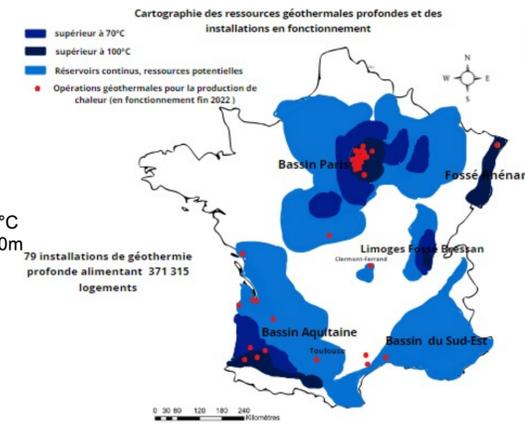
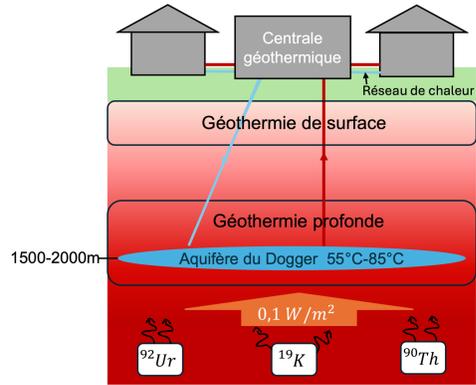
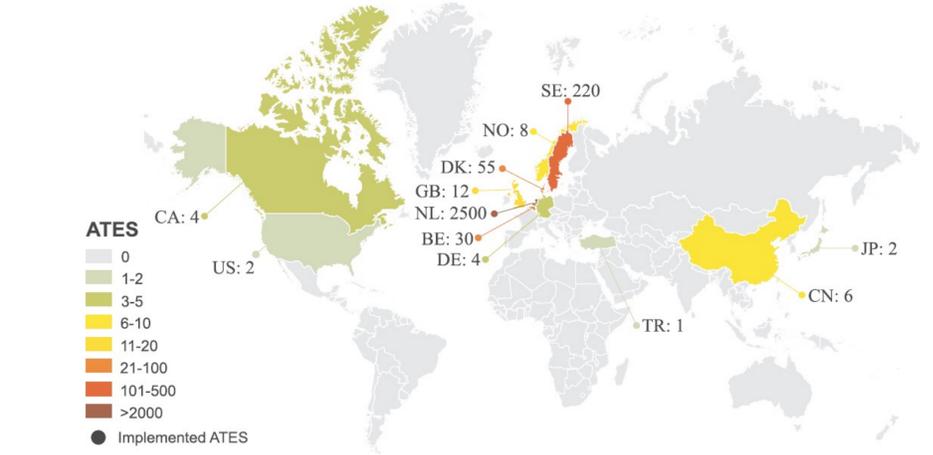


## La géothermie en France

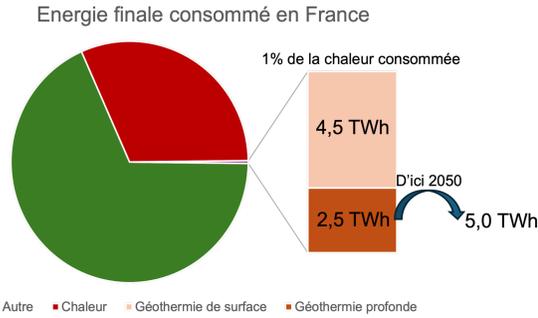


## Implantation dans le monde (2800 systèmes)

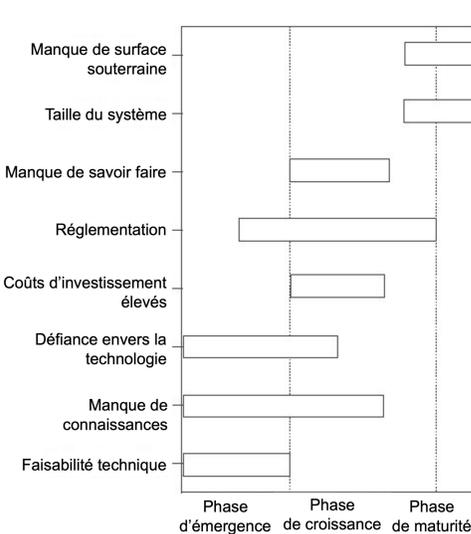


**Principe de la géothermie**

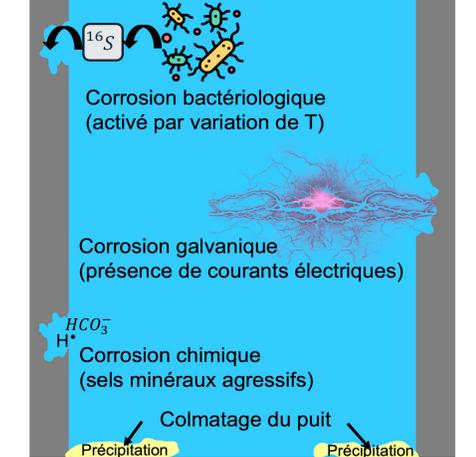
- Exploitation de la chaleur naturelle de la Terre
- Émission faible de CO<sub>2</sub>
- Une ressource renouvelable mais limitée à court terme (durée de vie d'une exploitation ~ 60 ans)
- Flux d'énergie thermique d'environ 0,1W/m<sup>2</sup> inférieur au captage de la ressource
- Nécessité d'un stockage de chaleur artificiel



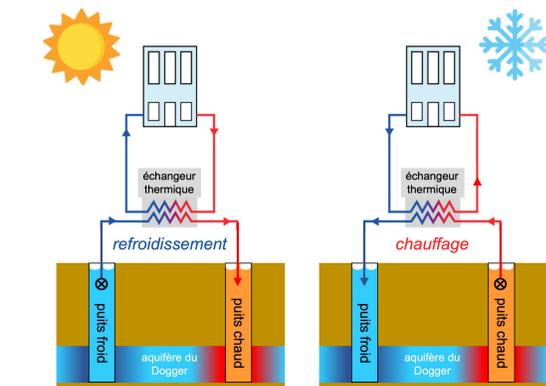
## Freins au développement du stockage en aquifère profond



**Corrosion**  
Choisir des matériaux résistants comme le titane  
**Colmatage / Calcification**  
Cause : modification de l'équilibre de solubilité roche/eau par variation de la température  
Conséquence: réduction la taille des pores de l'aquifère, puit de pompage bouché  
→ Si calcification baisse drastique du rendement



## Principe du stockage en aquifère profond



**Constats**

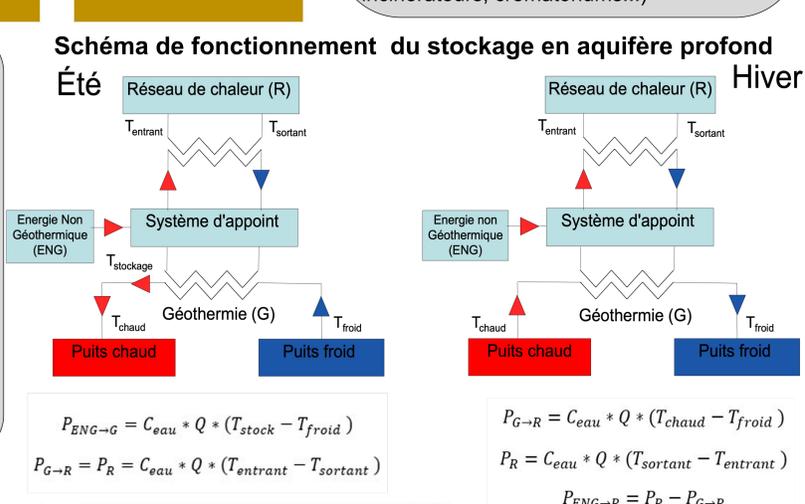
- Surplus d'énergie l'été
- Nécessité d'un système d'appoint l'hiver pour chauffer l'eau (eau provenant de l'Aquifère pas assez chaude)

**Solution**  
Stocker le surplus d'énergie l'été pour pouvoir le réutiliser en hiver

**Sources de chaleur possibles**  
Énergie thermique produite par les systèmes industriels (chaudières, incinérateurs, crématoriums...)

**Potentiel théorique d'un système francilien**

- Entre 150 et 1500 tonnes de CO<sub>2</sub> économisées par an
- 2,5 TWh/an
- 70% du mix énergétique du réseau géothermique

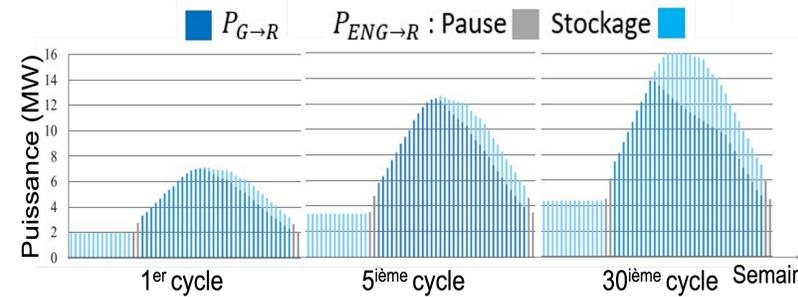
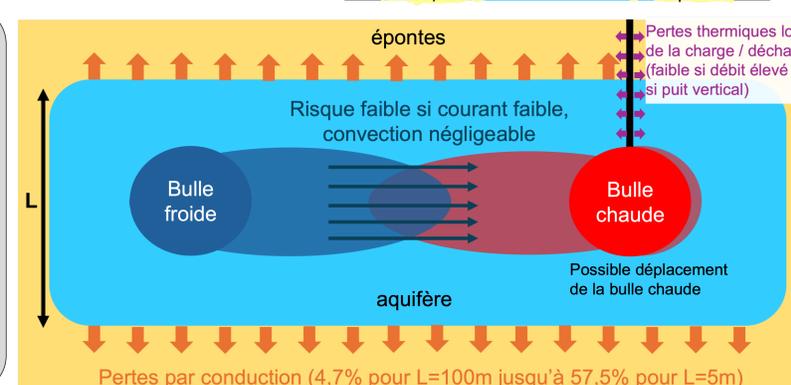


**Facteurs empêchant le développement du système**

Coûts d'investissement: 0,2 à 2 millions d'euros

**Pertes thermiques**

- Détermine le rendement de l'opération stockage /déstockage
- Non rentable si L ≥ 10m (rendement trop faible par rapport au coût énergétique du pompage)



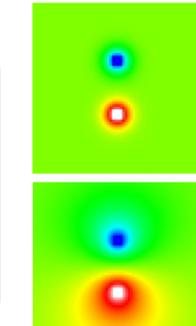
**Simulation sur plusieurs cycles:**  
14 semaines de stockage  
34 semaines de relargage  
2 semaines de pause entre chaque période

**Énergie non géothermique**

- Complète la géothermie l'hiver si elle n'est pas suffisante
- Réchauffe l'eau pour la mettre à sa température de stockage l'été

**Besoins en énergie non géothermique augmentent**

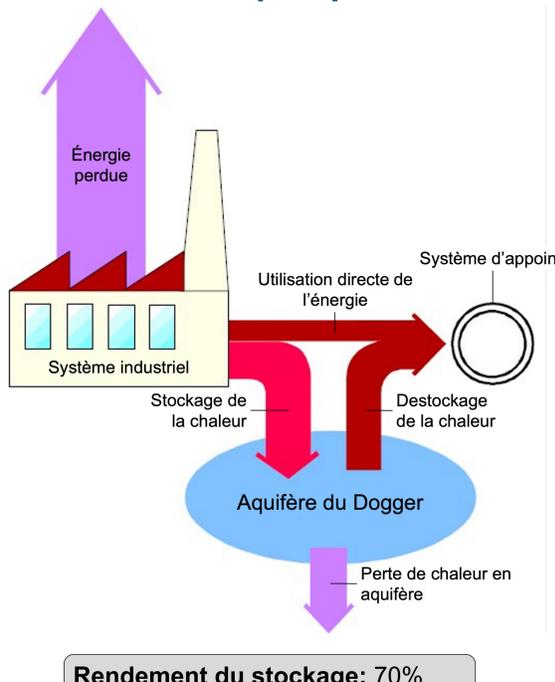
- Demande énergétique augmente
- Eau de stockage se refroidit à chaque cycle



**Simulation de répartition spatiale**

- Résultats obtenus en négligeant le transport de chaleur par convection et les inhomogénéités du matériau
- Images montrant la répartition de chaleur à deux instants différents
- Temps  $t \approx d^2/4D$  pour que la bulle froide ait un impact sur la bulle chaude (d est la distance entre les centres et D est le coefficient de diffusivité thermique)

## Conclusion et perspectives



**Avantages**

- Augmentation la température de l'eau dans l'Aquifère
- Utilisation réduite de l'énergie non géothermique en hiver

**Bilan actuel**

- Intérêt technique à grande échelle
- Réparti inégalement géographiquement
- Méconnaissance du sujet
- Risqué économiquement

**Perspectives**

- Études économiques sur le système
- Réglementation plus souple et sensibilisation
- Mix avec le chauffage urbain pour les petits bâtiments
- Inclusion dans le programme français de passage à la géothermie

Rendement du stockage: 70%

Fleuchaus, P., Godschalk, B., Stober, I., & Blum, P. (2018). Worldwide application of aquifer thermal energy storage - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, 861-876. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.057>  
Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche, ADEME, BGRM. (2018). *La géothermie, quelles technologies pour quels usages ?* [https://www.aqothermies.fr/sites/default/files/inline-files/La-Geothermie\\_2eme\\_edition\\_2018-2020-2022.pdf](https://www.aqothermies.fr/sites/default/files/inline-files/La-Geothermie_2eme_edition_2018-2020-2022.pdf)  
GEO-STOCKAGE DE CHALEUR: opportunités, optimisation et faisabilité du stockage de chaleur perdue en aquifère [https://www.colloques/nfe2009/nd/2/STOCKE\\_3\\_GEOSTOCKAL\\_poster.pdf](https://www.colloques/nfe2009/nd/2/STOCKE_3_GEOSTOCKAL_poster.pdf)  
Juergen Zenke, Peter Seibert, Frank Kabus, Neubrandenburger Stadtwerke GmbH, John-Schehr-Strasse 3-5, D-17033 Neubrandenburg, GTN. INCREASE OF THE EFFICIENCY OF THE NEUBRANDENBURG GEOTHERMAL HEATING PLANT THROUGH SURPLUS HEAT STORAGE IN SUMMER. [https://www.aqothermies.fr/sites/default/files/inline-files/IGAS2009/WG2009/201495\\_PDF.pdf](https://www.aqothermies.fr/sites/default/files/inline-files/IGAS2009/WG2009/201495_PDF.pdf)  
Le stockage de chaleur en aquifère: une nouvelle perspective pour la géothermie. <https://www.mines-paris.fr/fr/actualites/le-stockage-de-chaleur-en-aquifere-une-nouvelle-perspective-pour-la-geothermie>  
Réveillère, A., Hamm, V., Lesueur, H., Cordier, E., & Goblet, P. (2013). Geothermal contribution to the energy mix of a heating network when using Aquifer Thermal Energy Storage: Modeling and application to the Paris basin. *Geothermics*, 47, 69-79. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2013.07.005>

