

Géothermie assistée à l'énergie solaire : Principe de base et applications

par

Michel Bernier, ing., Ph.D.

Professeur – École Polytechnique de Montréal



SOLAR BUILDINGS
RESEARCH NETWORK

RÉSEAU DE RECHERCHE SUR
LES BÂTIMENTS SOLAIRES



Mini Colloque sur les Électro technologies - 2011

Québec, le 20 avril 2011

Montréal, le 21 avril 2011

1

PLAN

■ Solaire

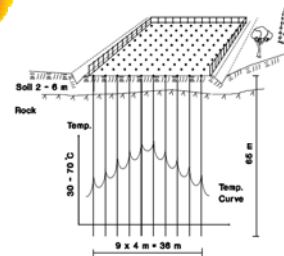
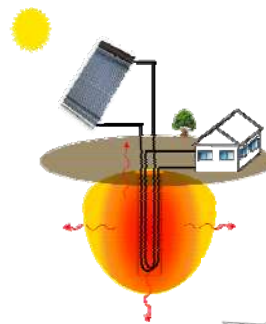
- Rayonnement
- Capteurs

■ Géothermie

- Puits/champs
- Pompes à chaleur

■ Géothermie/solaire

- Un seul puits
- Multi-puits
 - Stockage solaire (Drake Landing)
 - Recharge solaire (autres exemples)



2

Rayonnement solaire incident



Journée
ensoleillée :

1000 W/m²

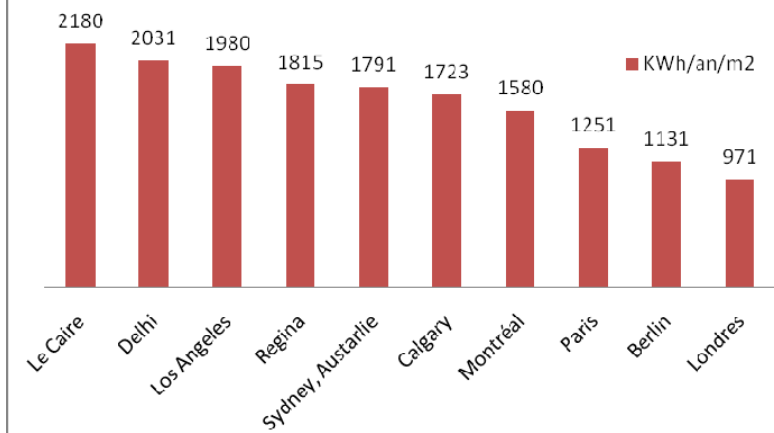


3

Rayonnement solaire incident

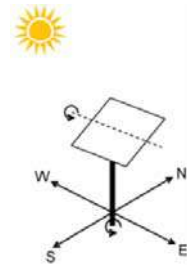
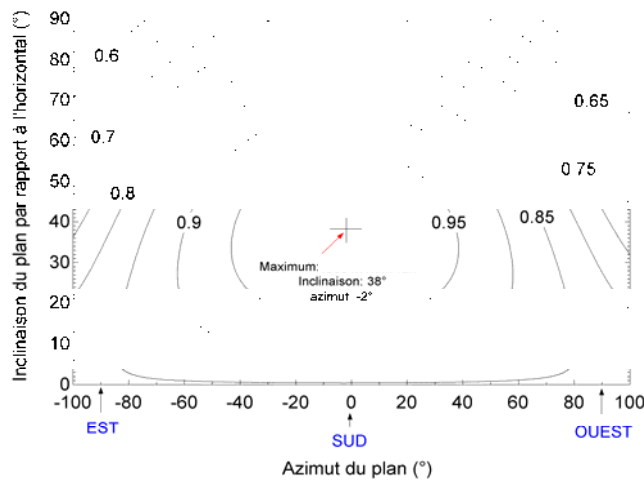
Rayonnement solaire incident

(Sud, inclinaison = Latitude)



4

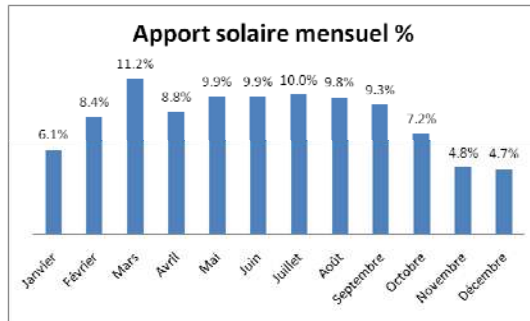
Influence de l'azimut et inclinaison



Pour Montréal

5

Répartition mensuelle



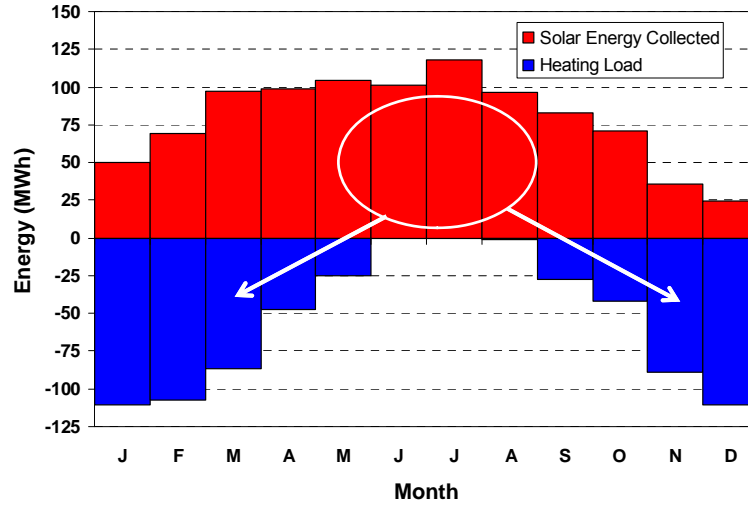
Lieu : Montréal
Etude pour 1m² de capteurs solaires
Orientation sud
Inclinaison 45°

Saison hivernale : mi novembre à mi mars (4 mois)

Saison estivale : mi mai à mi octobre (5mois)

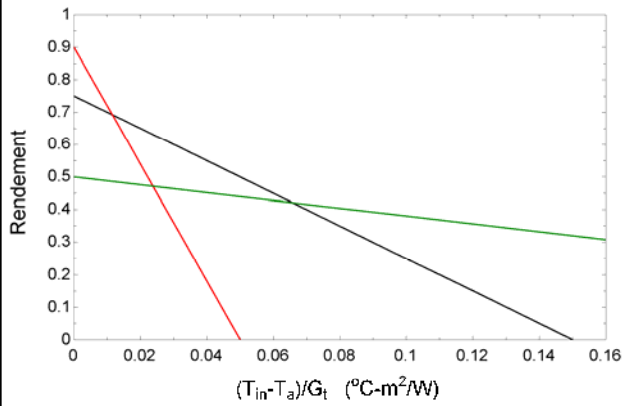
6

Répartition mensuelle



7

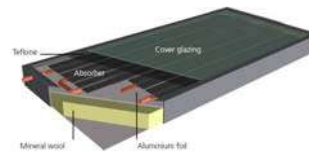
Capteurs solaires/rendement



Tubes évacués



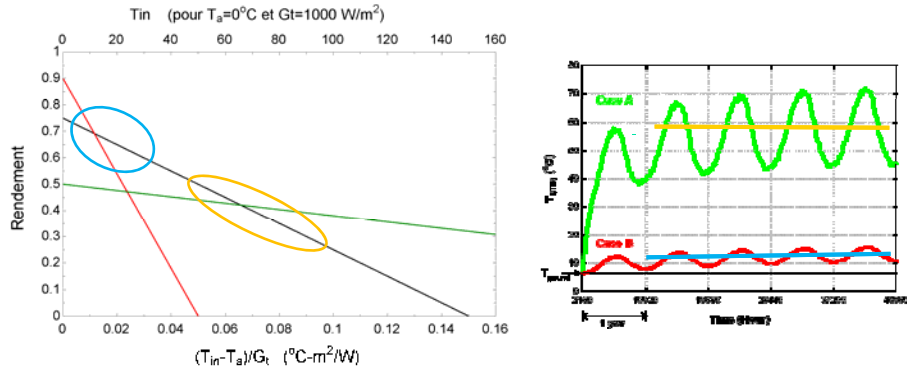
Capteur sans vitrage



Capteur plan

8

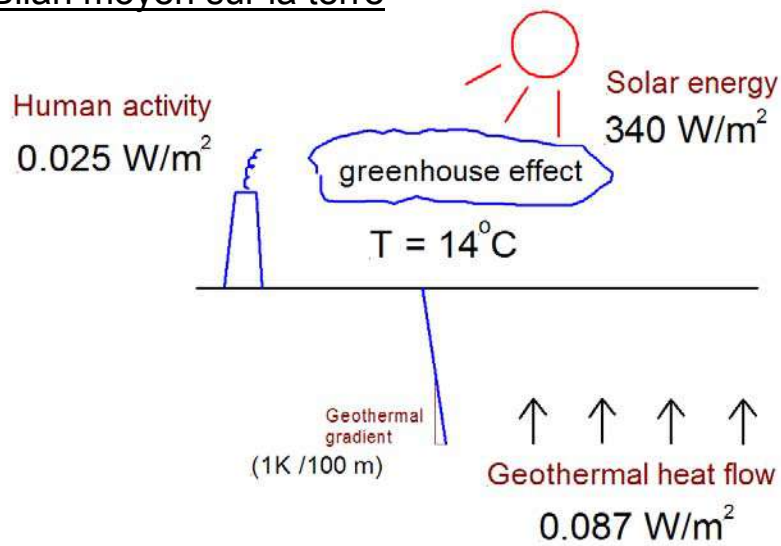
Capteurs solaires/rendement



9

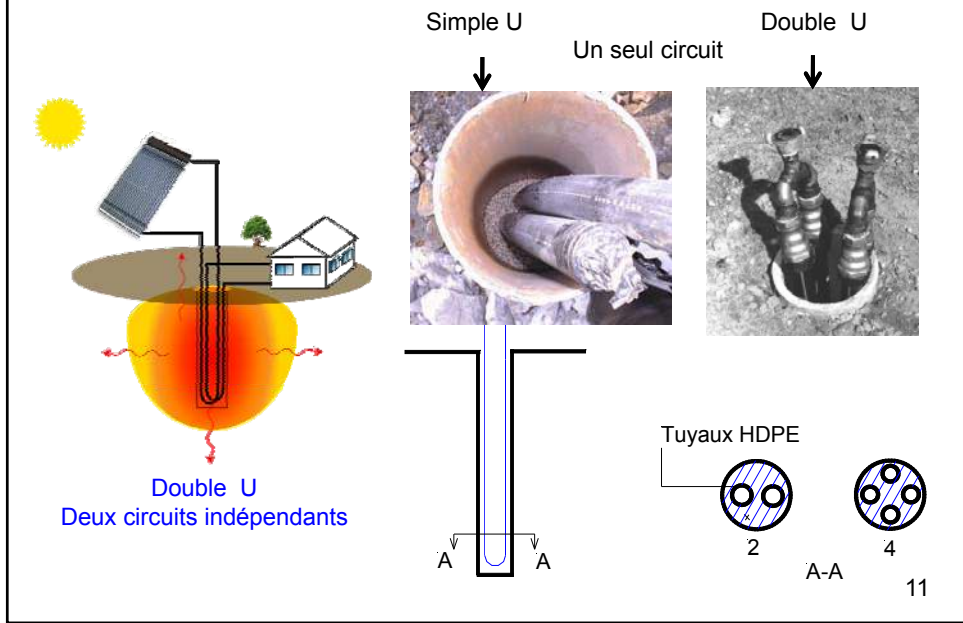
Géothermie

Bilan moyen sur la terre

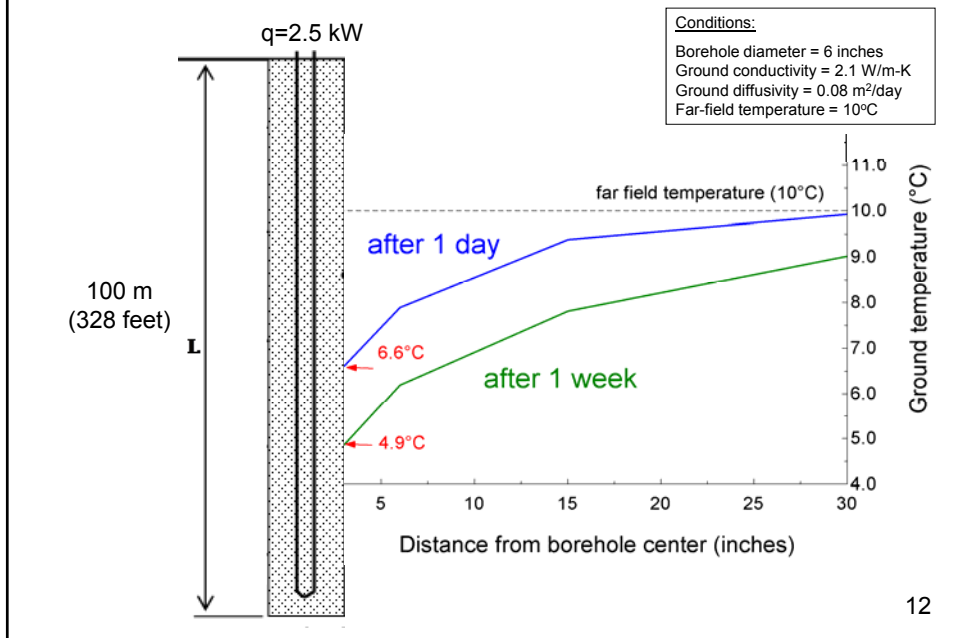


10

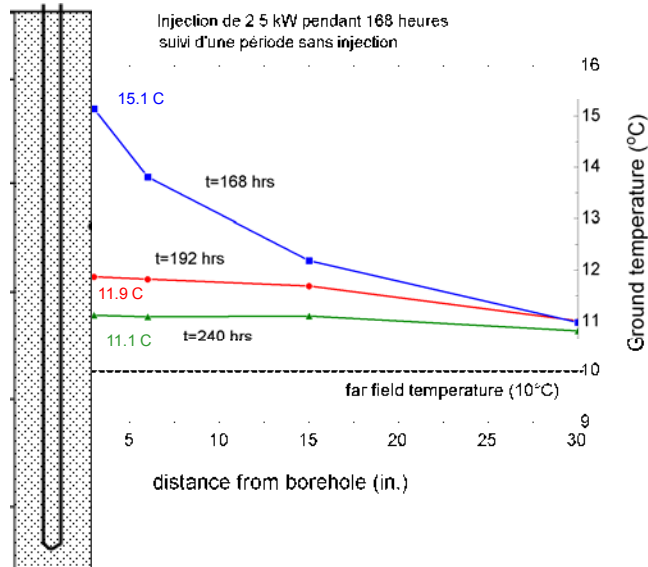
Géothermie



Diffusion de la chaleur dans le sol



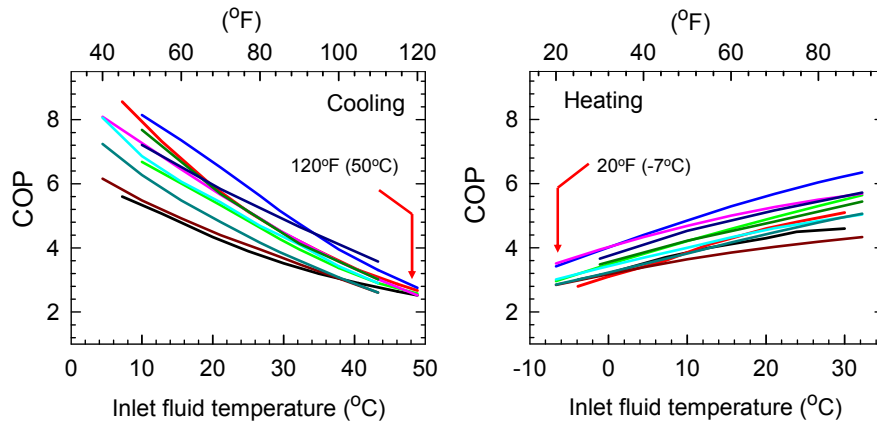
Diffusion de la chaleur dans le sol



13

Pompes à chaleur

Le COP varie d'un manufacturier à l'autre



COP de 10 pompes à chaleur géothermiques de 3 tonnes.

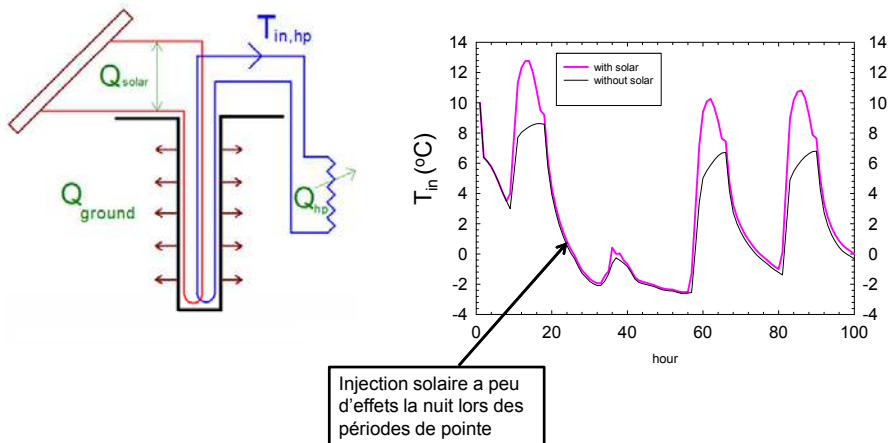
14

Détermination de la longueur

$$\text{Longueur} = \frac{\text{charge de pointe au sol} \times \text{Résistance thermique du sol}}{(T_{\text{sol}} - T_{\text{fluide}})}$$

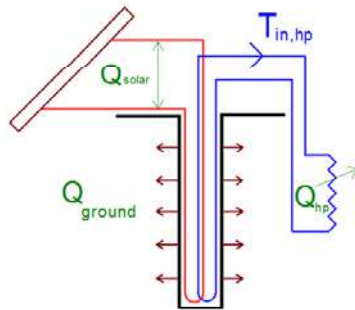
* Pour plus de détails voir article de M. Bernier dans le ASHRAE Journal, septembre 2006. 15

Injection solaire dans un puits unique



16

Injection solaire dans un puits unique

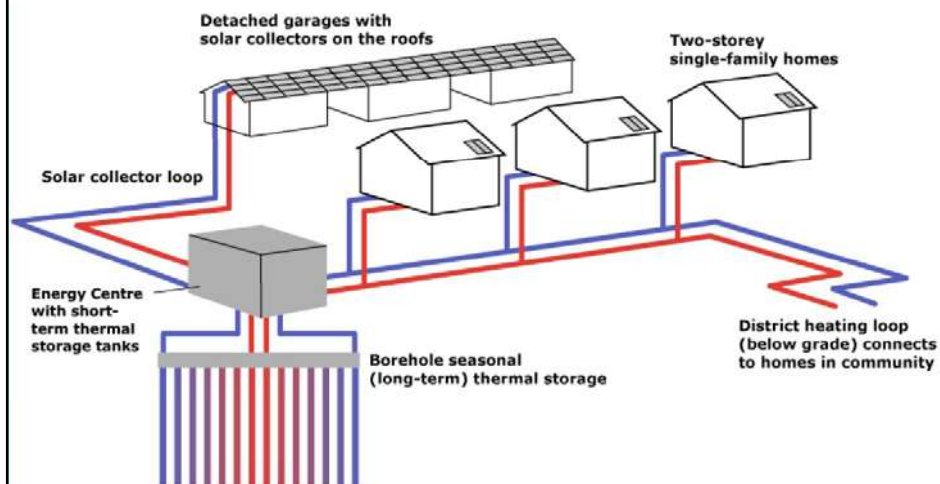


-Réduction de L ($<10\%$)

-Réduction de la consommation d'énergie de la PàC ($<10\%$)

17

Drake Landing Solar Community



Objectif:

>90% de fraction solaire (chauffage des espaces) après 5 ans

18

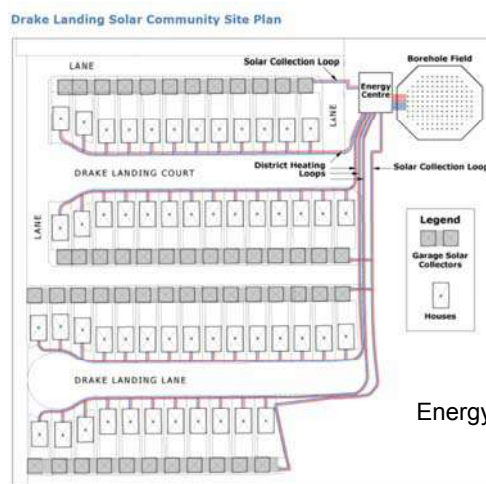
Drake Landing Solar Community



- 800 (2300 m²) capteurs solaires (toit des garages)
- 1.5 MW de production thermique en pointe
- Capteur plan même si des températures de 80 °C
- Rendement annuel moyen : 29%

19

Réseau de chauffage urbain



Energy meter

Entrée/sortie dans chaque maison

20

Stockage saisonnier à haute température

BTES

- 144 puits (35 m de profondeur)
- Tuyaux PEX – Simple U
- 24 branches de 6 puits en série
- Stratification thermique radiale

21

Conditions au 17 avril 2011

Current Conditions April 17, 2011 15:00

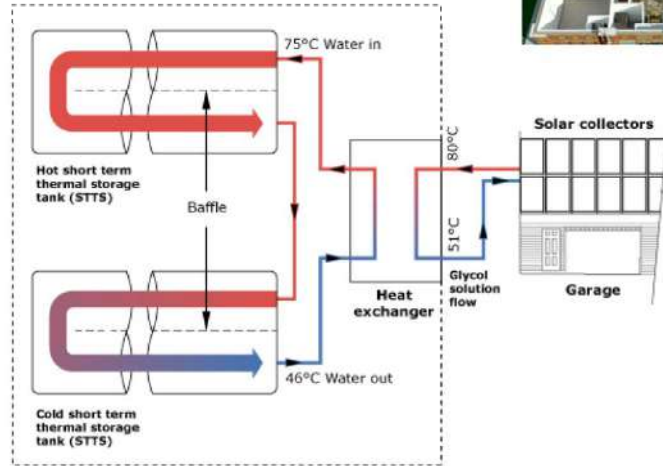
Solar Fraction		
Today	This month	This year
100%	100%	85%
Since midnight	Since April 1st	Since July 1st

Outdoor Temperature 3°C	Incident Solar 983 W/m ²	Solar Energy Collected 1240 kW x 298	Solar Fraction 100%	Space Heating Load 41 kW x 5.2
----------------------------	--	--	------------------------	--------------------------------------

22

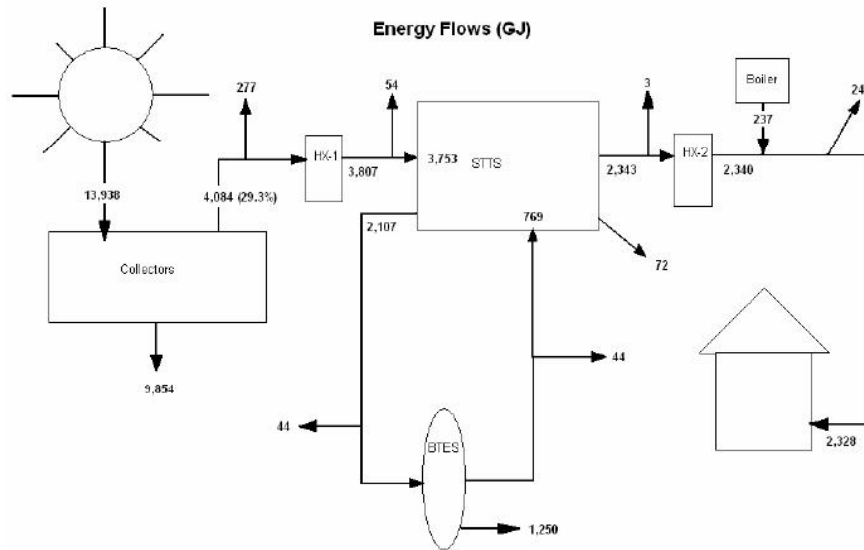
Stockage Journalier

2 réservoirs de 120 m³



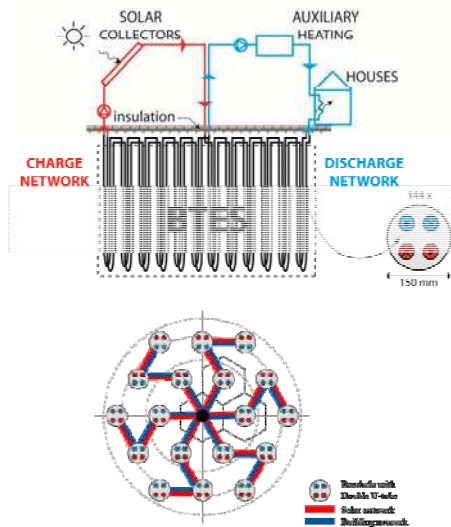
23

Bilan énergétique annuel



24

Variante au concept de DLSC



Remplacer le puits simple-U par un puits double-U avec deux circuits indépendants

Advantages:

- 1) Plus besoin de renverser le sens de l'écoulement
- 2) Charge/décharge simultanée
- 3) Stockage journalier non-requis

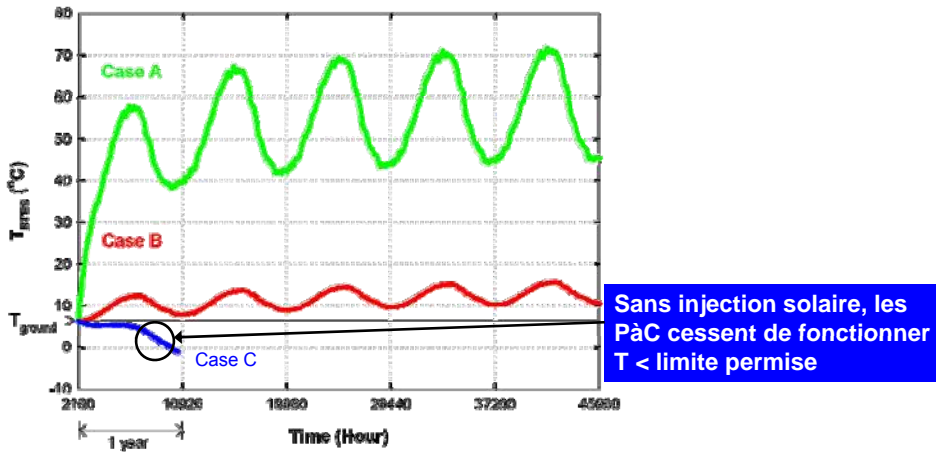
25

Variantes au concept de DLSC

	A	B	C
Capteurs solaires (plan avec vitrage)	2 293 m ²	2 293/5 m ²	0 m ²
Champs géothermique			
nombre de puits	24×6	24×6	24×6
profondeur	35 m	35 m	35 m
espacement	2.25 m	4.5 m	4.5 m
volume	22 100 m ³	88 000 m ³	88 000 m ³
Chauffage auxiliaire	Chaudière	P à C	P à C

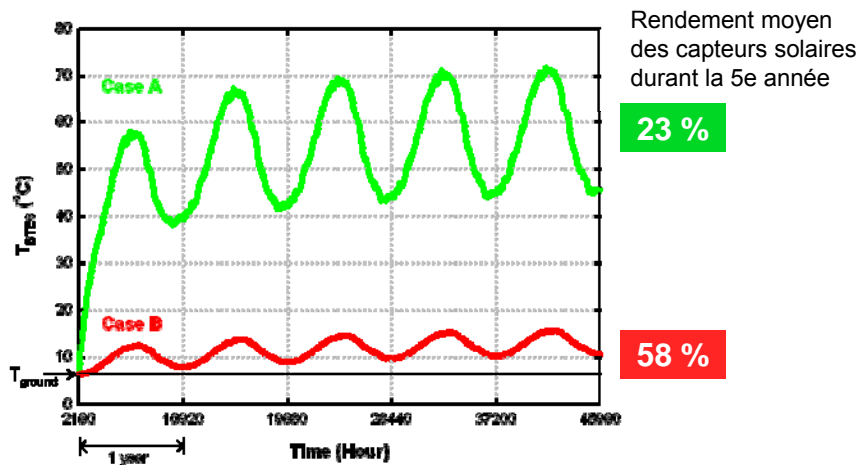
26

Simulations



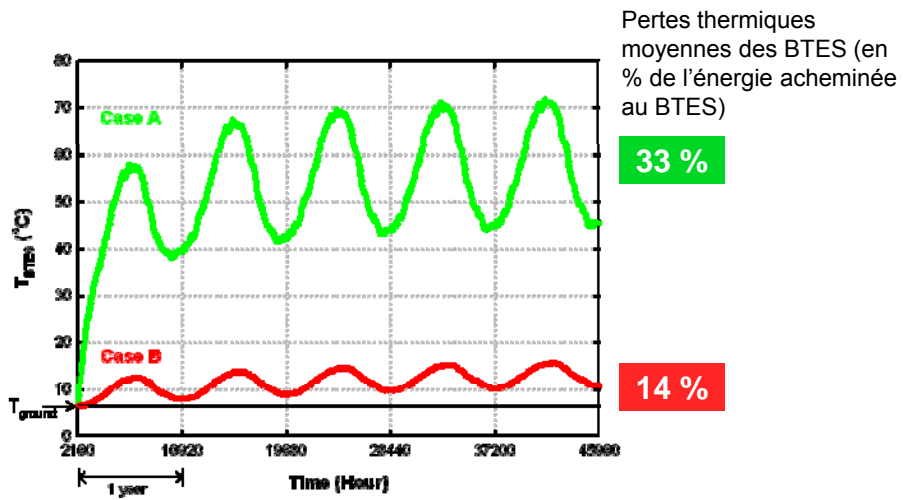
27

Rendement moyen des capteurs



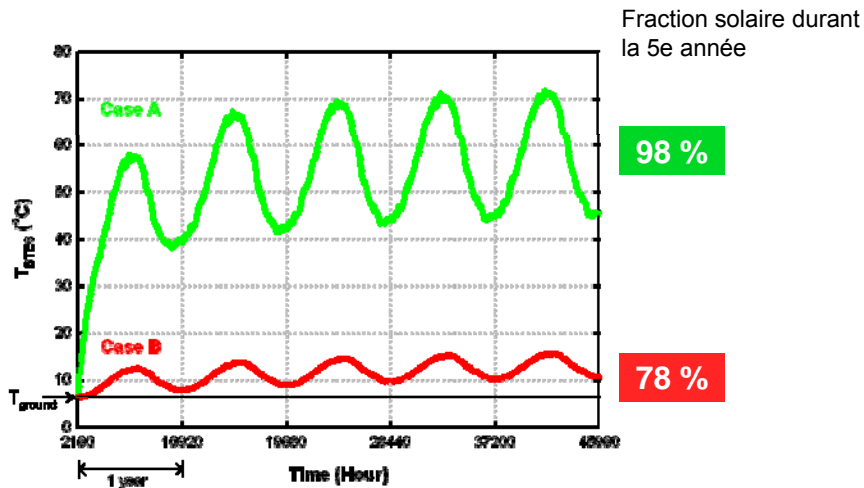
28

Pertes thermiques du BTES



29

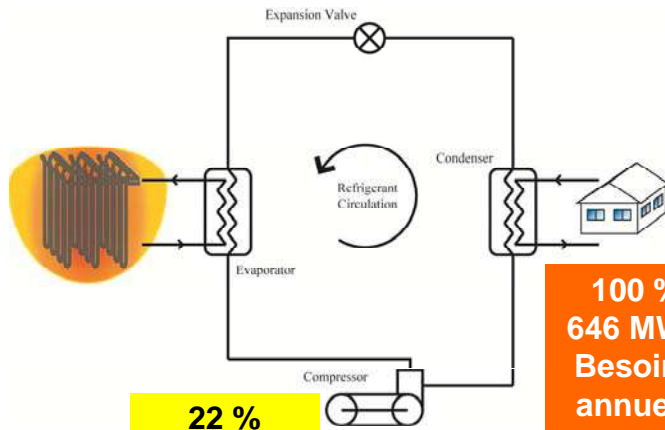
Fraction solaire



30

Stockage thermique géothermique Bilan global

**78 %
504 MWh
Provenant
du BTES-
avec
recharge
solaire**



**22 %
142 MWh
Electricité**

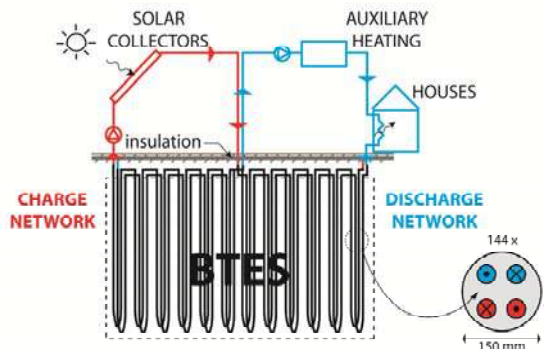
**100 %
646 MWh
Besoins
annuels
en
chauffage**

Autre projet de recharge solaire

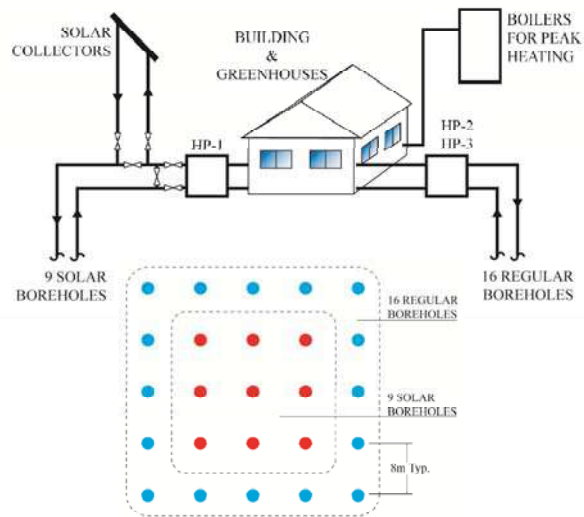


Déséquilibre thermique annuel dans le sol:

≈ 25 kW



Autre projet de recharge solaire

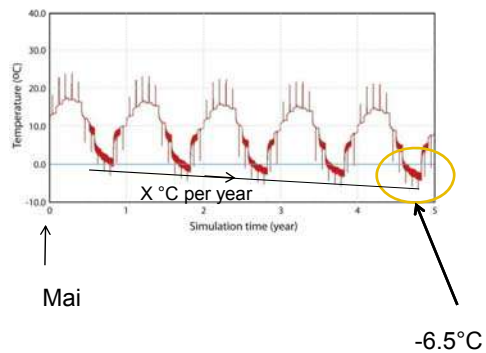


Défi:
Recharger le sol tout en évitant la surchauffe en périphérie

33

Sans recharge solaire

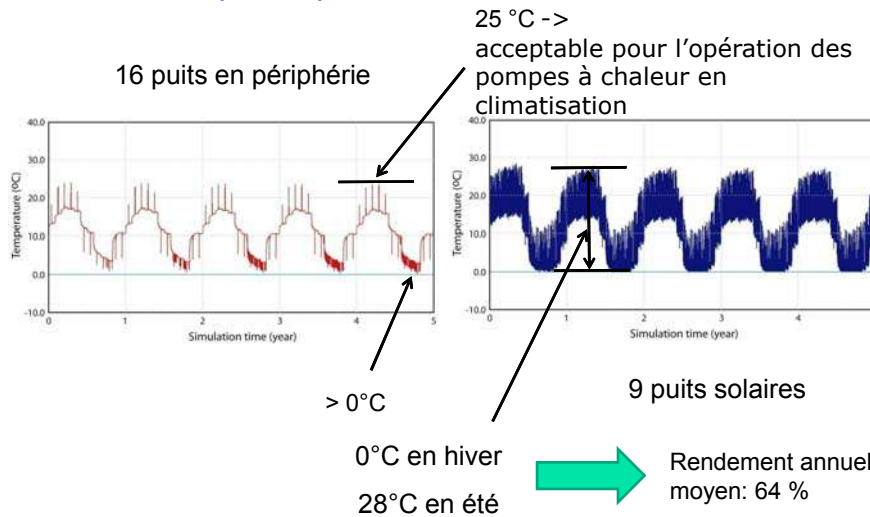
16 puits en périphérie



34

Avec recharge solaire

250 m² de capteurs plan



35

Conclusions

- Rayonnement solaire relativement abondant au Québec ($\approx 50\%$ en été)
- Capteur plan sont bons même pour des températures relativement élevées
- La recharge solaire d'un puits unique a peu d'impact
- Stockage solaire saisonnier dans un champs géothermique à haute température fonctionne bien à DLSC ($f > 90\%$)
- Géométrie double U avec deux circuits indépendants permet la charge/décharge simultanée.

36