

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.

Question



ENR2020

- Quelle proportion du globe terrestre est à une température supérieure à 1000 °C?
 - Entre 50 et 60 %
 - Entre 61 et 70 %
 - Entre 71 et 80 %
 - Entre 81 et 90 %
 - Entre 91 et 99 %

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

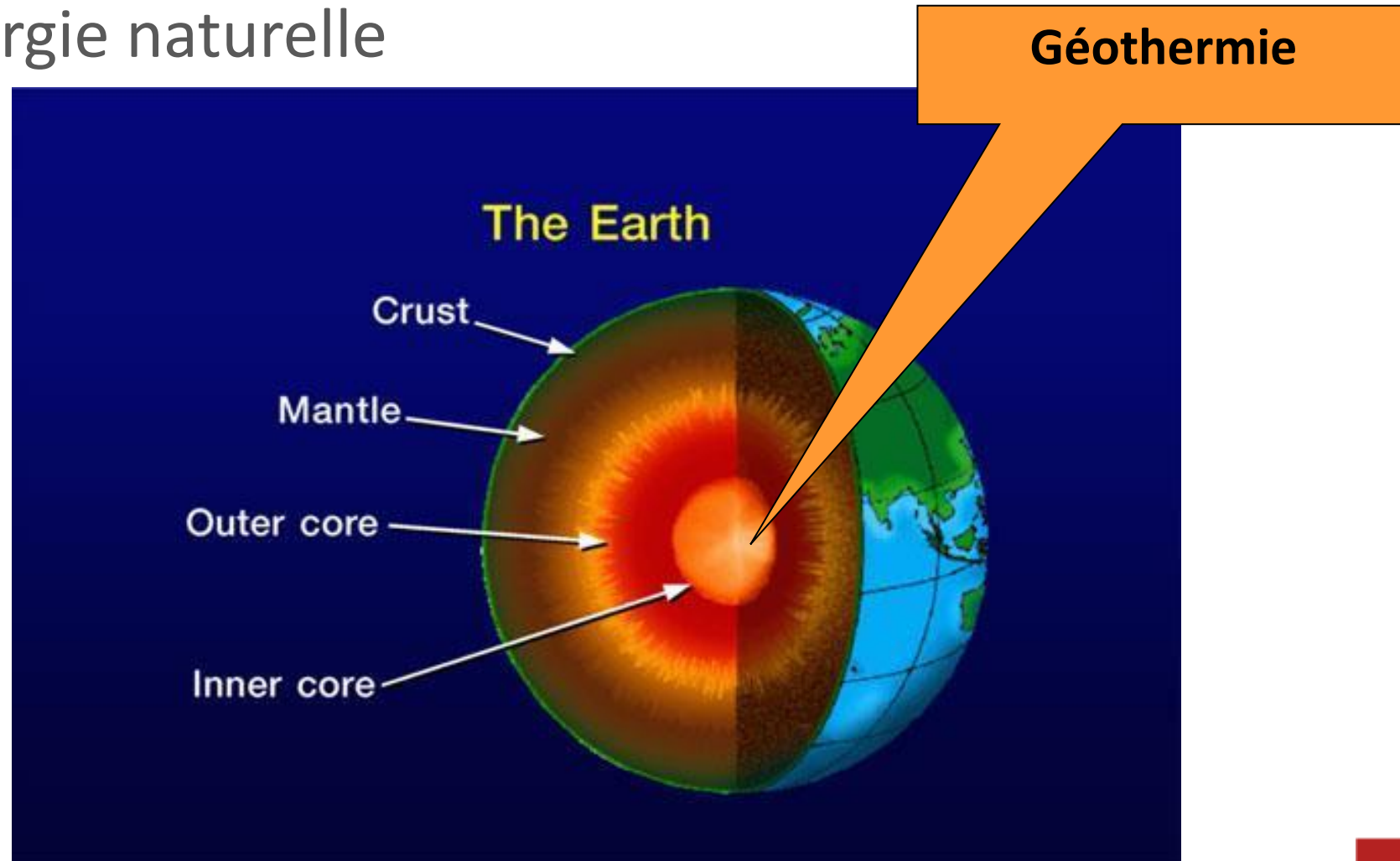
- Références

- 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
 - Geothermal Training Courses
 - <https://www.hrai.ca/geothermal-training-courses>

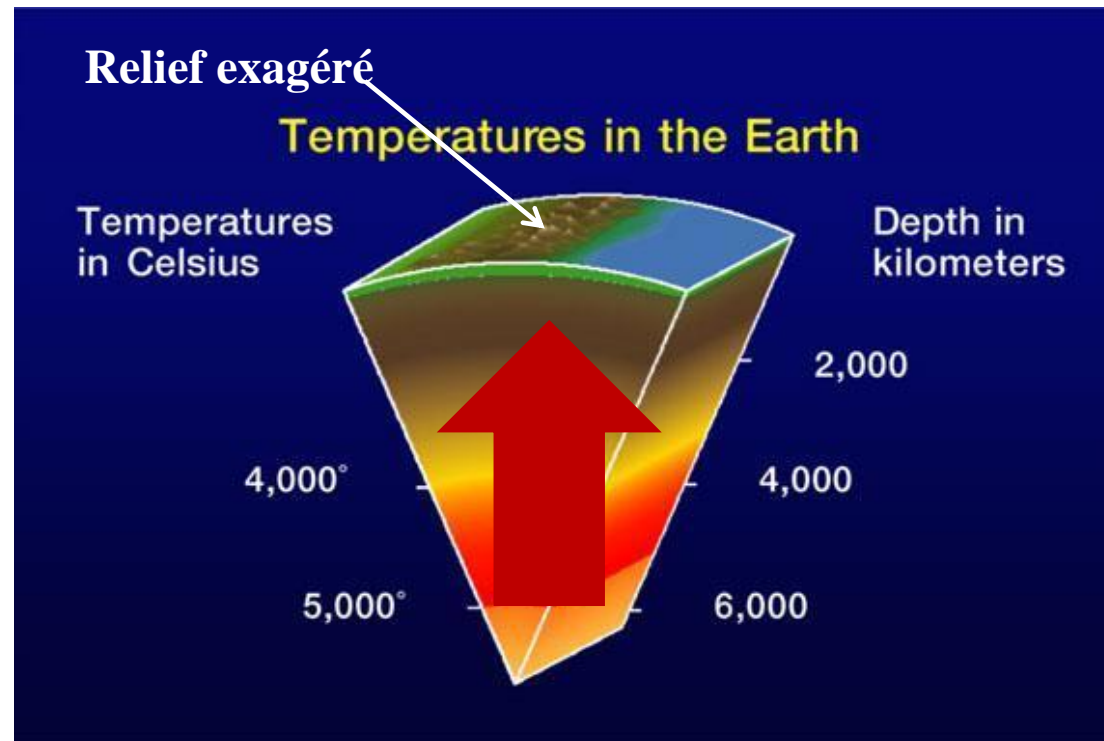
Géothermie

- Une énergie naturelle



Géothermie

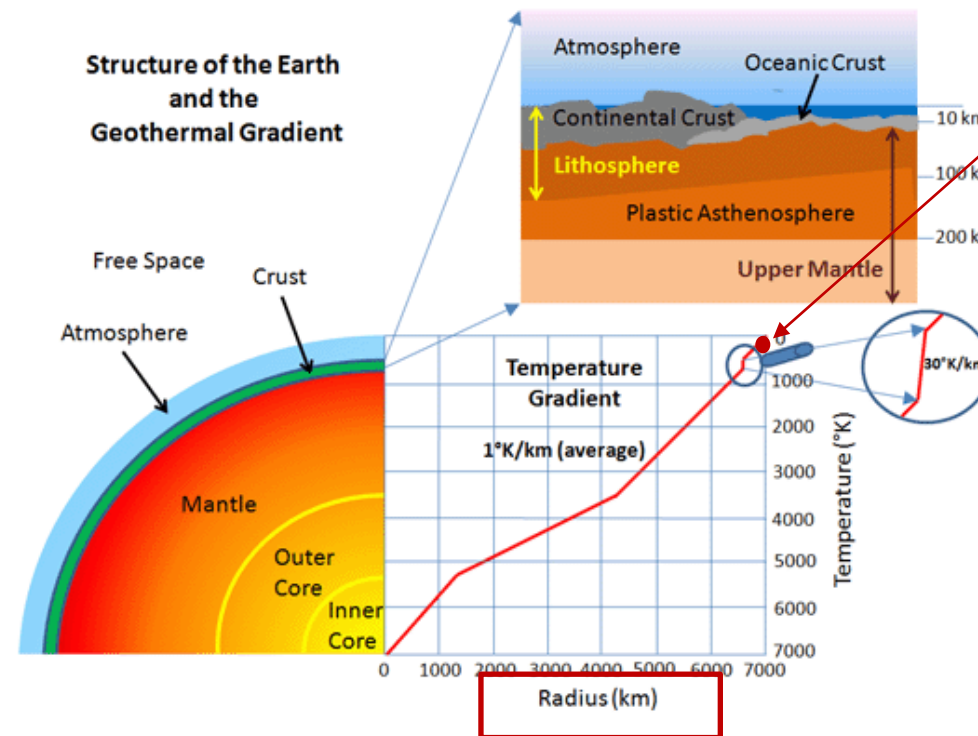
- Une énergie naturelle
 - Source 1 : 99% du globe est à + de 1 000°C.



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

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.

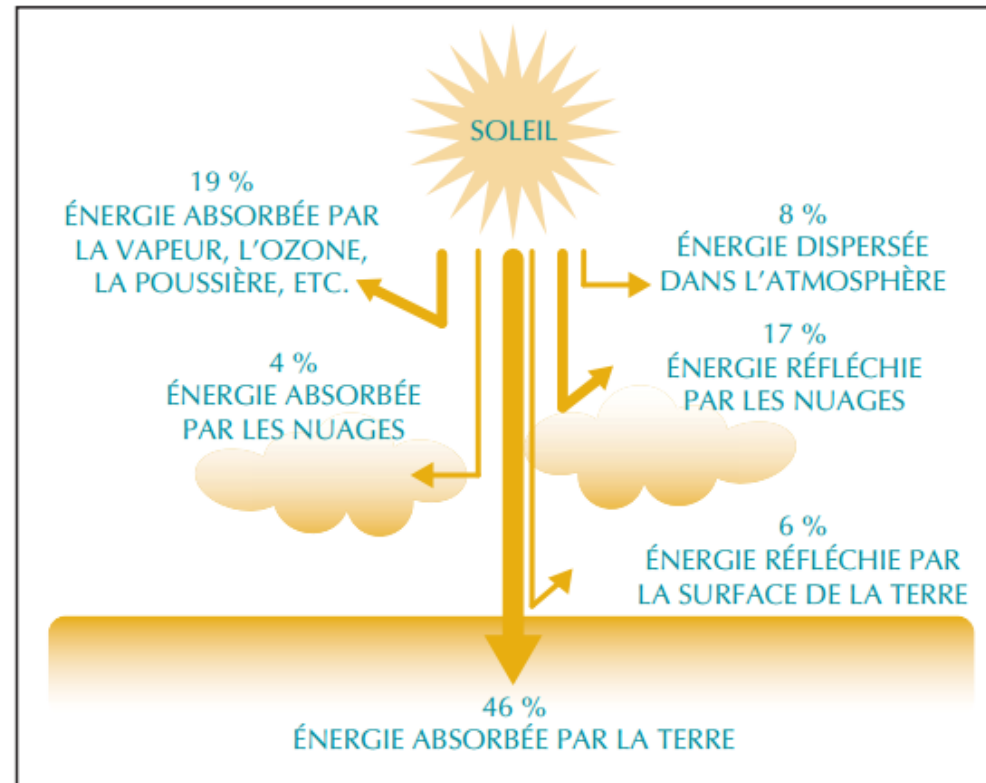
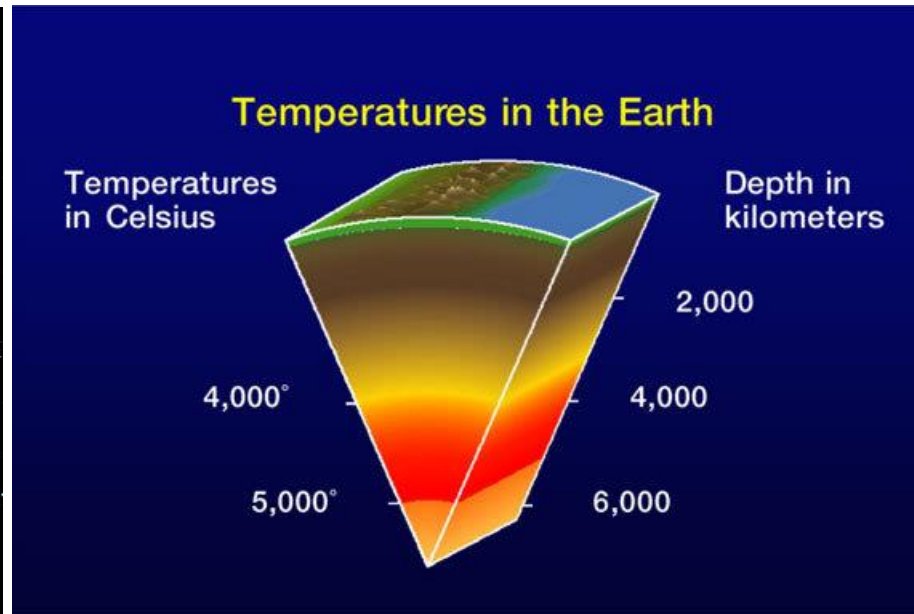
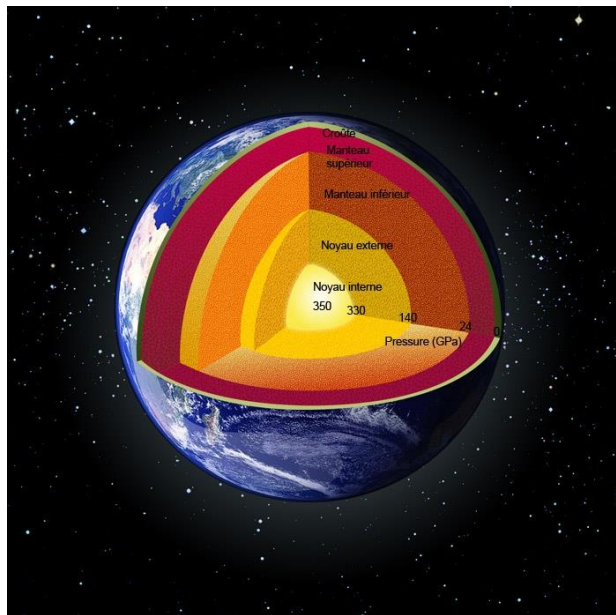


Figure 1 :

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

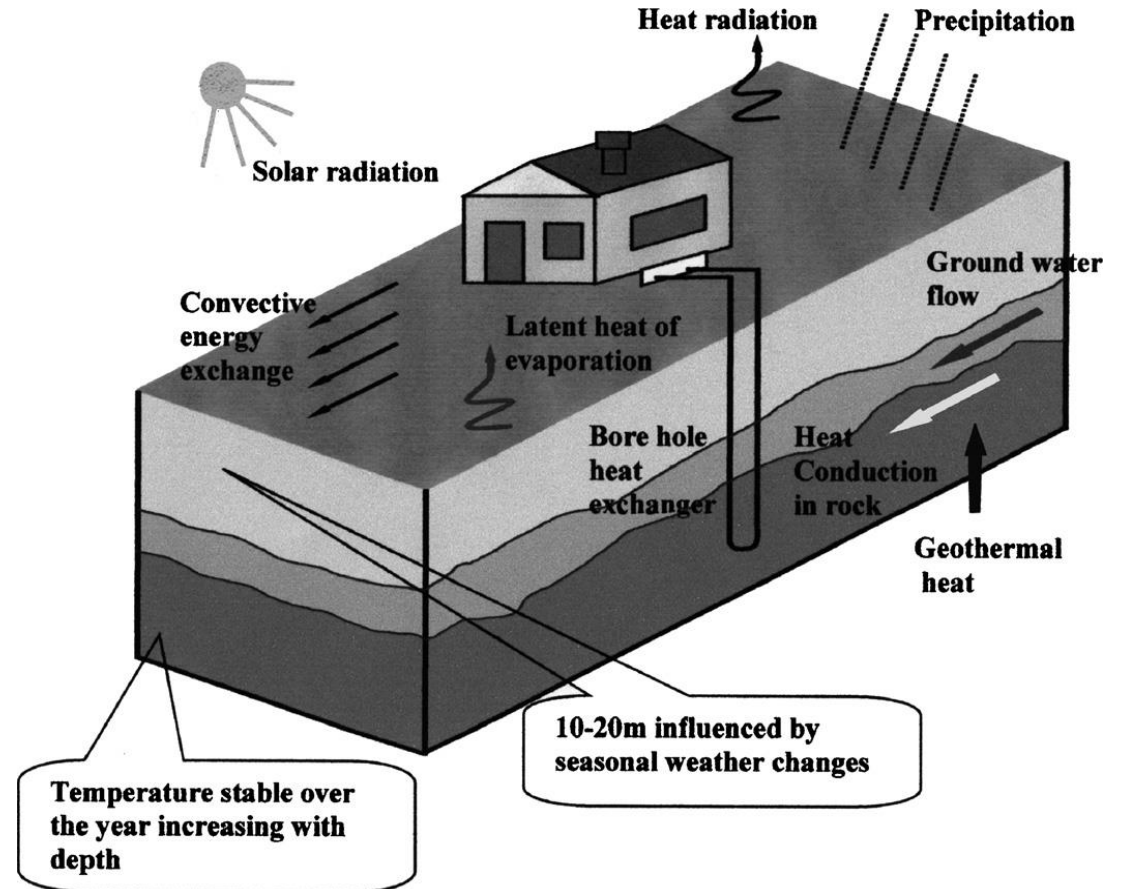


ENR2020

- À 3500 mètres de profondeur au Québec, quelle plage de température trouve-t-on?
 - 25 à 150 °C
 - 150 à 500 °C
 - 500 à 1000 °C
 - 1000 à 2500 °C
 - 2500 à 5000 °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)

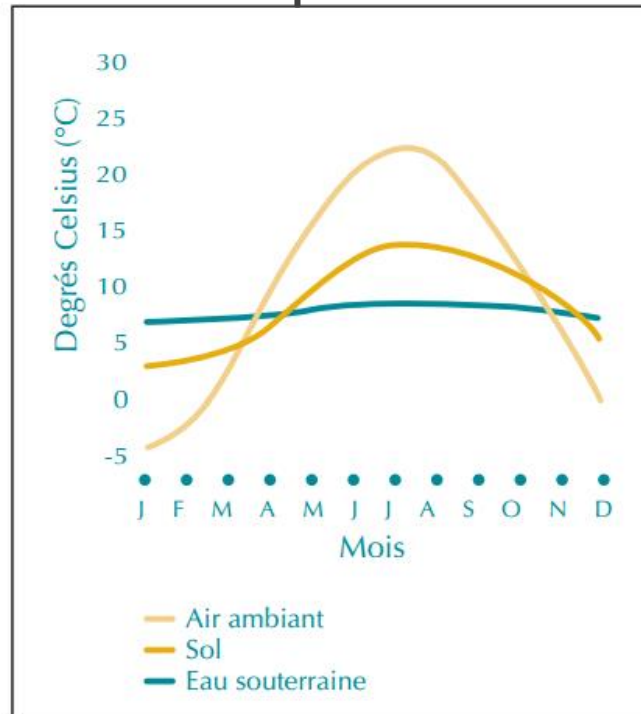


Figure 2 :
Température moyenne mensuelle au Canada.

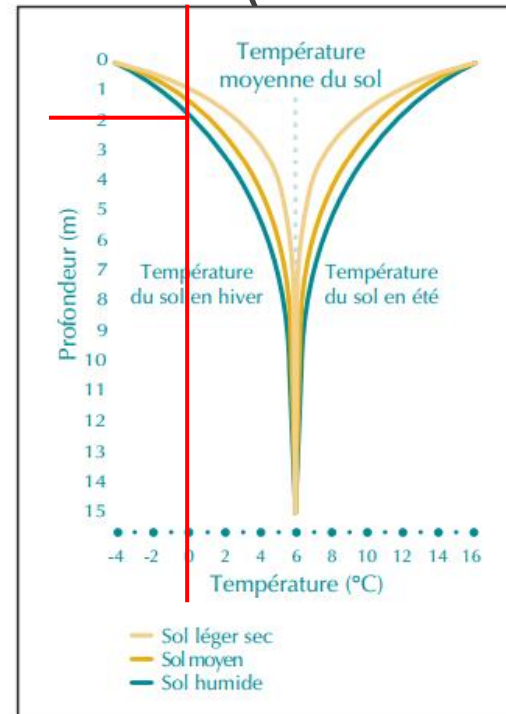
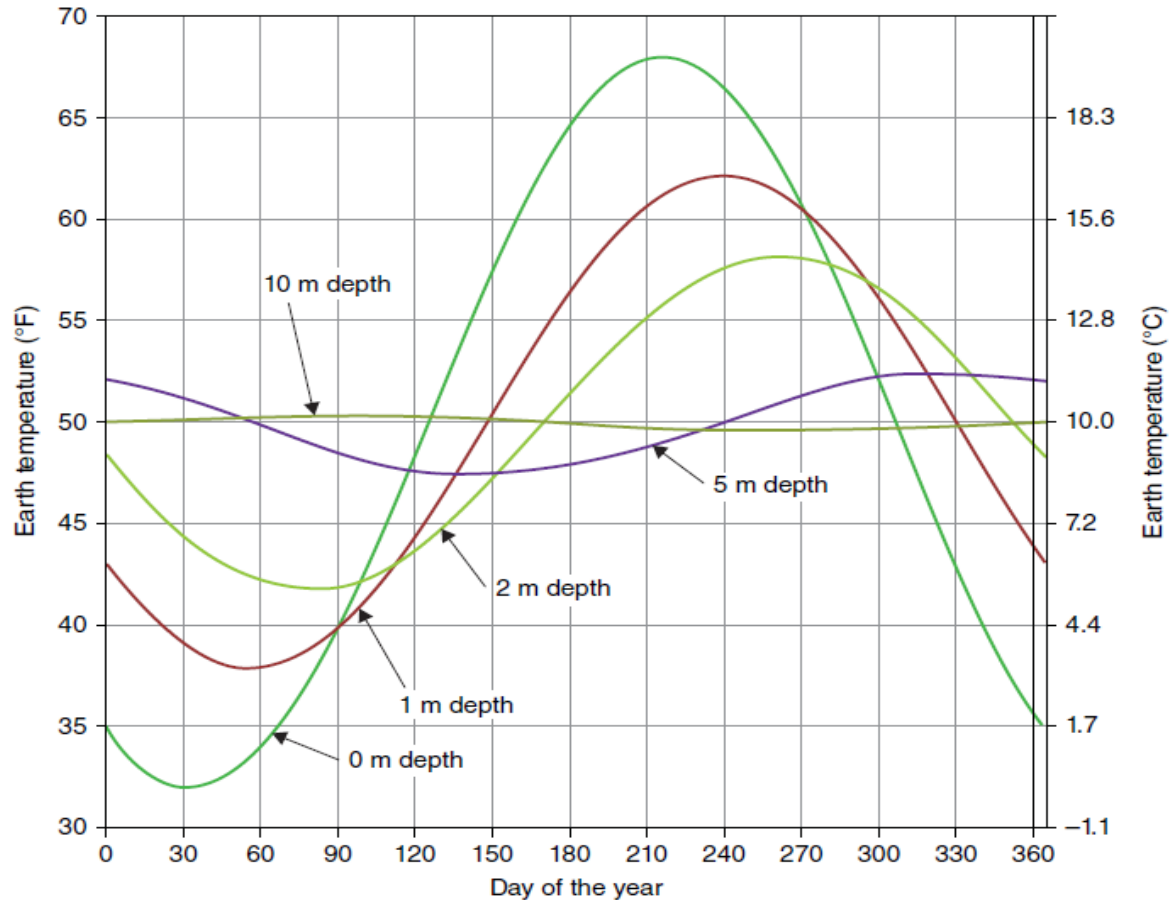


Figure 3 :
Variation de la température du sol.

Réf.: Canmet Énergie manuel RETScreen 4

Niveaux d'énergie et de température

- Basse énergie

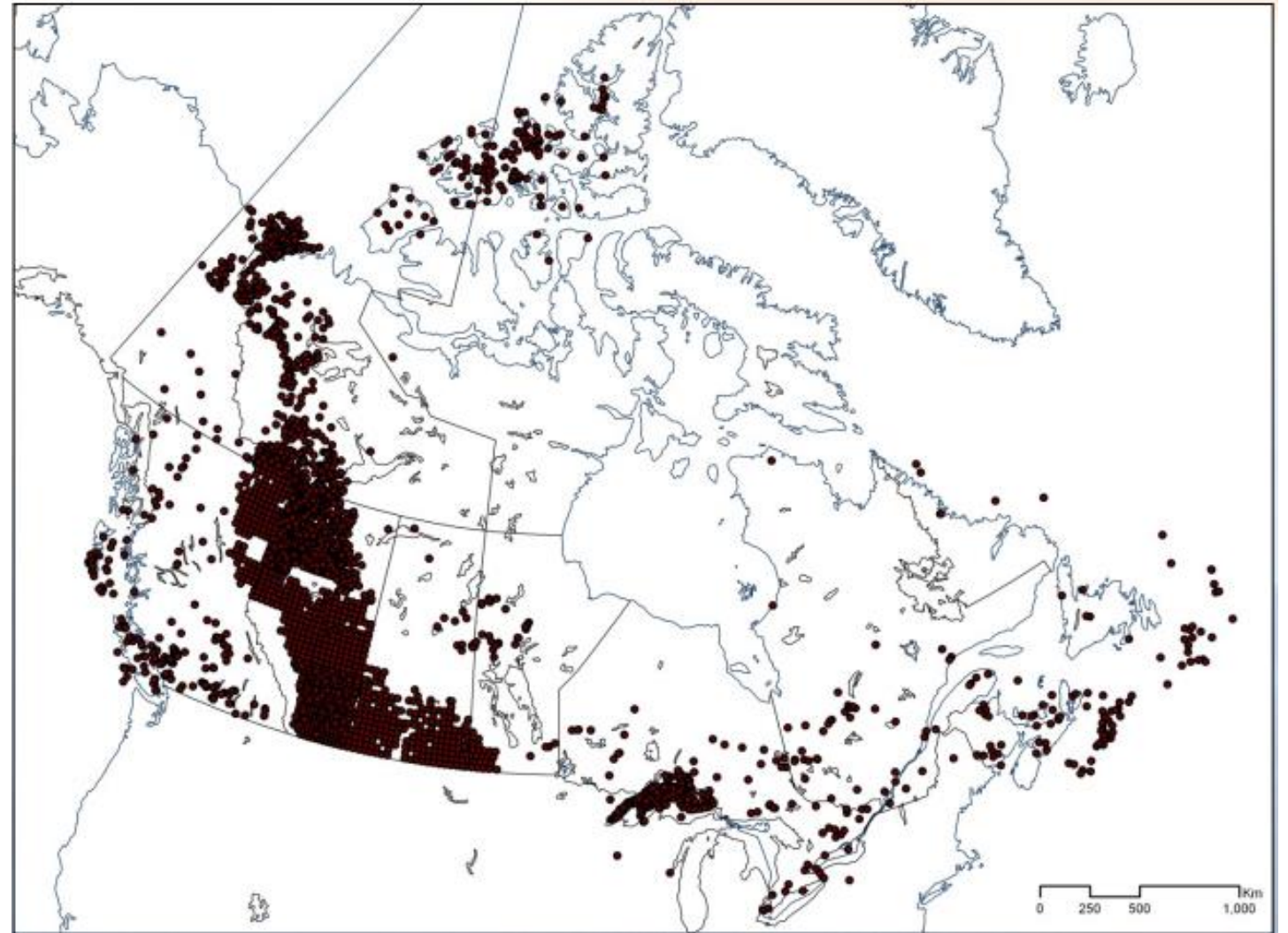


$$T(x,t) = T_{\infty} - \Delta T_s e^{-x \sqrt{\frac{\pi}{365 \alpha_g}}} \cos \left[\frac{2\pi}{365} \left(t - t_0 - \frac{x}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi \alpha_g}} \right) \right]$$

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

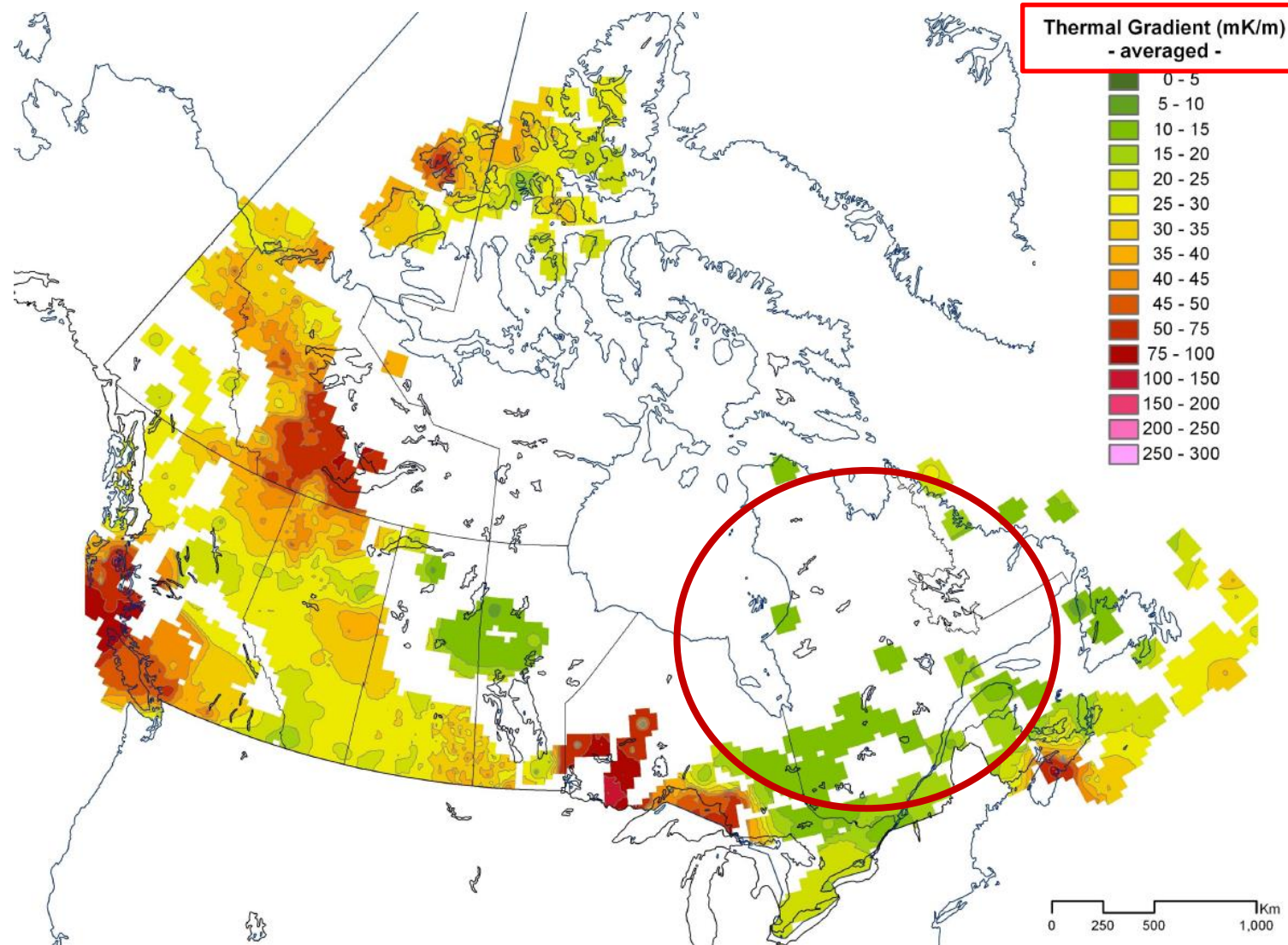
Localisation des puits d'évaluation

- 3085 puits
- Extrapolation, 50 km
- Peu au Québec
- Très peu dans les régions hors réseau



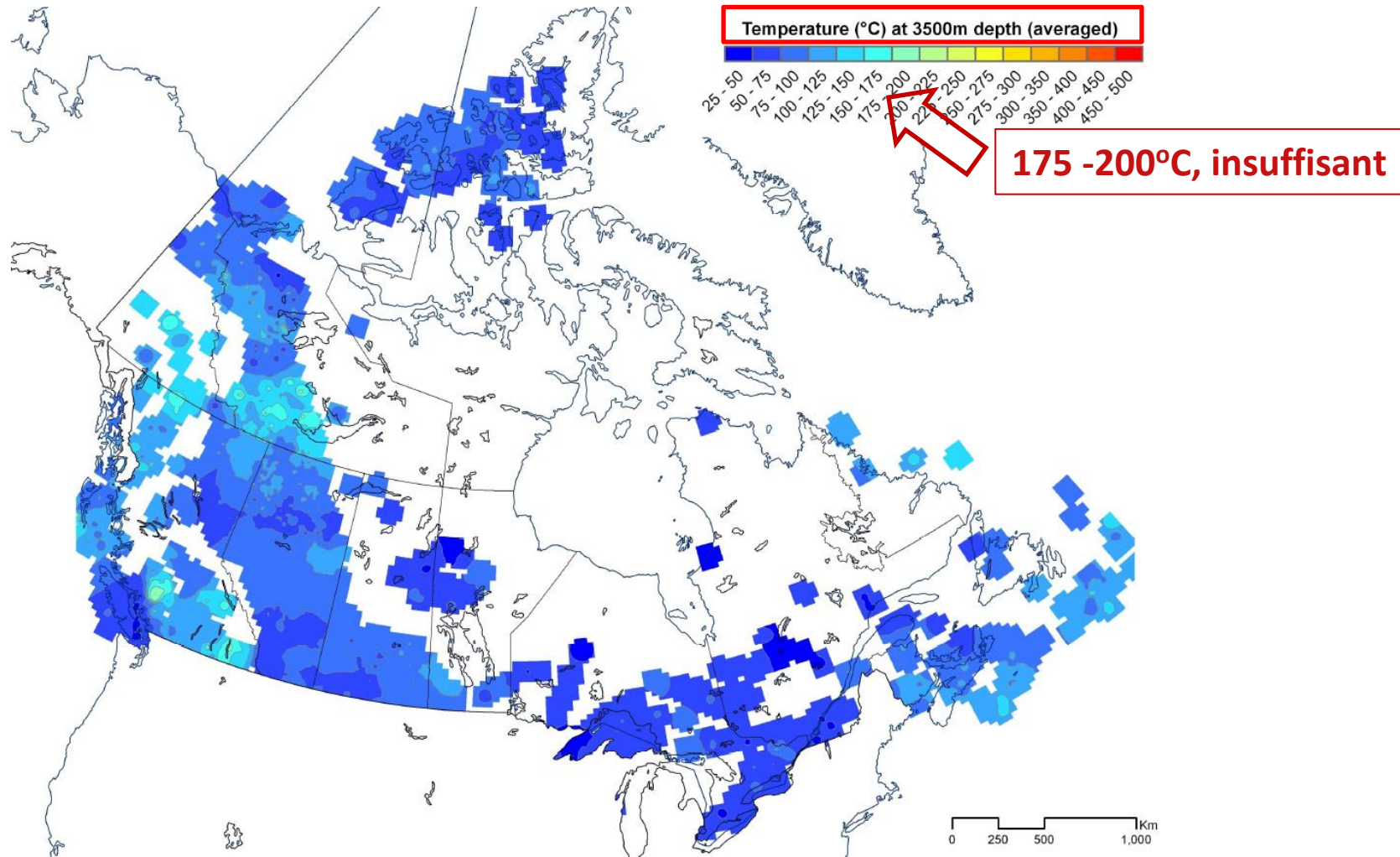
Réf.: Ressources Naturelles Canada

Niveaux d'énergie et de température



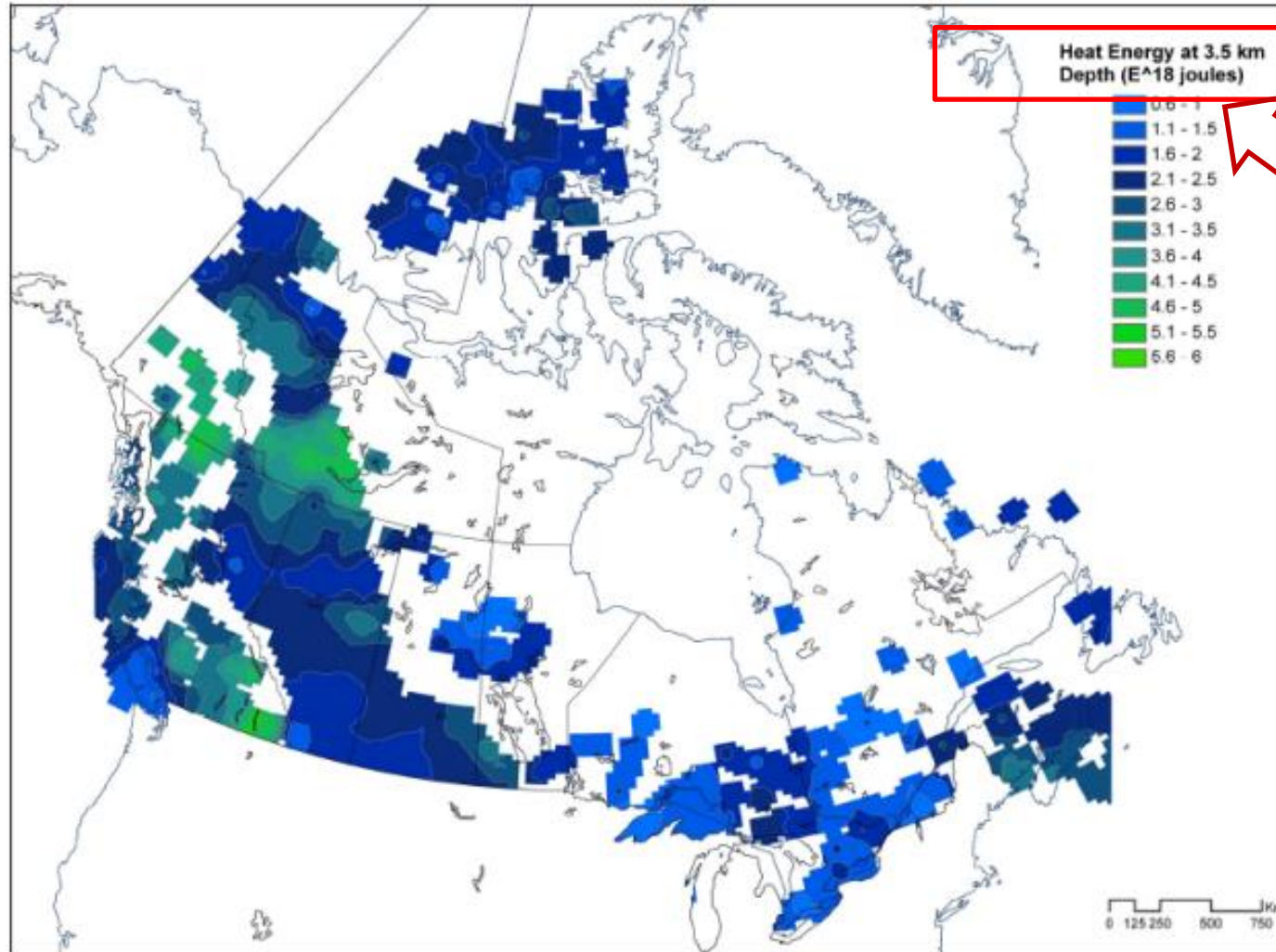
Réf.: Ressources Naturelles Canada

Niveaux d'énergie et de température



Réf.: Ressources Naturelles Canada

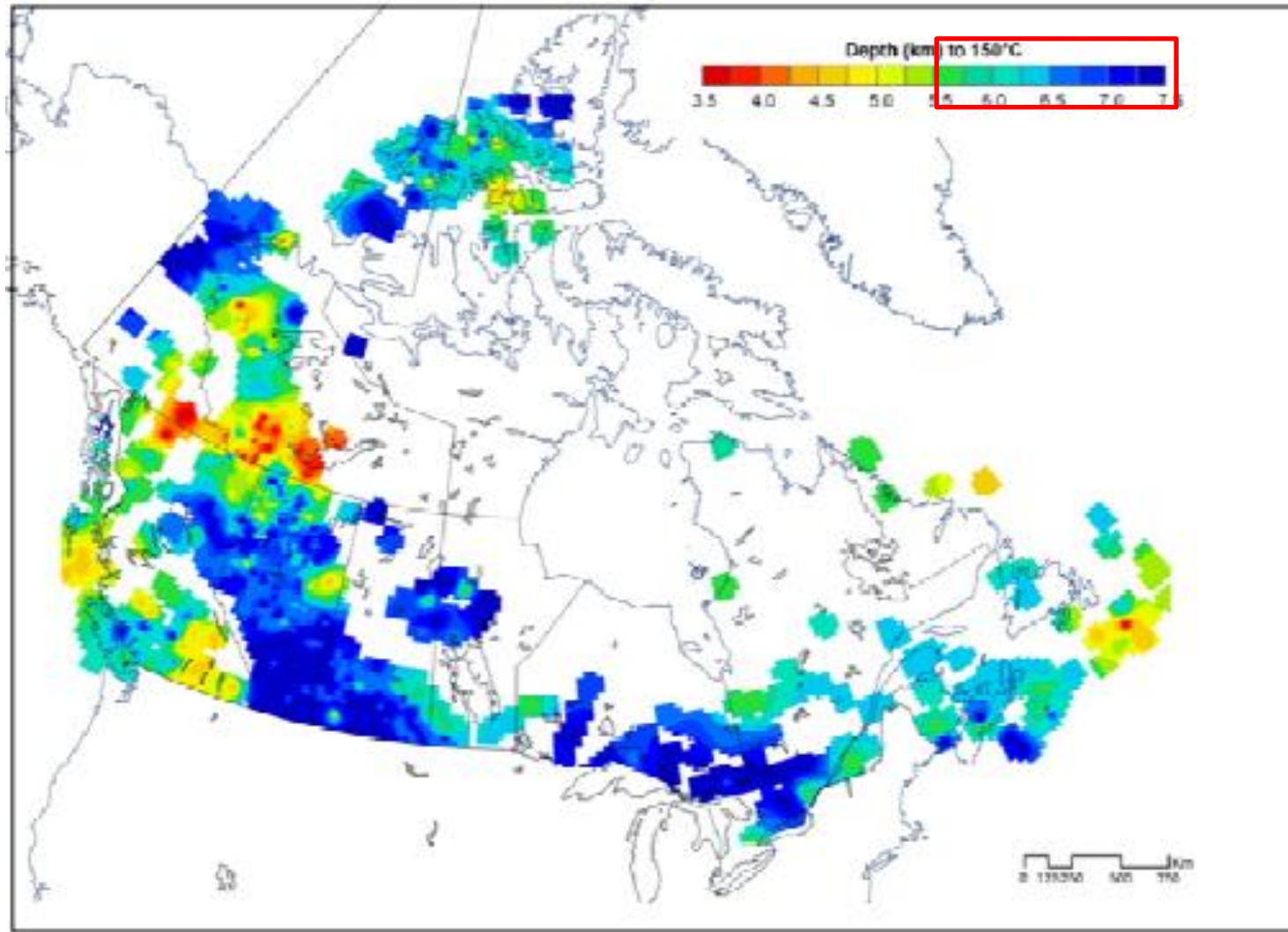
Niveaux d'énergie et de température



Les plus bas au Canada

Réf.: Ressources Naturelles Canada

Profondeur à 150°C



Réf.: Grasby et al., Geothermal Energy Resource Potential of Canada, 2012, 322 p.

Niveaux d'énergie et de température

- Les dernières pages montrent que le potentiel géothermique profond (donc à haute énergie) au Canada, et particulièrement au Québec, n'est pas très élevé.
- La température ne dépasse pas 200°C à 3500m de profondeur au Canada et 150°C à 5 500 km au Nunavik.
- Nous ne sommes définitivement pas en Islande....

Niveaux d'énergie et de température

Basse température, sous le seuil de 150°C

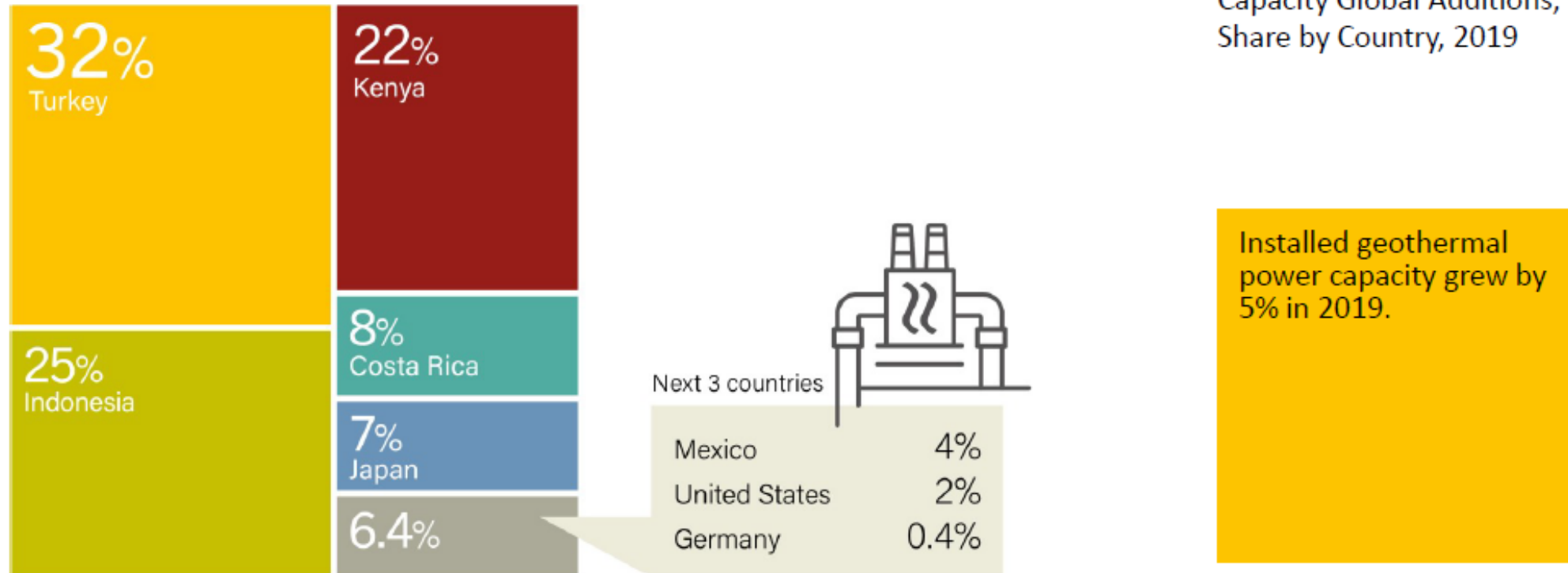
Type de géothermie	Réservoir	Usages
Très basse énergie	$P < 200 \text{ m}; T < 30^\circ\text{C}$	PAC : HVAC + Stockage
Basse et moyenne énergie	$P < 1\ 500 \text{ m}; 60^\circ\text{C} < T < 90^\circ\text{C}$	Chauffage urbain, industrie, balnéothérapie
Haute énergie*	$P > 2\ 000 \text{ m}; 150^\circ\text{C}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

* Conventionnelle ou non

Haute température, au-delà de 150°C.

Niveaux d'énergie et de température

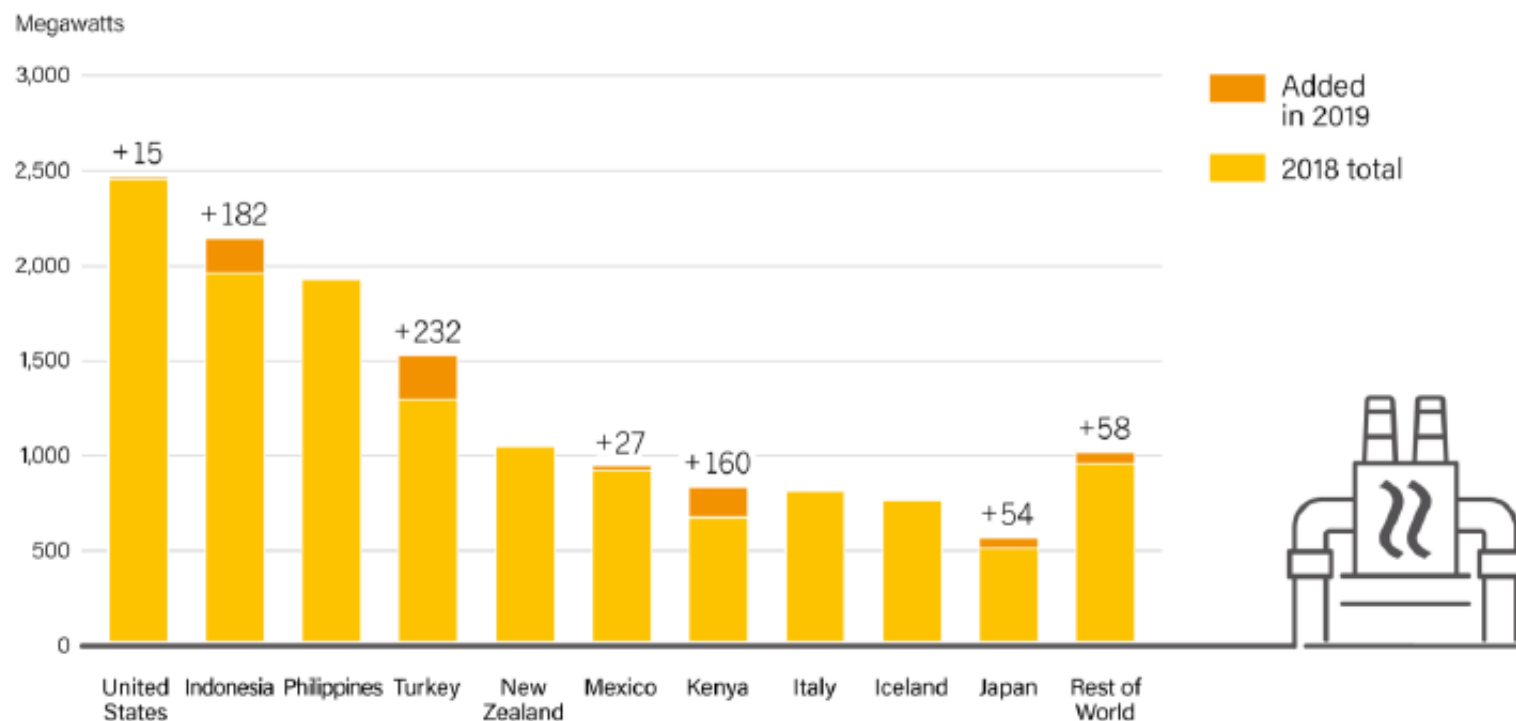
GEOTHERMAL POWER CAPACITY ADDITIONS MAINLY IN THREE COUNTRIES



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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ 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 CO₂ sur le climat?
 - 1838: Claude Pouillet et Joseph Tyndall, « Effet de serre naturel imputable à la vapeur d'eau et au CO₂ »
 - 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.



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

