

# GÉOTHERMIE ET APPLICATIONS – MEC6216

## PLAN DE COURS Automne-2023

(<https://moodle.polymtl.ca/course/view.php?id=1261>)

**Professeur:** Michel Bernier ([michel.bernier@polymtl.ca](mailto:michel.bernier@polymtl.ca)) – C318.6  
Professeur associé  
Département de génie mécanique

### Description du cours (annuaire):

Ressources géothermiques à haute et basse température. Température du sol, gradient géothermique, propriétés du sol. Notions d'hydrogéologie. Survol des différents systèmes à basse température : Circuits ouverts et fermés ; systèmes verticaux et horizontaux. Couplage aux bâtiments et aux pompes à chaleur. Transfert de chaleur dans le sol : méthodes analytiques et numériques. Test de réponse thermique. Résistance thermique des puits. Conception, dimensionnement et simulation des systèmes verticaux. Applications : chauffage et climatisation des bâtiments, pieux énergétiques, gel du sol, geocooling, stockage saisonnier par puits géothermiques.

### Objectifs généraux du cours :

À la fin du cours, l'étudiant sera en mesure de :

- expliquer le fonctionnement des différents types de systèmes géothermiques ;
- décrire l'influence des propriétés thermiques des sols sur l'efficacité du transfert de chaleur dans le sol ;
- analyser et interpréter les résultats d'un test de réponse thermique ;
- calculer le transfert de chaleur dans le sol suite à une collecte ou un rejet d'énergie ;
- concevoir, dimensionner et simuler les systèmes géothermiques verticaux ;
- comprendre les systèmes à expansion directe ;
- comprendre le fonctionnement d'une pompe à chaleur géothermique et évaluer sa performance ;
- calculer la consommation énergétique d'un système géothermique complet.

### Méthodes d'évaluation :

Nature	Nombre	Pondération
Devoirs (équipes de 2)	5	40%*
Examen périodique - 3 octobre 2023. 14h00 à 15h30	1	20%
Examen final (date à déterminer par le registraire entre le 8 et le 22 décembre 2023)	1	40%

\* Tous les devoirs ont la même pondération

## Cours MEC6216 - Thèmes abordés – Automne 2023

Semaine	Date	Sujet
1	29 août	Présentation du plan de cours. Introduction générale. Géothermie à haute température et production d'électricité. Calculs relatifs aux cycles de Rankine organique (ORC).
2	5 sept.	Applications au chauffage et à la climatisation des bâtiments. Calcul des besoins de pointe et des besoins horaires. Puissance classée. Heures équivalentes d'opération à pleine charge. Modélisation et simulation énergétique des bâtiments. Notions de base sur le dimensionnement d'un champ de puits.
3	12 sept.	Notions de base sur les pompes à chaleur à compression mécanique. Cycle thermodynamique. Choix et régulation des pompes à chaleur. Capacité et performance des pompes à chaleur. Pompes à chaleur à absorption.
4	19 sept.	Modélisation et simulation des pompes à chaleur. Normes d'essai. Calcul des charges thermiques au sol. Température du sol. Flux et gradient géothermique. Propriétés thermiques des matériaux géologiques. Forage d'un puits.
5	26 sept.	Solution analytique au transfert de chaleur unidimensionnel autour d'un puits : source linéique infinie et source cylindrique infinie. Superposition spatiale.
6	3 oct.	Solution analytique au transfert de chaleur bidimensionnel autour d'un puits : source linéique finie (de 12h45 à 13h45).  <b>Examen périodique (de 14h00 à 15h30).</b>
	10 oct.	SEMAINE DE RELACHE
7	17 oct.	Superposition temporelle. Agrégation des charges. Dimensionnement d'un champ de puits.
8	24 oct.	Génération et utilisation des g-fonctions. Modèle DST.
9	31 oct.	Transfert de chaleur à l'intérieur d'un puits. Résistance thermique équivalente d'un puits. Technique des multipôles. Prise en compte de la capacité thermique. Modèles TRC.
10	7 nov.	Notions de base sur les pompes à chaleur géothermiques à expansion directe. Types de réfrigérants et impact sur la performance des puits géothermique et du cycle thermodynamique. Introduction générale et avantages de la pompe à chaleur géothermique à expansion directe au CO <sub>2</sub> .
11	14 nov.	Essai de réponse thermique. Méthodologie et technique d'interprétation. Etalonnage des unités de test de réponse thermique à l'aide d'un puits virtuel.
12	21 nov.	Réseau de distribution interne. Systèmes hybrides. Fluide Caloporteur. Pompes de circulation.
13	28 nov.	Conception d'un système complet. Norme ANSI/CSA/IGSHPA C448 Series-16. Évaluation de la consommation énergétique totale d'un système. Potentiel de réduction des gaz à effet de serre. Stockage saisonnier par puits géothermique. Geocooling. Analyse économique.  Évaluation du cours.

**Références** (liste partielle – voir site internet du cours pour la liste complète) :

ASHRAE. 2023. ASHRAE Handbook – Applications, Chap. 35 – Geothermal Energy.

Banks, D. 2008. An introduction to Thermogeology : Ground Source Heating and Cooling, Blackwell Publishing.

Banks, D. 2012. An introduction to Thermogeology : Ground Source Heating and Cooling, Blackwell Publishing. 2<sup>nd</sup> edition. e-book : <https://ebookcentral.proquest.com/lib/polymtl-ebooks/reader.action?docID=922367> (consulté le 10 août 2023).

Cengel, Y.A., Boles, M.A., Lacroix, M. 2008. Thermodynamique – Une approche pragmatique, Chenelière McGraw-Hill.

Chiasson, A.D. 2016. Geothermal Heat Pump and Heat Engine Systems : Theory and Practice. Wiley. e-book : <http://ebooks.asmedigitalcollection.asme.org/book.aspx?bookid=1959>. (consulté le 10 août 2023).

Eskilson, P. 1987. Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes. Ph.D. Thesis. University of Lund, Lund, Sweden.

GeoTrainet. 2011. Geotrainet training manual for designers of shallow geothermal systems. <http://geotrainet.eu/wp-content/uploads/2015/10/Geotrainet-Manual-for-Designers-on-Shallow-Geothermal.compressed.pdf> (consulté le 10 août 2023).

Hellström, G. 1991. Ground Heat Storage – Thermal Analyses of Duct Storage Systems. Ph.D. Thesis. University of Lund, Lund, Sweden.

Kavanaugh, S.P., Rafferty, K. 1997. Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings, ASHRAE.

Kavanaugh, S.P., Rafferty, K. 2014. Geothermal Heating and Cooling: Design of Ground-Source Heat Pump System. ASHRAE.

Pahud, D. 2002. Geothermal energy and heat storage. Laboratorio di Energia, Ecologia and Economia. <https://repository.supsi.ch/3651/1/82-Pahud-2002-Lecture-notes-GEO.pdf> (consulté le 10 août 2023).

Rees, S.J. 2016. Advances in Ground-Source Heat Pump Systems. Duxford, UK: Woodhead Publishing.