

## 13. Énergie géothermique

### *13.1 – Introduction à la géothermie*

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

*Département de génie mécanique*

Patrick Belzile, ing., M.ing., Ph.D.

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
- Géothermie
- Niveaux d'énergie et de température
- Conclusion

# Plan de la présentation

- ***Introduction et objectifs de la capsule***
- Géothermie
- Niveaux d'énergie et de température
- Conclusion

# Introduction et objectifs

- Introduction

- La géothermie peut prendre différentes formes

- En surface on réalise des **échanges** pour chauffer et/ou climatiser des bâtiments, on parle de **basse** énergie (certains parlent de **très basse** énergie);
    - Plus profondément, mais aussi en surface, on puise dans des aquifères très chauds pour des applications de chauffages urbains ou industriels, on parle de **moyenne** énergie (certains parlent de basse énergie);
    - Très profondément, à des hautes températures ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ ), on puise de l'énergie pour produire de l'électricité, mais aussi de la chaleur, on parle de **haute** énergie.

# Introduction et objectifs

- Objectifs
  - Faire un survol des types de géothermie basse, moyenne et haute énergie;
  - Comprendre les différences et les applications;
  - Pouvoir aussi qualifier la géothermie en termes de basse ou haute température.

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- ***Géothermie***
- Niveaux d'énergie et de température
- Conclusion

# Géothermie

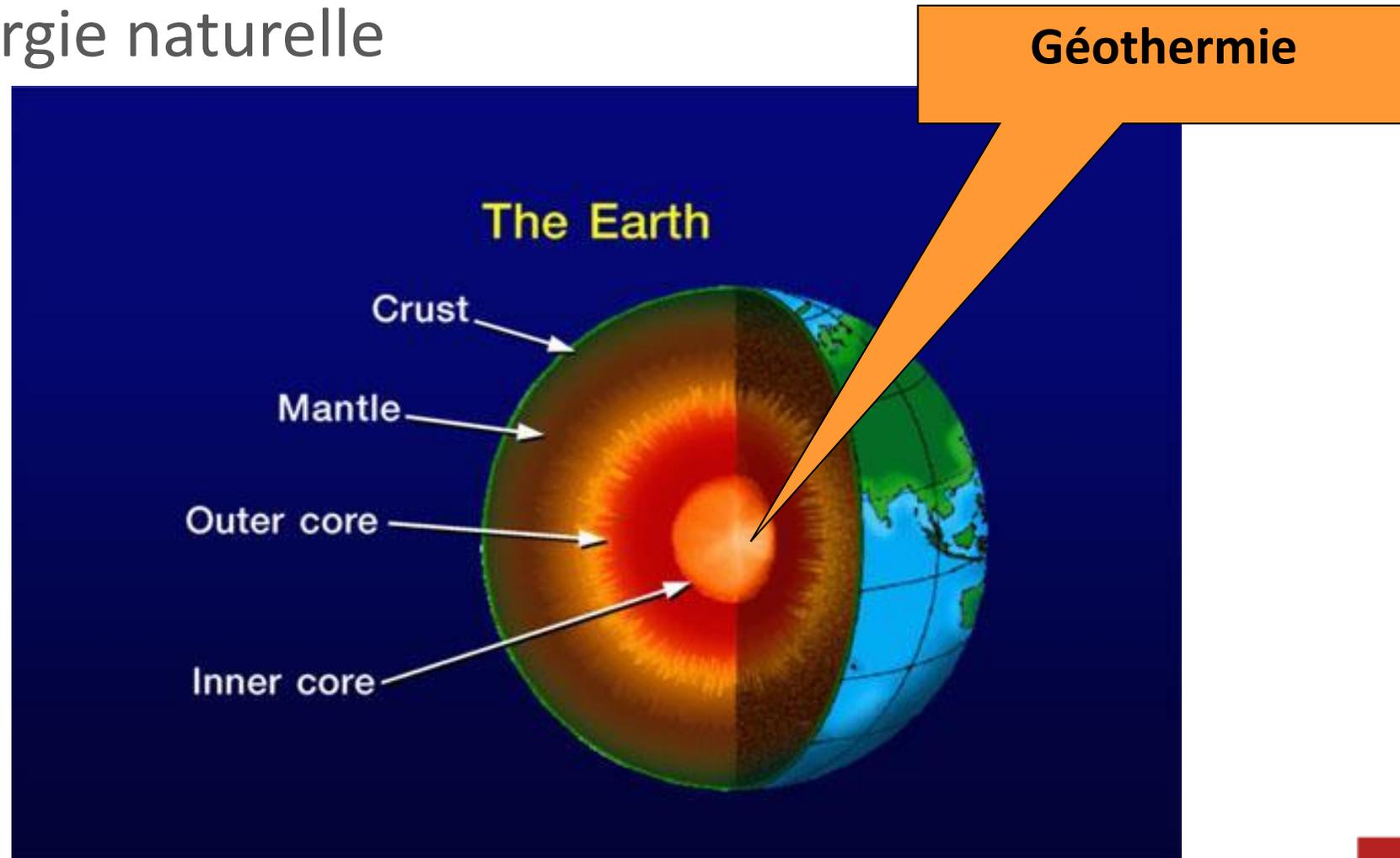
- Références

- Cours

- ENR 845 - Technologies des systèmes géothermiques - Louis Lamarche
    - Programme de Formation de la Coalition Canadienne de l'énergie géo.
      - [https://www.geo-exchange.ca/fr/cgc\\_geoexchange\\_training\\_program\\_geothermal\\_trc42.php](https://www.geo-exchange.ca/fr/cgc_geoexchange_training_program_geothermal_trc42.php)
    - Geothermal Training Courses
      - <https://www.hrai.ca/geothermal-training-courses>

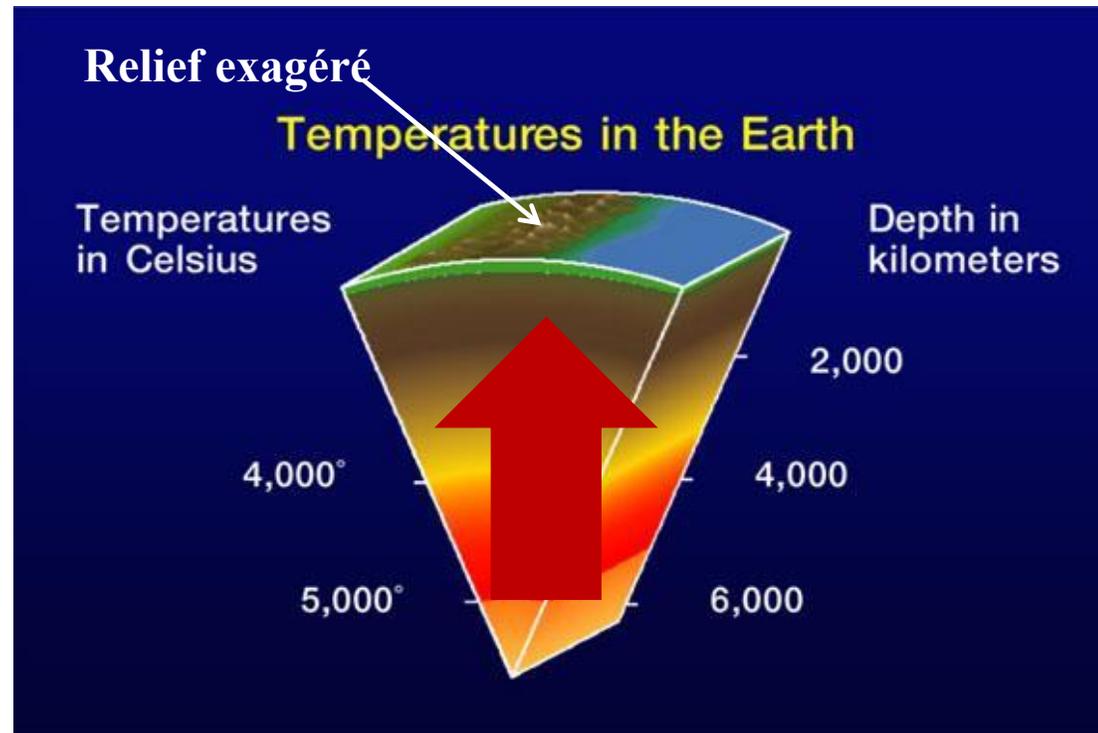
# Géothermie

- Une énergie naturelle



# Géothermie

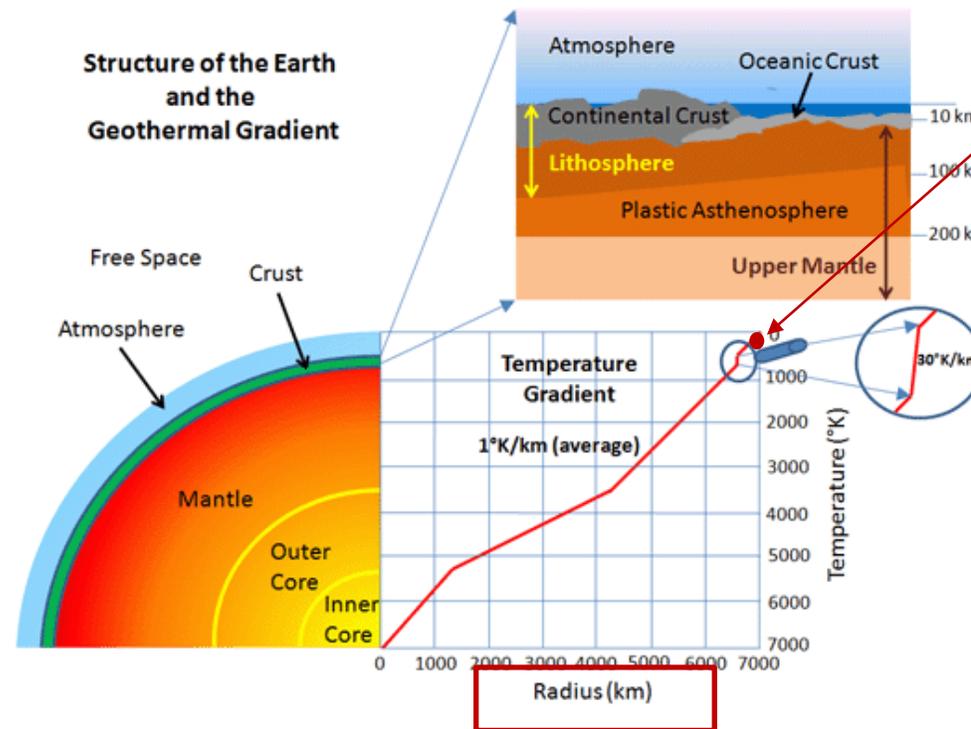
- Une énergie naturelle
  - Source 1 : 99% du globe est à + de 1 000°C.



$$q'' \approx 0,059 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

# Géothermie

- Une énergie naturelle
  - Source 1 : 99% du globe est à + de 1 000°C.

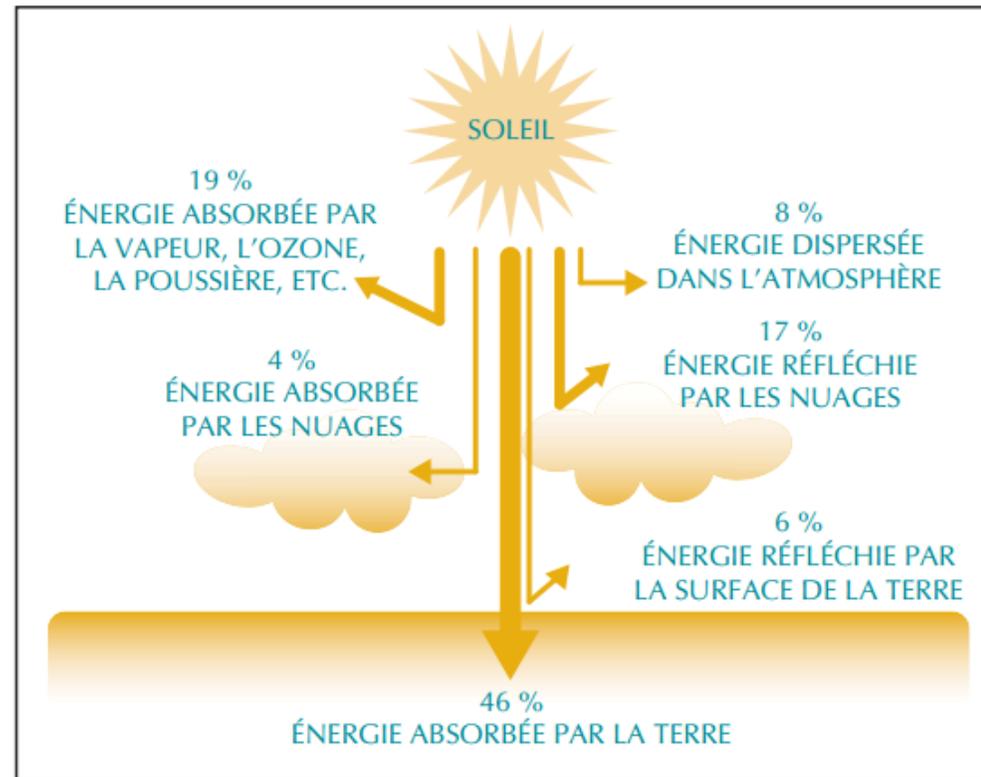


**Activité  
géothermique  
humaine**

**Jusqu'à quelle profondeur creuse-t-on aujourd'hui?**

# Géothermie

- Une énergie naturelle
  - Source 2 : **46%** du rayonnement est absorbé par la terre.

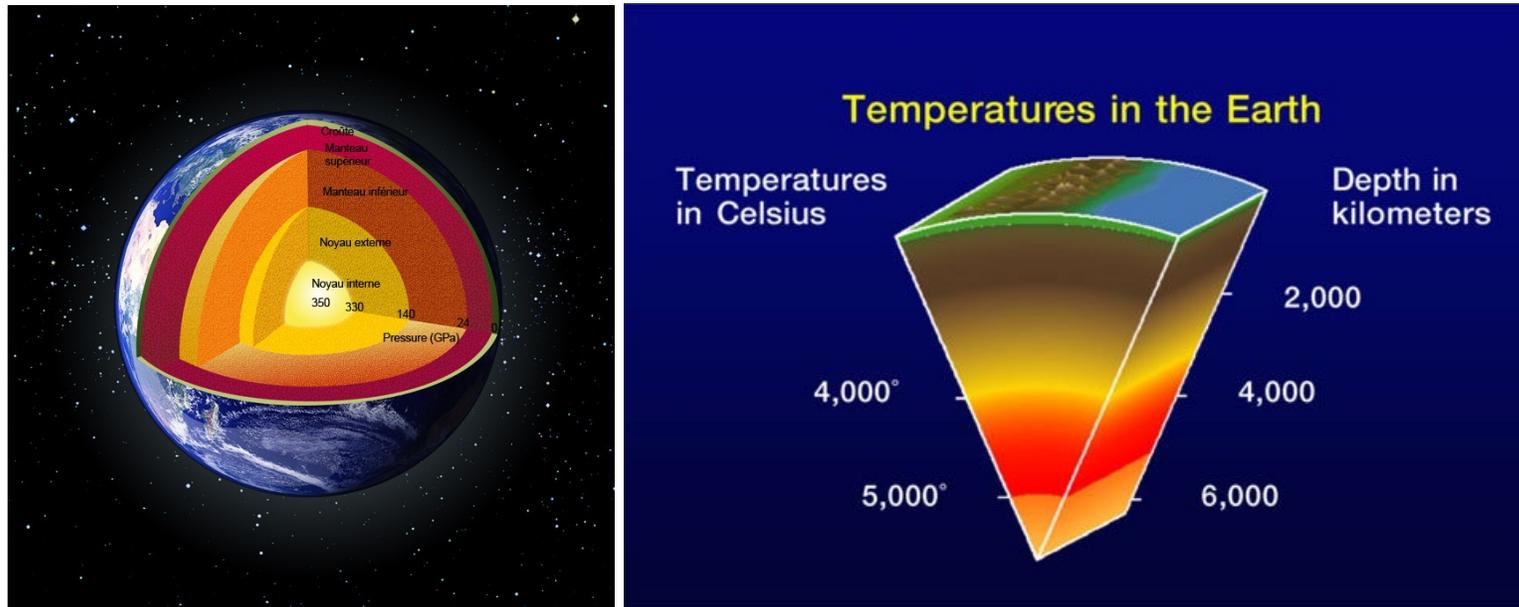


**Figure 1 :**

*Ventilation de l'énergie solaire.*

# Géothermie

- Implications
  - Moyenne et haute énergie
  - Loin de la surface du globe, Profondeur > 500 m



# Introduction

- Vulgarisation
  - La géothermie, en trois profondeurs
    - Dans la vidéo suivante, on emploie très basse énergie, en surface, et de moins de 100m (ce qui est considéré faux ici, peut-être de 200 m et on considère dans ce cours la **basse** énergie comme celle de surface)
    - Ici on présente la basse énergie, de 30°C à 150°C (inexact si les températures sont correctes, on considère dans ce cours la **moyenne** énergie jusqu'à environ 1 500 m et des températures de 60°C à 90°C.
    - Haute température,  $T > 150^{\circ}\text{C}$  (incomplet, à plus de 150°C, la température est haute mais l'énergie disponible aussi.
    - Quelques inconsistances mais très illustratif.
    - <https://www.youtube.com/watch?v=wbWgp538cjo>

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Géothermie
- ***Niveaux d'énergie et de température***
- Conclusion

# Niveaux d'énergie et de température

- Énergie

- Basse énergie (surface, échange et stockage dans le sol, chauffage et climatisation)
- Moyenne énergie (liquide, chauffage)
- Haute énergie (vapeur, chauffage, surtout électricité)

- Température

- Basse température,  $T < 150^{\circ}\text{C}$
- Haute température,  $T > 150^{\circ}\text{C}$

**On s'accorde sur ce seuil**

# Question

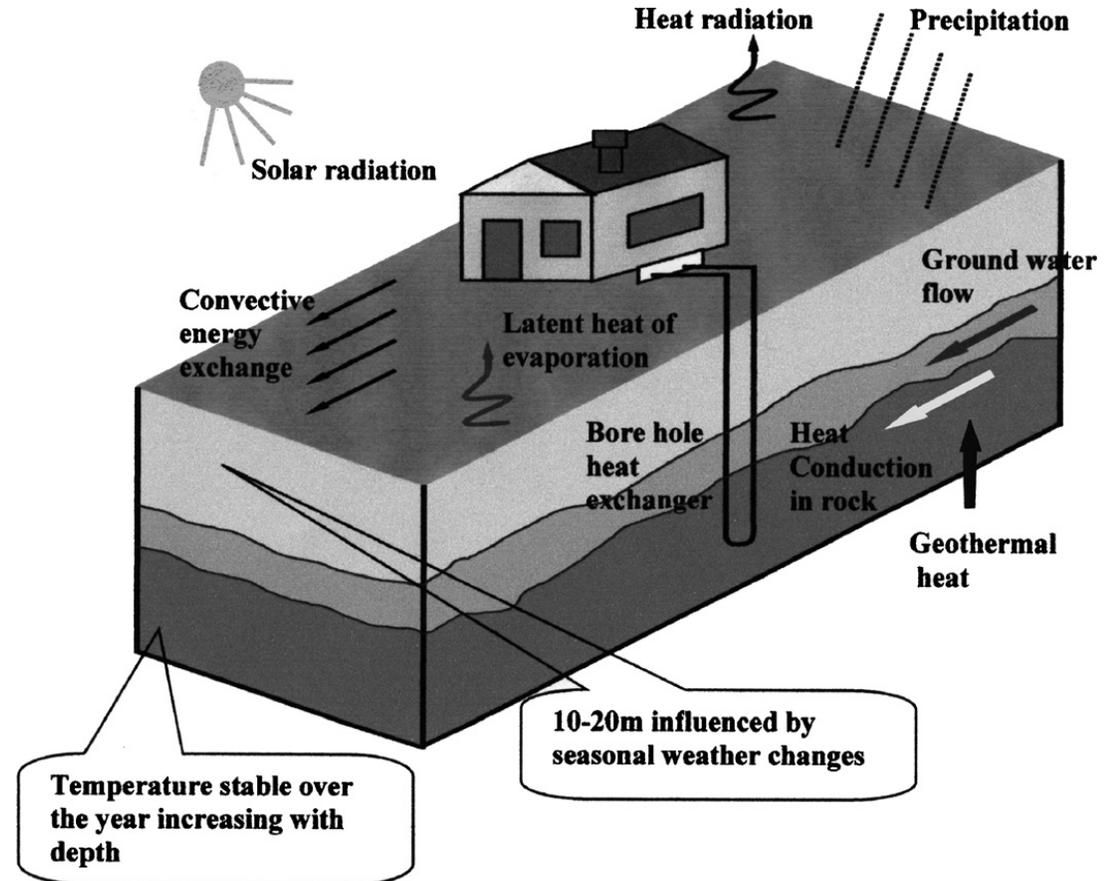


ENR2020

- À 3500 mètres de profondeur au Québec, quelle plage de température trouve-t-on?
  - 25 à 100 °C
  - 110 à 200 °C
  - 210 à 300 °C
  - 310 à 400 °C
  - 410 à 500 °C

# Niveaux d'énergie et de température

- Implications
  - Basse énergie
  - Énergie provenant de la terre (bilan)
  - Énergie de surface
  - Chauffage
  - Climatisation
  - Stockage
  - COP presque constant



Florides et Kalogirou

# Niveaux d'énergie et de température

- Haute température,  $T > 150^{\circ}\text{C}$

- Chauffage
- Production d'électricité
- Cogénération

Haute énergie

- Basse température,  $T < 150^{\circ}\text{C}$

- Chauffage et climatisation
- Stockage thermique
- Chauffage urbain
- Procédés industriels
- Balnéothérapie

Basse énergie

Moyenne énergie



# Niveaux d'énergie et de température

- Basse énergie
  - Variation de la température avec t et D (Profondeur)

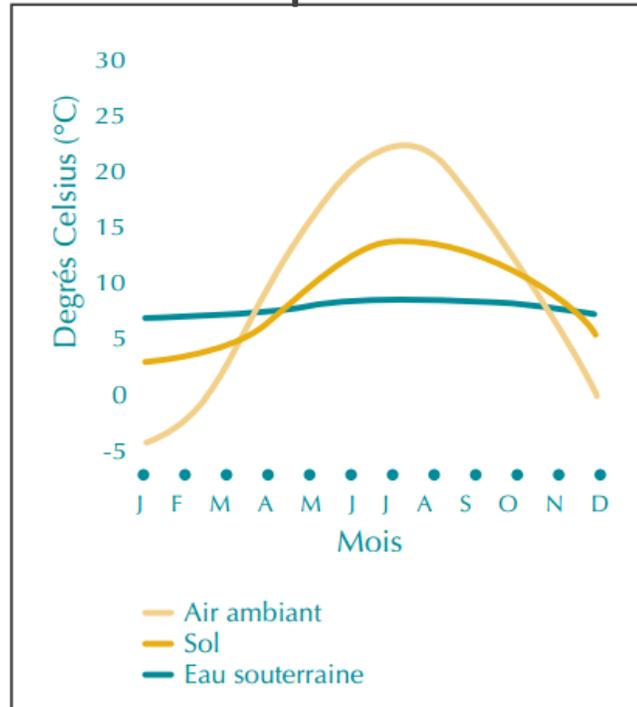


Figure 2 :  
Température moyenne mensuelle au Canada.

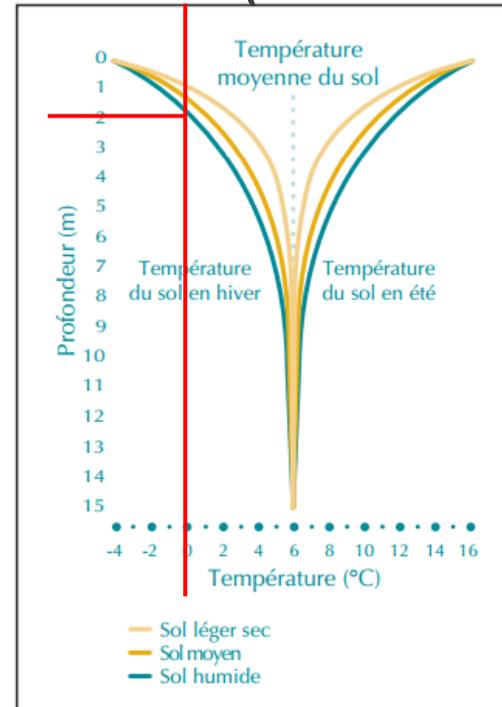
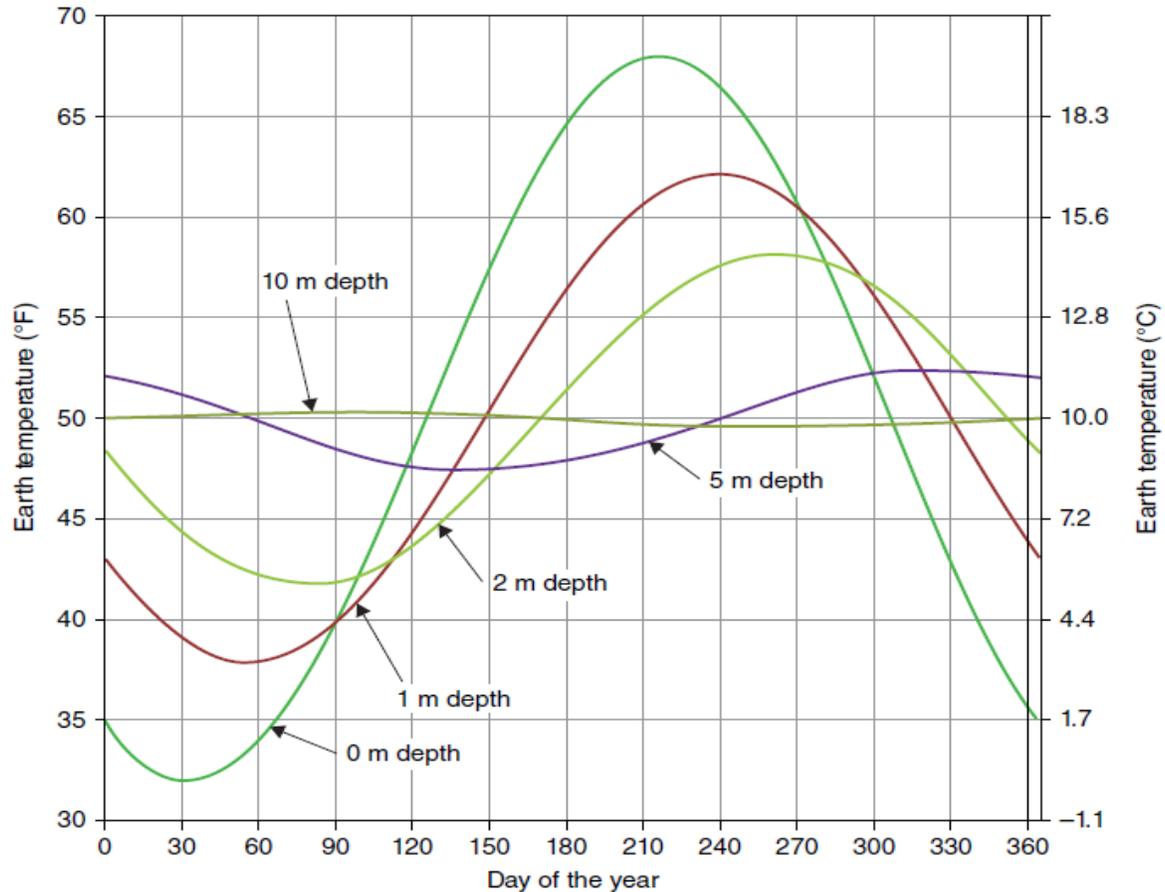


Figure 3 :  
Variation de la température du sol.

Réf.: Canmet Énergie manuel RETScreen 4

# Niveaux d'énergie et de température

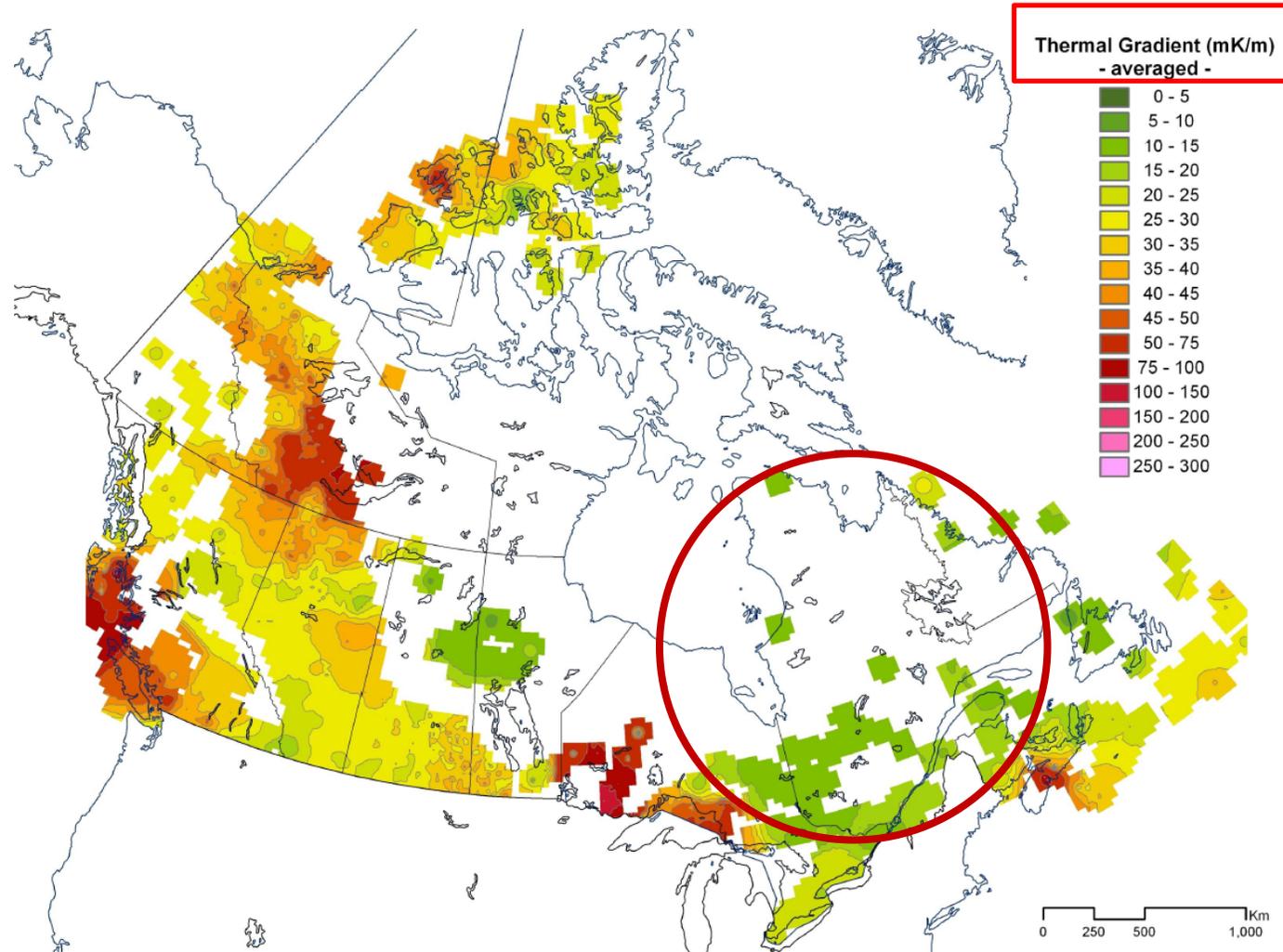
- Basse énergie



$$T(x, t) = T_{\infty} - \Delta T_s e^{-x \sqrt{\frac{\pi}{365 \alpha_g}}} \cos \left[ \frac{2\pi}{365} \left( t - t_0 - \frac{x}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi \alpha_g}} \right) \right]$$

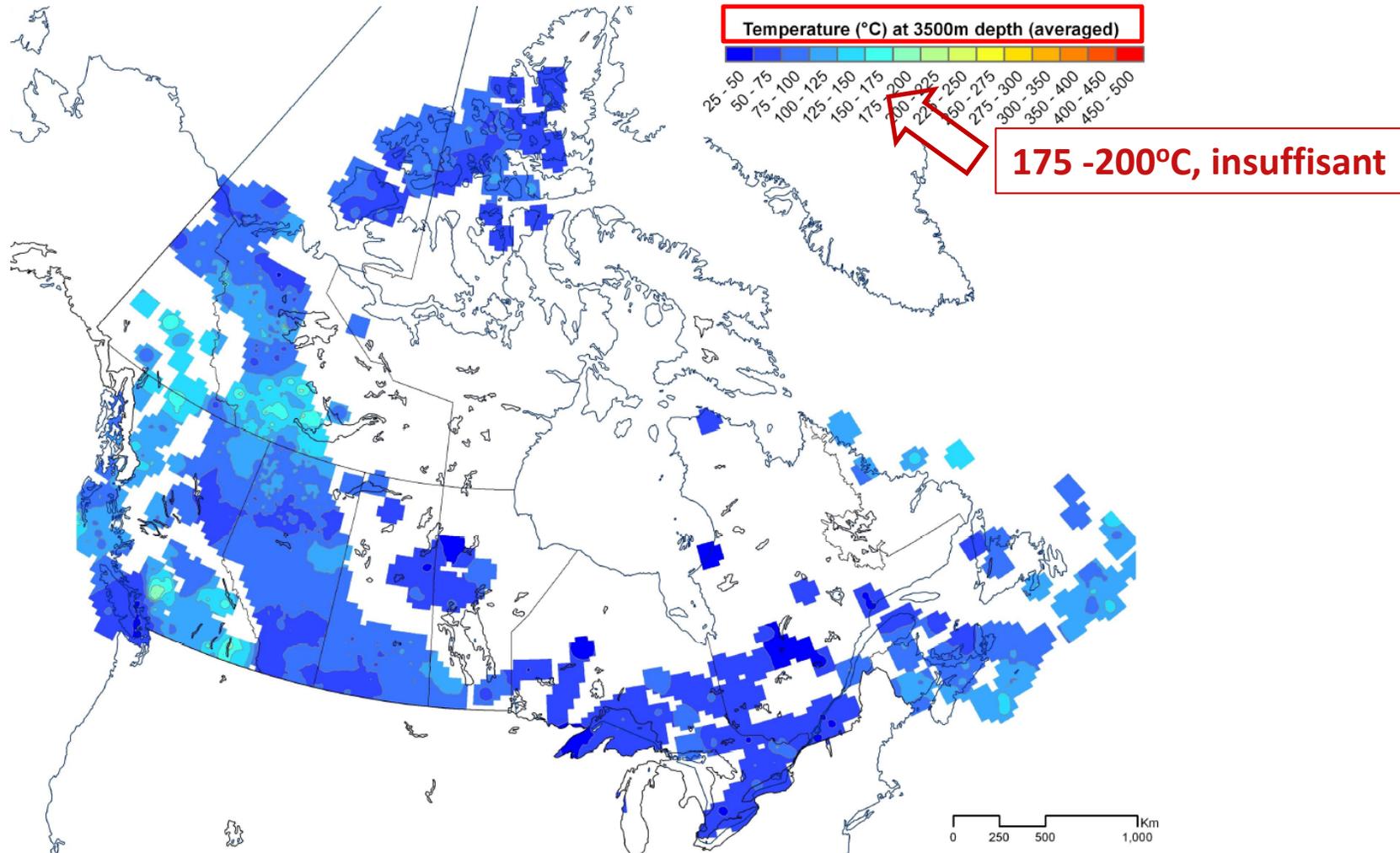
$$\alpha_g = \frac{k_g}{\rho_g c_{p,g}}$$

# Niveaux d'énergie et de température



Réf.: Ressources Naturelles Canada

# Niveaux d'énergie et de température



Réf.: Ressources Naturelles Canada

# Niveaux d'énergie et de température

- Les dernières pages montrent que le potentiel géothermique profond (donc à haute énergie) au Canada n'est pas très élevé.
- La température ne dépasse pas 200°C à 3500m de profondeur.
- Nous ne sommes définitivement pas en Islande....

# Niveaux d'énergie et de température

**Basse température, sous le seuil de 150°C**

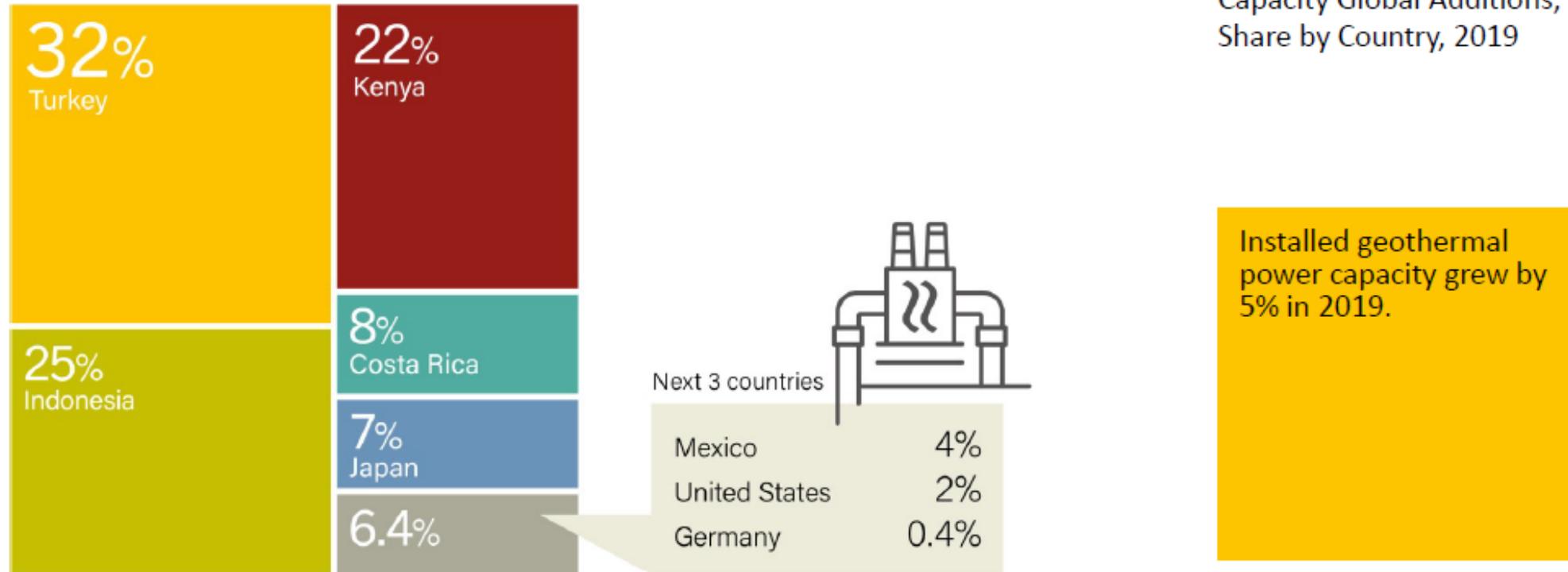
Type de géothermie	Réservoir	Usages
Très basse énergie	$P < 200 \text{ m}; T < 30^\circ\text{C}$	PAC : HVAC + Stockage
Basse et moyenne énergie	$P < 1\ 500 \text{ m};$ $60^\circ\text{C} < T < 90^\circ\text{C}$	Chauffage urbain, industrie, balnéothérapie
Haute énergie*	$P > 2\ 000 \text{ m};$ $150^\circ\text{C} < T < 350^\circ\text{C}$	Production d'électricité et de chaleur

\* Conventionnelle ou non

**Haute température, au-delà de 150°C.**

# Niveaux d'énergie et de température

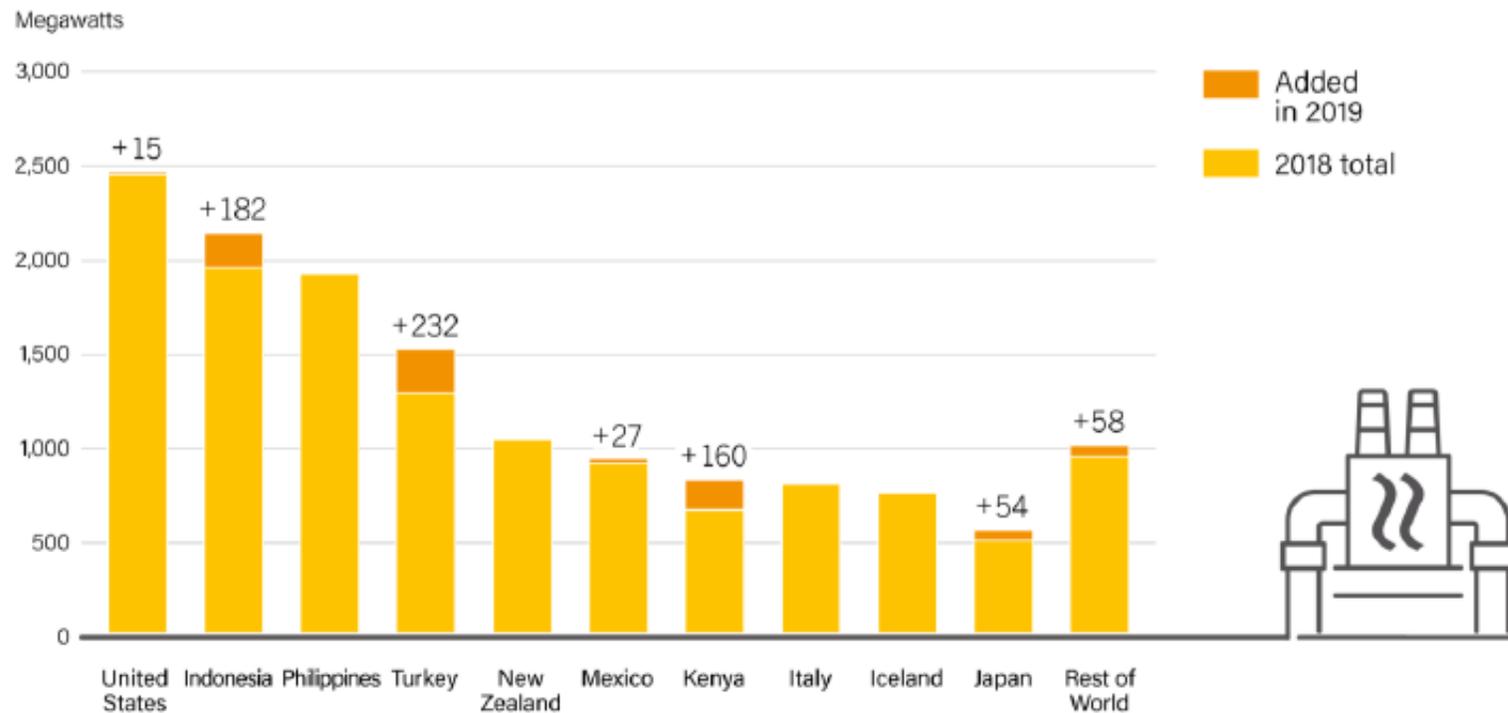
## GEOTHERMAL POWER CAPACITY ADDITIONS MAINLY IN THREE COUNTRIES



REN21, GSR, 2020

# Niveaux d'énergie et de température

## TURKEY AND INDONESIA LED NEW GEOTHERMAL POWER INSTALLATIONS



Geothermal Power Capacity and Additions, Top 10 Countries for Capacity Added and Rest of World, 2019

**Turkey and Indonesia** have been the most active geothermal power markets in recent years.

REN21 RENEWABLES 2020 GLOBAL STATUS REPORT

**REN21, GSR, 2020**

# Plan de la présentation

- Introduction et objectifs de la capsule
- Géothermie
- Niveaux d'énergie et de température
- ***Conclusion***

# Conclusions

- Il n'existe pas de convention internationale pour déterminer les seuils de température et d'énergie permettant de catégoriser les types de géothermie, mais on peut résumer les tendances de la manière suivante (convention adoptée dans ce cours):
  - BE: Échanges, surface (200 m), climatisation et chauffage, stockage, 30°C ;
  - ME: Aquifères, 0-1 500 m, chauffage urbain et industriel, 60°C < T < 90°C (peut exceptionnellement aller jusqu'à 150°C) ;
  - HE: Roche, magma, 2 000 m et +, électricité, chaleur, 150°C < T < 350°C.
- Comme pour toutes les technologies renouvelables, il faut adapter la source ou le type à l'environnement et à la charge.

# Question

- A quand remontent les premières inquiétudes sur l'effet de l'émission de CO<sub>2</sub> sur le climat?
  - 2000 et plus 
  - 1950 à 2000 
  - 1900 à 1950 
  - 1850 à 1900 
  - Avant 1850 

# Question

- A quand remontent les premières inquiétudes sur l'effet de l'émission de CO<sub>2</sub> sur le climat?
  - 1922: Lewis Fry Richardson, expérience de modélisation du climat à partir des équations de la physique (sans ordinateur).
  - 1896: Svante Arrhenius, « Les combustibles fossiles engendreront un réchauffement climatique, 4°C si la concentration de CO<sub>2</sub> double dans l'air. »
    - Assez proche des prédictions du GIEC un siècle plus tard.

# Question

- A quand remontent les premières inquiétudes sur l'effet de l'émission de CO<sub>2</sub> sur le climat?
  - 1838: Claude Pouillet et Joseph Tyndall, « Effet de serre naturel imputable à la vapeur d'eau et au CO<sub>2</sub> »
    - Il y a près de 200 ans, on savait.
  - 1824: Joseph Fourier, « [Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires](#) »; la température du sol est conditionnée par l'action de l'atmosphère.
    - Ce mémoire fut écrit il y a deux siècles, consultez-le.