the Am. Soc. of Civil Eng., vol. 87, no. HY4, pp. 83-98.
- Hantush, M.S., (1961). Aquifer tests on partially penetrating wells, Jour. of the Hyd. Div., Proc. of the Am. Soc. of Civil Eng., vol. 87, no. HY5, pp. 171-194.
- Gringarten, A.C. and H.J. Ramey, (1974). Unsteady state pressure distributions created by a well with a single horizontal fracture, partial penetration or restricted entry, Soc. Petrol. Engrs. J., pp. 413-426.
- Goldstein, B. et al. (2011) IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation (eds Edenhofer, O. et al) 401-436 (Cambridge Univ. Press, 2011).
- Comeau, F.-A., Bédard, K. et Malo, M. (2012) Les régions de Nicolet et de Villeroi; état des connaissances pour la séquestration géologique du CO2. Institut national de la recherche scientifique, Québec, Québec. Rapport de recherche 1332, 50 pages.