

# Webinaire ATEE – AFPG

## Quels sont les critères à prendre en compte pour estimer le potentiel d'un projet de géothermie ?

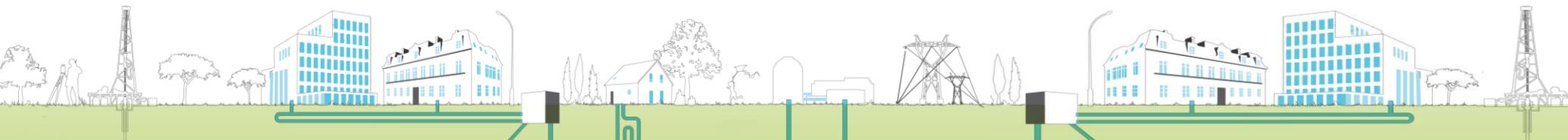
**Quentin Barral**

*Membre élu au Bureau AFPG*

*Chef de projets senior ACCENTA*

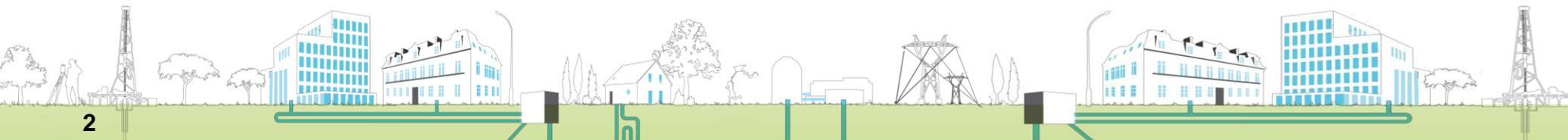
Jeudi 04 mai 2023

[quentin.barral@accenta.ai](mailto:quentin.barral@accenta.ai)



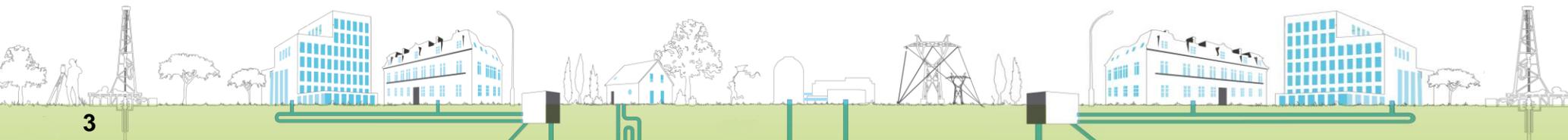
# Agenda

- Température : géothermie de surface et géothermie profonde
- Echangeurs : système fermé et système ouvert
- Aspects réglementaires
- Autres éléments



# Agenda

- Température : géothermie de surface et géothermie profonde
- Echangeurs : système fermé et système ouvert
- Aspects réglementaires
- Autres éléments



# Les géothermies : température

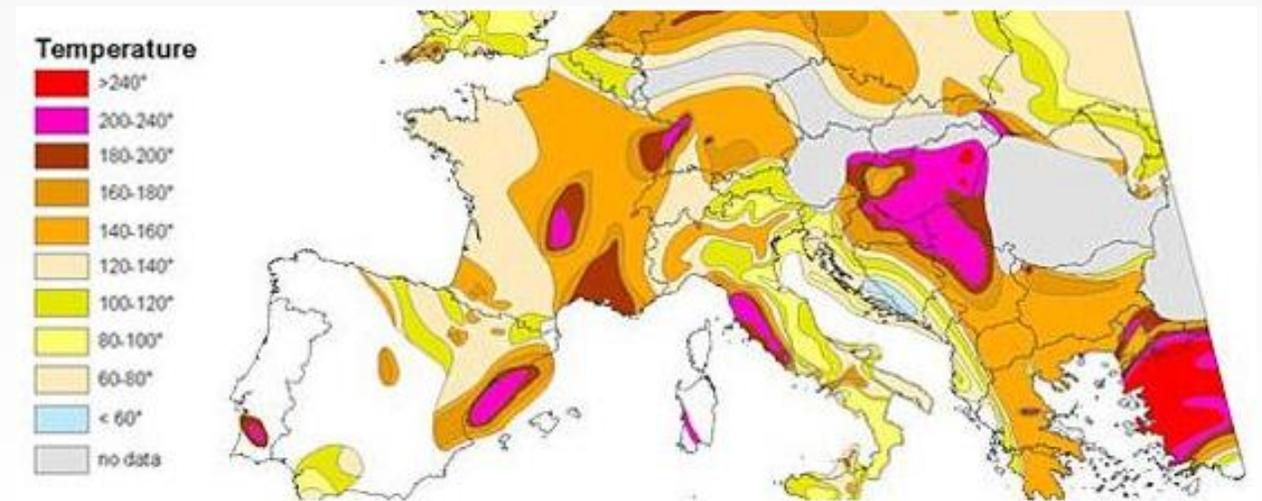
Quelle est la température du sous-sol ?

Le gradient géothermique dépend de la localisation

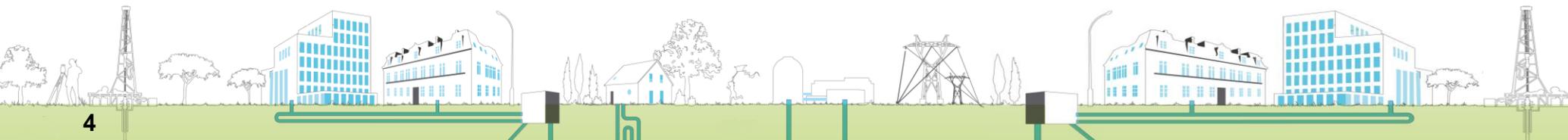
En général 3 °C / 100 m, sauf

anomalies géologiques

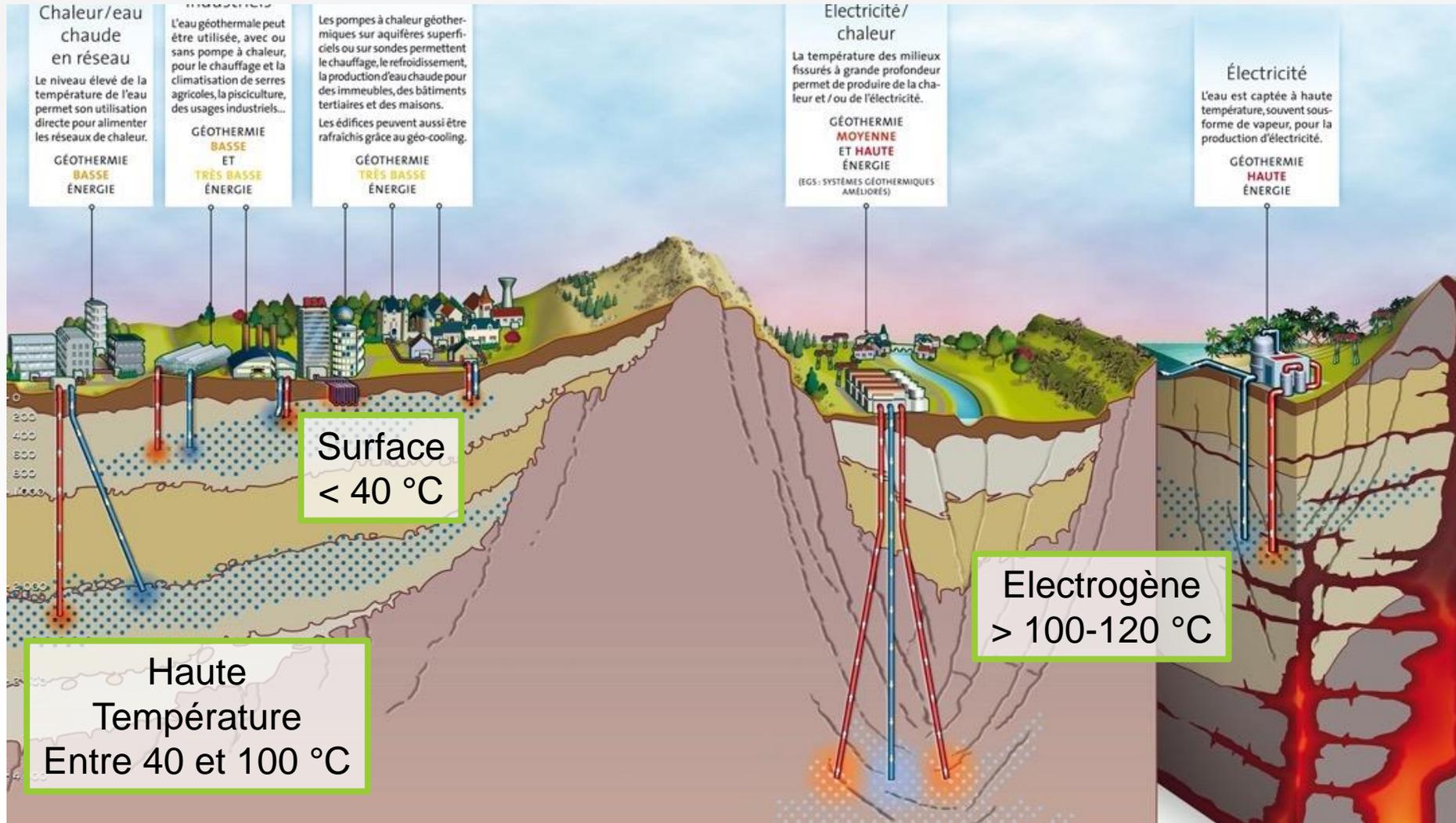
(Alsace, Massif Central)



Isothermes à 5000 m, Geothermal Atlas of Europe, Hurtig et al.



# Les géothermies : température



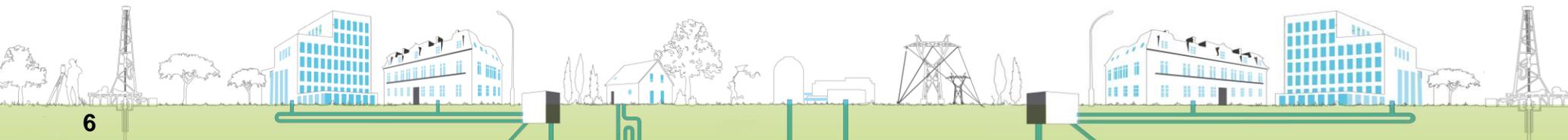
# La géothermie de surface

## ➤ Quelques précisions

La géothermie de surface s'adresse à un **public très large** : de l'habitat individuel aux logements collectifs, en passant par des bâtiments publics, gymnases, bureaux, ...

Comme la ressource est située proche de la surface, la **température est relativement faible** (10 à 15°C). Cette « tiédeur » permet de refroidir naturellement des bâtiments. Avec une **pompe à chaleur**, les applications en chauffage sont alors possibles. Cette « machine » permet **l'échange de température** entre la ressource et le bâtiment et permet une **augmentation/diminution** du régime de température (chauffage/climatisation).

La ressource en eau, susceptible d'être présente dans l'environnement, peut être utilisée directement pour effectuer l'échange thermique (**échangeurs ouverts**). Si cette ressource n'est pas présente, l'échange thermique peut être réalisé avec le sous-sol, par l'intermédiaire d'un fluide circulant en **circuit fermé** dans des tuyaux.

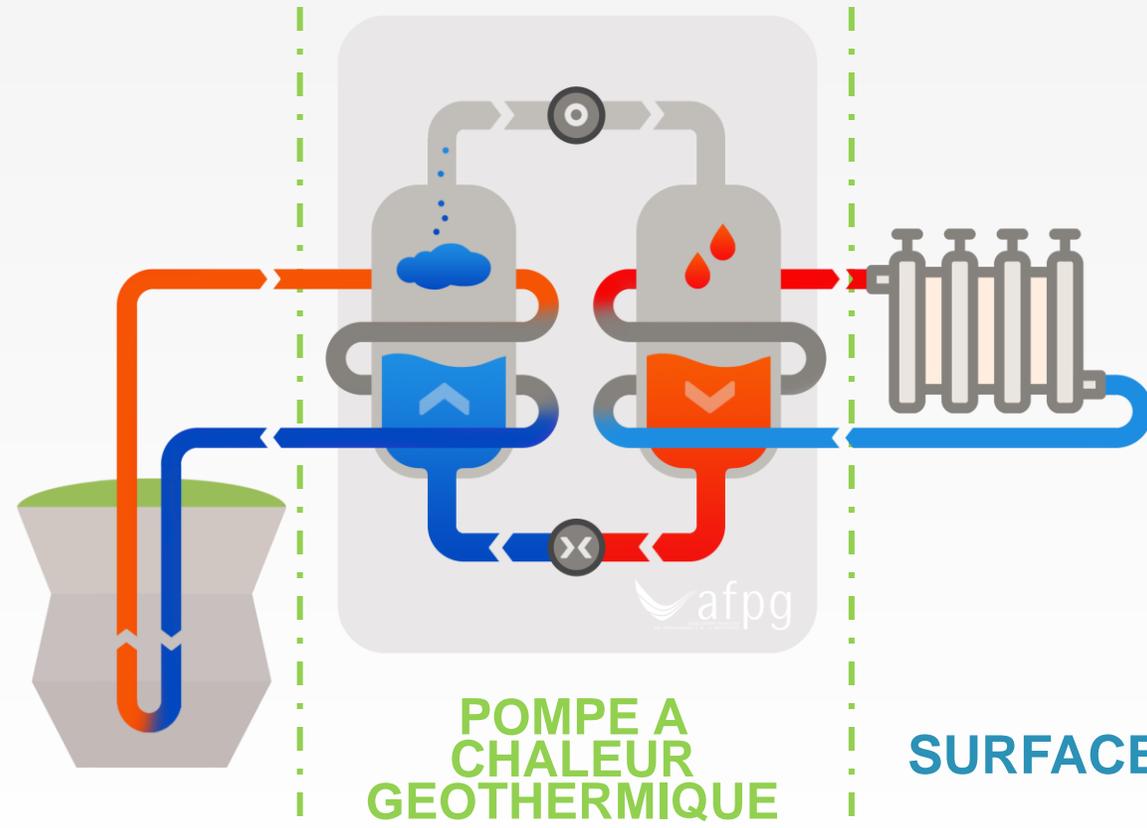


# La géothermie de surface

## ➤ La pompe à chaleur géothermique

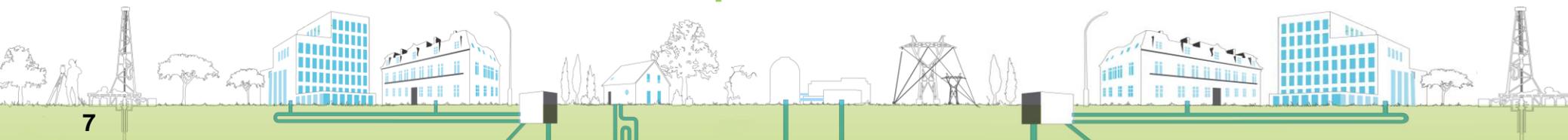
- **Température stable toute l'année**
- **Stockage inter-saisonnier**

➤ **Fonctionne comme une batterie**

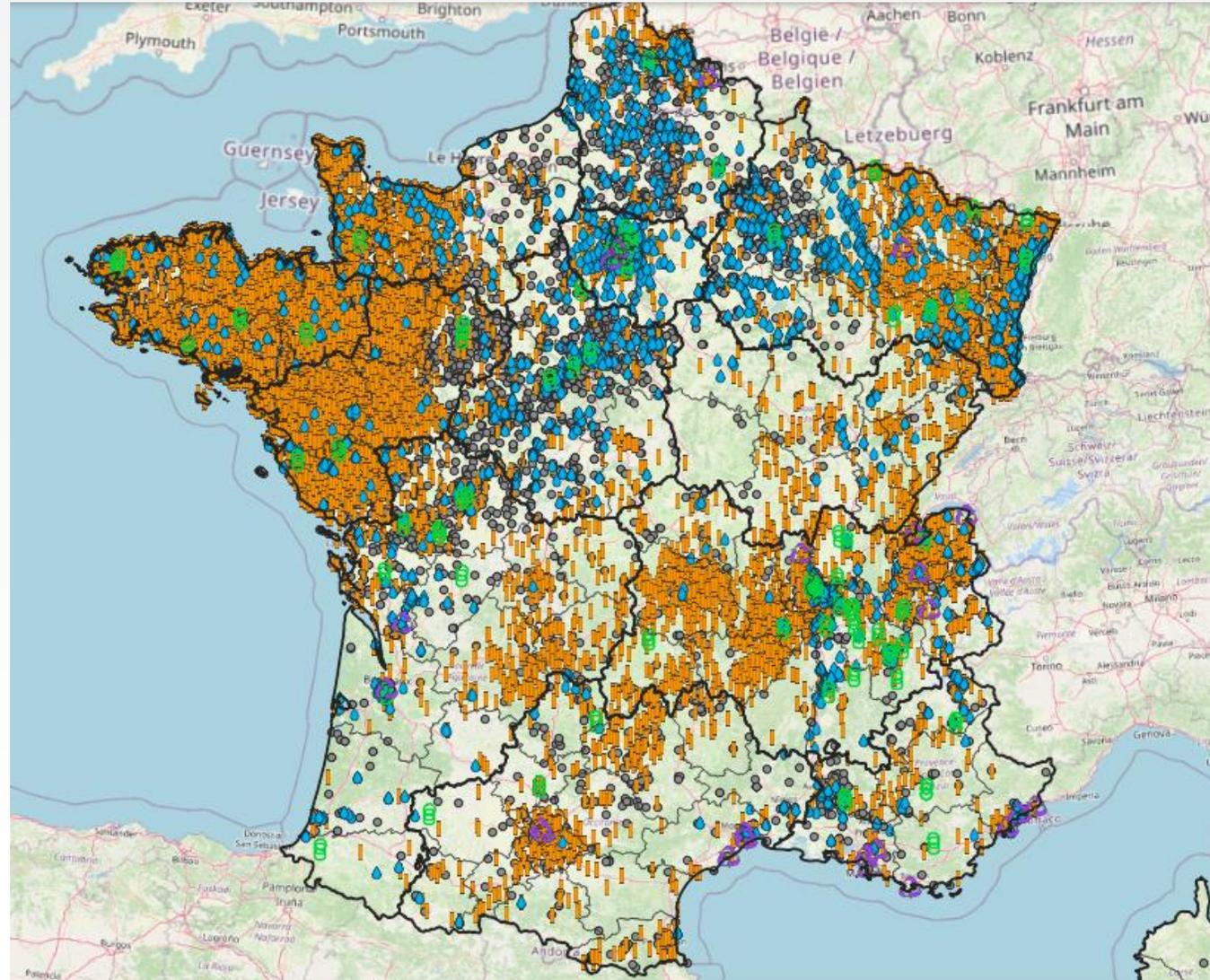


- **Besoins :**
  - **Chaud**
  - **Froid passif (géocooling)**
  - **Froid actif**
  - **Eau chaude sanitaire**

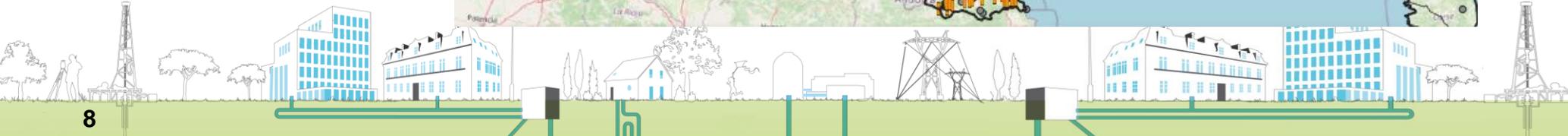
- **Hautes performances énergétiques (faible consommation électrique)**
  - **Possibilité de production simultanée de chaud et de froid**



# La géothermie de surface : installations



Source :  
[carto.afpg.fr](http://carto.afpg.fr)



# La géothermie profonde

## ➤ Principe et fonctionnement

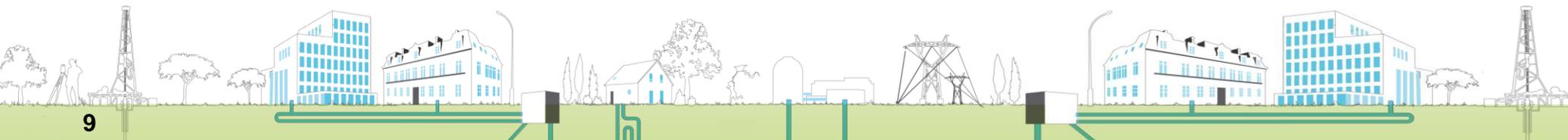
La géothermie profonde fonctionne en circuit ouvert.

Deux forages au minimum sont nécessaires. Ils sont souvent déviés.

Cela permet au premier forage de pomper l'eau chaude jusque la surface et au second de réinjecter l'eau tiède loin du premier forage. Ainsi, l'eau tiède réinjectée a le temps de se réchauffer avant d'être de nouveau pompée par le premier puits.

Par rapport à la géothermie de surface sur nappe, les aquifères sont situés à plus grande profondeur, généralement entre 400 et 2 000 mètres (exceptionnellement 3 000 mètres).

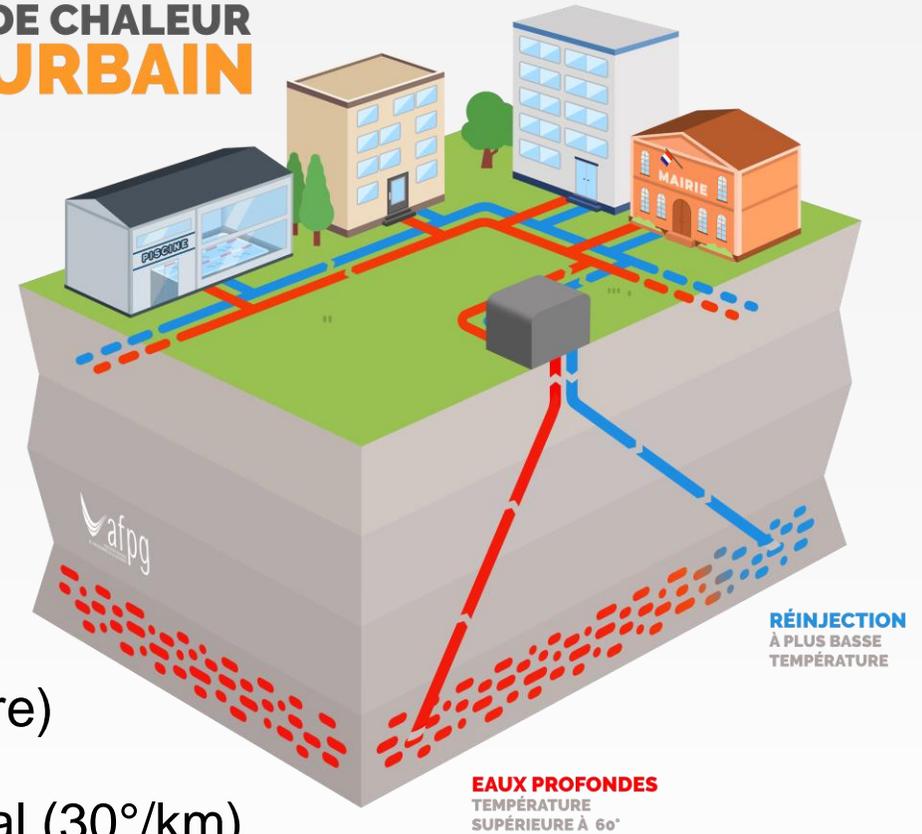
L'utilisation se fait à l'échelle du quartier voire de la ville ou à l'échelle industrielle.



# La géothermie profonde

GÉOTHERMIE  
RÉSEAU  
DE CHALEUR  
URBAIN

## (1) Bassins sédimentaires



Utilisations :

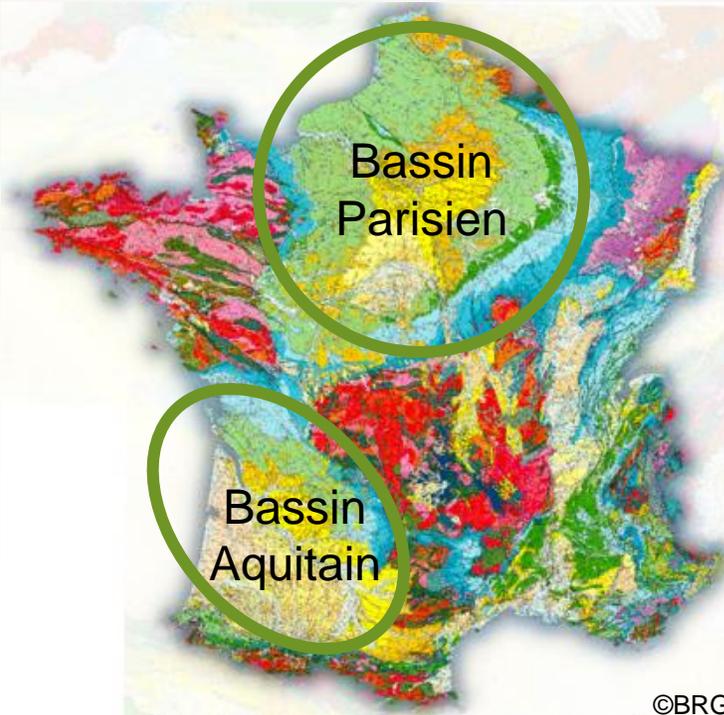
- Réseaux de chaleur urbains
- Agriculture & pisciculture
- Piscines & thermes

Caractéristiques :

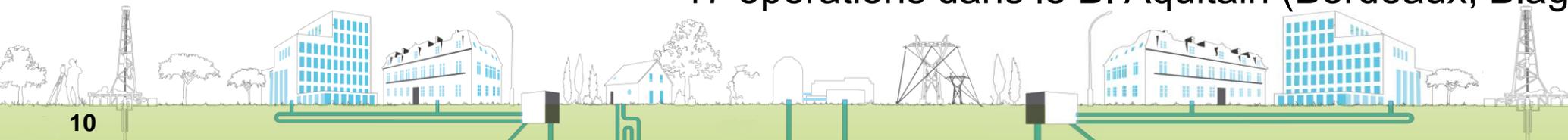
- Aquifères (sable, grès, calcaire) situés entre 400 et 2 500 m
- Gradient géothermique normal (30°/km)
- Ressource de moyenne température (30 à 80°C)

Exemples :

- 57 doublets dans le B. Parisien (Villefuf, Arcueil, La Courneuve...)
- 17 opérations dans le B. Aquitain (Bordeaux, Blagnac...)



©BRGM



# La géothermie profonde

## (2) Volcanisme actuel ou récent

### Caractéristiques :

- Proximité avec des volcans actifs
- Volcanisme récent
- Ressource de très haute température (150 à 300°C)

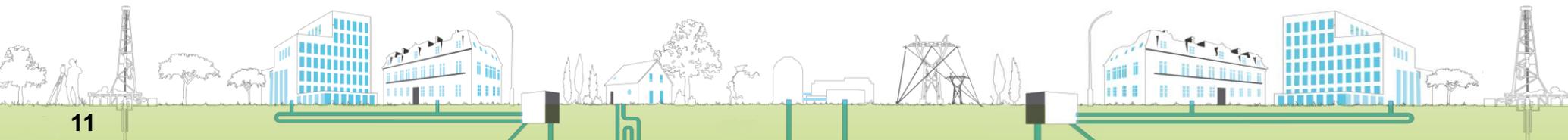
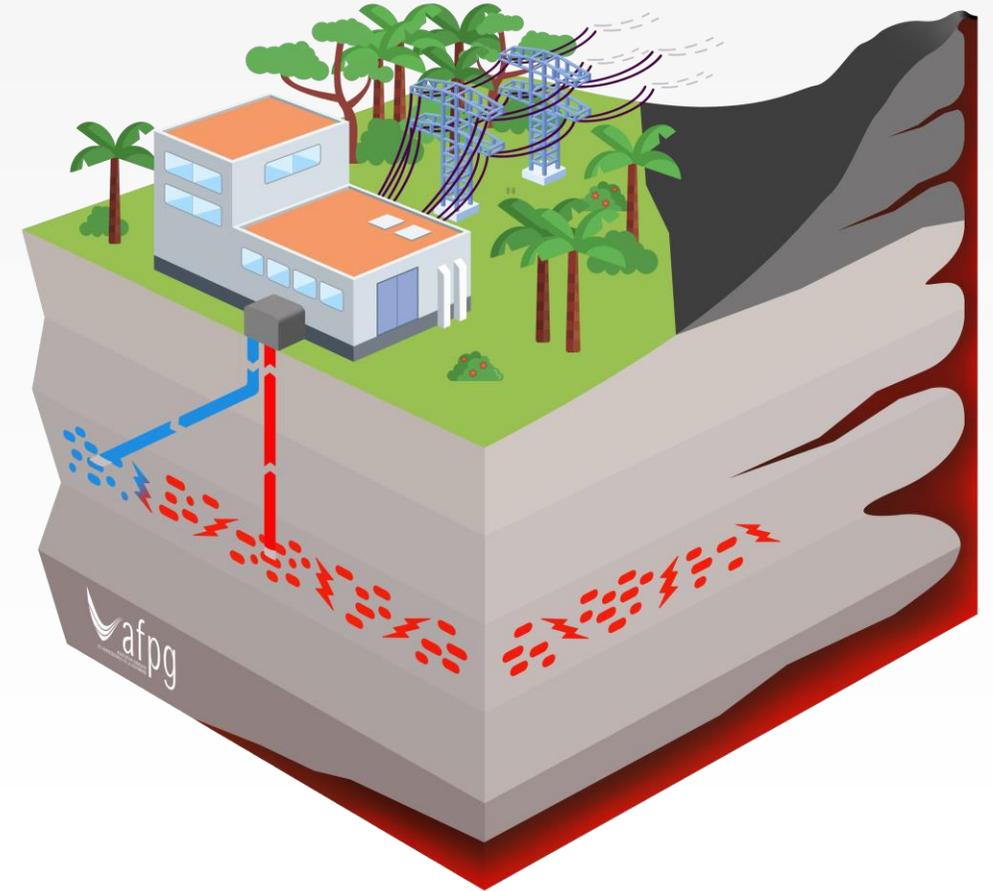
### Utilisations :

- Réseaux de chaleur urbains
- Production d'électricité
- Industries

### Exemples :

- Bouillante (Guadeloupe)
- Permis de recherche dans le Massif Central

GÉOTHERMIE  
LA PRODUCTION  
D'ÉLECTRICITÉ  
EN CONTEXTE  
**VOLCANIQUE**



# La géothermie profonde

## (3) Socle naturellement fracturé

Utilisations :

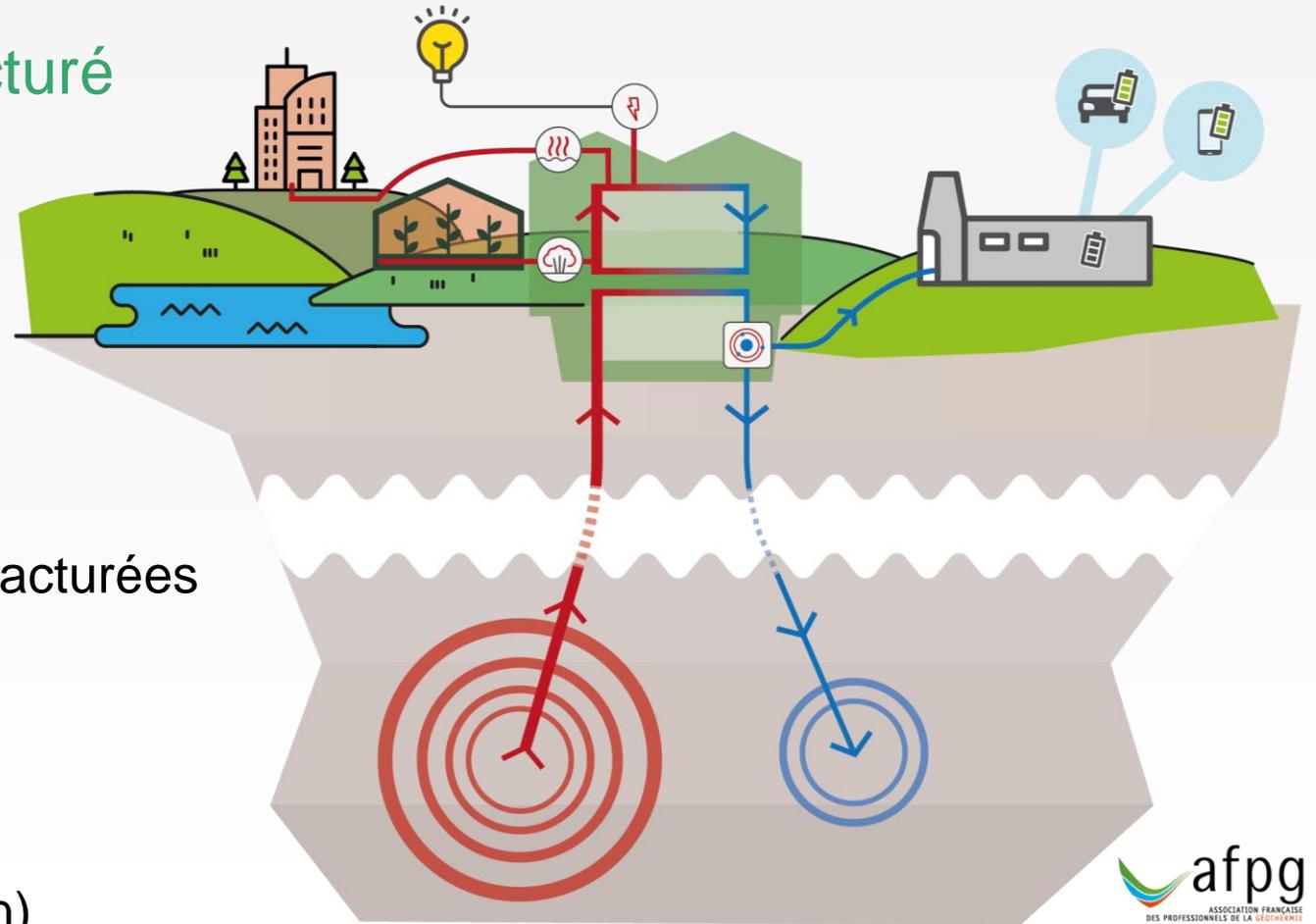
- Electricité
- Industries
- Réseaux de chaleur urbains
- Lithium

Caractéristiques :

- Roches magmatiques naturellement fracturées
- Grande profondeur
- Très haute température (150 à 200°C)

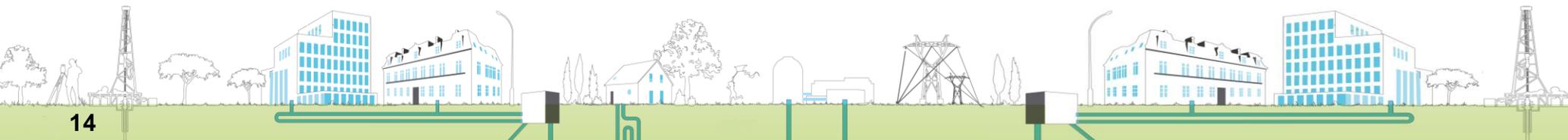
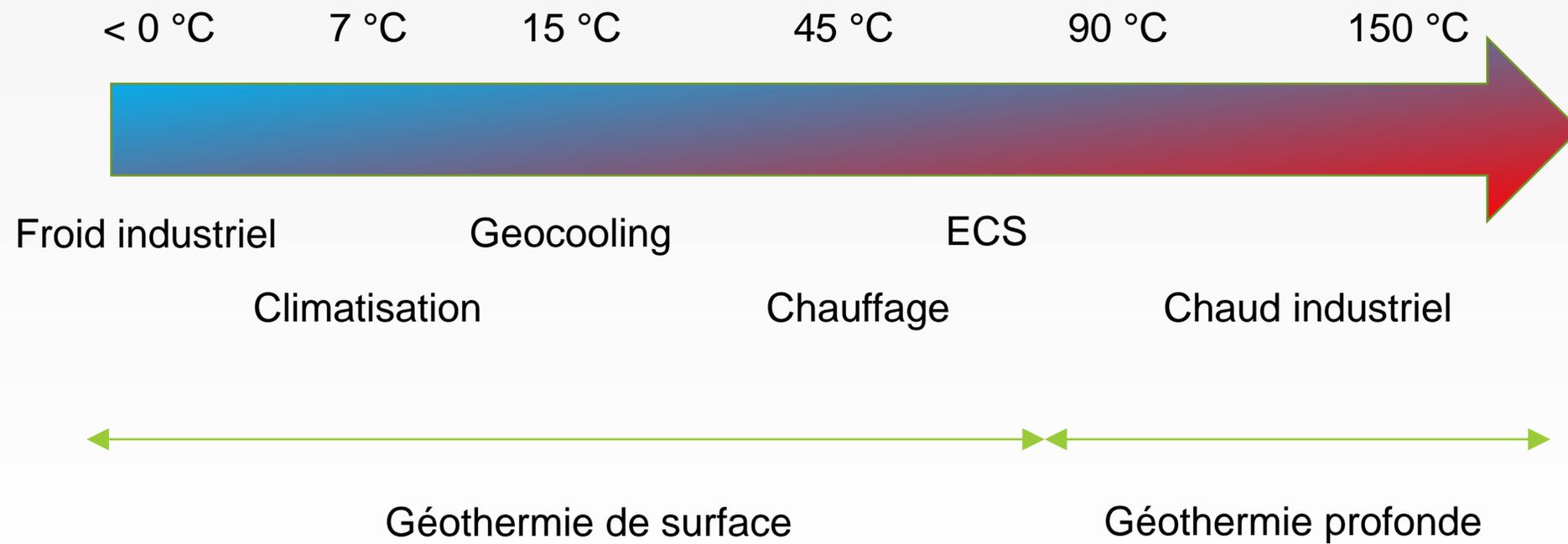
Exemples :

- 2 centrales en fonctionnement  
(Soultz-sous-Forêts, Rittershoffen)
- D'autres projets en études



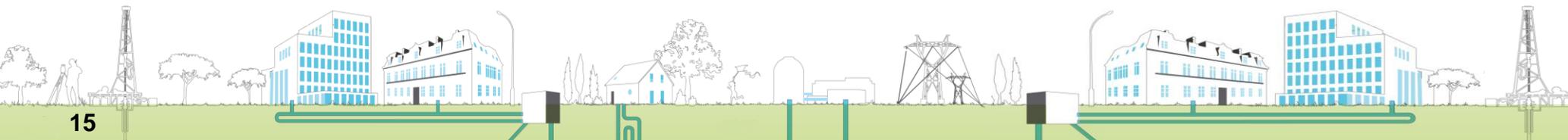


# Température : connaître les besoins du site



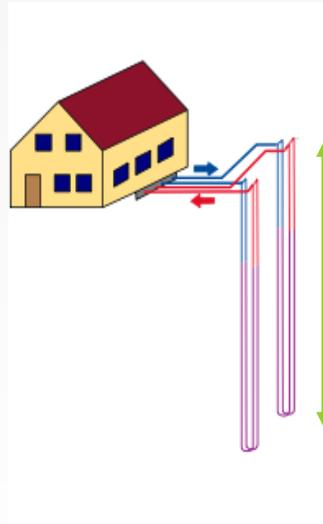
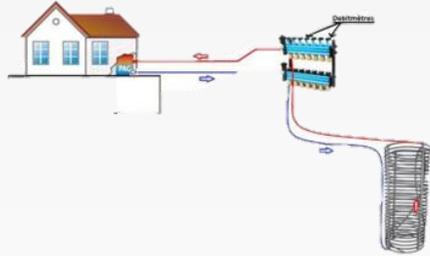
# Agenda

- Température : géothermie de surface et géothermie profonde
- Echangeurs : système fermé et système ouvert
- Aspects réglementaires
- Autres éléments

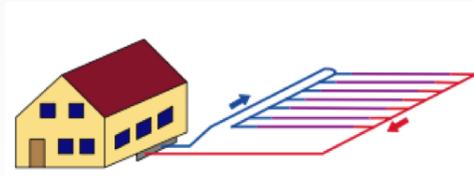


# Les géothermies : échangeurs

## Systèmes fermés

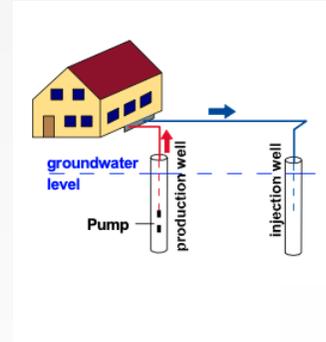


~ 150 m

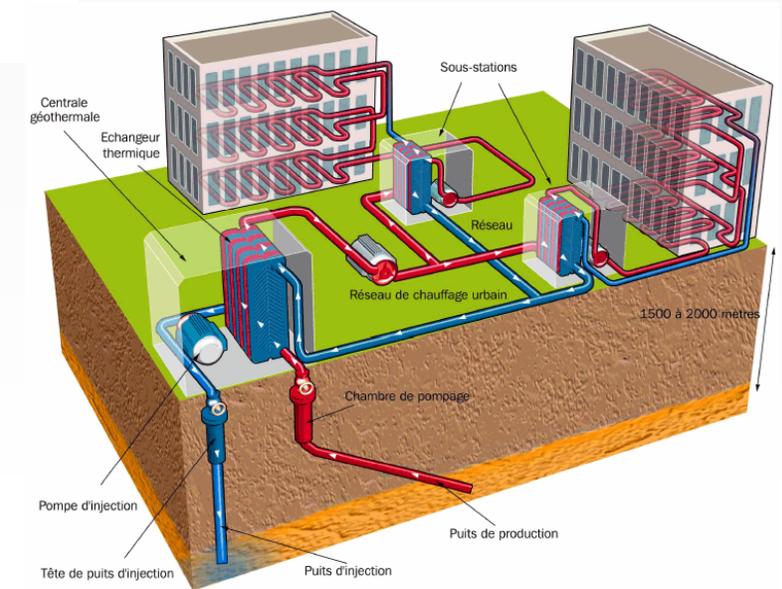


~ 1 m

## Systèmes ouverts



~ 20 à 200 m



# Echangeurs « ouverts »

De l'eau tiède est susceptible d'être présente naturellement dans l'environnement (sous-sol ou surface).

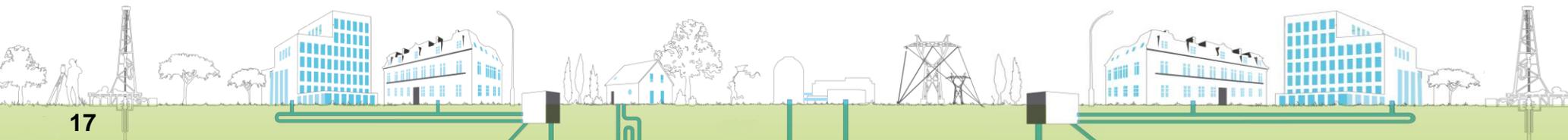
Un **forage** est réalisé pour pomper la ressource jusque la surface.

En géothermie de surface, une **pompe à chaleur** permet l'échange de calories avec le bâtiment.

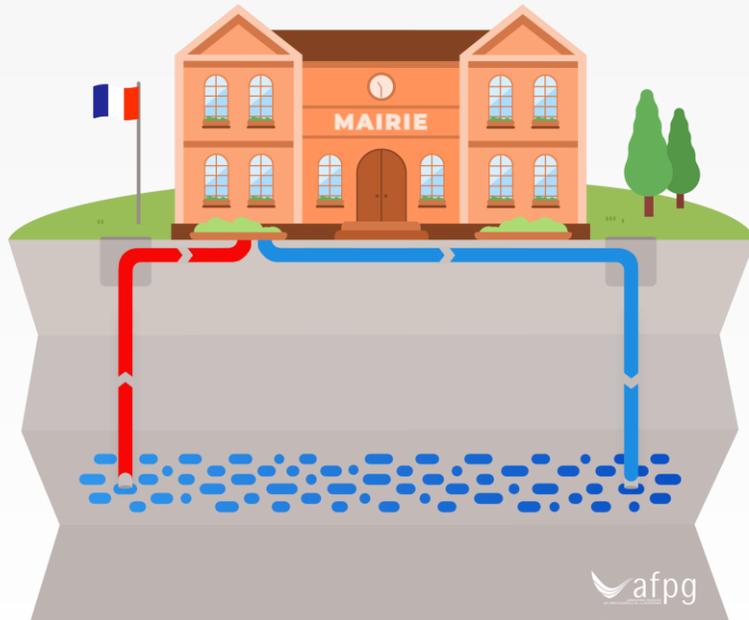
L'eau est réinjectée dans un autre **forage**, dans le milieu naturel d'origine.

Ainsi, la ressource est **préservée** et l'eau réinjectée se réchauffe au contact du sol plus chaud.

=> Cette ressource en eau doit être **accessible** au droit du besoin (énergie locale).



# Echangeurs « ouverts »



- Nécessite la présence d'une roche aquifère contenant de l'eau sous le(s) bâtiment(s).
- Différents critères de la ressource doivent être étudiés : débit, température, qualité, ...
- L'intégralité de l'eau pompée par un premier forage est réinjectée dans le même aquifère, quelques mètres plus loin dans un second forage (= doublet de forages).
- Entretien nécessaire pour éviter que les forages ne se bouchent.
- Particulièrement adaptée aux installations moyennes à grandes (peu adaptée aux particulier).

# Echangeurs « fermés »

Le proche sous-sol a l'avantage d'avoir une température **constante** toute l'année.

Le principe est alors de faire circuler un fluide dans un tuyau enterré.

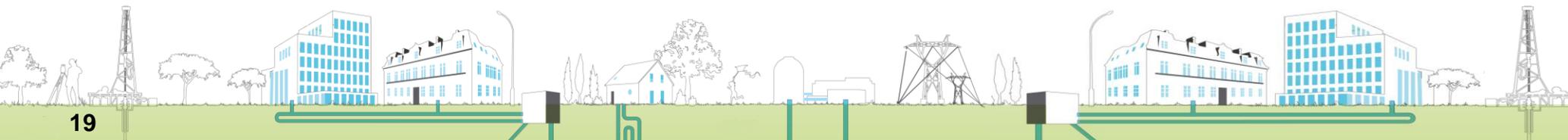
Le fluide récupère des calories dans le sol et devient tiède.

La **pompe à chaleur** permet l'échange de calories avec le bâtiment.

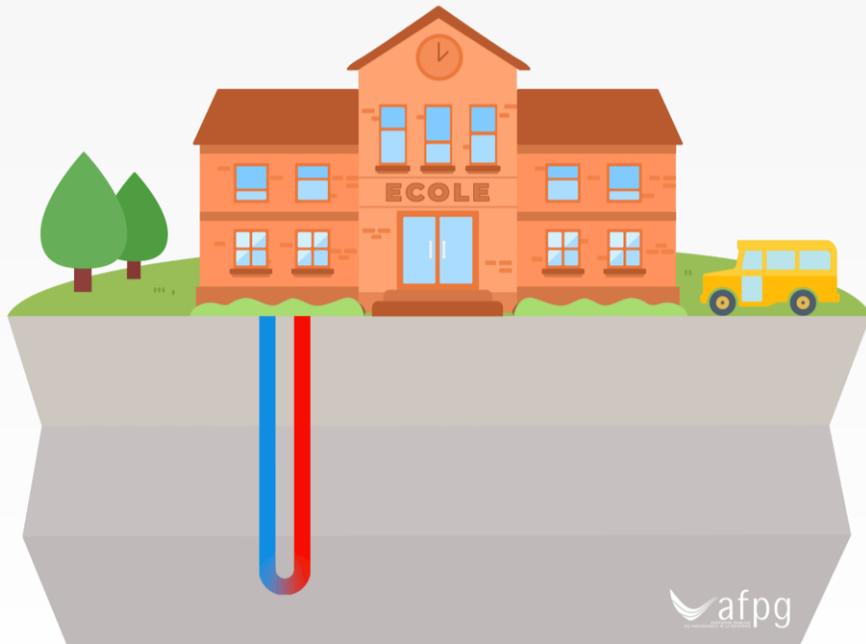
L'eau refroidie continue sa circulation dans le même tuyau enterré.

Ainsi, le fluide circule en **circuit fermé** dans son tuyau enterré.

=> Ce type de géothermie peut être réalisé n'importe où sur le territoire.



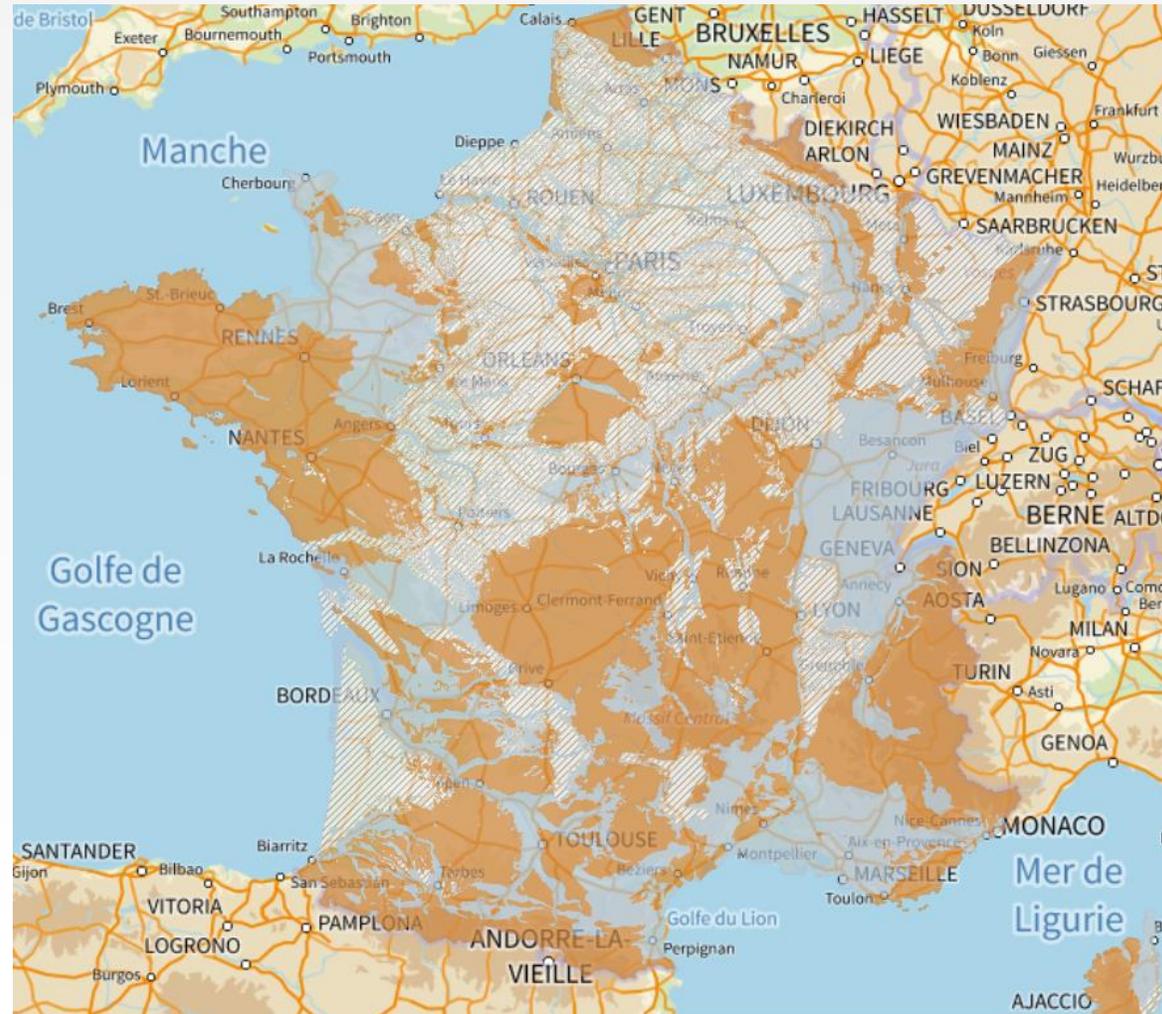
# Echangeurs « fermés »



- Réalisable n'importe où et applicable à tous les projets !
- Un ou plusieurs forages sont réalisés (selon les besoins).
- Un tuyau y est inséré avant que l'ouvrage soit cimenté sur toute la hauteur.
- De l'eau glycolée circule dans le tuyau, récupère des calories, puis les échange avec le bâtiment par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur. L'eau glycolée continue sa boucle en retournant sous terre pour se recharger en calories.
- La durée de vie d'une sonde est très importante (50 à 100 ans)

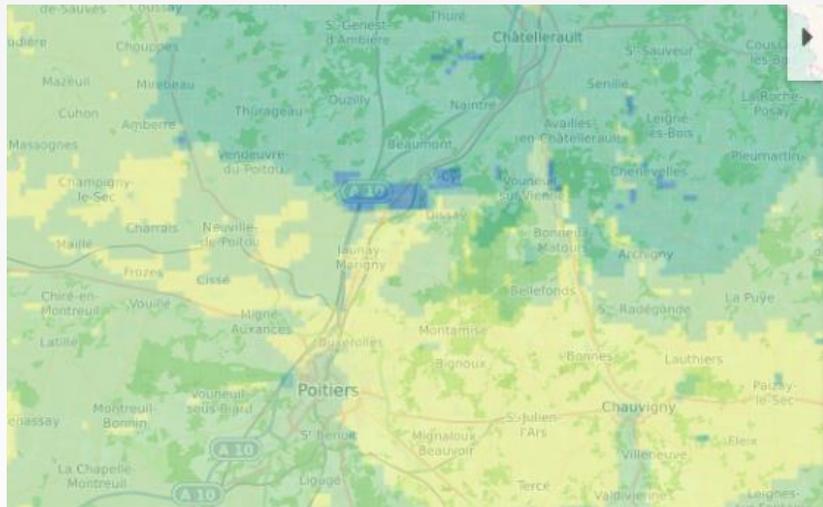
# Echangeurs : connaître la géologie du site

Etat de la roche affleurante



Source :  
[bdlisa.eaufrance.fr](http://bdlisa.eaufrance.fr)

# Echangeurs : connaître la géologie du site pour estimer la productivité

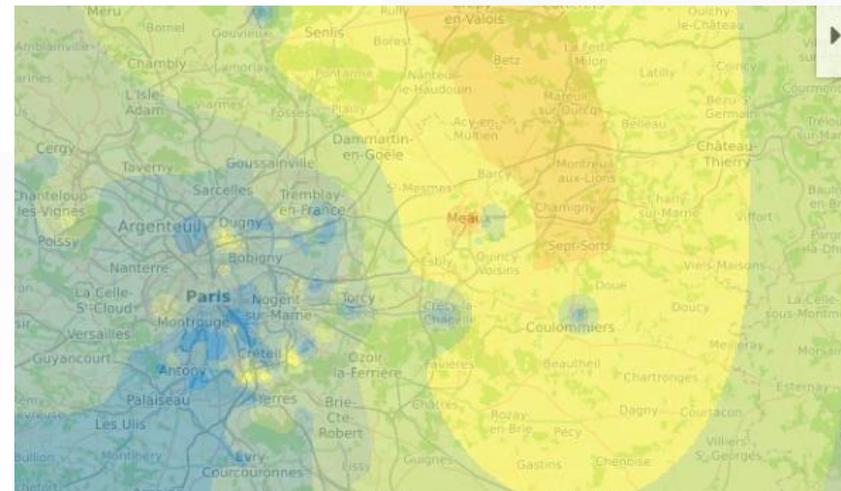


Conductivité thermique moyennée du sous-sol de 0 à 100 m de profondeur en W/(K.m) pour les sondes géothermiques verticales (échangeur fermé) en Poitou-Charentes



En première approche, des éléments sont disponibles sur :

<https://www.geothermies.fr/viewer/>



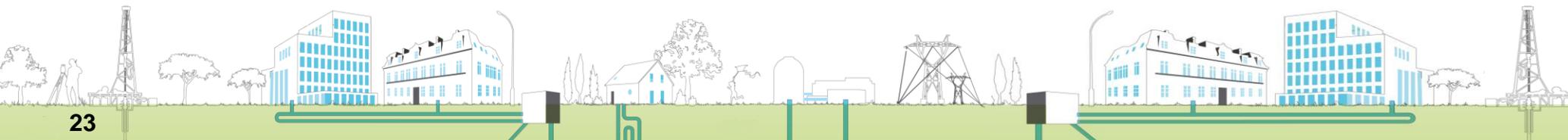
Dogger : Epaisseur cumulée productive (en m)



Ensuite :  
contactez votre expert sous-sol préféré !

# Agenda

- Température : géothermie de surface et géothermie profonde
- Echangeurs : système fermé et système ouvert
- Aspects réglementaires
- Autres éléments



# Réglementation – Géothermie de Minime Importance

## Une réglementation géothermique pour les ouvrages peu profonds et à faible température

La GMI est un type de géothermie que l'on qualifie de basse température et faible profondeur. Il s'agit généralement du type de géothermie utilisé dans la majorité des projets thermiques car il permet d'en limiter les démarches.



### Les caractéristiques de la GMI

#### Echangeurs géothermiques sur boucle fermée (BTES)

- La profondeur du forage est inférieure à **200 m**
- La puissance thermique maximale est inférieure à **500 kW**
- La température de l'eau dans le BTES doit être entre **-3 et 40 °C**
- La longueur totale du BTES ne doit pas excéder **10 000 m**

#### Echangeurs géothermiques sur boucle ouverte (Echange avec une nappe d'eau)

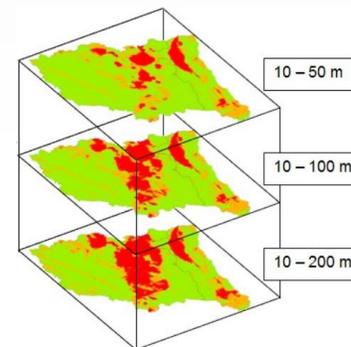
- La profondeur du forage est inférieure à **200 m**
- La puissance thermique maximale est inférieure à **500 kW**
- La température de l'eau prélevée est inférieure à **25 °C**
- Les eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes prélevés et réinjectés doit être nulle
- Les débits pompés prélevés doivent être inférieurs à **80 m<sup>3</sup>/h**



### Les zones réglementaires GMI

Une zone géographique est classée selon la profondeur des sondes et du type de géothermie en 3 catégories :

De 0 à 50m	De 50 à 100m	De 100 à 200m
<b>Vert</b>	Forage possible sans autorisation particulière	
<b>Orange</b>	Forage possible avec attestation d'un expert	
<b>Rouge</b>	Demande d'autorisation nécessaire	



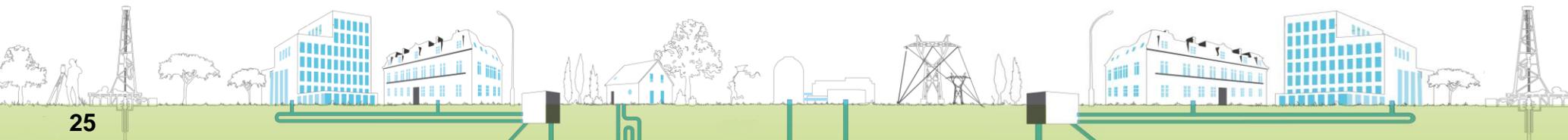
Exemple de carte en fonction de la profondeur

Il est possible de consulter la réglementation du site sur



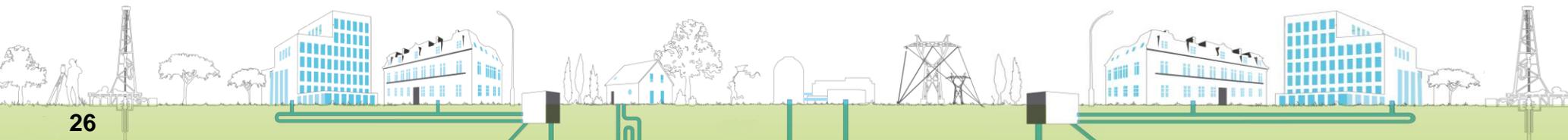
# Agenda

- Température : géothermie de surface et géothermie profonde
- Echangeurs : système fermé et système ouvert
- Aspects réglementaires
- **Autres éléments**



# Autres éléments à prendre en compte

- Il faut de la place pour forer !
  - 150 m<sup>2</sup> pour un forage sur nappe superficielle + distance entre puits (100 – 200 m)
  - X \* (50 à 100) m<sup>2</sup> pour un champ de sondes géothermiques (X étant le nombre de sondes) : 2 000 à 10 000 m<sup>2</sup>
  - 500 m<sup>2</sup> pour un forage profond
- Une meilleure rentabilité quand les besoins sont importants et équilibrés (dans la durée, chauff/froid)
- Une petite ingénierie financière (calcul de coût global, subvention Fonds Chaleur, ADEME, CEE,...)
- Une forte volonté de décarboner et de maîtriser les charges



<http://www.afpg.asso.fr/>

<http://www.afpg.asso.fr/les-adherents/>

# Merci de votre attention

Quentin Barral

[quentin.barral@accenta.ai](mailto:quentin.barral@accenta.ai)

# La géothermie de surface

## ➤ Les avantages

- Production de **chaud** et de **froid** tout en évitant le phénomène d'îlots de chaleur
- Possibilité de **géocooling** (rafraîchissement sans consommer d'énergie)
- Energie **durable** et **renouvelable**
- Disponible **sur tout le territoire**
- Disponible **365j/an, 24h/24**
- Energie **propre, non émettrice de CO2**
- Energie **locale**
- **Discrète** (invisible et silencieuse)
- **Compétitivité** (indépendant des variations du coût des énergies fossiles).
- **Stabilité** et **fiabilité**

