Mesure de la conductivité thermique des roches par la méthode de la barre divisée, principe théorique de la méthode

Pour mesurer la conductivité thermique des roches nous allons utiliser la méthode de mesure à barre divisée. Cela consiste à appliquer une différence de température connue et constante à chaque extrémité d'une colonne constituée de 2 cylindres, en laiton généralement, et dont on connaît la conductivité, placées de part et d'autre de la pastille de roche dont on cherche la conductivité.

Les 2 barres de laiton sont de même diamètre que la pastille, 30mm.

Ces 2 barres sont fixées à une presse permettant de comprimer la pastille à une valeur de pression nécessaire à la fermeture des faillesqu'elle contient (2000 Newtons/m^2), la pastille se retrouve ainsi dans les conditions proches de celles connues in situ à 1000 ou 2000m de profondeur dans la croûte terrestre.

La différence de température est fournie par un circuit d'eau à 33°C circulant dans le haut de la barre située au-dessus de l'échantillon ; tandis que la seconde barre est refroidie par un autre circuit d'eau à 13°C circulant dans le bas de la barre située en-dessous de la pastille. Les deux circuits d'eau sont alimentés par 2 bains thermostatés. L'ensemble de l'équipement se trouve dans une pièce climatisée à 23°C. Cela permet de réduire au mieux les pertes ou acquisition de chaleur sur le pourtour de la pastille qui est en contact avec l'air ambiant. 23 = (33+13)/2.
Les colonnes sont enrobées de laine de roche pour éviter les pertes de chaleur sur leurs pourtours.
Des thermocouples différentiels, dont nous mesurons les f.e.m., sont placés tout le long des colonnes à des distances connues, pour suivre les gradients thermiques tout au long des colonnes ainsi que de part et d'autre de la pastille, au cours de la mesure.

Donc si nous n'avons pas de perte de chaleur, quand le régime stationnaire est atteint, la théorie donne pour tout matériau :

Flux thermique en W :

Φ = dQ/dt = k .* s* dT/dx

Q : Quantité de chaleur en Joules

k : la conductivité thermique.en $W.m^{-1}.K^{-1}$

s : surface en m^2

dT/dx : Gradient thermique ($K.m^{-1}$)

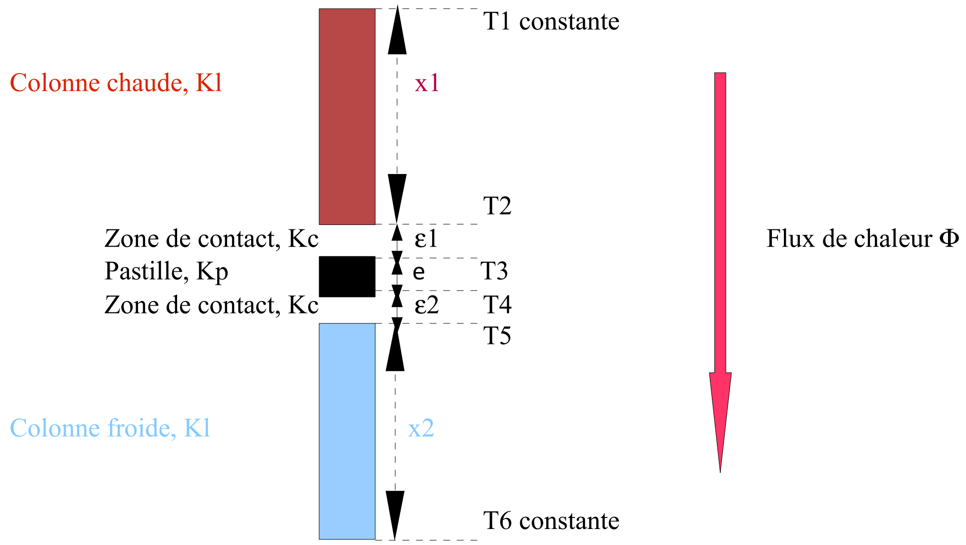
Le flux de chaleur traverse donc 2 colonnes en laiton de conductivité Kl, la pastille de roche de conductivité Kp, et 2 fois la zone de contact roche-laiton, que nous allons appeler Kc.

La conductivité des 2 colonnes de laiton Kl est déterminée au cours de l'étalonnage de l'appareil.

La conductivité ou plutôt résistance de contact est minimisée de plusieurs manières :
en polissant les faces de la pastille de façon à obtenir un état de surface en-dessous des 15µm,
en appliquant de la laque d'Argent qui a de bonne qualités thermiques et qui est faiblement plastique, ainsi qu'une fine pellicule de pâte silicone qui va encore améliorer ce contact.
De cette façon, cette résistance de contact devient très faible devant la conductivité mesurée de la roche et influence très peu le résultat.

La différence de température aux bornes de l'appareil étant constante, la conductivité totale de l'ensemble change du fait du changement du type d'échantillon.

Ci-dessous un shéma théorique d'un appareil à barres divisées, dont on peut déduire les égalités suivantes,
la surface s traversée par le flux pour chaque matériau est la même:



Φ = Kl(T1-T2)/x1 = Kl(T5-T6)/x2 = Kc(T2-T3)/ ε1= Kc(T4-T5) /ε2= Kp(T3-T4)/e
et
T1-T6 =(T1-T2)+(T2-T3)+(T3-T4)+(T4-T5)+(T5-T6)

d'où

T1-T6 = Φ ((x1/Kl) + (ε1/Kc) + (e/Kp) + (ε2/Kc) + (x2/Kl))

Si on prend Φ = Kl * dT/dx au sein d'une des colonnes de laiton ou des 2, puisqu'elles n'ont pas exactement la même conductivité.

((T1-T6) * dx)/(Kl***dT**) = (x1+x2)/Kl + (ε1+ ε2)/Kc + **e**/Kp

Nous avons T1, T6, x1, x2, Kl, ε1, ε2 constants et connus.

Si on suit les variations de l'écart de température dT en fonction de l'épaisseur de la pastille, nous obtenons une droite, dont l'inverse de la valeur de la pente nous donnera la valeur de la conductivité thermique de l'échantillon et l'ordonnée à l'origine la valeur de la résistance de contact.
Si on suit l'écart de température sur chaque colonne, on prendra la moyenne des 2 dT en fonction de l'épaisseur des pastilles.

Etalonnage de l'appareil :

Cet étalonnage se fait avec 2 matériaux de conductivités connues et très éloignées l'une de l'autre, qui englobe le spectre des valeurs de conductivité des roches (Quartz : 6,194 et Silice : 1,357 à 23°C). La valeur de conductivité de chaque étalon est connue, on peut alors déterminer les valeurs de conductivités de la colonne chaude (Kla) et de la colonne froide (Klb) en laiton, :

((T1-T6) * dx)/(Kla*dTa) = (x1/Kla) + (x2/Klb) + (ε1+ ε2)/Kc + e/Kp
et
((T1-T6) * dx)/(Klb*dTb) = (x1/Kla) + (x2/Klb) + (ε1+ ε2)/Kc + e/Kp

Hélène Bouquerel
Institut de Physique du Globe de Paris
Equipe de dynamique des Fluides Géologiques