

## 13. Énergie géothermique

### 13.2 – Géothermie à basse énergie – systèmes hydroniques

Daniel R. Rousse, ing., Ph.D.

*Groupe t3e, Département de génie mécanique*

Patrick Belzile, ing., M.ing.

Louis Lamarche, ing. M.Sc.A, Ph.D.

Pierre-Luc Paradis, B.Ing, M.Ing, Ph.D.

Stéphane Hallé, M.Sc.A., Ph.D.

Mathieu Patin, M.ing.

# Plan de la présentation

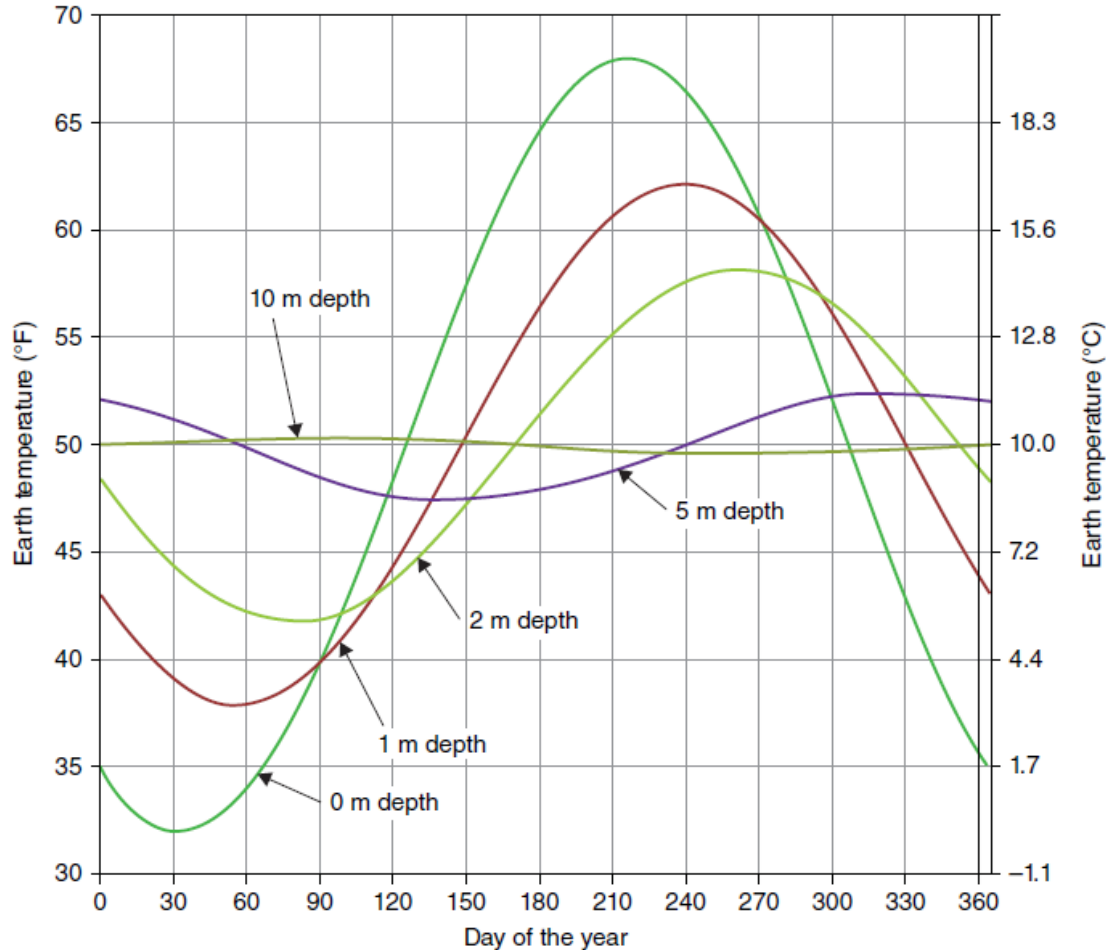
- Introduction et objectifs de la capsule
- Pompe à chaleur géothermique
- Conception
- Boucle fermée, ouverte et puits à colonne
- Exemples de projets
- Conclusion

# Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- Pompe à chaleur géothermique
- Conception
- Boucle fermée, ouverte et puits à colonne
- Exemples de projets
- Conclusion

# Question

- Variation de la température dans le sol



- Il y a amplitude moins prononcée des fluctuations avec l'accroissement de la profondeur
- Il y a déphasage plus prononcé avec l'accroissement de la profondeur
- À partir de 11 à 15 m de profondeur, on peut considérer que le sol n'est plus affecté par les saisons au Canada
- Pour construire ce graphique, l'unité de temps est la journée, day.

# Question

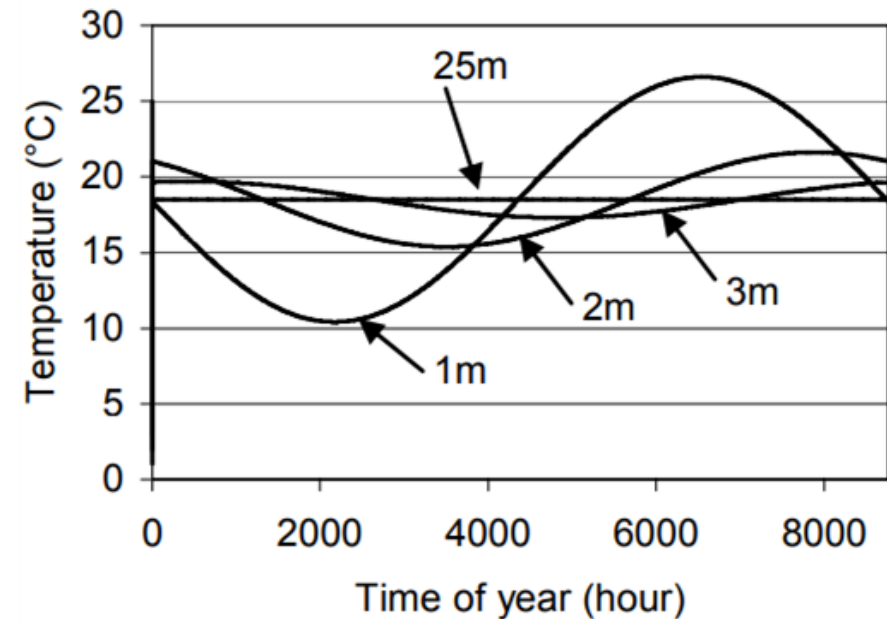
- Variation de la température dans le sol

$$T = T_{mean} - T_{amp} * \exp\left(-Z * \sqrt{\frac{\pi}{365 * \alpha}}\right) * \cos\left(\frac{2\pi}{365} * \left[t_{year} - t_{shift} - \frac{Z}{2} * \sqrt{\frac{365}{\pi * \alpha}}\right]\right)$$

Variable	Description
$T$	Température du sol, $T = T(x,t)$
$T_{mean}$	Température moyenne de surface (température moyenne de l'air). La température du sol à une profondeur infinie sera cette température
$T_{amp}$	Amplitude de la température de surface (la température de surface maximale sera $T_{mean} + T_{amp}$ et la valeur minimale sera $T_{mean} - T_{amp}$ )
$z$	Profondeur sous la surface
$\alpha$	Diffusivité thermique du sol, $k / (\rho \cdot c_p)$ , en $m^2/jour$
$t_{year}$	Jour actuel
$t_{shift}$	Jour de l'année où la température de surface est minimale

# Question

- Variation de la température dans le sol
  - Étude de cas: [Chypre](#),
    - $T_{\text{shift}} = 35$ ,  $T_{\text{mean}} = 18,5^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{amp}} = 21^{\circ}\text{C}$ .
    - Densité =  $1660 \text{ kg/m}^3$ ,  $k = 0,237 \text{ W/m K}$
    - Chaleur spécifique =  $1200 \text{ J/kg K}$



# Introduction et objectifs

- La géothermie à basse énergie demande des investissements moins importants que les deux autres types de géothermie;
- Cependant la puissance et l'énergie récupérée le sont également;
- Ces systèmes doivent donc être bien étudiés pour assurer leur rentabilité;
- Cette présentation est un peu plus exhaustive que les deux autres puisque ces systèmes sont ceux qui sont généralement installés au Québec.

# Introduction et objectifs

- Objectifs de cette présentation
  - Présenter les différents systèmes exploitant la géothermie de basse énergie;
  - Étudier les principales caractéristiques à étudier avant de les installer;
  - Comprendre les avantages et les limites de ces technologies.

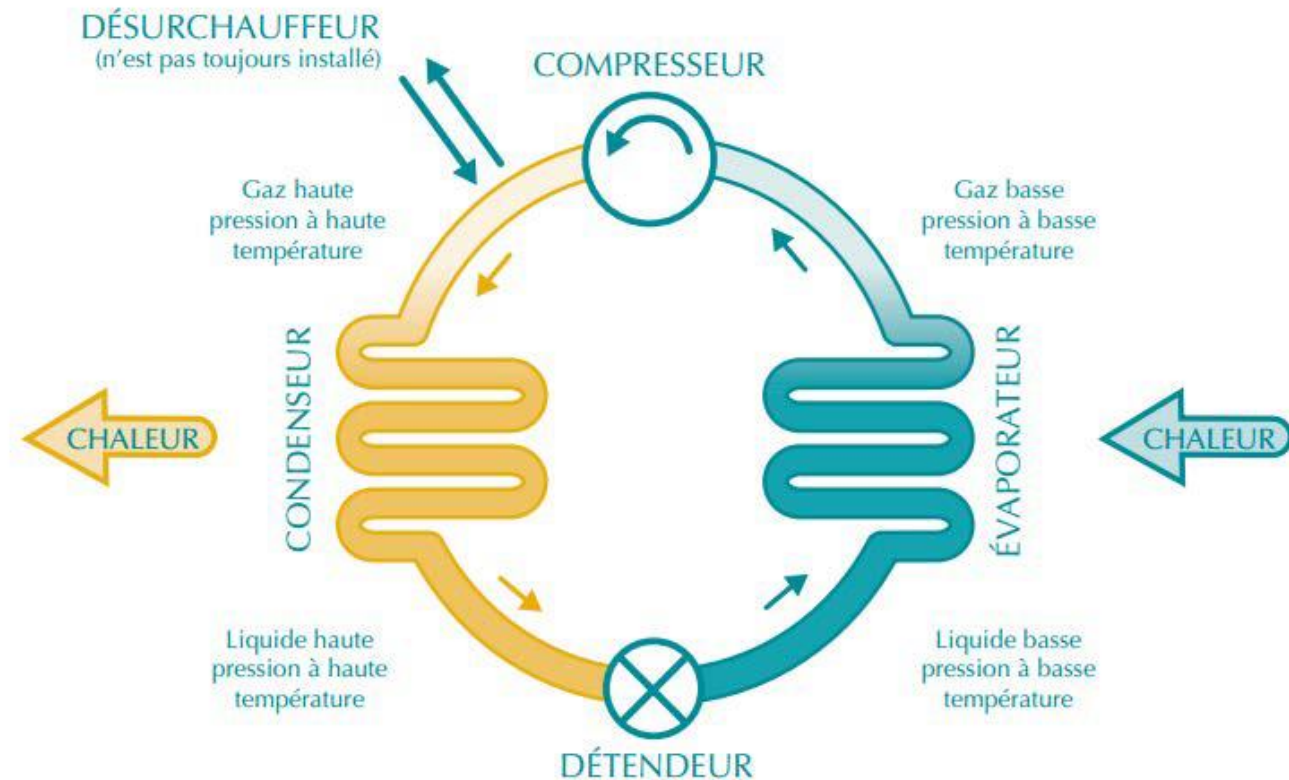
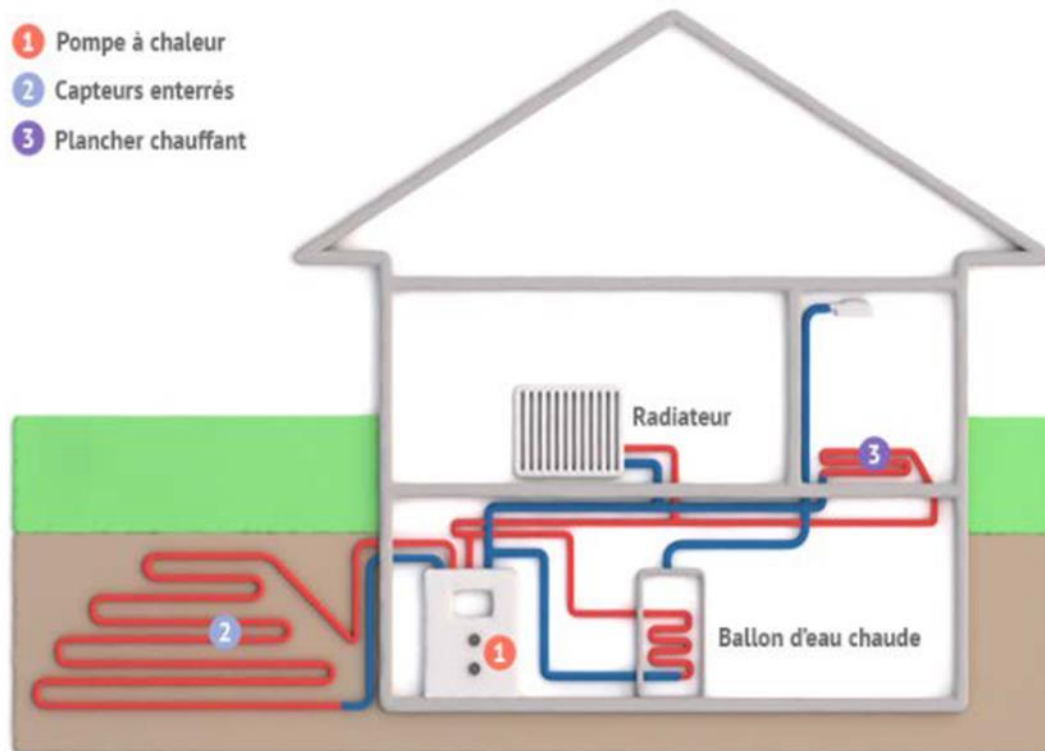


# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Pompe à chaleur géothermique***
- Conception
- Exemples de projets
- Conclusion

# Pompe à chaleur géothermique

- Principe de fonctionnement

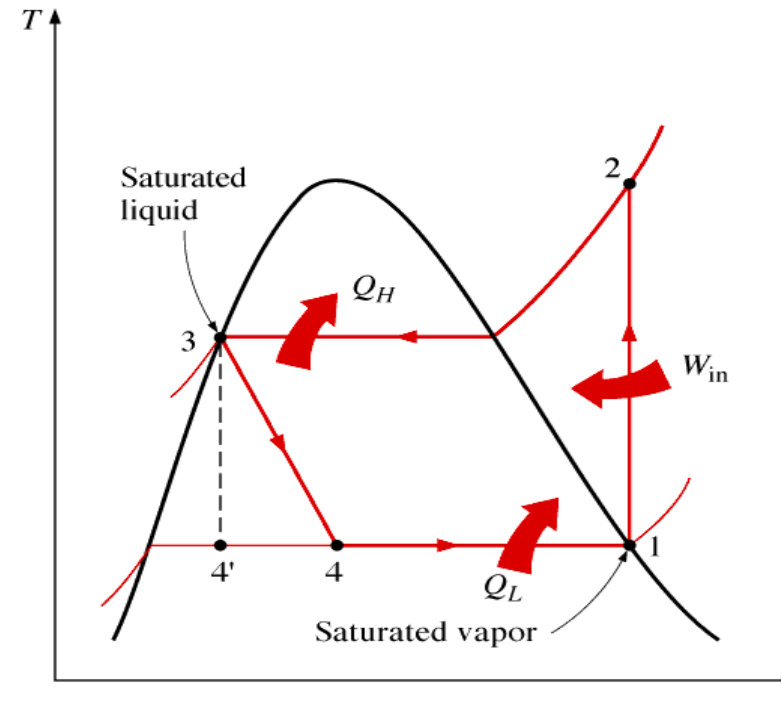
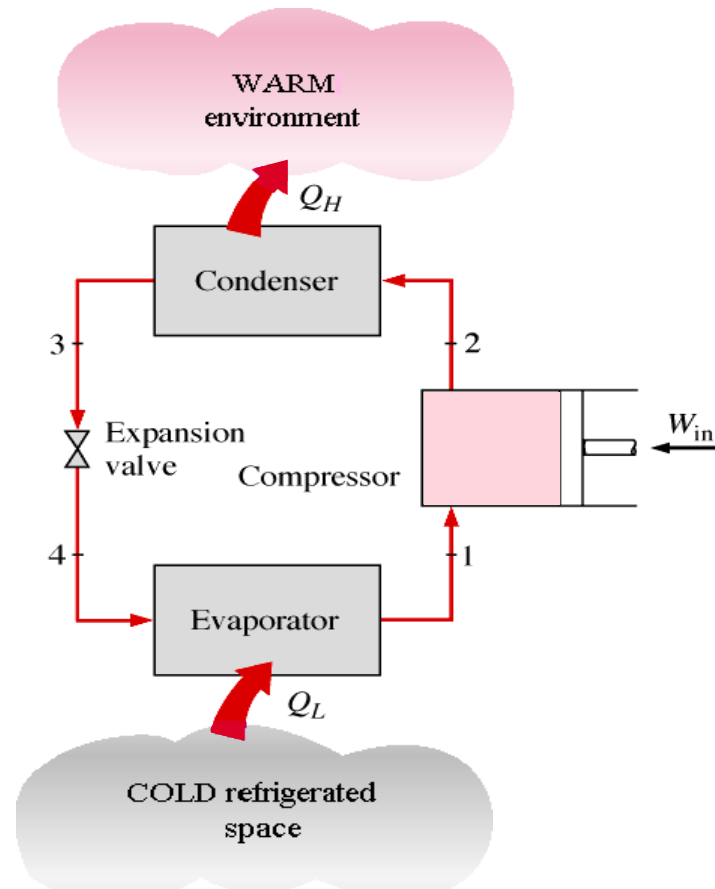


Ref: <http://bioclimatic-technology.com/equipements/la-geothermie/>

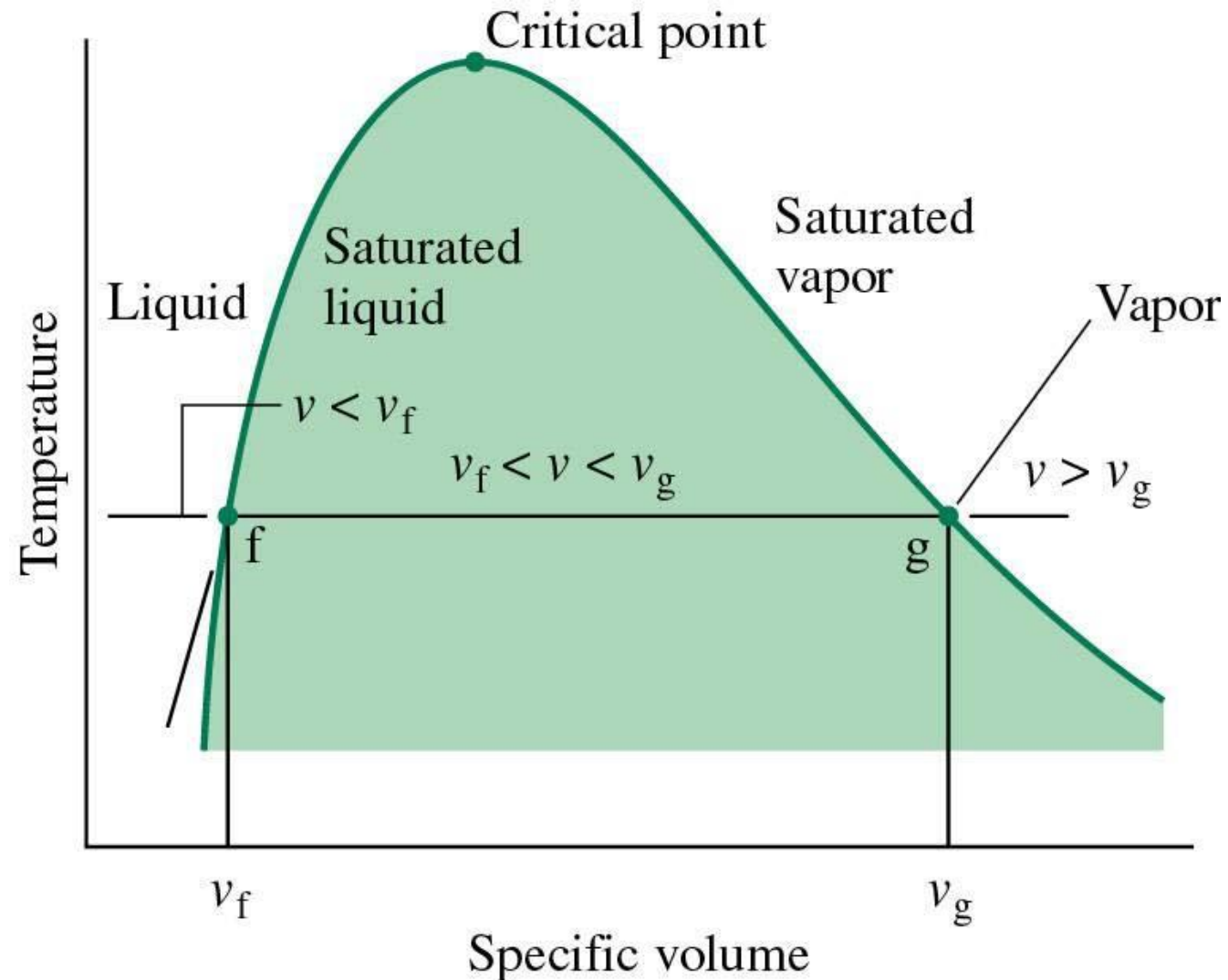
Ref: Canmet Énergie manuel RETScreen

# Pompe à chaleur géothermique

- Pompe à chaleur (cycle idéal)

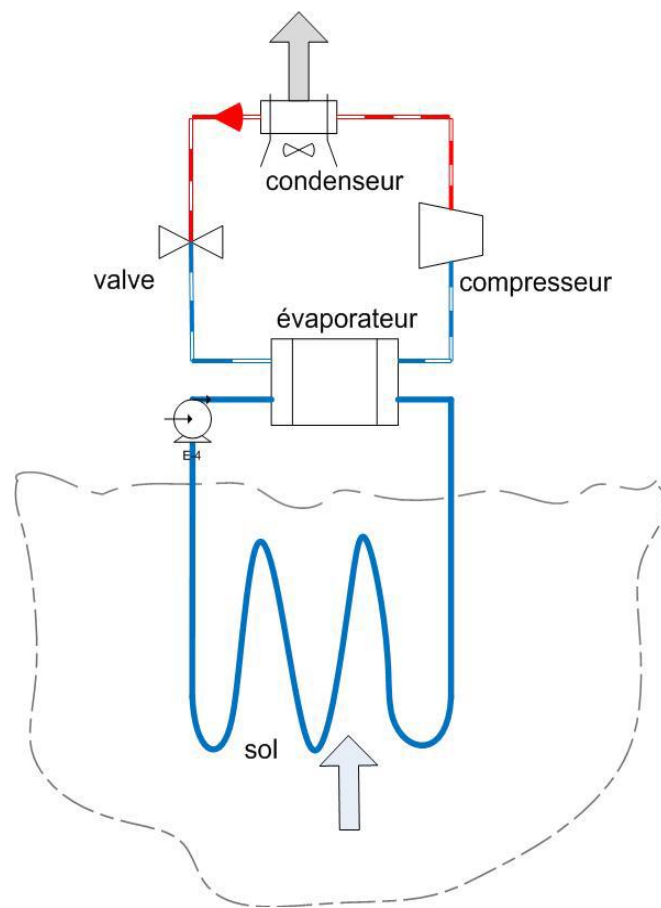


# Pompe à chaleur géothermique

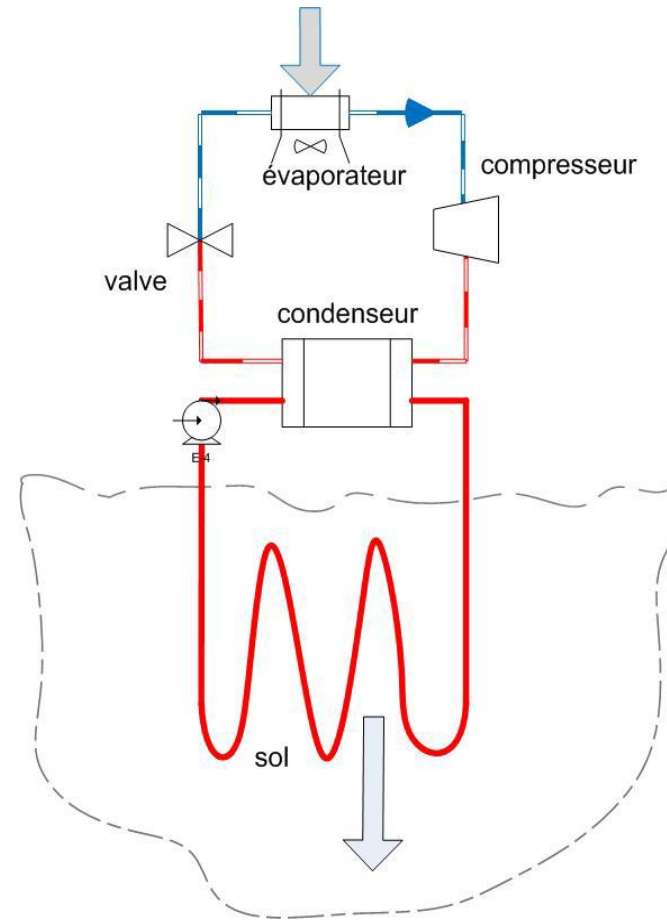


# Pompe à chaleur géothermique

- Pompe à chaleur à boucle secondaire



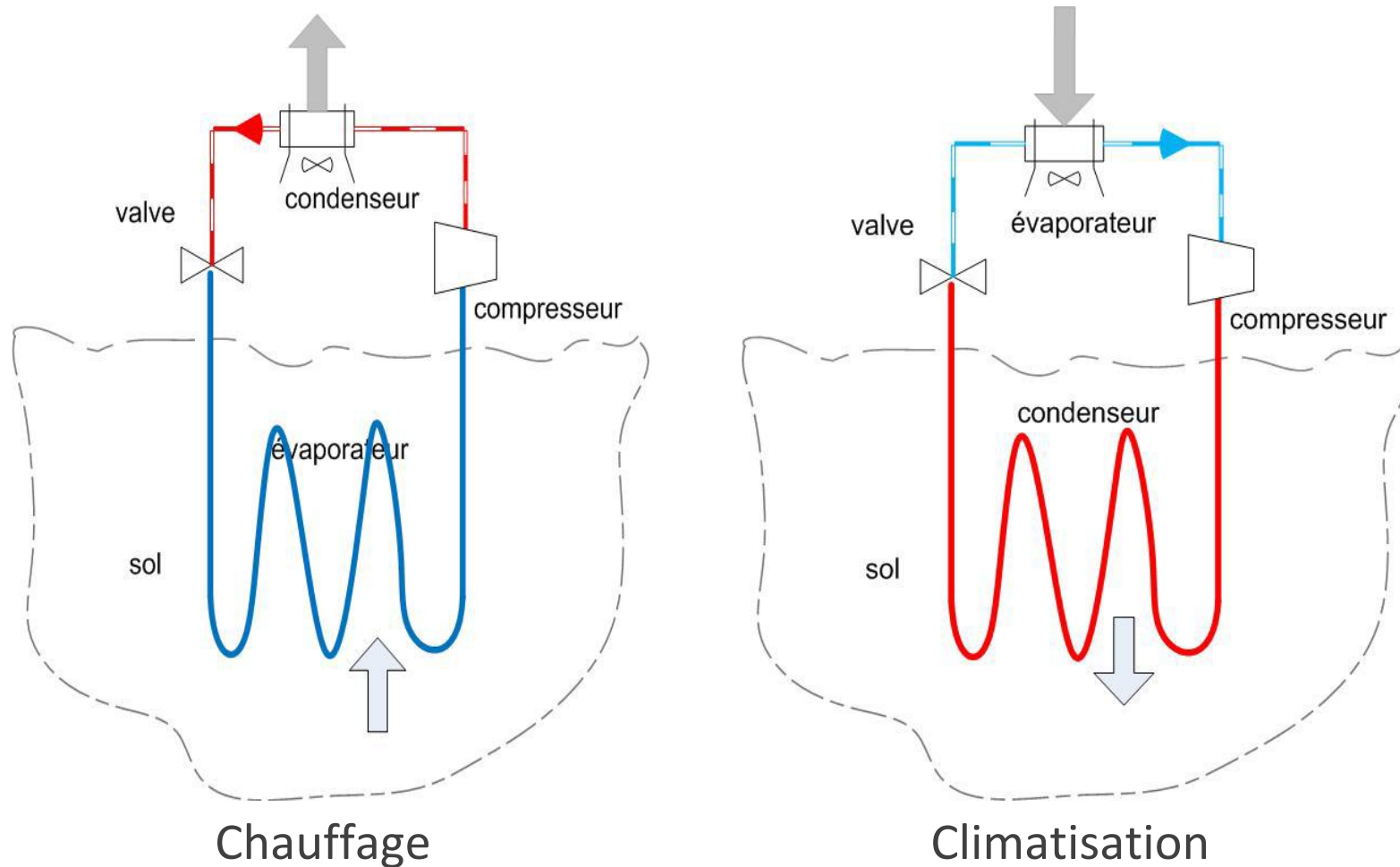
Chauffage



Climatisation

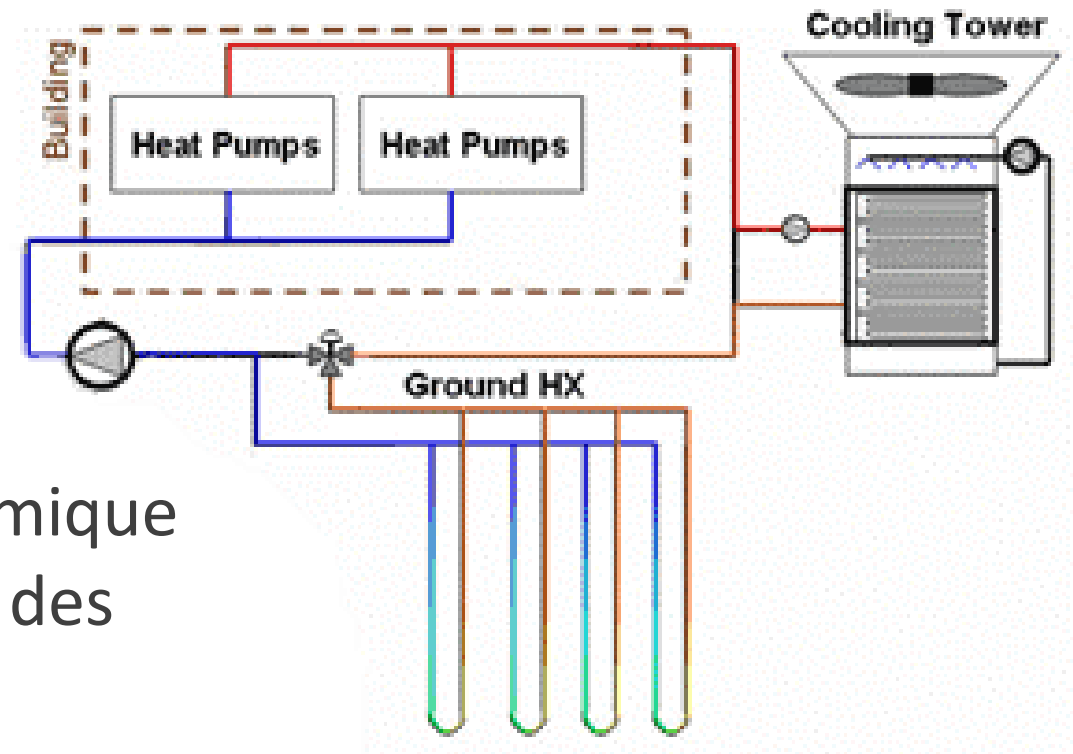
# Pompe à chaleur géothermique

- Pompe à chaleur à expansion directe



# Pompe à chaleur géothermique

- Systèmes hybrides
  - Tour de refroidissement
  - Collecteurs solaires
- Question:
  - Pourquoi coupler un champ géothermique avec une tour de refroidissement ou des collecteurs solaires?



Ref: Energy Center of Wisconsin

# Pompe à chaleur géothermique

- Configuration la plus populaire

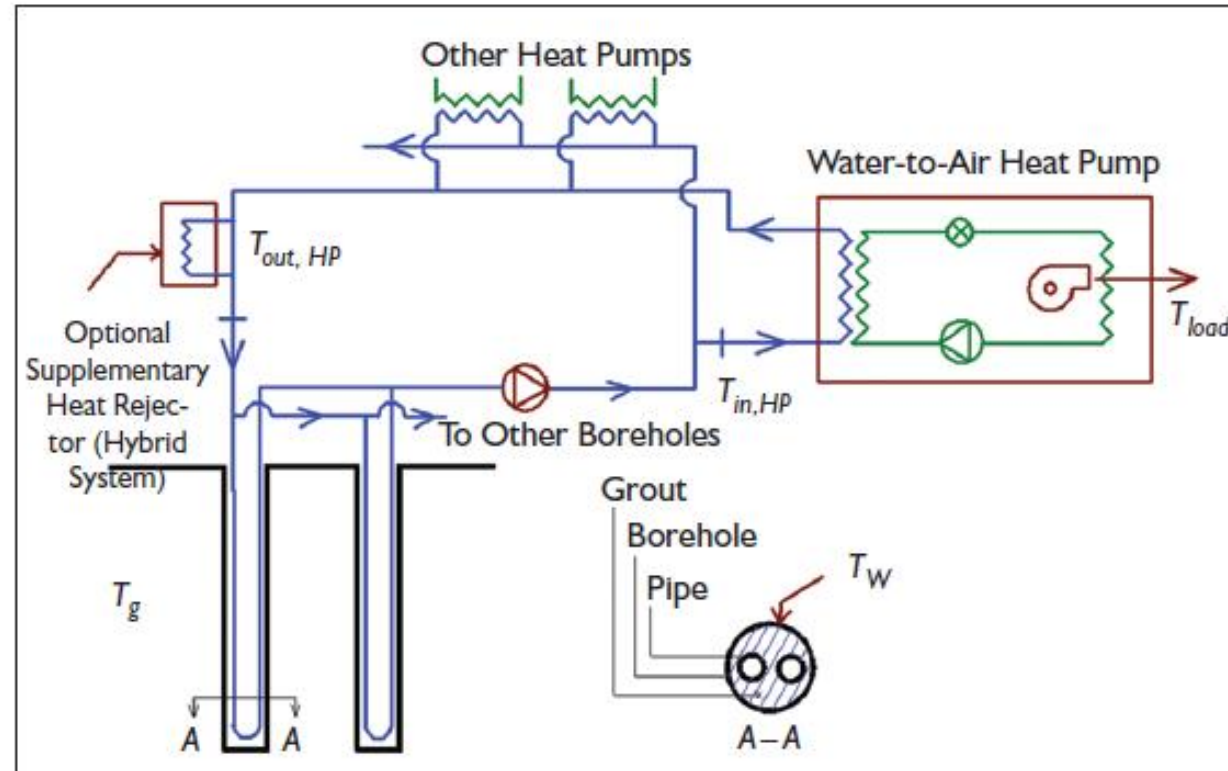


Figure 1: Closed-loop ground-coupled heat pump system.

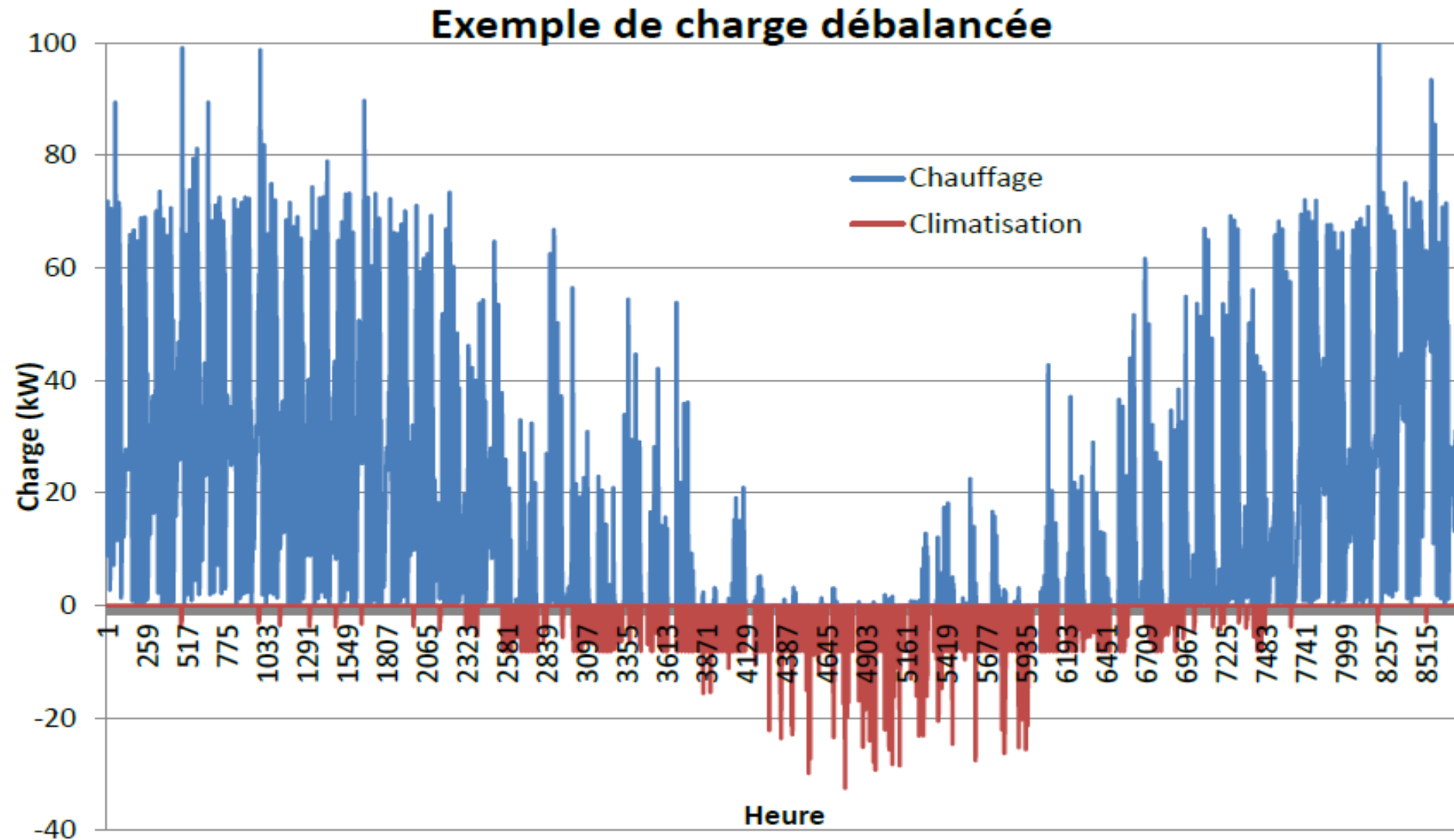
Bernier, M.A. 2001, Ground-coupled heat pump system simulation. ASHRAE Transactions, 106(1):605-616.



# Pompe à chaleur géothermique

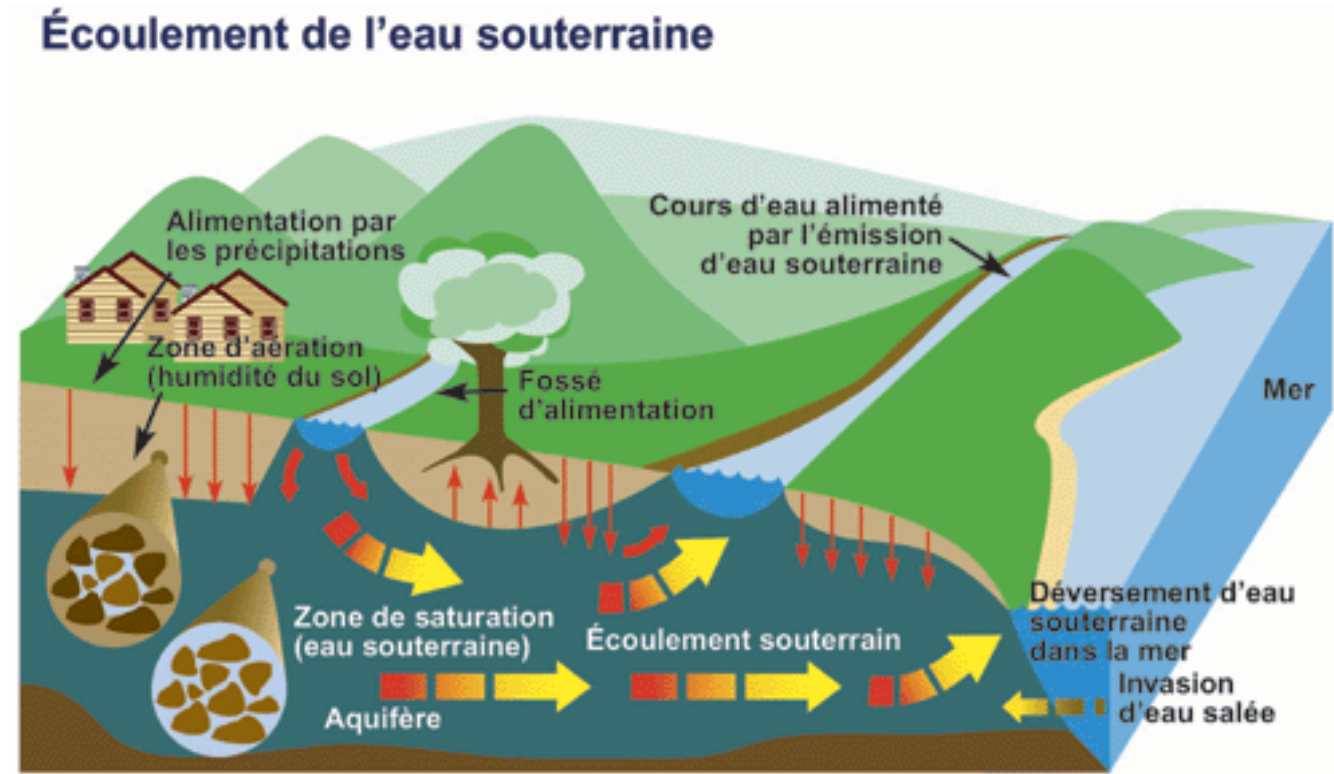
- Un champ géothermique peut être utilisé pour:
  - L'extraction
    - Épuiser l'énergie utile après une période (de 10 à 25 ans)
    - Les performances diminuent avec le temps
  - Le stockage thermique
    - Balancer les charges thermiques

# Pompe à chaleur géothermique



# Pompe à chaleur géothermique

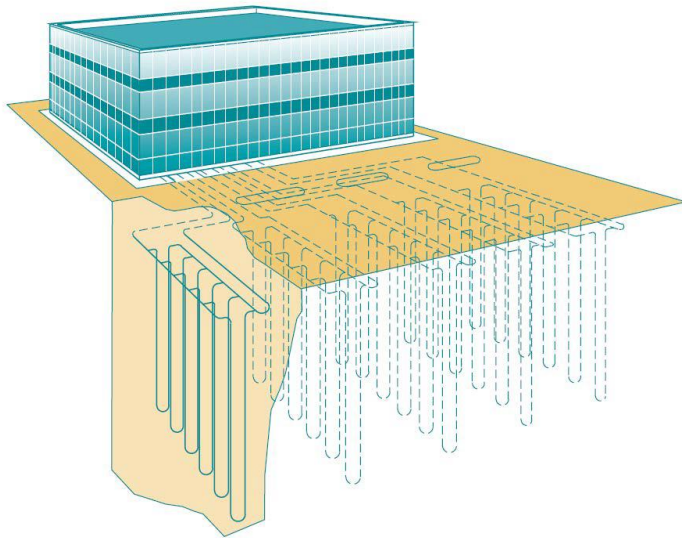
- L'écoulement d'eau souterraine peut être:
  - Bénéfique pour l'extraction
    - Source de chaleur inépuisable
  - Néfaste pour le stockage
    - Emporte la chaleur avec elle



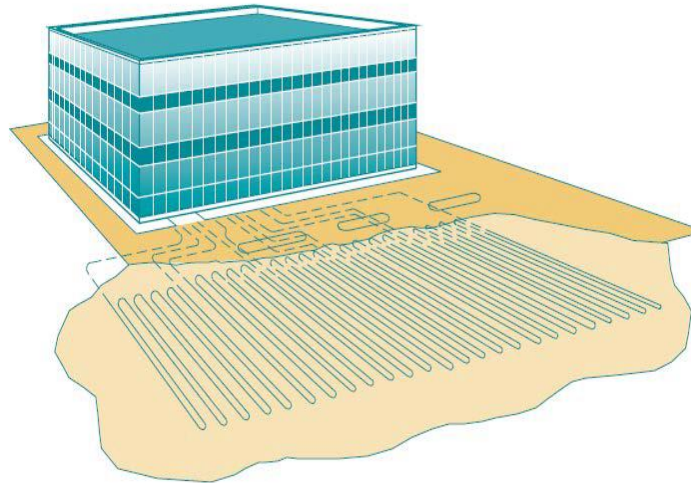
**Réf.: Environnement Canada**

# Pompe à chaleur géothermique

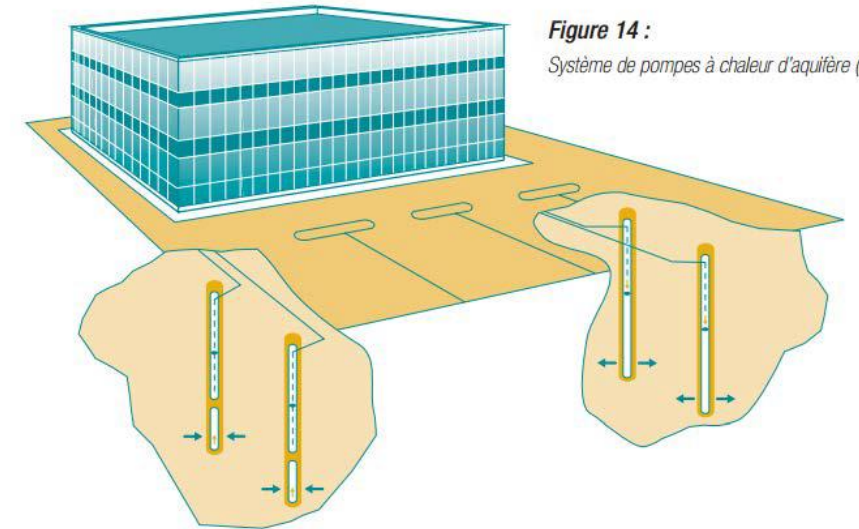
- Configuration pour le champ souterrain



Puits verticaux



Puits horizontaux



Système à boucle ouverte

Figure 14 :  
Système de pompes à chaleur d'aquifère (PCA).

# Plan de la présentation

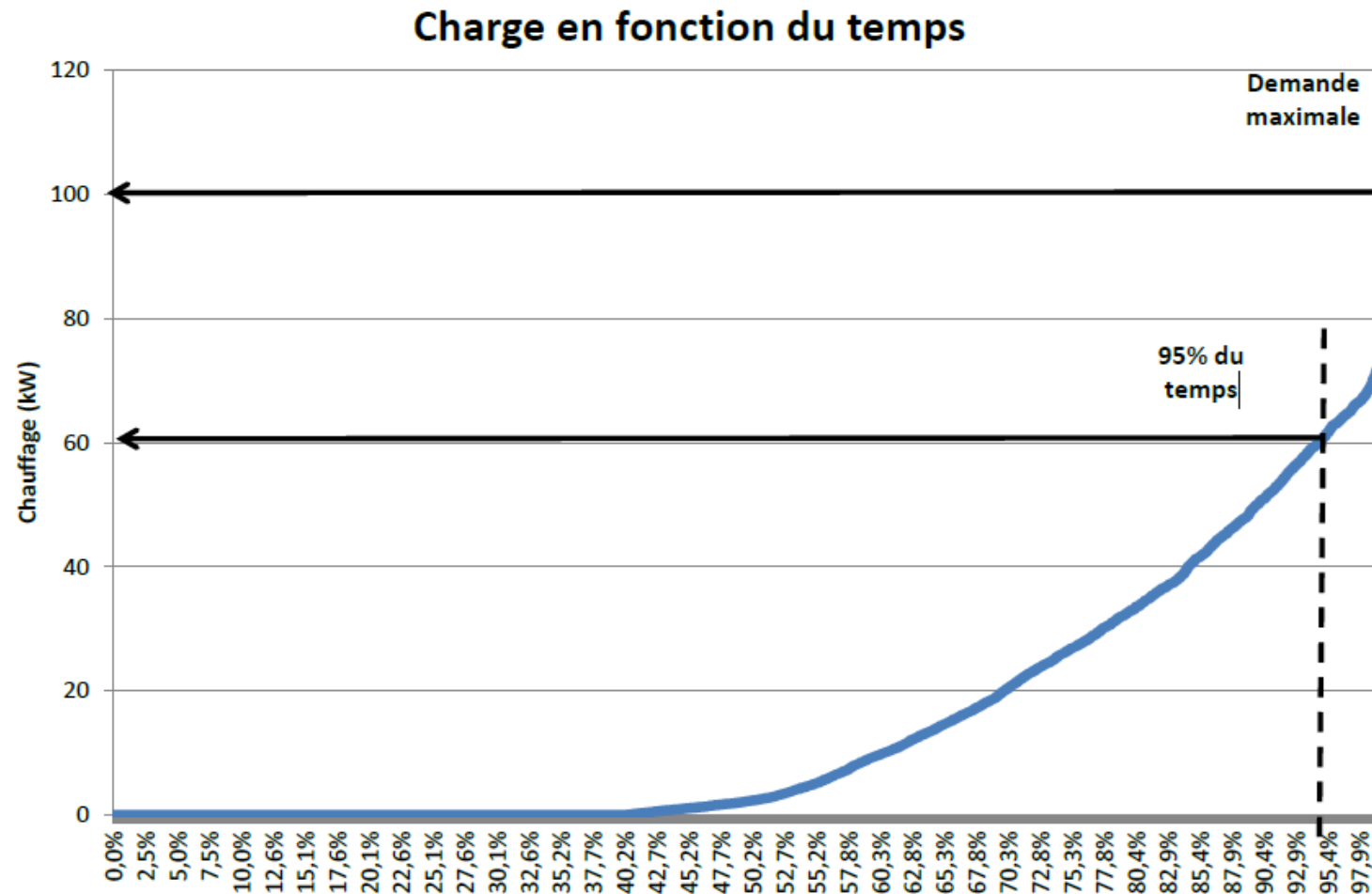
- Introduction et objectifs de la capsule
- Pompe à chaleur géothermique
- ***Conception***
- Boucle fermée, ouverte et puits à colonne
- Exemples de projets
- Conclusion

# Conception

1. Calcul des charges du bâtiment
2. Choix initial des composantes et du fluide caloporteur
3. Détermination des propriétés et de la température du sol
4. Spécifications du type de configuration de puits et calcul des longueurs de puits
5. Design du système hydraulique
  - Collecteur et système de purge
  - Choix des pompes de circulation
6. Évaluation d'autres designs
7. Itérations pour tenter d'optimiser

# Conception

- Charge à fournir



# Conception

- Choix du fluide caloporteur, un compromis:
  - Toxicité
  - Inflammabilité
  - Conductivité thermique
  - Chaleur spécifique
  - Viscosité
  - (éthylène glycol, propylène glycol, méthanol, eau, etc.)



Ref: [www.reuk.co.uk](http://www.reuk.co.uk)



# Conception

- Choix du fluide caloporteur, un compromis

**Table 16 Suitability of Selected GCHP Antifreeze Solutions**

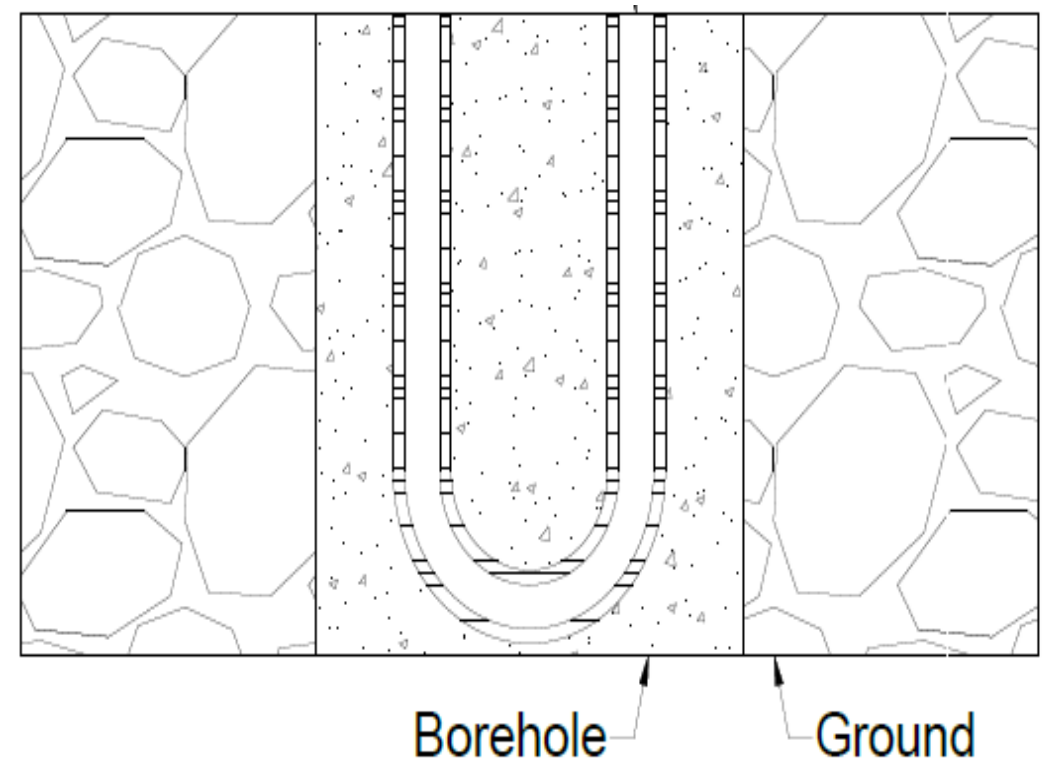
Category	Propylene Potassium					
	Methanol	Ethanol	Glycol	Acetate	CMA	Urea
Life-cycle cost	***	***	**1	**1	**1	***
Corrosion	**2	**3	***	**	**4	*5
Leakage	***	**6	**6	*7	*8	*9
Health risk	*10,11	**10,12	***10	***10	***10	***10
Fire risk	*13	*13	***14	***	***	***
Environment risk	**15	**15	***	**15	**15	***
Future-use risk	*16	**17	***	**18	**19	**19

*Key:* \* Potential problems, caution in use required  
 \*\* Minor potential for problems  
 \*\*\* Little or no potential for problems

**Ref: Heinonen et  
 Tapscott**

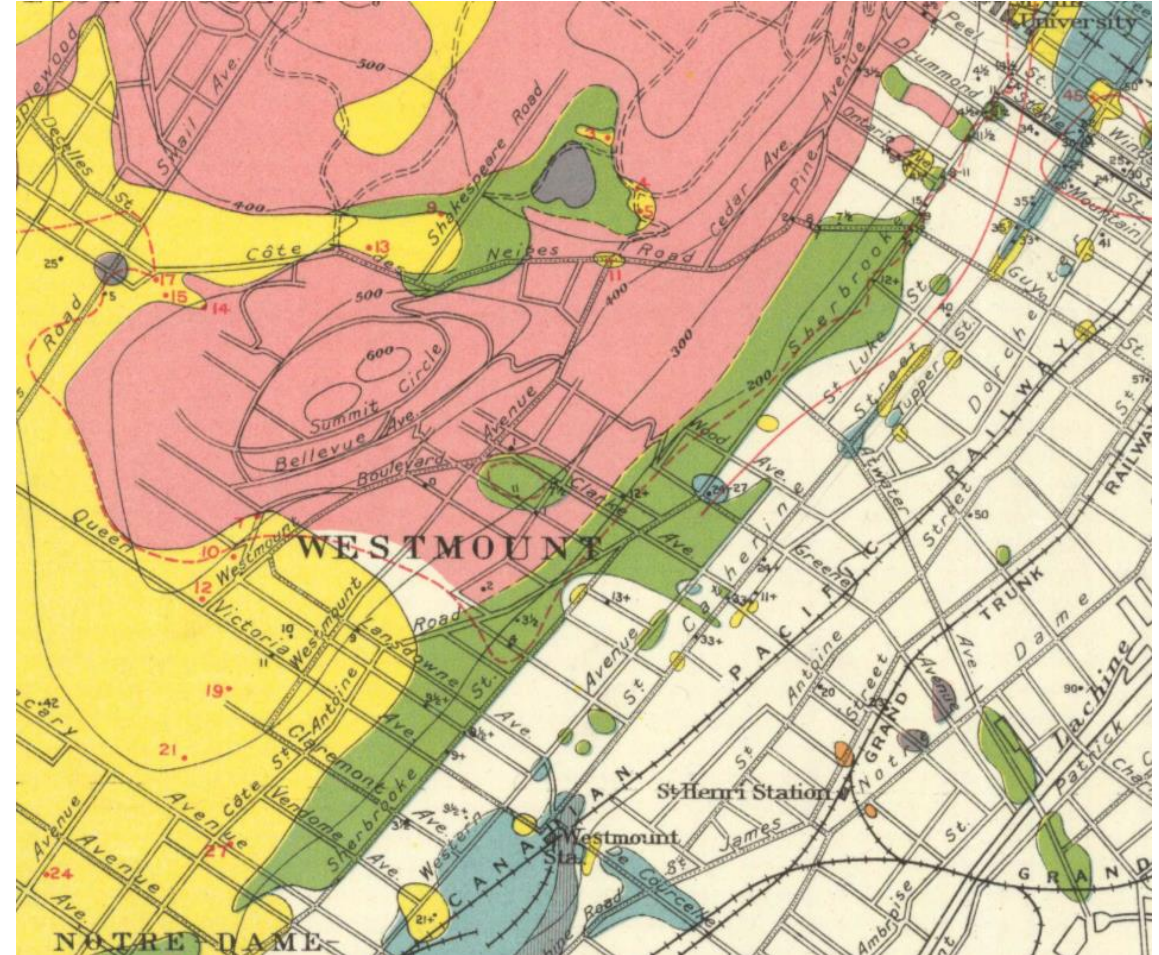
# Conception

- Choix des Matériaux
  - Tubes (PVC,HDPE...)
    - Propriétés thermiques
    - Coût
    - Contamination (échangeur sol-air)
  - Borehole (pour un tube en U)
    - Évite que les puits artésiens inondent le terrain
    - Protège l'eau souterraine de contamination
    - Généralement moins bonnes propriétés thermiques que le sol



# Conception

- Évaluer les propriétés du sol
  - Coalition canadienne de l'énergie géothermique:
    - Cartes géologiques
    - Rapports de forage



Ref: <http://www.geo-exchange.ca/>

# Conception

- Évaluer les propriétés du sol
  - Diffusivité thermique ( $\alpha$ )
  - Conductivité thermique ( $k$ )
  - Eau souterraine



# Conception

- TRT (Thermal Response Test)



Ref: <http://www.nb-construction.net>

# Conception

- TRT (Thermal Response Test)
  - Utiliser une charge thermique la plus stable possible
  - Observer le développement des températures à l'entrée et à la sortie du puits géothermique
  - La durée du test est recommandée de **50 heures au minimum**

**Réf.: Sanner, B., Hellström, G., Spitler, J., Gehlin, S. (2005)**

# Conception

- Température du sol ( $T_s$ )

$$T_s(X_s, t) = \overline{T}_{surf} - A_{surf} \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{365} \left[t - t_o - \frac{X_s}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right]\right) \quad (1)$$

où  $X_s$  est la profondeur du sol en pieds,  $t$  est le jour de l'année,  $\overline{T}_{surf}$  est la température moyenne annuelle de la surface du sol,  $A_{surf}$  est l'amplitude de la température annuelle de surface ( $T_{max} - T_{min}$ ),  $\alpha$  est la diffusivité<sup>5</sup> thermique du sol et  $t_o$  est une constante de phase exprimée en jours. À partir de l'équation (1), la température minimale et maximale du sol à n'importe quelle profondeur peut être obtenue à partir des équations suivantes :

$$T_{s,min} = \overline{T}_{surf} - A_{surf} \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (2)$$

$$T_{s,max} = \overline{T}_{surf} + A_{surf} \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \quad (3)$$

**Réf.: Canmet Énergie manuel RETScreen**

5.  $\alpha = k/\rho C_p$  où  $k$  est la conductivité thermique en  $BTU/hr lb ^\circ F$ ,  $\rho$  est la densité en  $lb/pi^3$  et  $C_p$  est la chaleur spécifique en  $BTU/lb ^\circ F$ .

# Conception

- Choix du type de système
  - Puits concentriques
  - Boucles fermées (sol, lacs et rivières)
  - Boucles ouvertes (aquifères, lacs et rivières)
  - Expansion directe
  - Thermopieux
  - Puits verticaux
  - Puits horizontaux
  - Échangeur air-sol ...



Ref: <http://www.lysairmecanic.ca>



# Conception

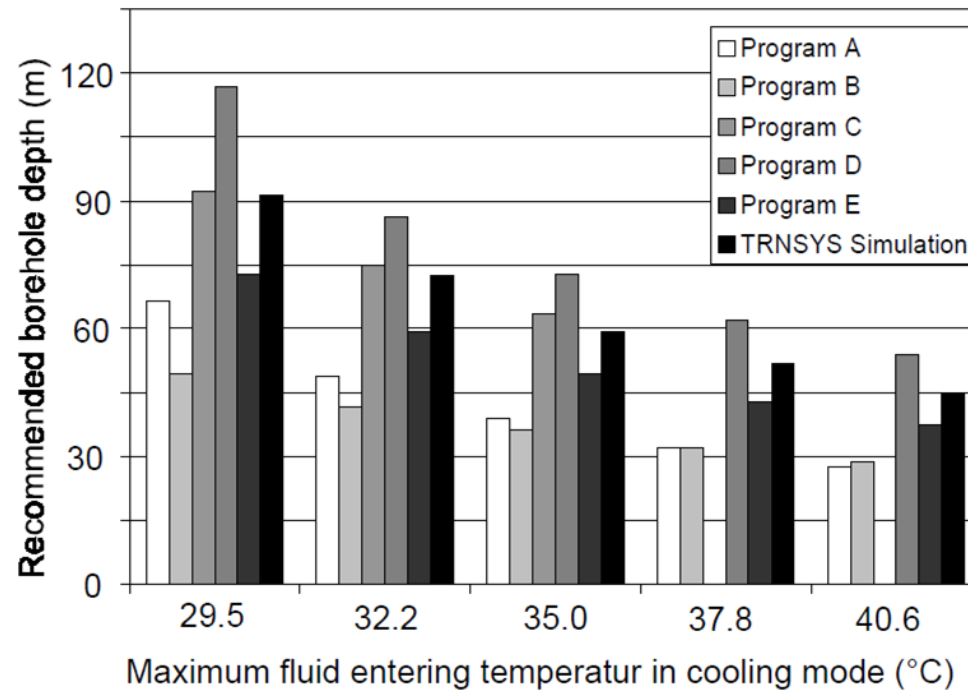
- Deux approches de conception:
  - Dimensionnement
    - Déterminer les longueurs
    - Systèmes classiques, plus simples
    - Données mensuelles, maximales
  - Simulation
    - Évaluer le comportement du sol et du fluide
    - Systèmes hybrides, plus complexes
    - Données horaires

# Conception

- Logiciels de dimensionnement
  - Ground Loop Design
  - EED
  - RetSCREEN
  - GCHPCALC
  - GLHEPRO
  - ...
- Logiciels de simulation
  - TRNSYS
  - Simeb

# Conception

- Validité des logiciels de simulation
  - Équilibre entre niveau de détails et précision



**Réf.: Shonder et Hugues (1998)**

# Conception

- Puits géothermiques
  - Puits vertical avec tube en U

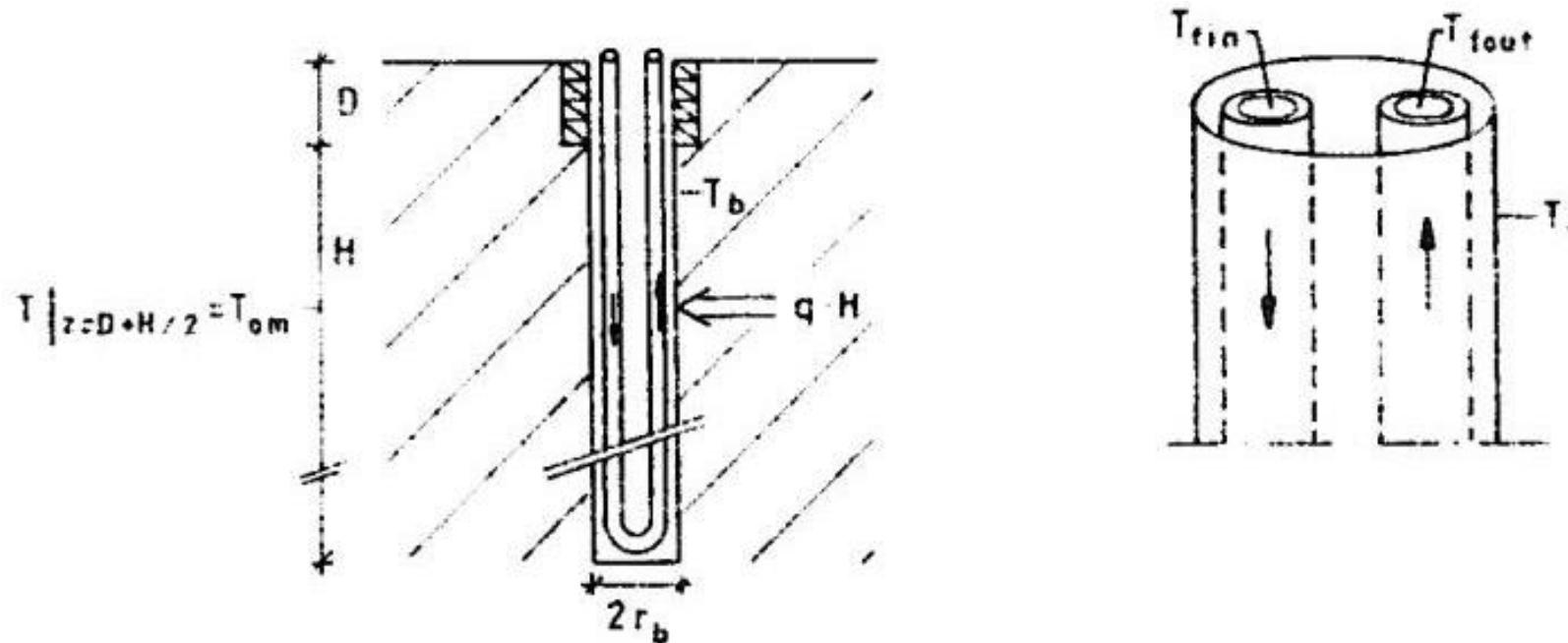
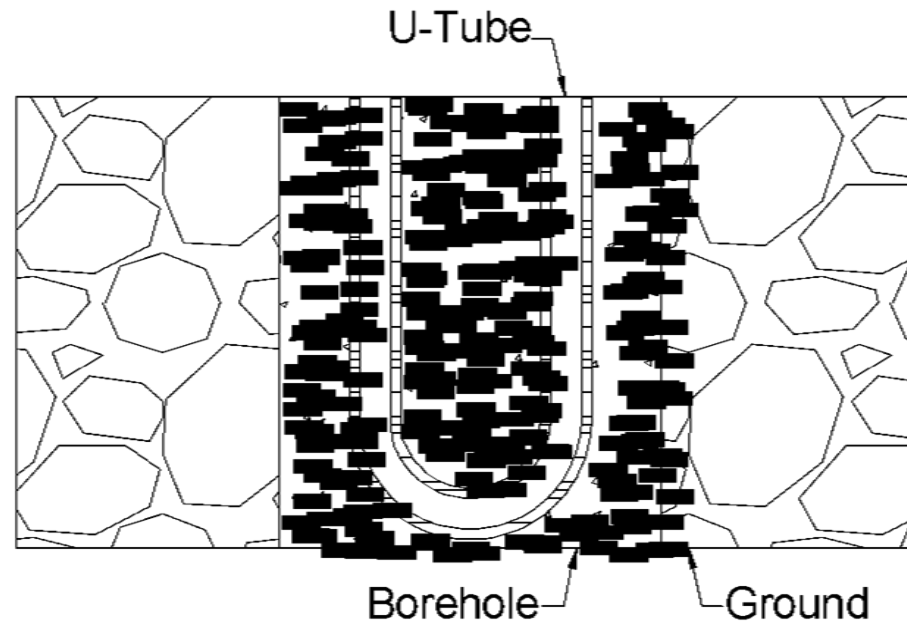


Figure 1. Heat extraction borehole.

Réf.: Eskilson

# Conception

- Puits vertical avec tube en U
  - Fluide caloporteur
  - Tuyau
  - Coulis
  - Sol

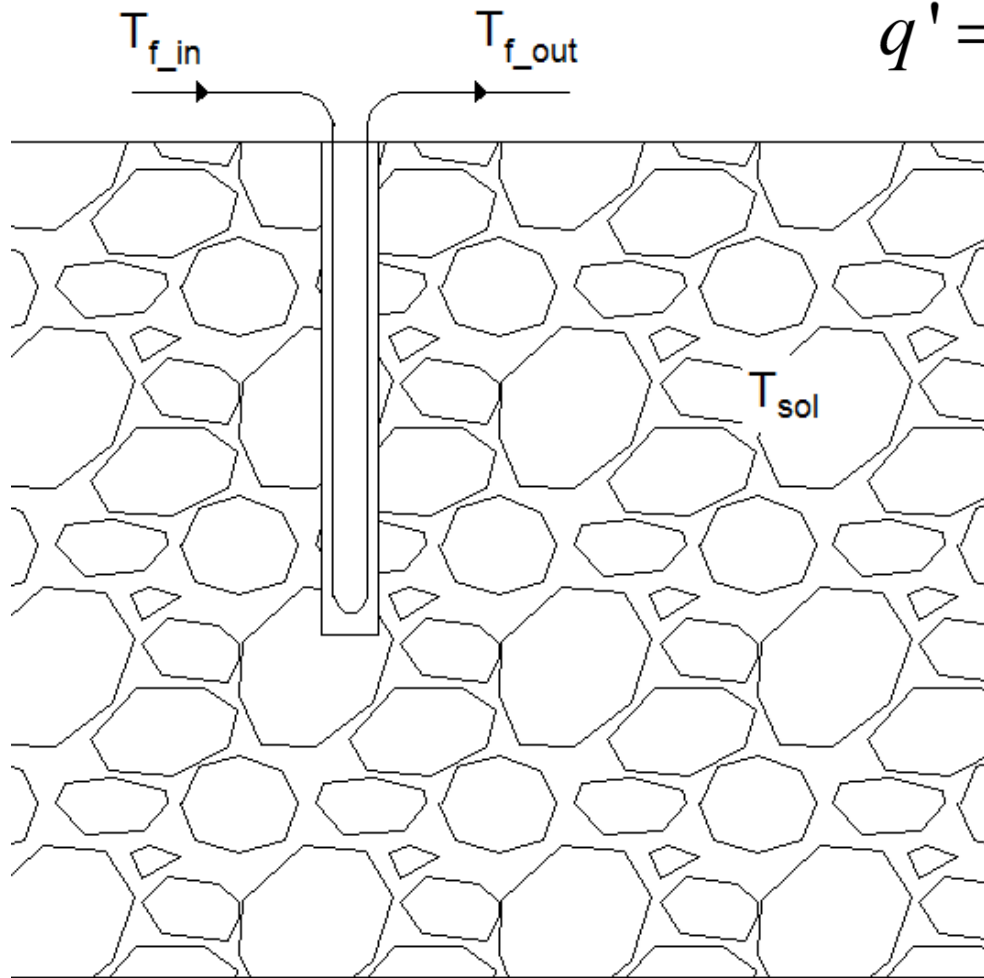


**Coupe en élévation**



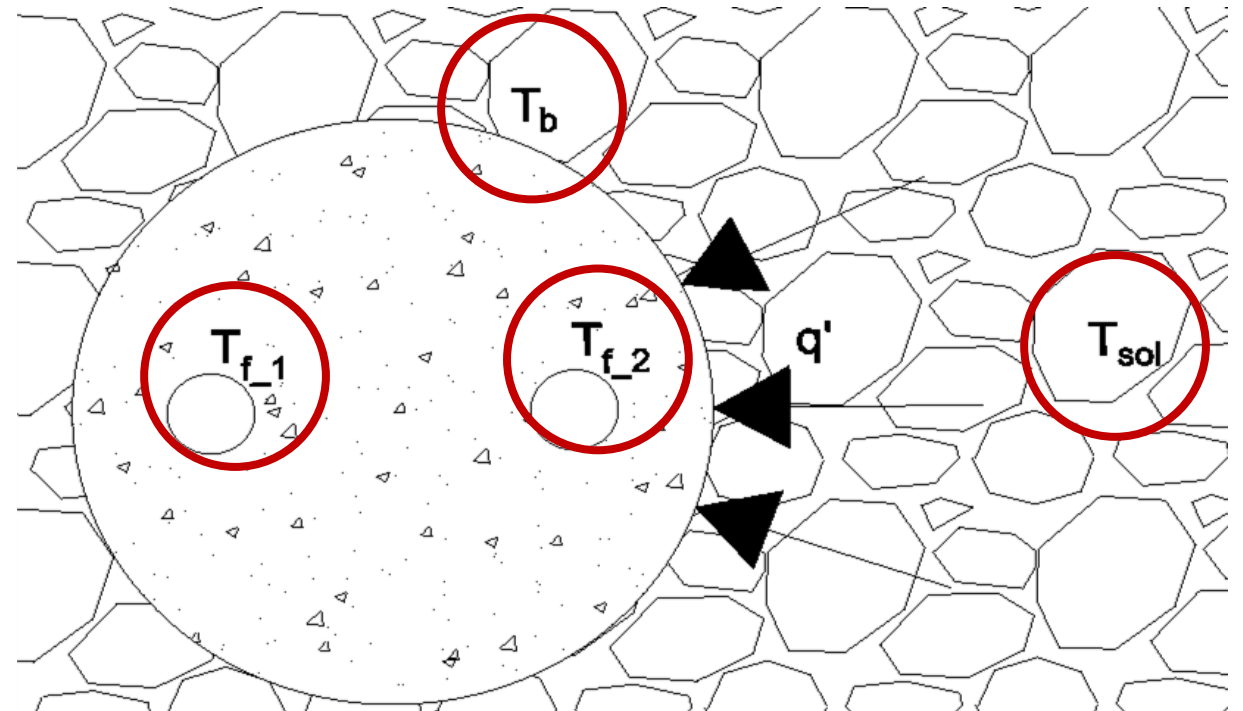
**Coupe en plan**

# Conception



$$q' = \frac{q}{L}$$

**Diamètre de puits: environ 15 cm**  
**Longueur de puits: peut atteindre plusieurs 100 m**  
**Diamètre des tuyaux: environ 25 mm**



**La représentation n'est pas à l'échelle**

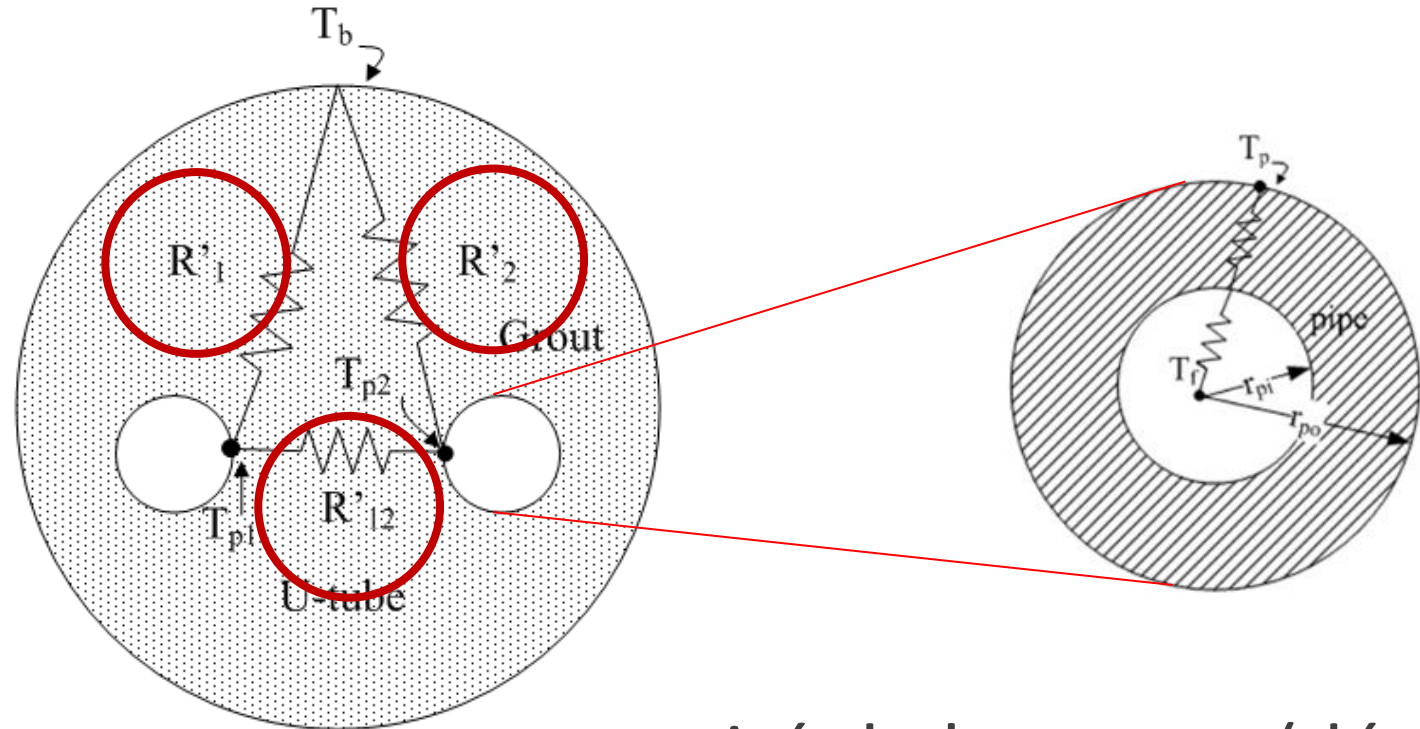
# Conception

- Il y a transfert de chaleur **TRANSITOIRE** entre
  - Le sol,  $T_{sol}$
  - Le puits (borehole),  $T_b$
  - Le fluide,  $T_f$

# Conception

- Transfert de chaleur dans le puits:

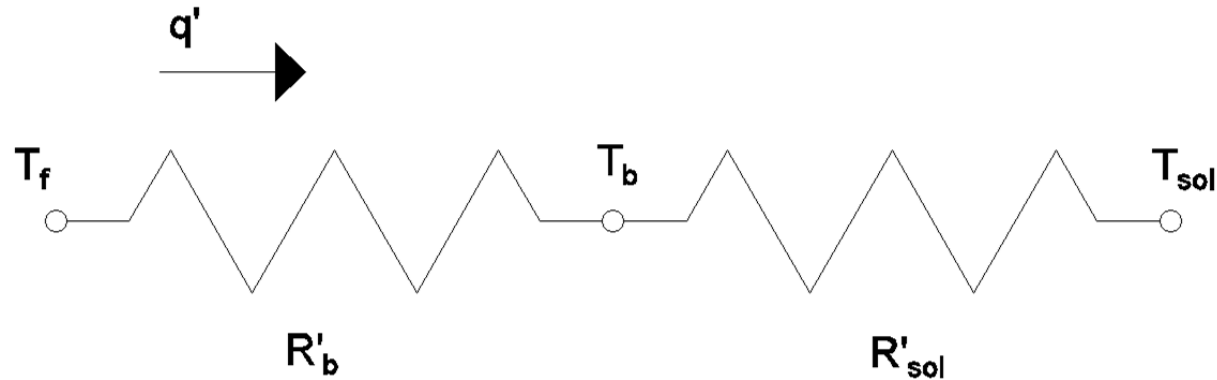
$$q' = \frac{(T_b - T_f)}{R'_b}$$



- Où  $R'_b$  est la résistance de puits par unité de longueur (dépend de la configuration du puits)



# Conception



$$q' = \frac{q}{L} = \frac{(T_{sol} - T_f)}{R'_b + R'_{sol}}$$

$$L = \frac{qR'_b + qR'_{sol}}{T_{sol} - T_f}$$

Fonction du temps,  $t$

# Conception

- Température d'entrée/sortie du fluide
  - On suppose que la température du fluide varie linéairement au long du tube

$$T_f = \frac{T_{f\_in} + T_{f\_out}}{2}$$

# Conception

- Exemple en chauffage
  - Le but est de déterminer la longueur de l'échangeur pour que  $T_{f\_out}$  s'approche de  $T_{sol}$ .

**Note: un échangeur de longueur infinie donnerait  $T_{f\_out} = T_{sol}$**

# Conception

- Exemple en chauffage

- Selon les bonnes pratiques en chauffage

$$T_{f\_out} = T_{sol} - 6^{\circ}C \text{ à } 10^{\circ}C$$

- Donc au Québec en sortie on a une température qui est voisine de 0°C

- Du bilan global:

$$T_{f\_in} = T_{f\_out} - \frac{q}{\dot{m} c_p}$$

Pour une charge donnée

- $q$  est la puissance [W],  $\dot{m}$  est le débit massique [kg/s],  $c_p$  est la chaleur spécifique du fluide [J/kgK] et les indices *out*, *in* et *sol* réfèrent à la sortie du puits, à l'entrée du puits et au sol, respectivement.

# Conception

- Exemple en chauffage
  - Connaissant  $T_{f\_out}$  et  $T_{f\_in}$ , on peut trouver  $T_f$  avec la relation précédente;
  - Et la longueur nécessaire de l'échangeur.

# Conception

- Étapes de design

- Spécifications du type de configuration de puits et calcul des longueurs de puits
  - Longueur en chauffage

$$L_{ch} = q_{c,chaud} \left[ \frac{\frac{(COP_{ch} - 1)}{COP_{ch}} (R_t + R_s F_{ch})}{T_{s,min} - T_{ent,min}} \right]$$

**Version simplifiée des équations développées par Ingersoll et présentées par Kavanaugh et Rafferty (1997). Tirée du manuel RETScreen.**

# Conception

- Étapes de design

- Spécifications du type de configuration de puits et calcul des longueurs de puits
  - Longueur en climatisation

$$L_{cl} = q_{c,clim} \left[ \frac{\frac{(COP_{cl} + 1)}{COP_{cl}} (R_t + R_s F_{cl})}{T_{ent,max} - T_{s,max}} \right]$$

# Question

- Quels est le facteur primordial à la conception qui n'a pas encore été évoqué?



# Conception


- Budget
  - Étude de cas: Une résidence unifamiliale exclusivement alimentée en électricité possède un profil de consommation tel que représenté ci-dessous.

000162

**Services à la clientèle**  
CP 11003 SUCC. CENTRE VILLE  
Montréal QC H3C 4T3  
www.hydroquebec.com

**Facturation et service : 1 888 385-7252**

Télocopieur : 1 888 448-6170  
Pannes et bris : 1 800 790-2424  
Efficacité énergétique : 1 800 363-7443

  
5 000 65229 1801348

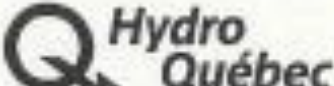
**Consommations antérieures**

Du	Au	Jours	kWh	Moyenne kWh / j	Montant (taux compris)
2012-09-25	2012-11-26	63	4 320 R	69	354,86 \$
2012-11-27	2013-01-29	64	8 860 R	138	746,57 \$
2013-01-30	2013-04-04	65	7 490 R	115	629,19 \$
2013-04-05	2013-06-03	60	3 900 R	65	327,84 \$
2013-06-04	2013-08-02	60	2 300 R	38	184,72 \$
2013-08-03	2013-10-02	61	2 480 R	41	200,47 \$
<b>Total</b>		<b>373</b>	<b>29 350</b>	<b>79</b>	<b>2 443,65 \$</b>
2013-10-03	2013-11-29	58	4 510 R	78	383,11 \$

Payer en retard entraîne des frais d'administration calculés au taux mensuel de 1,2 % (14,4 % par année) à partir de la date de facturation.

Conserver cette partie pour vos dossiers. Renseignements importants au verso.

R: Réel      E: Estimé



Détacher ce coupon et retourner avec votre paiement.  
Cette facture peut être réglée dans les établissements financiers autorisés.

**Ne pas agraffer. Merci.**

# Conception

- Budget

## Facture du 29 novembre 2013

Pour la période du 2013-10-03 au 2013-11-29 au tarif domestique D pour 58 jour(s)

Redevance d'abonnement (voir la définition au verso)	58 jour(s) x 0,4064 \$	23,57 \$
Consommation	4 510 kWh	
Les 30 premiers kWh par jour	1 740 kWh x 0,0541 \$	94,13 \$
Le reste de la consommation	2 770 kWh x 0,0778 \$	215,51 \$

N° TPS : 11944 9775 870001	<b>Sous-total</b>	<b>333,21 \$</b>
N° TVQ : 1000942695 T00020	TPS (5,0 %)	16,66 \$
	TVQ (9,975 %)	33,24 \$

 Ce montant sera prélevé le 20 décembre 2013. **383,11 \$**

### Services à la clientèle

CP 11003 SUCC. CENTRE VILLE  
Montréal QC H3C 4T3  
www.hydroquebec.com

Facturation et service : 1 888 385-7252

Télécopieur : 1 888 448-8170  
Faxes et bris : 1 800 790-2424  
Efficacité énergétique : 1 800 383-7443



### Consommations antérieures

Du	Au	Jours	kWh	Moyenne kWh / j	Montant (sans taxes)
2012-09-25	2012-11-26	63	4 320 R	69	354,86 \$
2012-11-27	2013-01-29	64	8 860 R	138	746,57 \$
2013-01-30	2013-04-04	65	7 490 R	115	629,19 \$
2013-04-05	2013-06-03	60	3 900 R	65	327,84 \$
2013-06-04	2013-08-02	60	2 300 R	38	184,72 \$
2013-08-03	2013-10-02	61	2 480 R	41	200,47 \$
<b>Total</b>		<b>373</b>	<b>29 350</b>	<b>79</b>	<b>2 443,65 \$</b>
2013-10-03	2013-11-29	58	4 510 R	78	<b>383,11 \$</b>

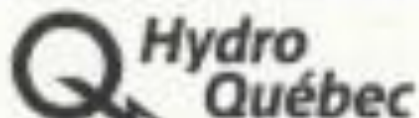
Payer en retard entraîne des frais d'administration calculés au taux mensuel de 1,2 % (14,4 % par année) à partir de la date de facturation.

Conservez cette partie pour vos déclarations.  
Renseignements importants au verso.

R: Real      L: Légal

Détacher ce coupon et retourner avec votre paiement.  
Cette facture peut être réglée dans les établissements financiers autorisés.

Ne pas agraffer. Merci.



# Conception

- Budget
  - On propose de remplacer l'unité de chauffage central à l'électricité par une pompe à chaleur (4 000\$) et un champ géothermique (16 000\$).
  - En première approximation, que recommandez-vous suite à une étude de faisabilité?
    - a) De ne pas pousser plus avant l'étude de faisabilité
    - b) De faire une étude exhaustive (aux frais du client) de la rentabilité du projet.
    - c) D'accorder un contrat à une firme de manière à dimensionner et installer le matériel le plus approprié.

# Conception

- Budget

## Géothermie: le coût est d'environ 30 000\$

Publié le 26 août 2007 à 00h00 | Mis à jour le 26 août 2007 à 09h02



Marc Tison  
LA PRESSE

### Allongez les bidous.

Les coûts d'un système géothermique pour une maison standard varient en moyenne entre 25 000\$ et 30 000\$. La puissance de l'appareil se calcule en tonnes, au prix de 8000\$ par tonne. Une maison moyenne pourra nécessiter un appareil de trois tonnes.

Selon Denis Tanguay, président-directeur général de la Coalition canadienne de l'énergie géothermique, les coûts se divisent approximativement en trois parts égales entre le forage et le circuit souterrain d'une part, l'appareillage intérieur en second lieu, et la main-d'oeuvre pour le dernier tiers.

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Pompe à chaleur géothermique
- Conception
- ***Boucle fermée, ouverte et puits à colonne***
- Exemples de projets
- Conclusion

# Boucle fermée, ouverte et puits à colonne

- La technologie de l'échangeur de chaleur dans le sol (GHE, ou ground source heat exchanger) **en boucle fermée** est actuellement l'approche principale d'échange de chaleur entre l'environnement géologique et une pompe à chaleur à source géothermique (GSHP, ou ground source heat pump).
- La popularité relative du GHE en boucle fermée provient principalement de :
  - sa longue histoire de succès en termes d'économie d'énergie ;
  - sa fiabilité ;
  - ce que la conception d'un GHE en boucle fermée ne nécessite que peu de paramètres thermiques facilement déterminés par un test de réponse thermique (TRT).

# Boucle fermée, ouverte et puits à colonne

- En revanche, la conception d'un système **en boucle ouverte** composé de puits de pompage et d'injection (comme on le voit dans 13.4) peut nécessiter un lourd programme d'investigation sur le terrain impliquant de nombreux forages d'exploration, analyses stratigraphiques, pompage et tests de traceurs.
- Lorsque des conditions hydrogéologiques appropriées sont déterminées et indiquent que l'aquifère local est suffisamment productif pour le fonctionnement des GSHP, un système en boucle ouverte peut s'avérer plus rentable.

# Boucle fermée, ouverte et puits à colonne

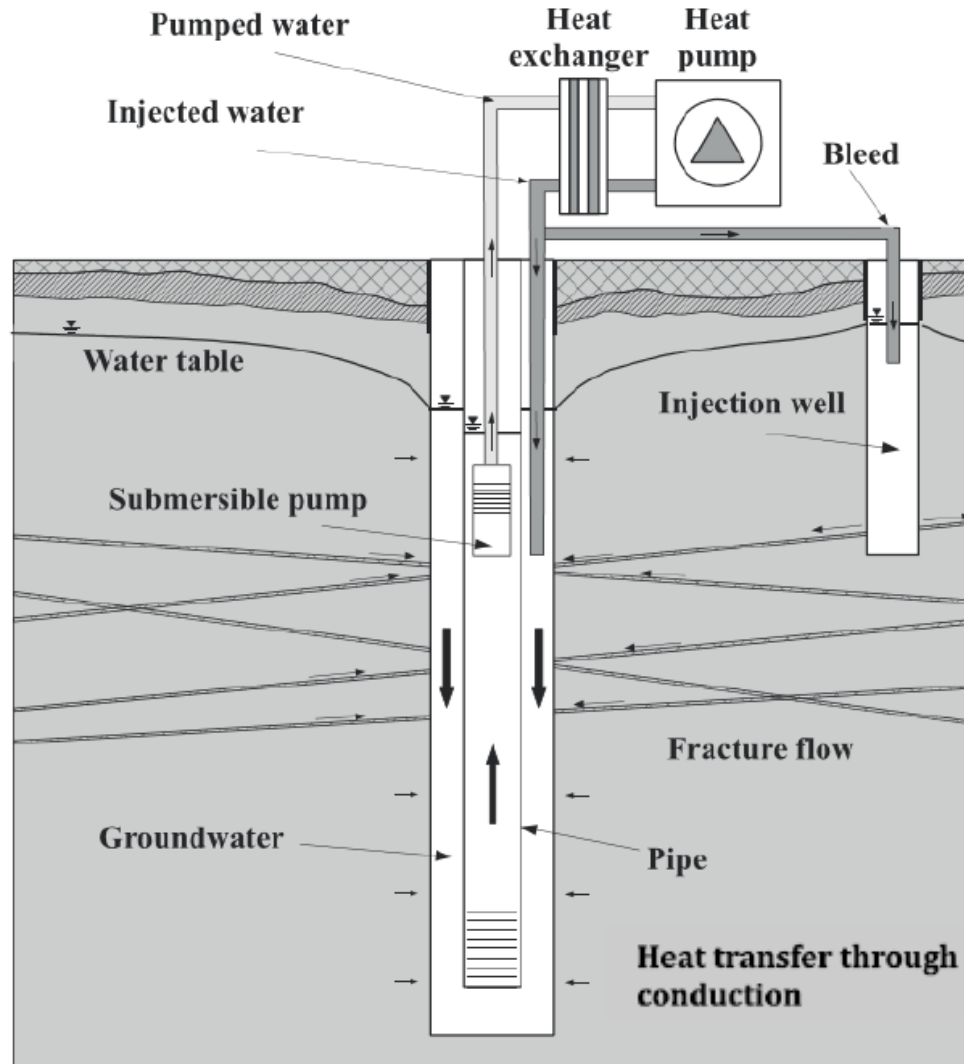
- Cependant, compléter les recherches hydrogéologiques nécessite du temps et des ressources, et de nombreux concepteurs préféreront le plus linéaire processus de conception associé aux approches GHE en boucle fermée.
- Prendriez-vous le risque financier de consacrer des ressources pour un résultat incertain?



# Boucle fermée, ouverte et puits à colonne

- Une approche alternative aux GHE bien connus en boucle fermée et ouverte est le puit à colonne permanente (SCW, ou standing column well), qui consiste en un long forage ouvert (75-500 m) principalement foré dans le roc et ayant généralement un diamètre de 150 mm (Orio et al., 2005). Apparus aux USA à la fin des années 1980.
- Pour éviter que des sols non consolidés ne tombent dans le trou ouvert, le mort-terrain est doté d'un tube de la surface au sous-sol rocheux (acier ou PVC) comme illustré à la page suivante.

# Boucle fermée, ouverte et puits à colonne



Philippe Pasquier, ing., Ph.D.

Professeur titulaire | Chaire de recherche en géothermie sur l'intégration des PCP dans les bâtiments institutionnels

Département des génies civil, géologique et des mines

Polytechnique Montréal

[philippe.pasquier@polymtl.ca](mailto:philippe.pasquier@polymtl.ca) | [Chaire de recherche en géothermie](#)



Chaire de recherche  
en géothermie sur  
l'intégration des PCP dans  
les bâtiments institutionnels

POLYTECHNIQUE  
MONTRÉAL

UNIVERSITÉ  
D'INGÉNIERIE



# Boucle fermée, ouverte et puits à colonne

- La conception la plus courante pour les systèmes commerciaux pompe l'eau souterraine à la base du puits avec une pompe submersible installée dans une colonne montante blindée ou fendue à sa base;
- L'eau souterraine pompée est alors dirigé vers le système de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) du bâtiment (souvent via un échangeur de chaleur intermédiaire);
- L'eau est pompée à la base du puits et réinjectée à son sommet (on vice versa);
- Le temps de résidence est long (30-45 minutes) et la capacité thermique du puits élevée.

# Boucle fermée, ouverte et puits à colonne

- En pointe, le puits est saigné (vidé dans un tiers puits) ce qui favorise un apport d'eau nouvelle dans la PCP;
- L'eau pompée DOIT être retournée dans son aquifère d'origine. C'est une exigence réglementaire;
- L'efficacité de ce type de puits est d'environ trois fois celle d'un puits en boucle fermée;
- Les coûts de construction sont de 2 à 5 fois moindres que ceux d'un système équivalent en boucle fermée.

# Boucle fermée, ouverte et puits à colonne



Le réel potentiel des PCP réside dans leur capacité à être intégrés aux bâtiments déjà construits dans les zones urbaines denses où l'installation de puits en boucle fermée est impossible.



# Boucle fermée, ouverte et puits à colonne

L'échangeur de chaleur est l'élément le plus susceptible de s'encrasser et de limiter l'échange thermique entre le PCP et la thermopompe.



# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Pompe à chaleur géothermique
- Conception
- Boucle fermée, ouverte et puits à colonne
- ***Exemples de projets***
- Conclusion

# Exemples de projets

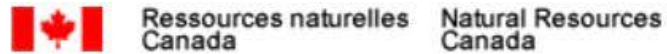
- Campus UQAR-Lévis
  - Design à 88% de la charge de chauffage
  - Pay-back 8-12 ans
  - 125 puits
  - 200 m





# Exemples de projets

- Centre Grant-Harvey Center



La chaleur rejetée par l'aréna permet de chauffer les terrains de tennis



# Exemples de projets

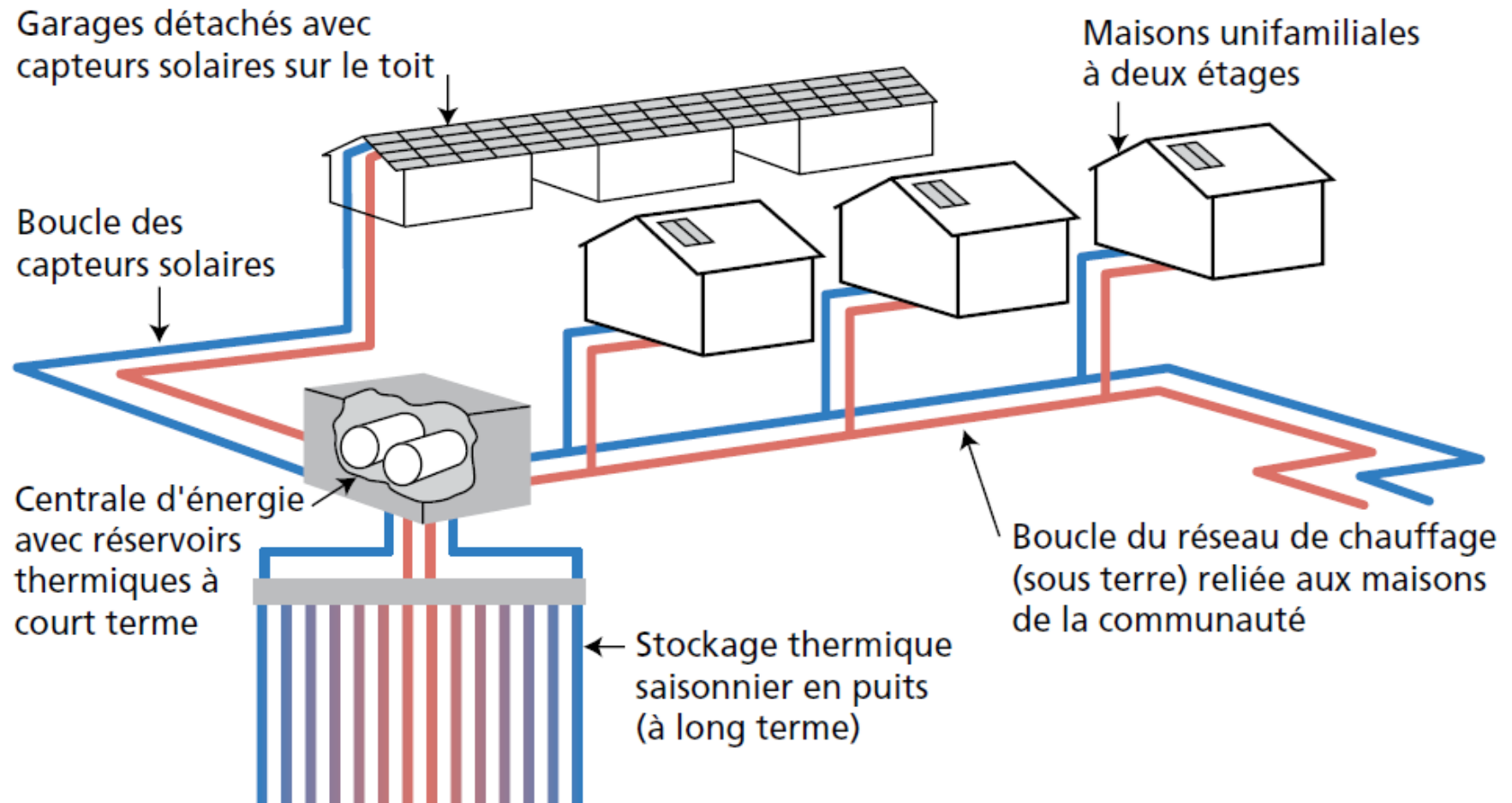
- Résidences ÉTS
  - 18 puits
  - 139 m



Bouthillette Parizeau et Associés

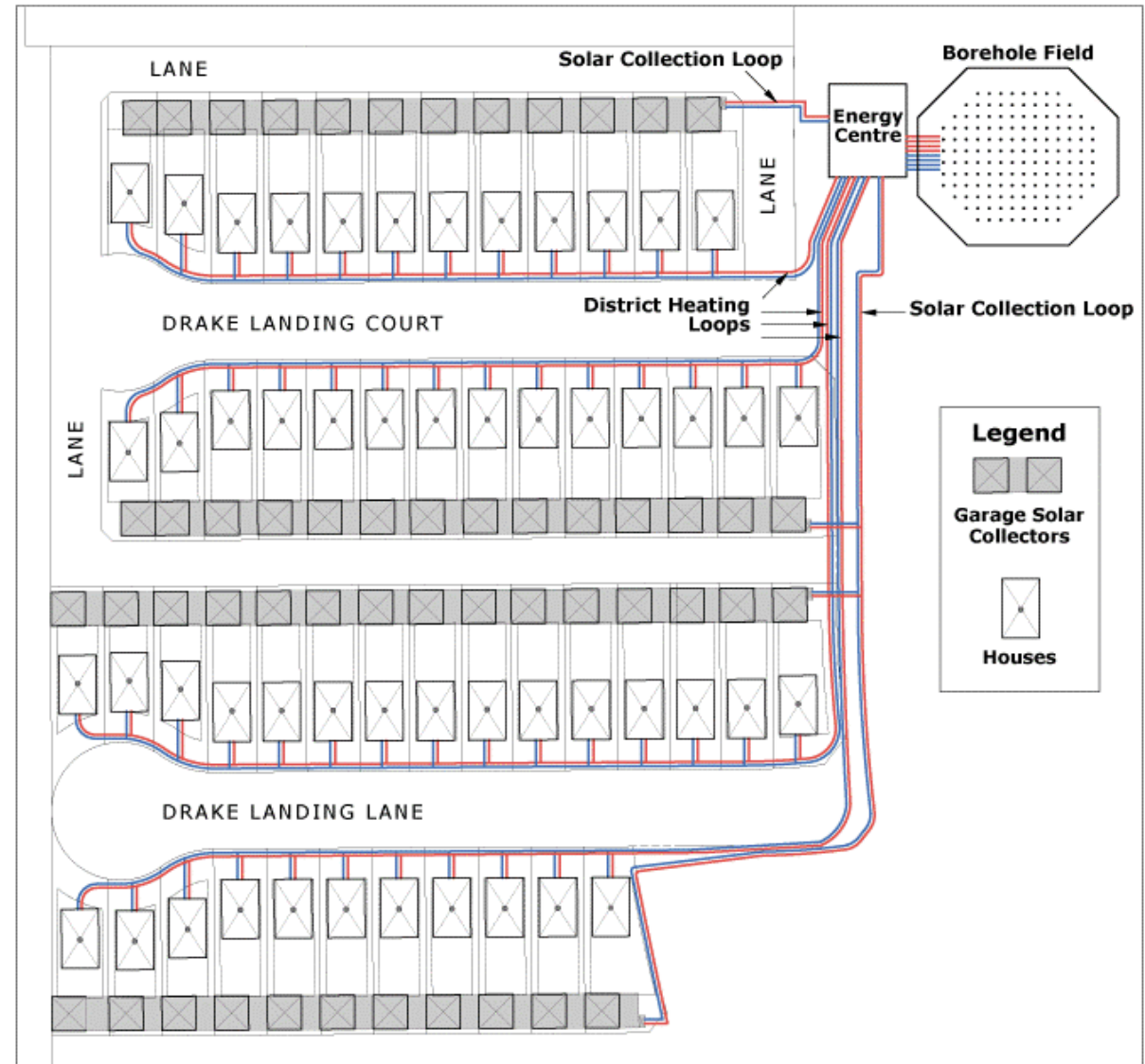
# Exemples de projets

- Drake Landing



# Exemples de projets

- Drake Landing
  - Okotoks, Ab.
  - 52 maisons détachées (~1 500 pi<sup>2</sup>)
  - Pas de pompes à chaleur
  - 90% de fraction solaire de chauffage



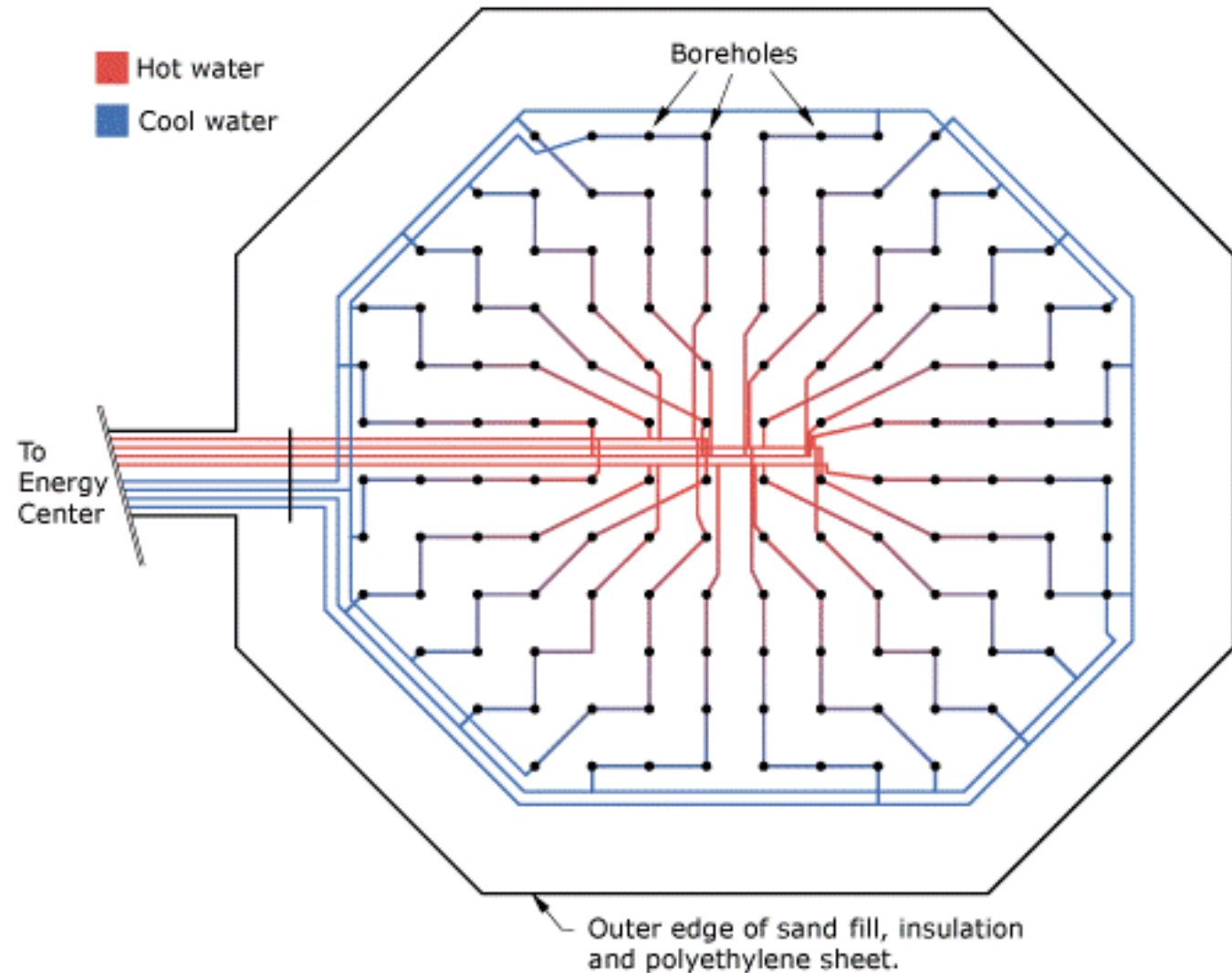
www,dlcs,c

a



# Exemples de projets

- Drake Landing
  - 144 puits
  - Séries de 6 puits
  - 35 m
  - 80°C en été

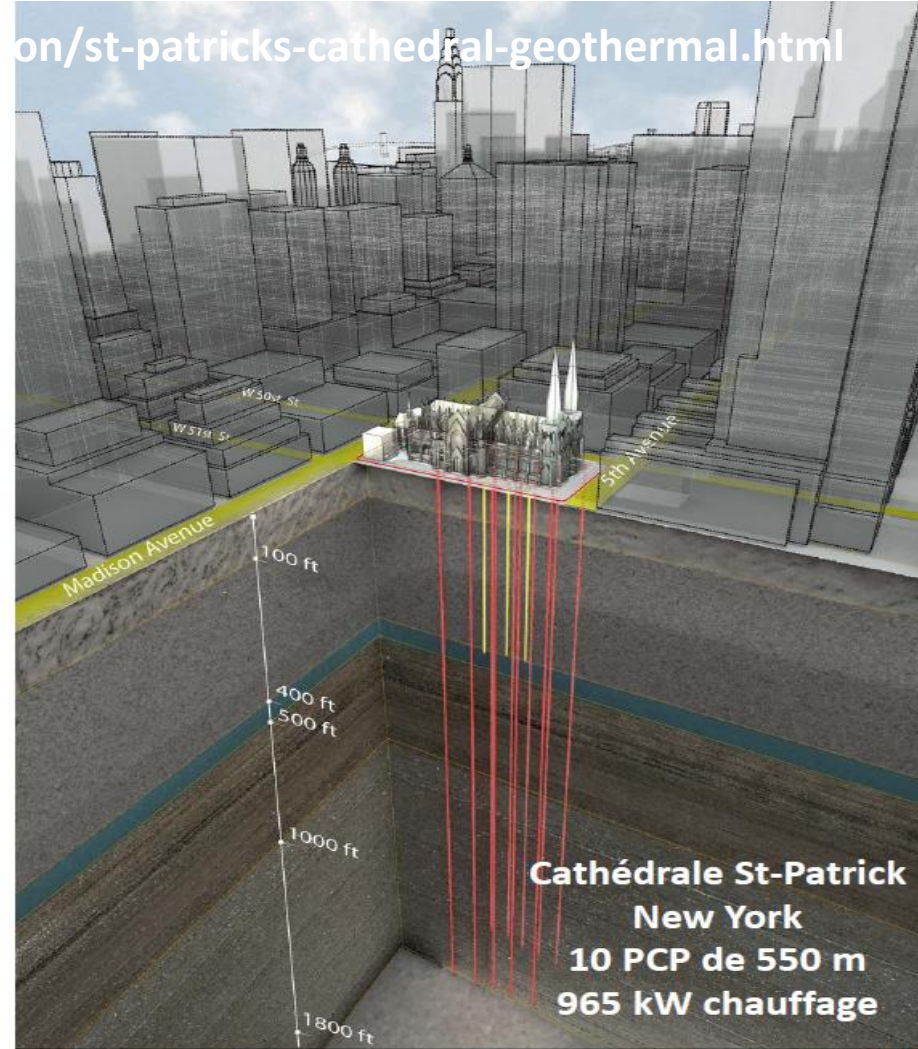


www.dlcs,c

a

# Exemples de projets

<https://www.nytimes.com/2018/03/14/nyregion/st-patricks-cathedral-geothermal.html>



# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Pompe à chaleur géothermique
- Conception
- Boucle fermée, ouverte et puits à colonne
- Exemples de projets
- ***Conclusion***

# Conclusions

- Plusieurs paramètres sont importants dans le dimensionnement de champs géothermiques;
- Le choix de ces paramètres est une question de compromis;
- En stockage thermique, les charges d'un champ géothermique doivent être balancées le plus possible;
- Ce qui détermine la faisabilité sera toujours ultimement une question d'argent... jusqu'à ce que le modèle économique change.



# Références

- Shonder (2000), A comparison of vertical ground heat exchanger design software for commercial applications
- Shonder et Hugues (1998), Increasing confidence in geothermal heat pump design methods
- Hellström (1991), Ground Heat Storage
- Dinçer et Rosen (2011), Thermal Energy Storage
- Florides et Kalogirou (2007), Ground heat exchangers--A review of systems, models and applications
- Kavanaugh (1985), Simulation and experimental verification of vertical ground-coupled heat pump systems
- Eskilson (1987), Thermal analysis of heat extraction boreholes
- Sanner, B., Hellström, G., Spitler, J., Gehlin, S. (2005), Thermal response test—current status and world-wide application
- ASHRAE Applications (2003)
- ASHRAE Journal (2012), Vol. 54, no. 6
- Heinonen, E.W. and R.E. Tapscott (1996), Assessment of anti-freeze solutions for ground-source heat pump systems

[https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/ESMAP\\_Geothermal%20Handbook\\_FRENCH.pdf](https://www.esmap.org/sites/esmap.org/files/ESMAP_Geothermal%20Handbook_FRENCH.pdf)



**Merci de votre attention !**

Si vous avez des questions à formuler, veuillez les poser par écrit et spécifier le nom et le numéro de la présentation. Nous vous répondrons le plus rapidement possible.

# Période de questions

