

Survol des différentes technologies en géothermie de très basse température

Philippe Pasquier

Département des génies civil, géologique et des mines

7 mars 2012

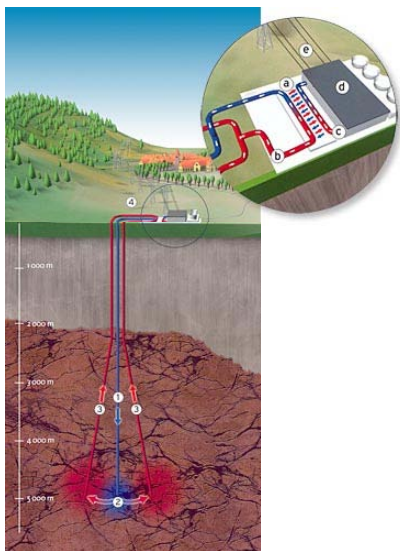
Plan de la conférence



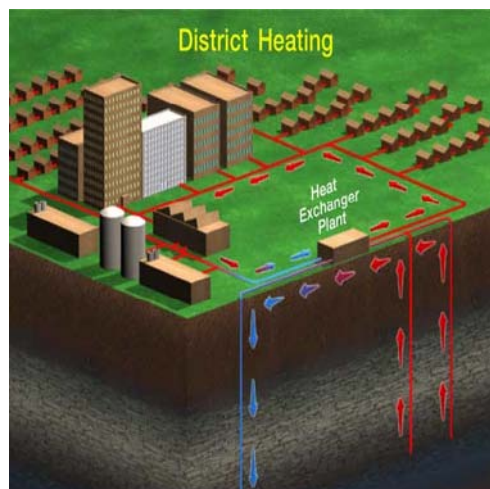
- Généralités
- Géothermie de basse température
 - Boucle ouverte
 - Puits à colonne
 - Boucle fermée
- De l'exploration à la construction
 - Forage exploratoire
 - Essai de réponse thermique
 - Dimensionnement
 - Construction
- Conclusion et questions

On définit la ressource géothermique selon la température:

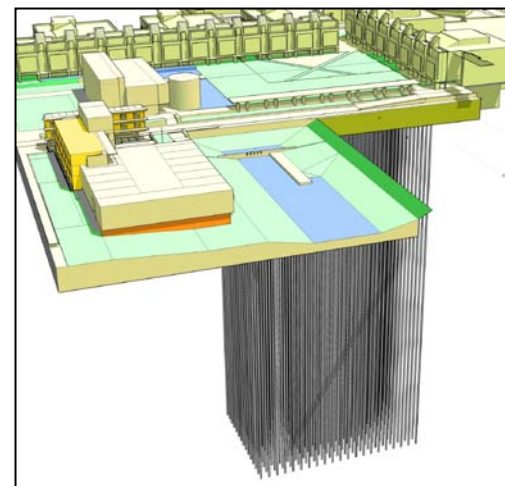
- Haute température ($>150\text{ }^{\circ}\text{C}$) - Production électrique.
- Moyenne température ($<150\text{ }^{\circ}\text{C}$) - Applications “directes”.
- Basse température ($<32\text{ }^{\circ}\text{C}$) - Applications avec pompes à chaleur.



Haute température

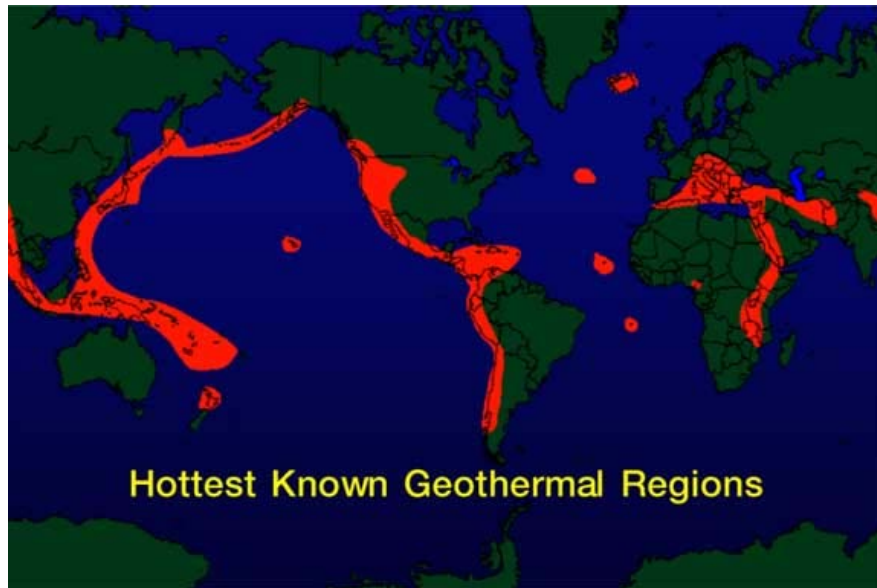


Moyenne température

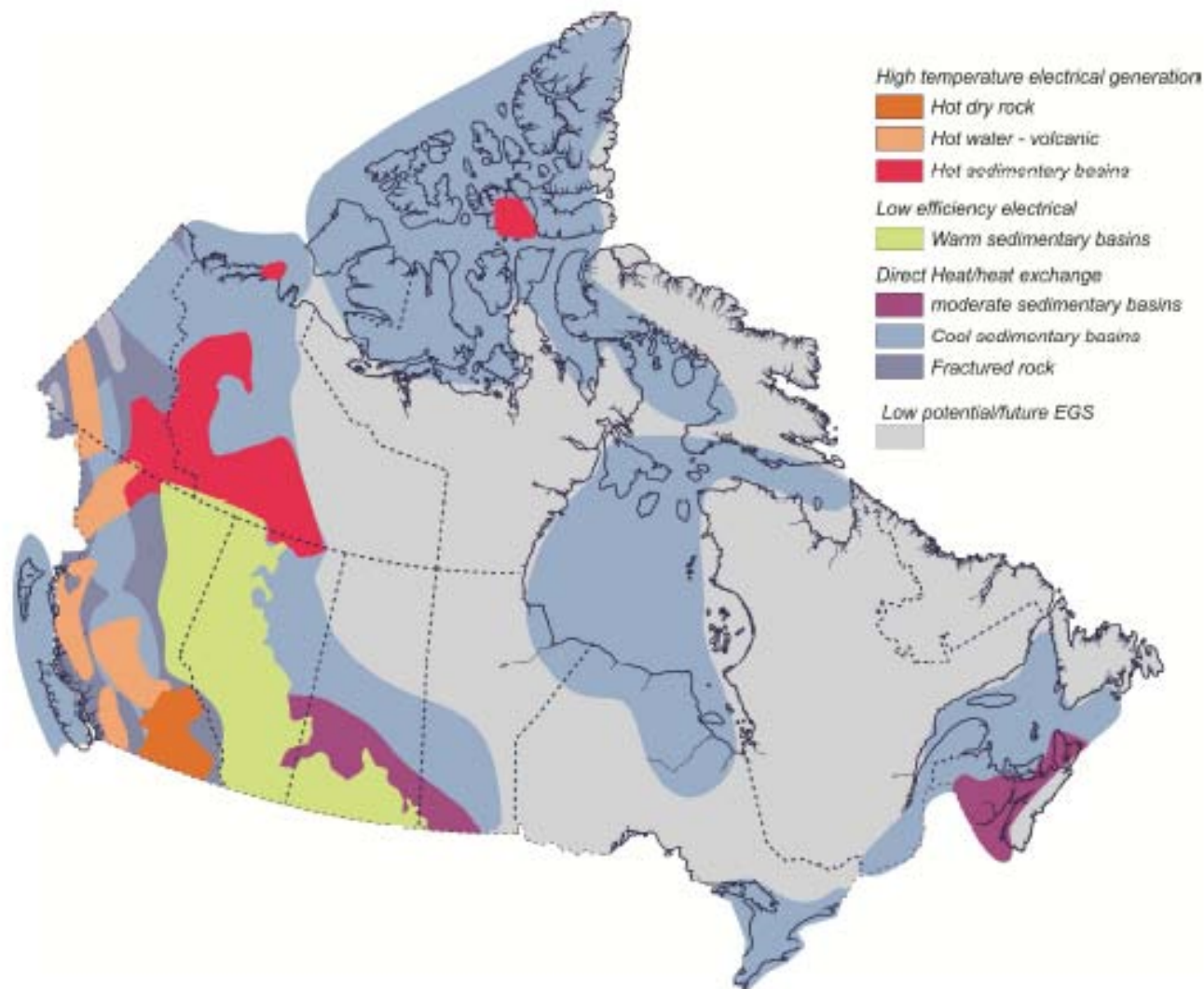


Basse température

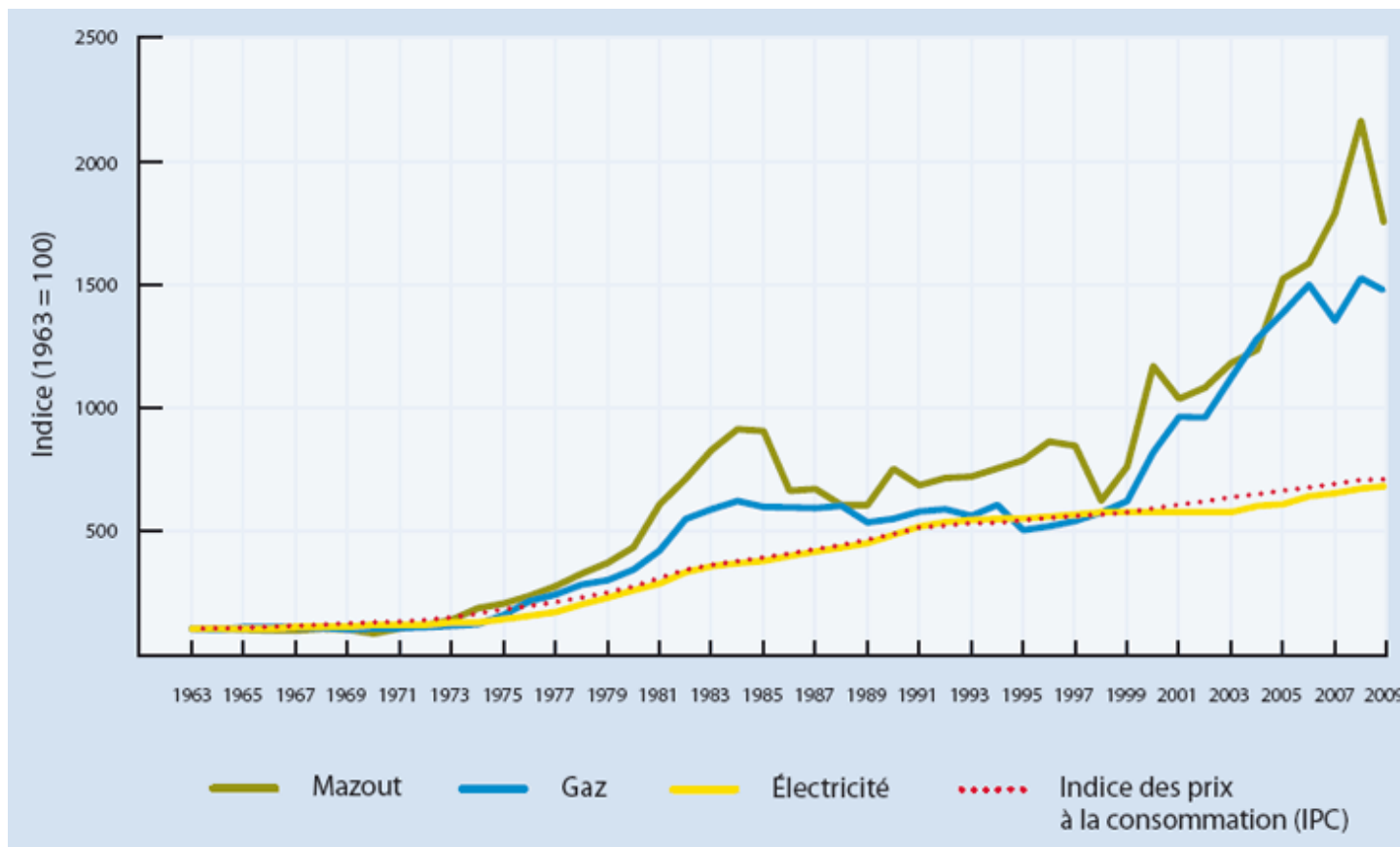
Les endroits propices à la géothermie de haute température sont associés à des zones géologiquement actives.



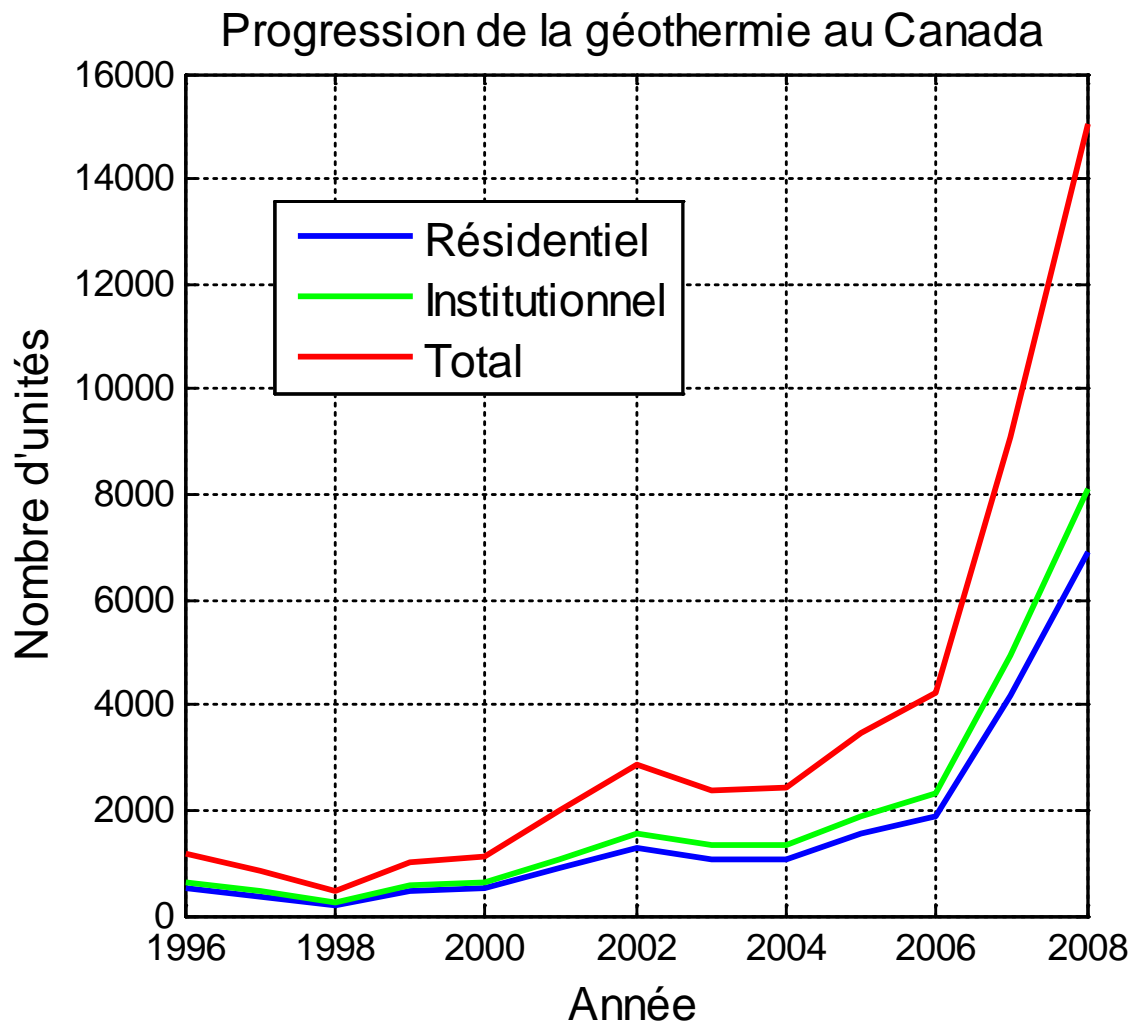
Potentiel géothermique du Canada



Variabilité des prix de l'énergie au Québec



La géothermie connaît une importante croissance au Canada depuis 2006.



L'efficacité d'un système de chauffage et de climatisation s'évalue en termes de coefficient de performance (COP)

$$\text{COP} = \frac{\text{Puissance produite}}{\text{Puissance utilisée}}$$

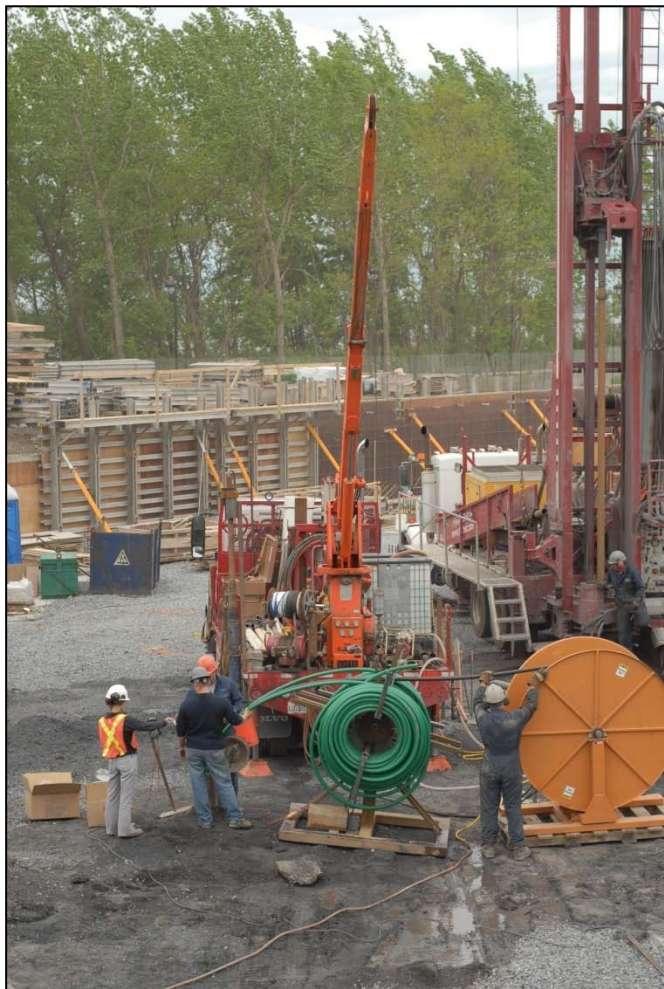
	COP
Chauffage électrique	: 1
Chauffage/climatisation par géothermie	: 3 @ 5
Géothermie avec stockage thermique	: > 5

Les coûts de chauffage/climatisation d'un système géothermique BT sont¹ :

- 70% moindres qu'un système de chauffage électrique
- 35% moindres qu'un climatiseur EnergyStar

¹ Coalition Canadienne de l'Énergie Géothermique (2007)

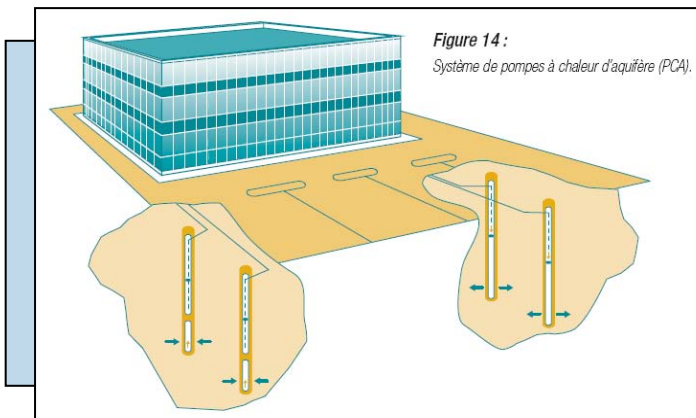
Plan de la conférence



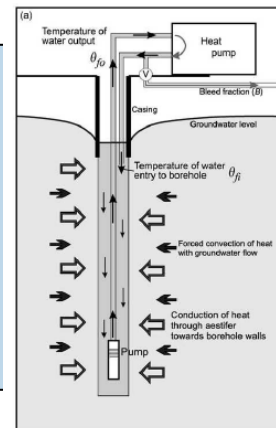
- Généralités
- **Géothermie de basse température**
 - Boucle ouverte
 - Puits à colonne
 - Boucle fermée
- De l'exploration à la construction
 - Forage exploratoire
 - Essai de réponse thermique
 - Dimensionnement
 - Construction
- Conclusion et questions

5 - Géothermie de basse température - TP

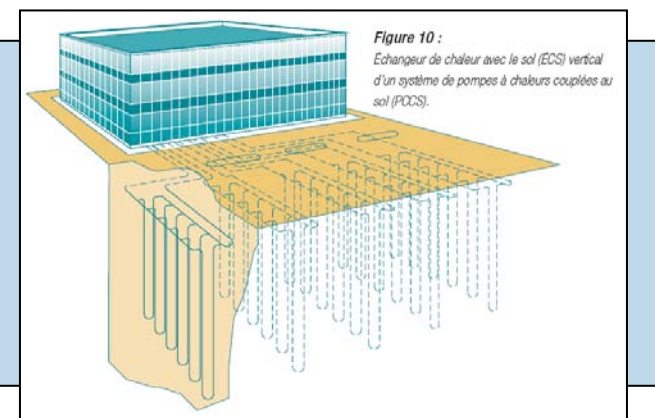
On distingue principalement 3 types de systèmes de géothermie de basse enthalpie utilisant des pompes à chaleur eau-air ou eau-eau.



Boucle ouverte



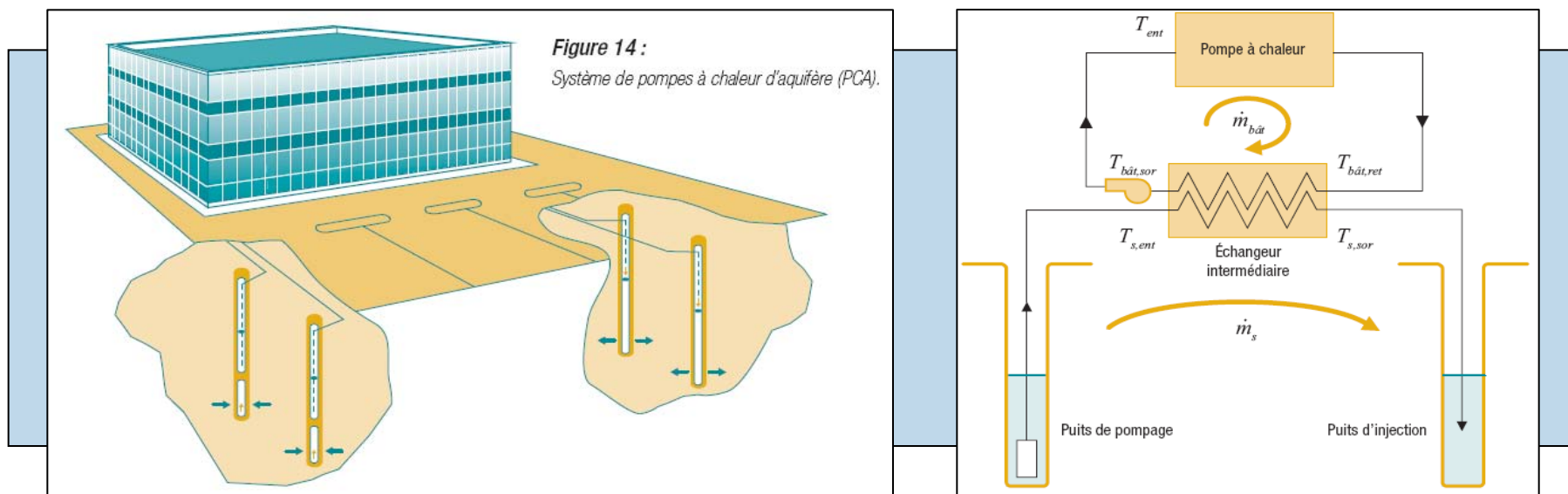
Puits à colonne



Boucle fermée verticale

BOUCLE OUVERTE

Circulation directe de l'eau souterraine à travers une thermopompe eau-air et/ou un échangeur de chaleur à plaque (8-10% des installations)¹

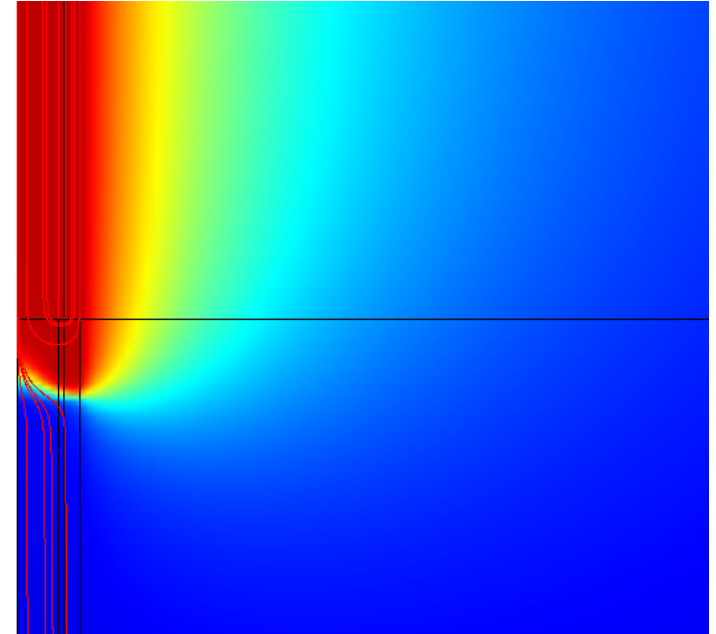
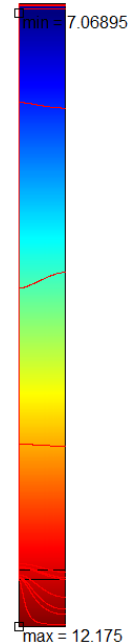
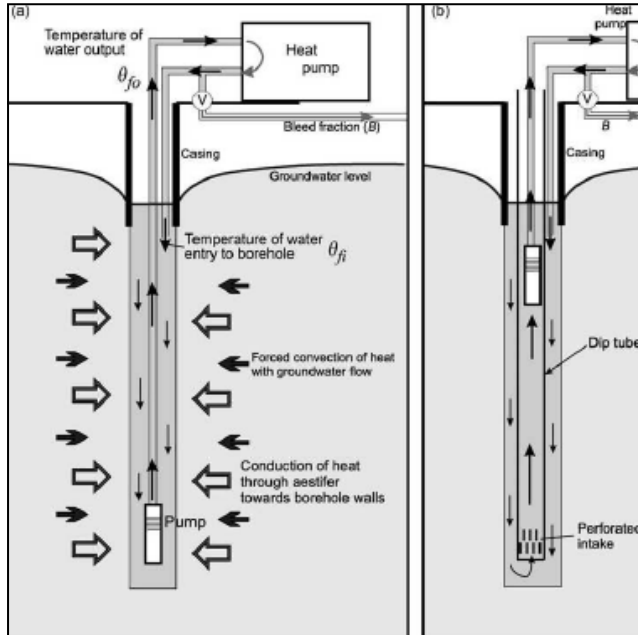


- Requiert de bonnes conditions hydrogéologiques
- La qualité de l'eau est importante (biofilm, entartrage...)
- Coûts de construction moindres que les systèmes en boucle fermée
- Grande efficacité énergétique (COP>4-5)

¹ Coalition Canadienne de l'Énergie Géothermique (2007)

PUITS À COLONNE PERMANENTE

Recirculation de l'eau souterraine dans un puits profond à travers une thermopompe eau-air et/ou un échangeur de chaleur à plaque (<1% des installations)¹

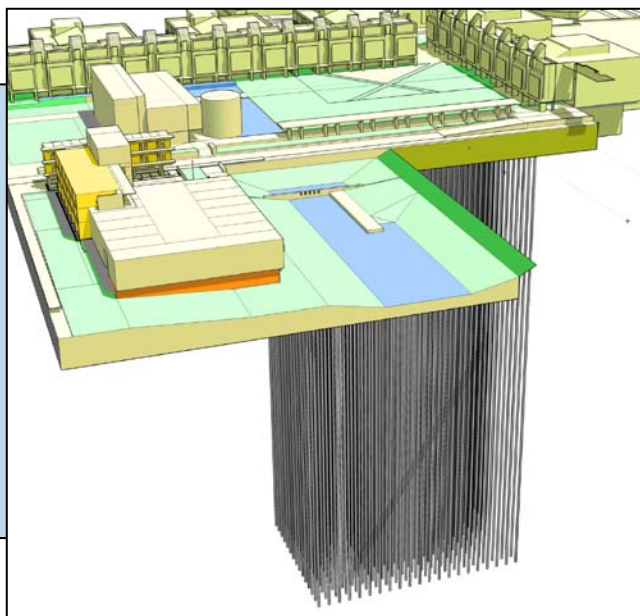


- Ne requiert pas de conditions hydrogéologiques très favorables
- Technologie idéale pour une intégration à un bâtiment existant
- La qualité de l'eau assez importante (biofilm, entartrage...)
- Coûts de construction moindres que les systèmes en boucle fermée
- Grande efficacité énergétique (COP>4-5)

¹ Coalition Canadienne de l'Énergie Géothermique (2007)

BOUCLE FERMÉE VERTICALE

Circulation continue d'un fluide caloporteur à travers une pompe à chaleur et un réseau de puits géothermiques (90% des installations)¹



- Technologie éprouvée – faible entretien, longue durabilité
- Bonne efficacité énergétique (COP \approx 3-4)
- Coûts de construction proportionnels :
 - Charges thermiques du bâtiment
 - Conductivité thermique du milieu géologique

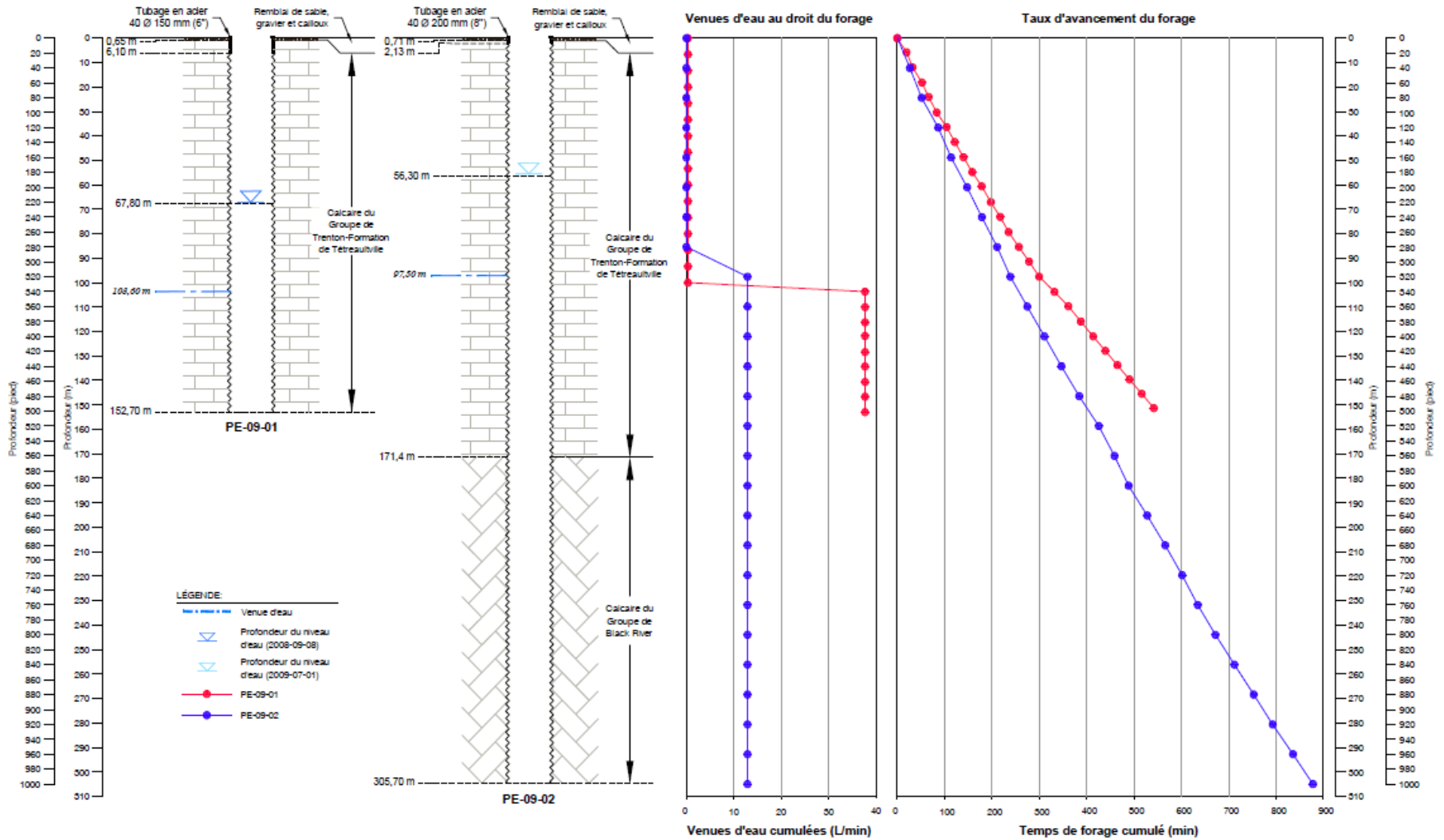
¹ Coalition Canadienne de l'Énergie Géothermique (2007)

Plan de la conférence



- Généralités
- Géothermie de basse température
 - Boucle ouverte
 - Puits à colonne
 - Boucle fermée
- **De l'exploration à la construction**
 - Forage exploratoire
 - Essai de réponse thermique
 - Dimensionnement
 - Construction
- Conclusion et questions

Forage exploratoire



Source de l'image: P.Pasquier, 2010, Les aspects souterrains de la géothermie, Congrès de l'APPQ, Boucherville, Québec.

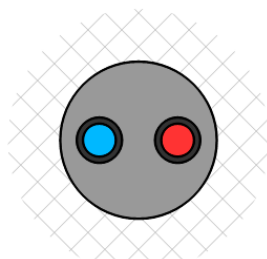
Un puits géothermique en quelques mots

Les composantes et les dimensions d'un puits sont généralement de l'ordre de:

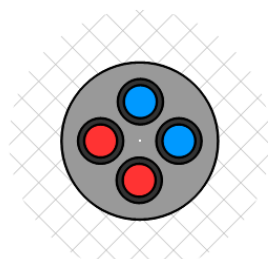
- Profondeur – 100 à 300 m
- Diamètre du forage – 4.75" à 6"

Un coulis imperméable de bentonite est utilisé pour prévenir:

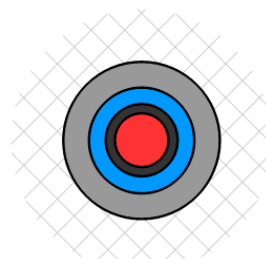
- La contamination des eaux souterraines par un polluant provenant de la surface
- La contamination des eaux souterraines par un polluant provenant d'un autre aquifère
- Les pertes d'eau souterraine pour les aquifères en conditions artésiennes



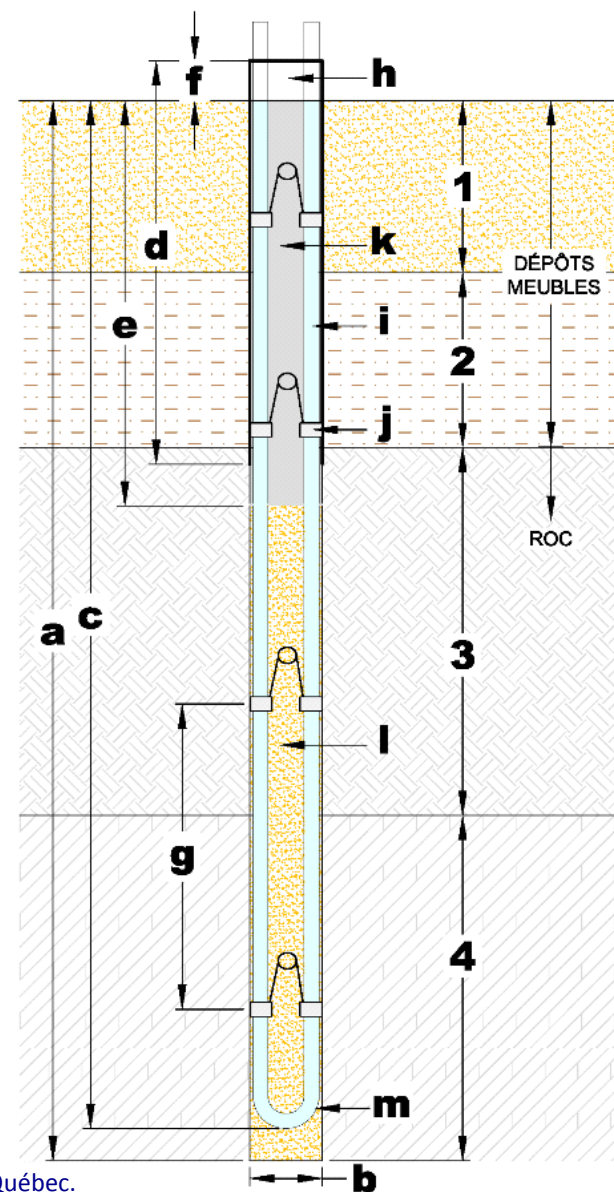
Boucle simple



Boucle double



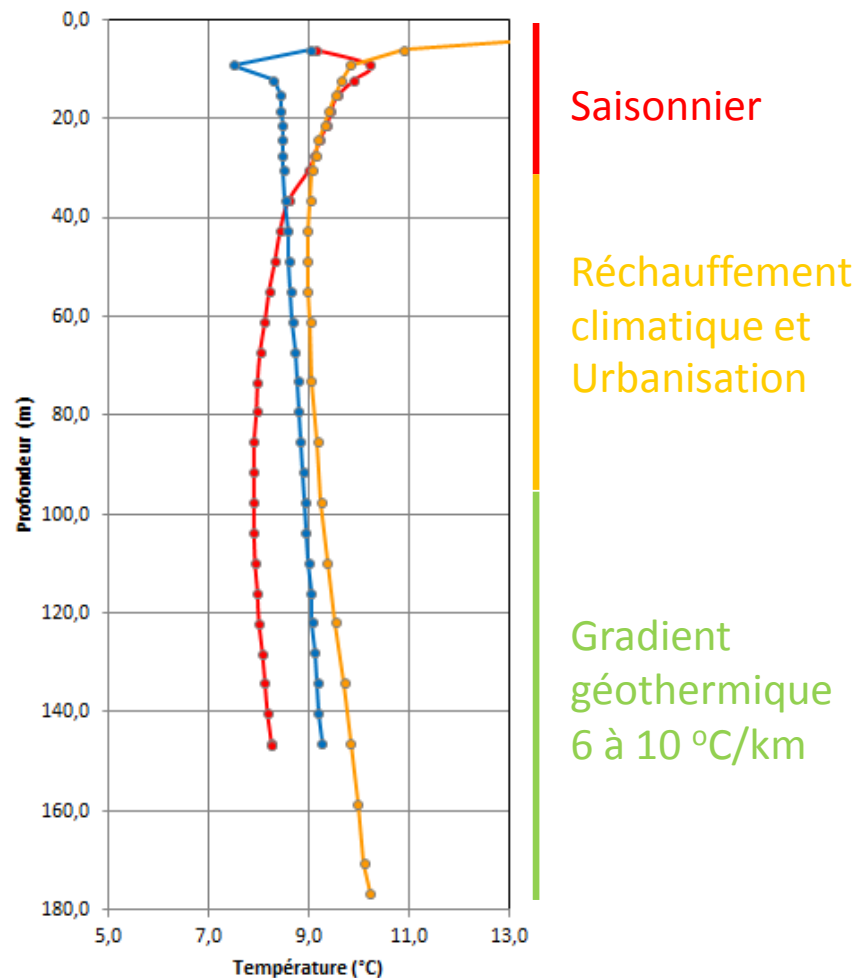
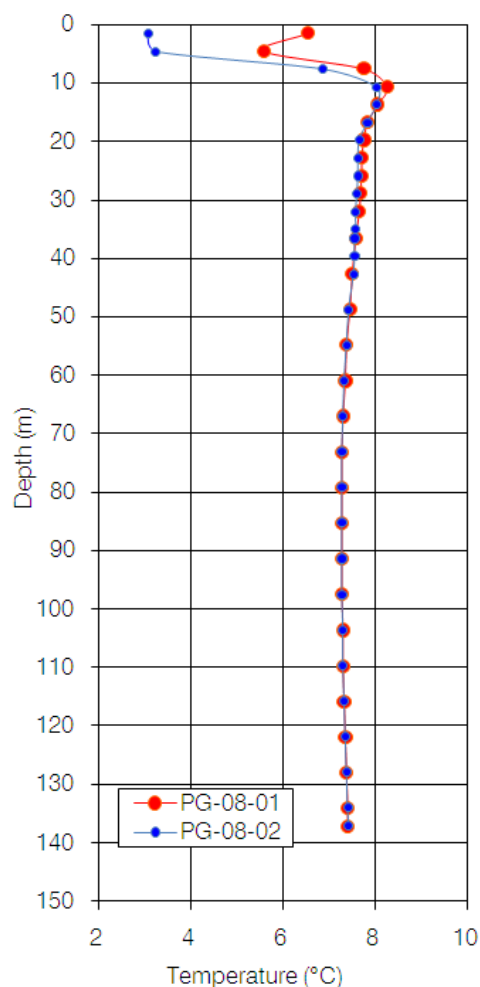
Échangeur coaxial



Source de l'image: P.Pasquier, 2010, Les aspects souterrains de la géothermie, Congrès de l'APPQ, Boucherville, Québec.

Profil thermique vertical

Le profil thermique permet de déterminer précisément la température du sol (T_g), un paramètre nécessaire au dimensionnement d'un système complet.

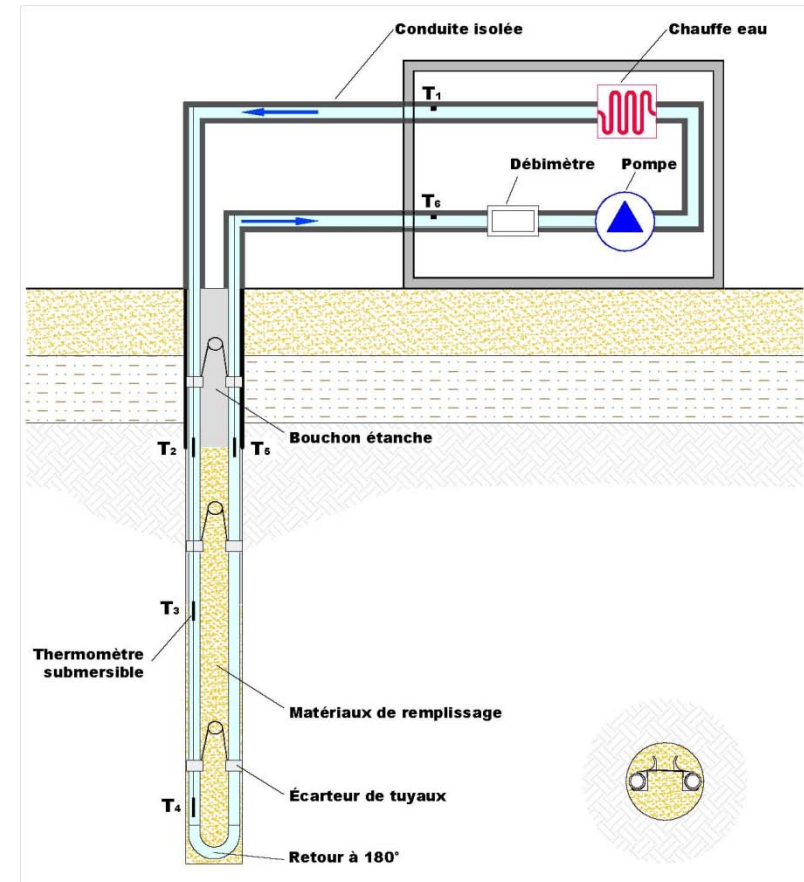
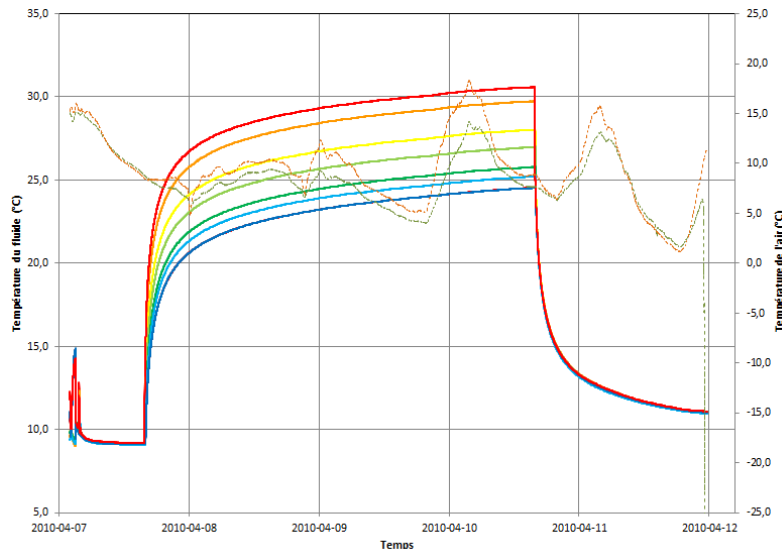


Source des images: P.Pasquier, 2010, Les aspects souterrains de la géothermie, Congrès de l'APPQ, Boucherville, Québec.

Essai de réponse thermique

Un essai de réponse thermique consiste à transférer de la chaleur à un puits d'essai géothermique et à mesurer la variation de température du fluide. L'essai est réalisé à l'aide d'une unité comprenant différents éléments:

- Éléments chauffant
- Pompe de circulation
- Sondes de température
- Débitmètre
- Transmetteur de puissance de chauffage
- Système d'acquisition de données

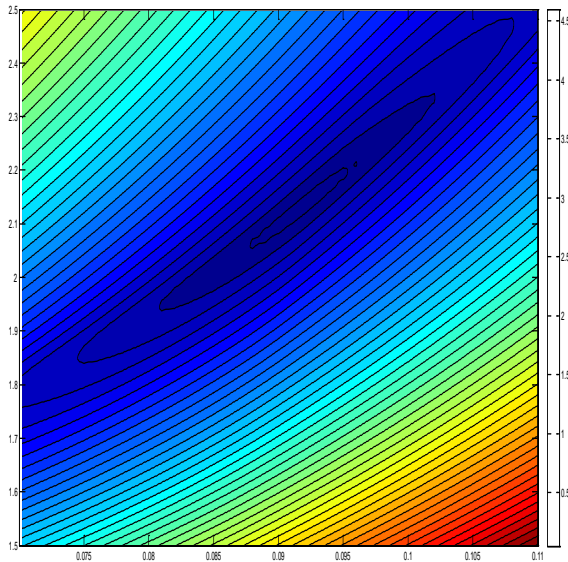


Essai de réponse thermique

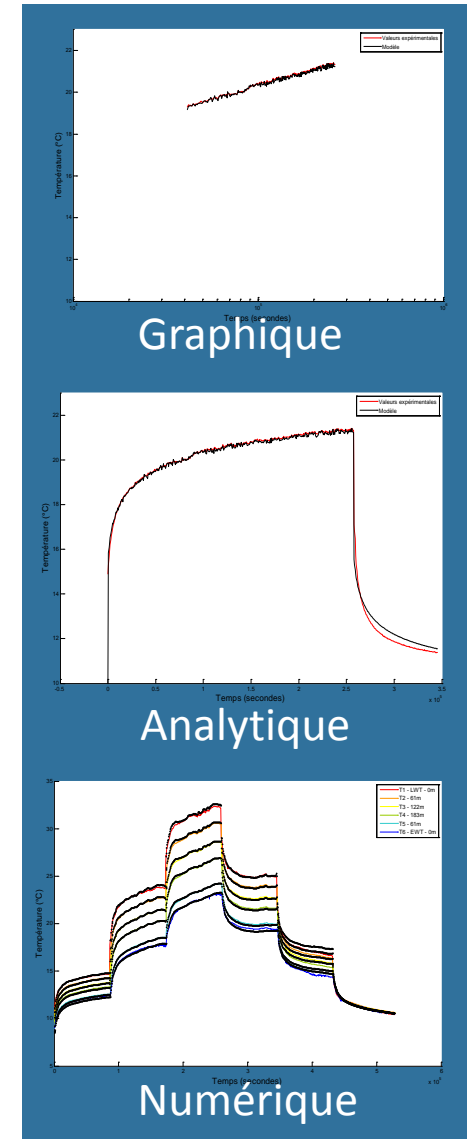
L'interprétation de l'essai consiste à déterminer les paramètres thermiques du milieu géologique (k , α).

$$\Delta T = \frac{q(t)}{k_{eq}} G(z, p) = \frac{q(t)}{k_{eq}} \frac{1}{\pi^2} \int_0^{\infty} f(\beta) d\beta$$

$$= \frac{q(t)}{k_{eq}} \frac{1}{\pi^2} \int_0^{\infty} (e^{-\beta^2 z} - 1) \frac{J_0(p\beta)Y_1(\beta) - Y_0(p\beta)J_1(\beta)}{\beta^2 (J_1^2(\beta) + Y_1^2(\beta))} d\beta$$

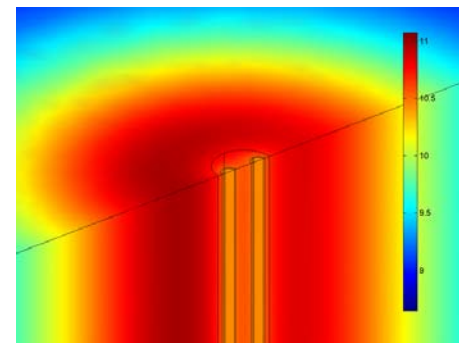
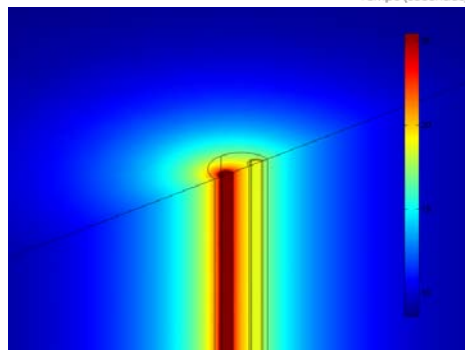
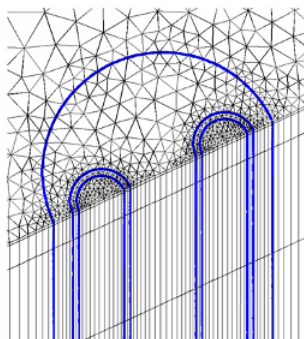
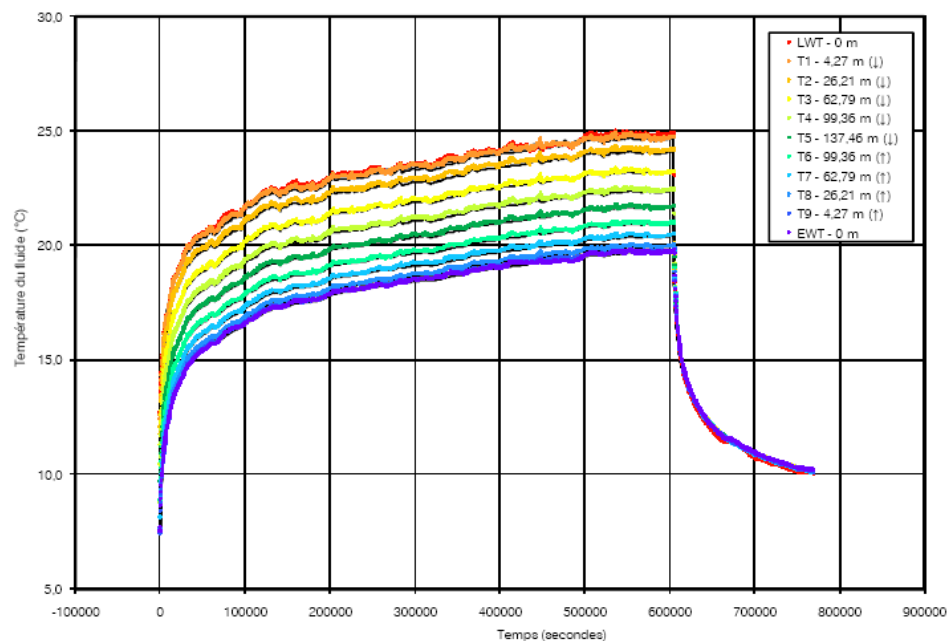


$$\Delta T = \frac{q(t)}{4\pi k_{eq}} \int_{r^2/4\alpha t}^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{q(t)}{4\pi k_{eq}} E1 \left(\frac{r^2}{4\alpha t} \right)$$



Essai de réponse thermique

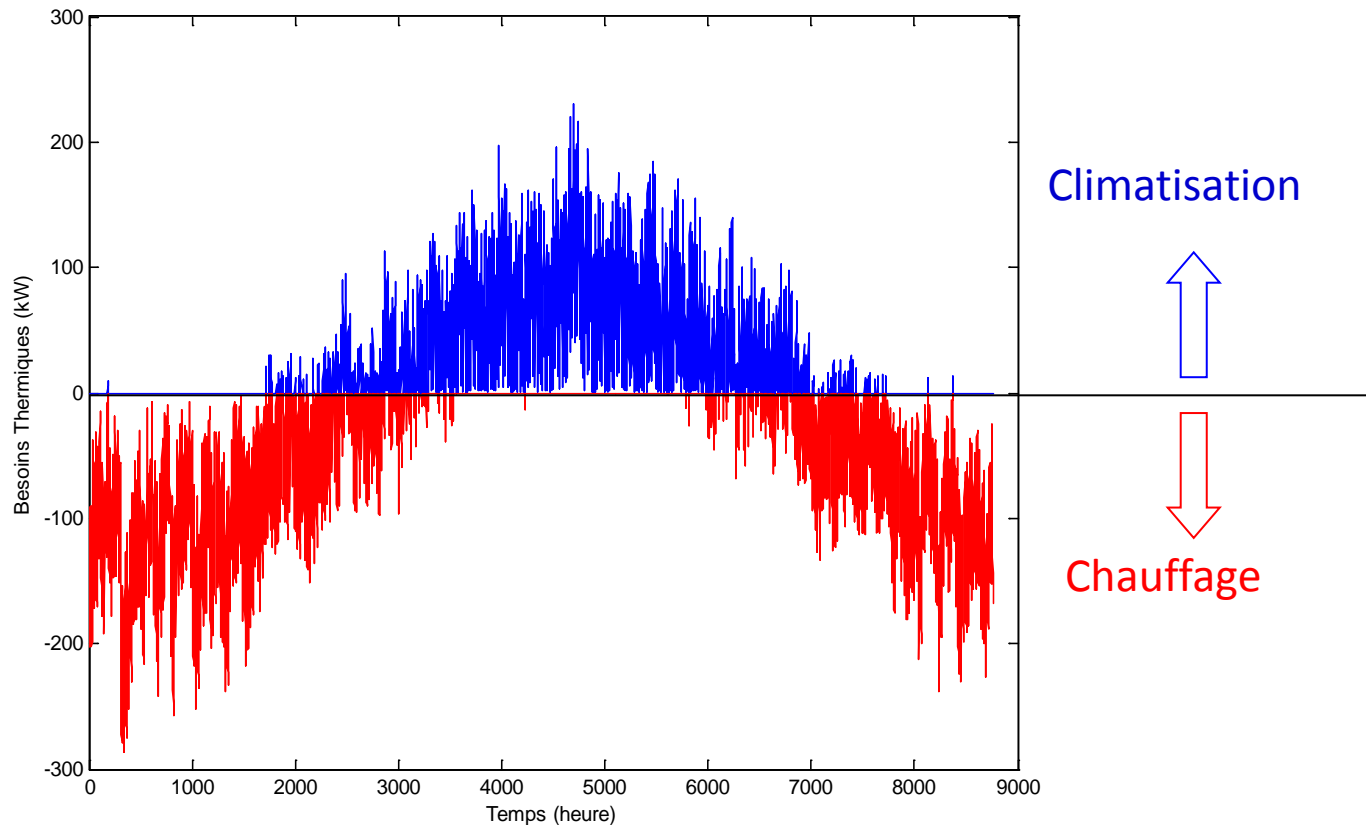
Pour certaines études, l'interprétation est réalisée à l'aide d'un modèle numérique 3D pouvant simuler le comportement thermique d'un puits.



Dimensionnement d'un système

Le dimensionnement d'un champ de géothermique repose sur :

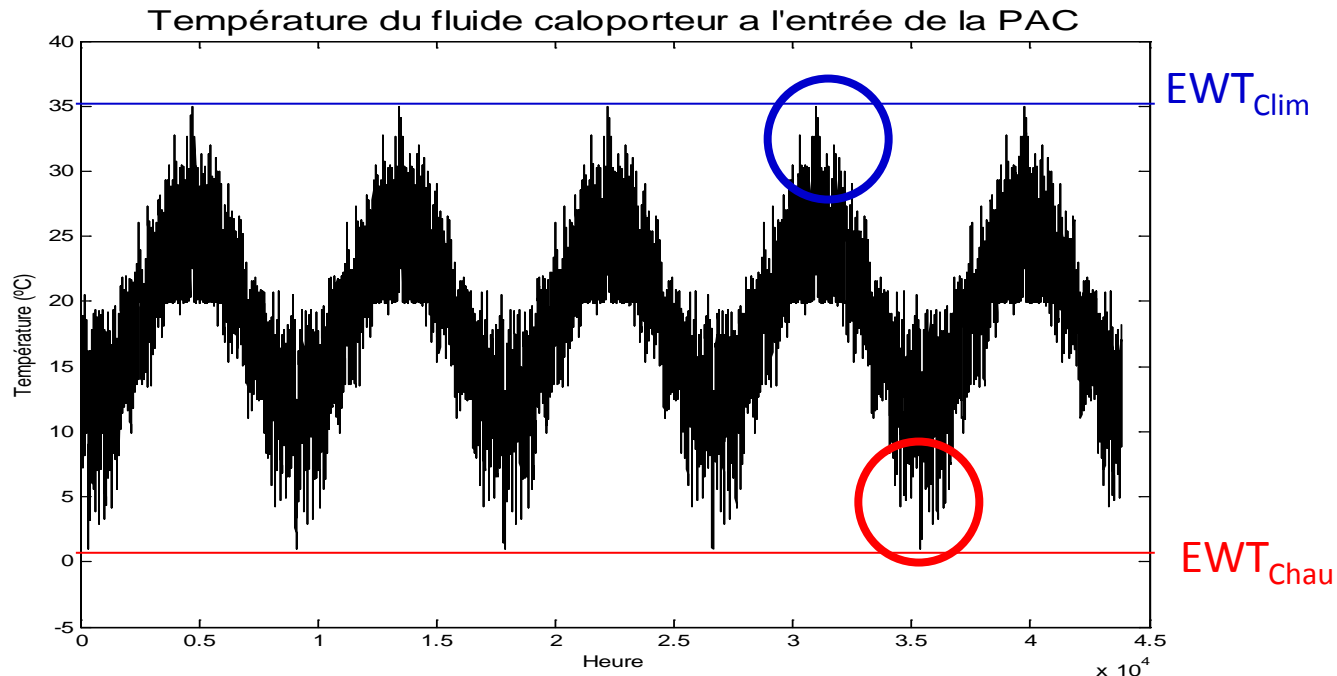
- Besoins thermiques du bâtiment et PAC
- Conductivité thermique du sous-sol



Dimensionnement d'un système

Le dimensionnement d'un système revient à simuler l'évolution temporelle de la température du fluide caloporteur.

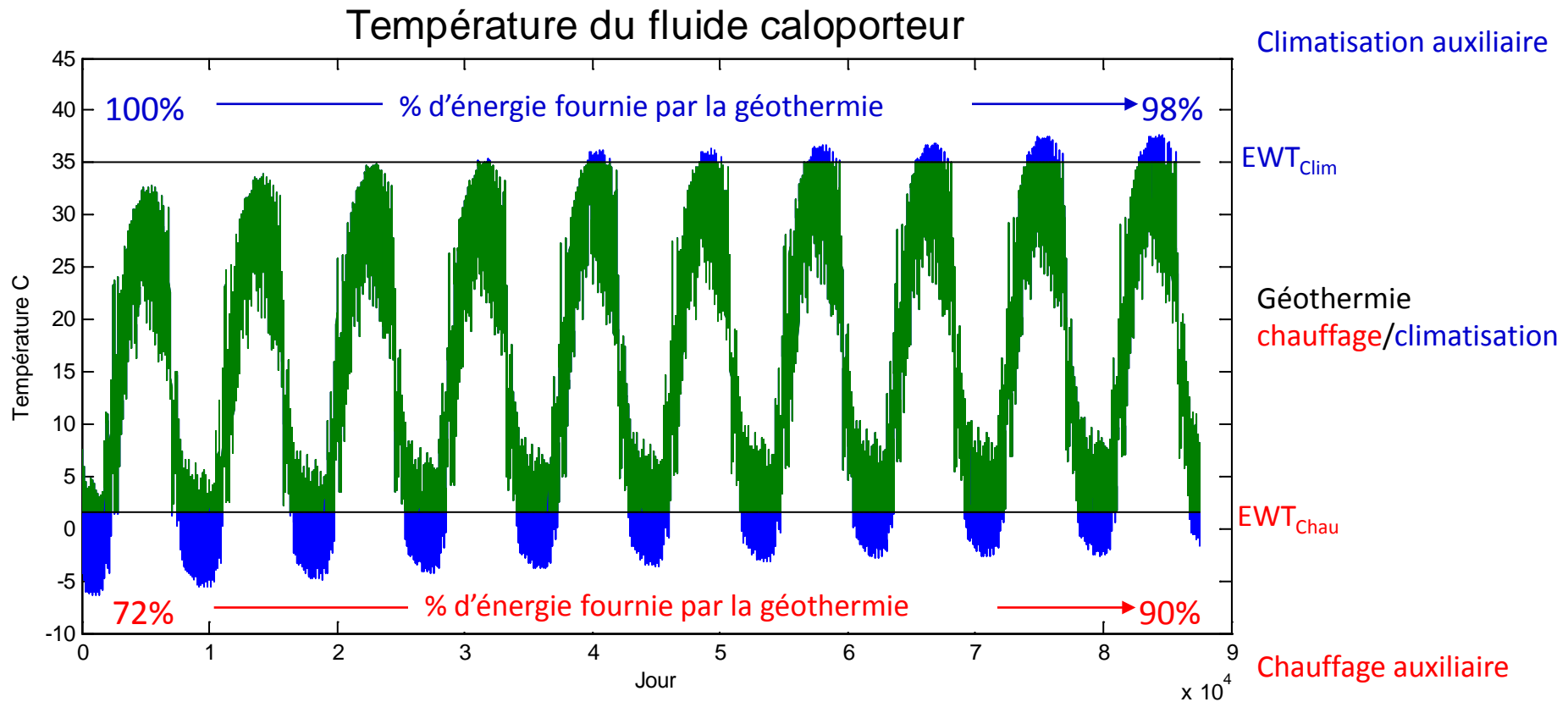
$$\bar{T}_f(t) = \bar{T}_g + q(t)R_b + \sum_{i=1}^{n_t} \Delta T(r_b, q_i - q_{i-1}, t - t_{i-1}) + \frac{1}{n_w} \sum_{i=1}^{n_t} \sum_{j=1, j \neq p}^{n_w} \Delta T(r_{j \rightarrow p}, q_i - q_{i-1}, t - t_{i-1})$$



Le champ de forages sera dimensionné de façon à ce que la EWT du fluide soit toujours à l'intérieur des limites d'opération de la PAC

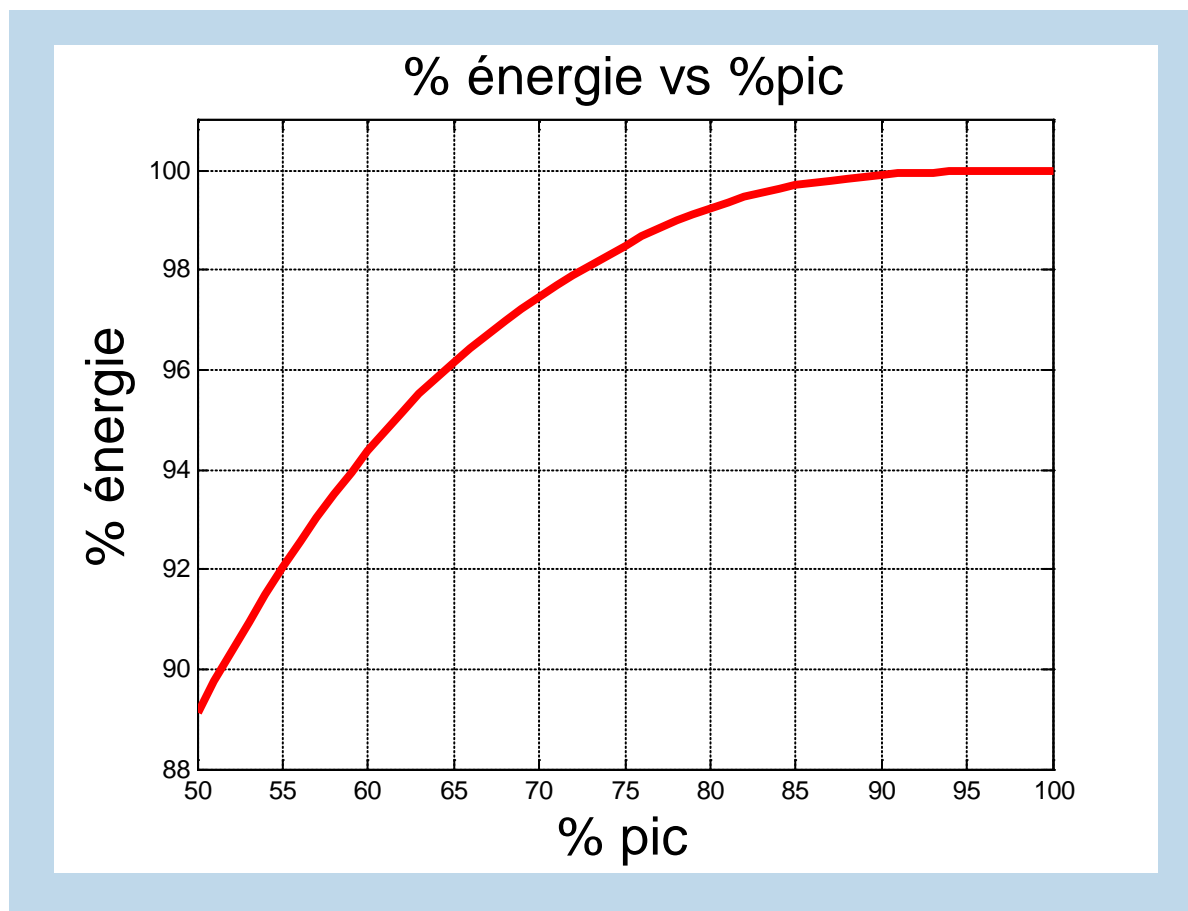
Simulation de systèmes hybrides

La simulation de systèmes hybrides permet d'évaluer le % d'énergie provenant de la géothermie et des systèmes auxiliaires et ainsi de mieux évaluer les économies financières générées par le système géothermique.



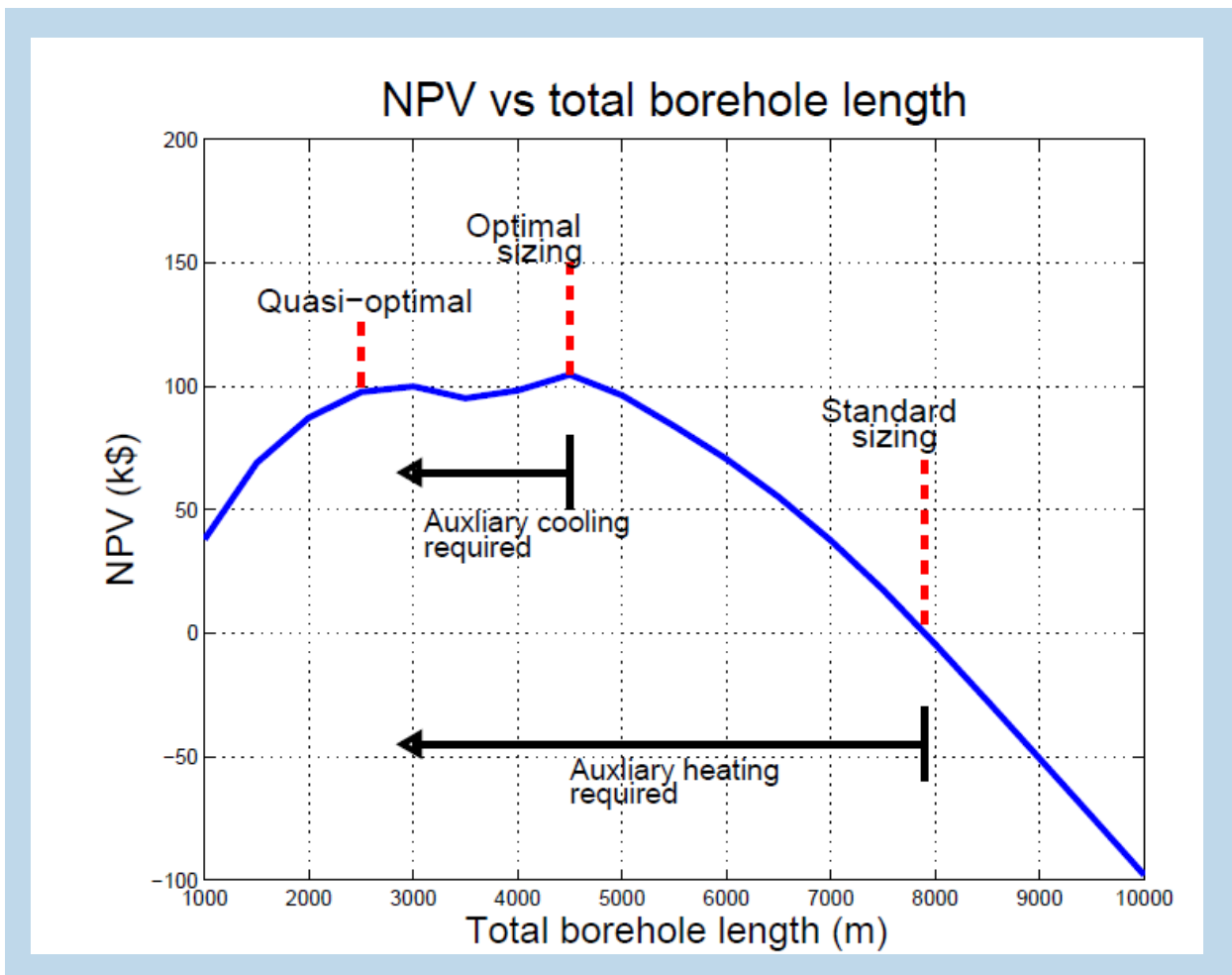
Avantages des systèmes hybrides

L'utilisation d'un système hybride permet de réduire la puissance fournie par les puits (et les coûts de construction) tout en permettant des économies d'énergie significatives.



Simulation de systèmes hybrides

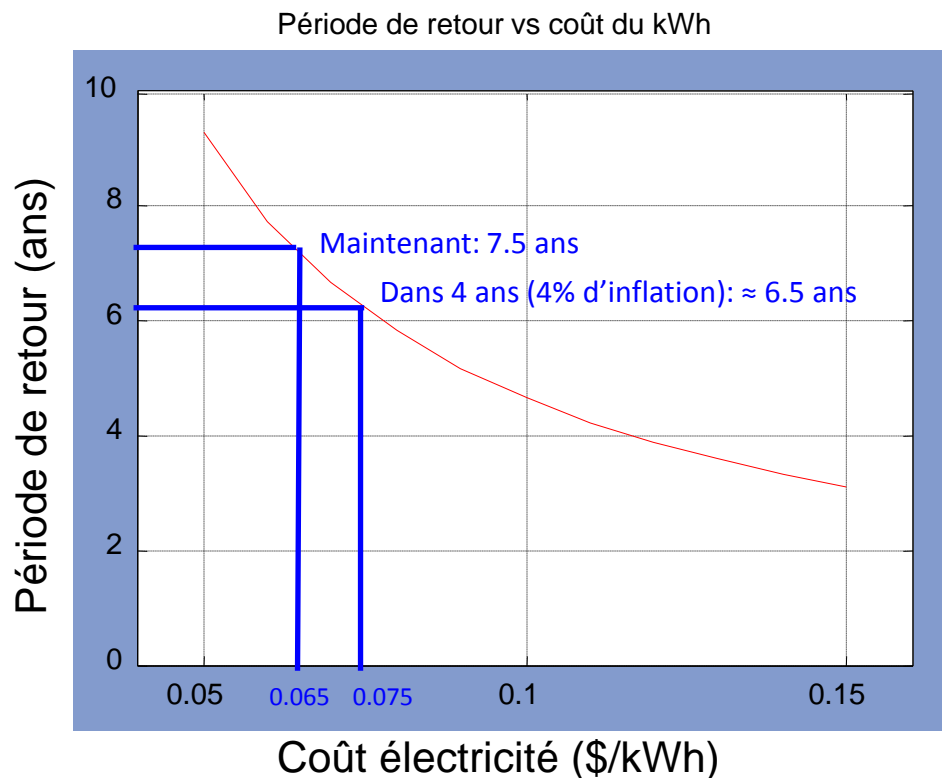
La simulation d'un système hybride permet d'optimiser la valeur actuelle nette (VAN/NPV) d'un projet de géothermie, un indicateur financier.



Source: Marcotte et Pasquier, 2008, Efficient Fluid Temperature Computation

Facteurs favorables à la géothermie

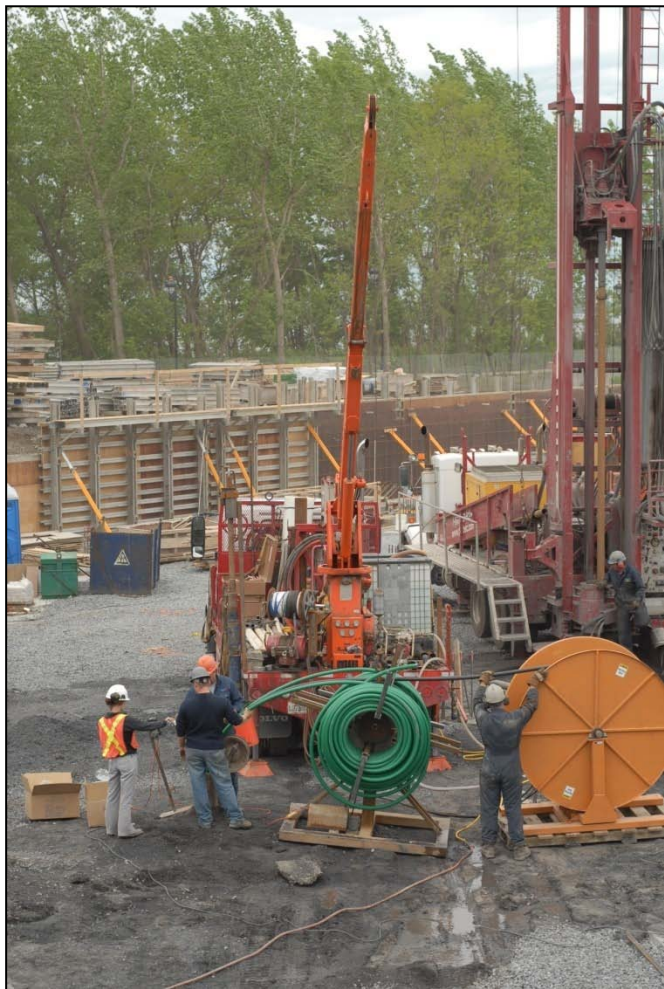
- Acceptabilité sociale
- Concertation et jumelage des besoins
- Hausse des tarifs de l'électricité et autres énergies





Source de l'image: P.Pasquier, 2010, Les aspects souterrains de la géothermie, Congrès de l'APPQ, Boucherville, Québec.

Plan de la conférence



- Généralités
- Géothermie de basse température
 - Boucle ouverte
 - Puits à colonne
 - Boucle fermée
- De l'exploration à la construction
 - Forage exploratoire
 - Essai de réponse thermique
 - Dimensionnement
 - Construction
- **Conclusion et questions**

Questions ?

