

## **Transmission de la chaleur appliquée aux sciences de la Terre**

**GEO-1504** – Session d’hiver 2017

**Professeur responsable :** Jasmin Raymond, bureau 4308, disponible les vendredis

**Participation de :** John Molson, Richard Fortier et Jean-Sébastien Gosselin

**Description :** transfert de chaleur en conduction, convection et radiation, changement de phase. Méthodes analytiques et numériques. Problématiques appliquées aux sciences de la Terre : géodynamique, géothermie, traçage thermique en hydrogéologie, pergélisol.

**Lieu :** INRS-ETE, local 2416 et 2405; Université Laval, Pavillon Pouliot PLT-4118

**Date :** débute le 16 janvier, tous les lundis de 13h30 à 16h30 et les vendredis 7 et 21 avril de 13h30 à 16h30.

### **Objectif**

Les processus de transfert de chaleur jouent un rôle fondamental dans les phénomènes géologiques qui influencent la Terre et ses ressources naturelles. L'énergie thermique contrôle la géodynamique interne du globe, est une source d'énergie renouvelable, tout comme un traceur naturel et affecte la stabilité des matériaux géologiques. Ce cours gradué a pour objectif d'introduire les étudiants aux processus de transfert de chaleur et d'appliquer les notions apprises à des problématiques du domaine des sciences de la Terre. Les équations de transfert de chaleur par conduction, convection et radiation seront présentées en plus des notions sur les changements de phase. Des méthodes de simulations analytiques et numériques seront abordées pour ensuite traiter de problématiques concernant : la géodynamique, les ressources géothermiques superficielles et profondes dont les systèmes de pompe à chaleur, l'utilisation de la température comme traceur en hydrogéologie environnementale et la stabilité du sol en milieu nordique.

### **Format**

Le cours comprend quatre cours généraux dans lesquels l'introduction, les équations fondamentales ainsi que les méthodes analytiques et numériques sont présentées. Les huit cours suivants sont consacrés à des problématiques appliquées au transfert de chaleur. Des travaux pratiques seront donnés en classe à la fin des cours et seront à remettre la semaine suivante. La correction des travaux se fera en classe. La présentation d'un travail de session est prévue pour les deux derniers cours.

**Contenu**

Cours 1 – Introduction et organisation du cours – 16 janvier, Jasmin Raymond, ETE 2416

- Introduction et histoire des transferts de chaleur en sciences de la Terre
- Méthodes de mesure de la température

Cours 2 – Équations fondamentales – 23 janvier, Jasmin Raymond, ETE 2416

- Conduction, convection et radiation

Cours 3 – Propriétés thermiques et changement de phase – 30 janvier, Jasmin Raymond, ETE 2405

- Les matériaux géologiques

Cours 4 – Solutions analytiques et numériques – 6 février, Jasmin Raymond, ETE 2405

- Sources de chaleur cylindrique et linéaire, différences finies et éléments finis

Cours 5 – Géodynamique – 13 février, Jasmin Raymond, ETE 2405

- Le flux de chaleur terrestre

Cours 6 – Énergie géothermique – 20 février, Jasmin Raymond, ETE 2405

- Calcul de ressources pour la production d'électricité

Cours 7 – Pompes à chaleur géothermique – 27 février, Jasmin Raymond, ETE 2416

- Systèmes verticaux à boucle fermée

Pause – Semaine de lecture – 6 mars

Cours 8 – Pergélisol – 13 mars, Richard Fortier, PLT-4118

- Gel et dégel du pergélisol et stabilité des matériaux géologiques

Cours 9 – Hydrogéologie – 20 mars, Jean-Sébastien Gosselin, ETE 2416

- Traçage thermique
- Effet de l'écoulement souterrain sur les variations journalières et saisonnières de la température du sous-sol

Cours 10 – Hydrogéologie environnementale – 27 mars, John Molson, PLT-4118

- Détection de la recharge, de l'interaction entre les eaux de surface et souterraines et des écoulements en milieux fracturés avec la température

- Traitement thermique des sols contaminés et murs gelés

Cours 11 – Pompes à chaleur géothermique – 3 avril, Jasmin Raymond, ETE 2405

- Tests de réponse thermique

Cours 12 – Présentation du travail de session en classe – 7 avril, ETE 2405

Cours 13 – Autres systèmes de pompes à chaleur – 10 avril, Jasmin Raymond, ETE 2405

- Systèmes horizontaux à boucle fermée et systèmes à boucle ouverte

Cours 14 – Présentation du travail de session en classe – 21 avril, ETE 2405

### **Évaluations**

Travaux pratiques 50 %, travail de session 50 %.

### **Barème des notes**

90% et plus A+

85% à 89,9% A

80% à 84,9% A-

77% à 79,9% B+

73% à 76,9% B

70% à 72,9% B-

65% à 69,9% C+

60% à 64,9% C

59,9% et moins E

### **Matériel**

Tout le matériel du cours est disponible en téléchargement sur Dropbox :

<https://www.dropbox.com/sh/o8joxc1mne4cuzw/AACYwTcHLLew2hMScT88OlpTa?dl=0>

### **Remise des travaux**

Les TP et le travail de session sont à remettre dans un Dropbox confidentiel en créant un répertoire unique dans votre propre compte Dropbox (ex. : *nom de famille\_chaleurST*) et en le partageant avec le compte dont l'adresse est [tp.inrs.chaleurst@gmail.com](mailto:tp.inrs.chaleurst@gmail.com).

**Manuels de référence**

- Banks, D., 2012. An Introduction to Thermogeology - Ground Source Heating and Cooling, 2<sup>nd</sup> edition. John Wiley & Sons, West Sussex, 544 pages.
- Bergman, T.L., Lavine, AS., Incropera, F.P., Dewitt, D.P., 2011. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7<sup>th</sup> edition. John Wiley & Sons, Hoboken, 1052 pages.
- Bundschuh, J., Suarez Arriaga, M.C., 2010. Introduction to the Numerical Modeling of Groundwater and Geothermal Systems – Fundamentals of Mass, Energy and Solute Transport in Poroelastic Rocks. CRC Press, Boca Raton, 457 pages.
- Eppelbaum, L., Kutasov, I., Pilchin, A., 2014. Applied Geothermics. Springer, Heidelberg, 751 pages.
- Jaupart, C., Mareschal, J.-C., 2011. Heat Generation and Transport in the Earth. Cambridge University Press, New York, 463 pages.
- Jessop, A.M., 1990. Thermal Geophysics. Elsevier Science, Developments in Solid Earth Geophysics. Volume 17, 306 pages.
- Turcotte, D., Schubert, G., 2014. Geodynamics. Cambridge University Press, Cambridge, 626 pages.