

TRAÇAGE THERMIQUE AVEC UNE SONDE SUBMERSIBLE ET DISTRIBUTION THERMOSTRATIGRAPHIQUE AU VOISINAGE D'UN Puits GÉOTHERMIQUE : APPLICATION À L'ANALYSE D'UN TEST DE RÉPONSE THERMIQUE.

1-Introduction

L'immersion de la sonde submersible attachée à un câble dans un échangeur de chaleur géothermique à boucle fermée provoque une remontée de la colonne d'eau (Raymond et al., 2016) qui affecte l'évaluation de la température du sol non perturbé.

Le puits géothermique construit aux laboratoires de l'INRS à Québec (Figure 1) a été utilisé pour développer et mettre en application une méthode afin de correctement mesurer le gradient géothermique dans un échangeur de chaleur.



Figure 1: Site des laboratoires lourds (INRS-CETE)

La collecte des données a été réalisée avec une sonde submersible de température ($T \pm 0.002 \text{ } ^\circ\text{C}$) et de pression ($P \pm 0.005 \text{ dB}$) enregistrant les données à un intervalle de temps de 10s pour une vitesse de descente de 0.083m/s offrant une résolution verticale de 1 m.

2-Objectif

Développer une méthode de terrain rapide pour mesurer un profil de température, avec une sonde submersible attachée à un câble, dans un échangeur de chaleur géothermique pour inférer un profil de conductivité thermique à partir des données du suivi de la restitution thermique lors d'un test de réponse thermique.

3. Méthodologie

3-1 Mesurage et correction d'un profil de température

Le profil de température est mesuré avec la sonde dans le tuyau complètement rempli d'eau dont l'une de deux extrémités du tubage est scellée (Figure 2). L'équation 1 (Raymond et al., 2016) est utilisée pour compenser la profondeur à partir des données de la pression fournies par la sonde submersible.

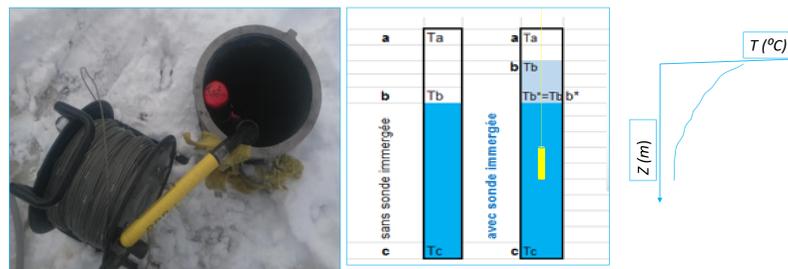


Figure 2: Profil de température dans un puits géothermique

$$Z^*(L) = Z - \left(\frac{V_{\text{sonde}} + V_{\text{câble}}(L)}{2\pi r_{\text{tuyau}}^2} \right) \quad \text{équation 1}$$

où Z^* et Z (m) sont des profondeurs corrigée et mesurée, V (m^3) est le volume, L (m) est la longueur du câble et r (m) est le rayon du tuyau de l'échangeur de chaleur.

3-2 Suivi de la restitution thermique du TRT et évaluation de la conductivité thermique

Des profils de température de la restitution thermique sont réalisés après l'arrêt de l'injection de chaleur du TRT. Les séries de températures obtenues sont analysées pour inférer la conductivité thermique selon le principe de superposition temporelle (Pehme et al. 2007) appliquée à la méthode de la pente de régression linéaire selon l'équation de la ligne source infinie (équations 2 et 3) en considérant un modèle multicouche avec transfert de chaleur radial seulement (figure 3).

$$T(t) \cong \frac{q}{4\pi\lambda m'} \ln\left(\frac{t}{t-t_{\text{off}}}\right) \quad \text{équation 2}$$

$$\lambda \cong \frac{q}{4\pi m'} \quad \text{équation 3}$$

Dans les équations 2 et 3, q (W/m) est la taux de chaleur lors du test de réponse thermique (TRT), λ (W/m.K) est la conductivité thermique de chaque couche, m' (K/m) est la pente du graphique de la température en fonction du temps logarithmique normalisé, b (K) est une constante de la droite de régression linéaire, t_{off} et t (s) sont le temps de fin du TRT et la durée totale depuis la fin du test.

3-3 Profil de conductivité thermique et coupe thermostratigraphique

La disponibilité des séries de température en fonction de la profondeur permet d'appliquer les équations 2 et 3 à des sections de longueur de la boucle pour inférer la conductivité thermique relative à chaque position de mesurage spécifique et déduire un profil de distribution verticale de la conductivité thermique. Cette avantage est également utilisé pour réaliser la corrélation thermostratigraphique selon un modèle multicouche entre la conductivité thermique à une profondeur donnée et la description lithologique correspondante selon la description de la coupe de forage.

4- Résultats

La méthode a été appliquée pour analyser la période de restitution thermique (figure 3 et 4) du deuxième test de réponse thermique réalisé sur le puits géothermique (Ballard et al., 2016) et en prenant en compte l'information disponible sur le contexte géologique et hydrogéologique du forage (figure 5).

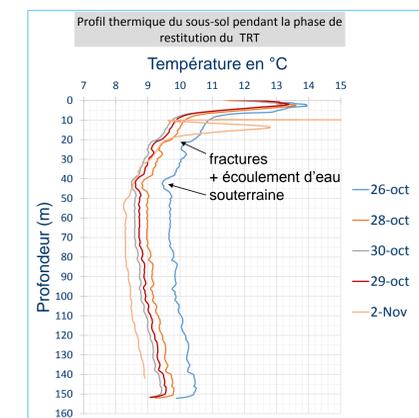


Figure 3: Profils de température corrigés

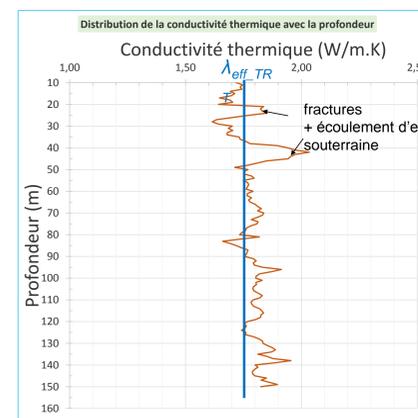


Figure 4: Profil de conductivité thermique



Figure 5: Coupe de forage

5- Conclusions

La méthode développée :

- ✓ utilise une logistique simple, rapide et facile à mettre en œuvre
- ✓ permet d'obtenir des résultats fiables et comparables à ceux des TRT conventionnels réalisés sur le même puits
- ✓ apporte de l'information pertinente dans la compréhension et la quantification de l'impact de la géologie et de l'écoulement souterrain dans l'analyse de TRT

6- Références

- ✓ Ballard J.-M., Raymond J. et Koubikana P.C.H, 2016 : Développement des tests de réponse thermique automatisés et vérification de la performance d'un forage géothermique d'un diamètre de 4,5 po. Rapport 1601, INRS-ETE, Québec (QC).
- ✓ Pehme P. E., Greenhouse J.P., Parker B.L., 2007 : The Active Line Source Temperature Logging Technique and its Application in fractured Rock Hydrogeology. Journal of Environmental and Engineering Geophysics. (4), 307-322.
- ✓ Raymond J., Lamarche L., Malo M., 2016 : Extending thermal response test assessments with inverse numerical modeling of temperature profiles measured in ground heat exchangers. Renewable Energy. (99), 614-621

7- Remerciements

- ✓ INRS
- ✓ P. Kwémo (Énergie stat, pour les TRT)
- ✓ Y. Lamarche (Forage géothermique, pour le puits)
- ✓ Membres de l'équipe géothermie (assistance)