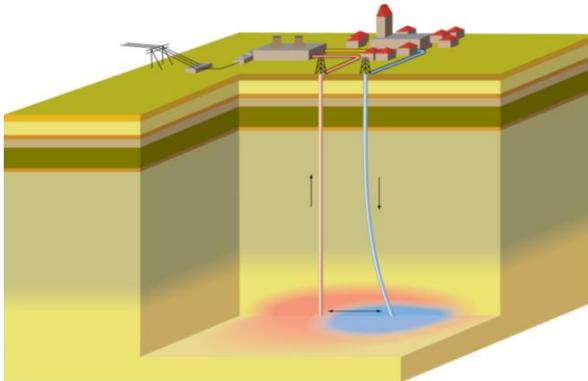




Les différents types de géothermie



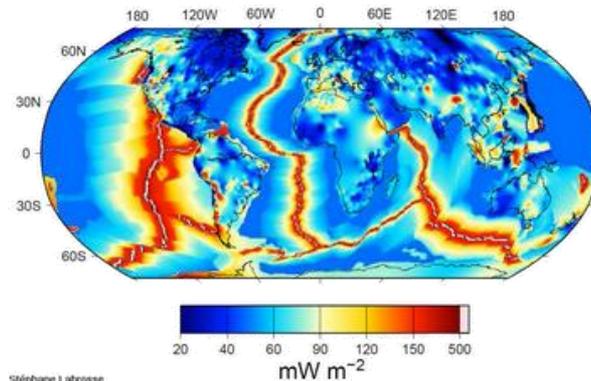


Définition : Qu'est ce que la géothermie?

L'utilisation de la chaleur générée par la Terre pour le chauffage ou la production d'électricité :

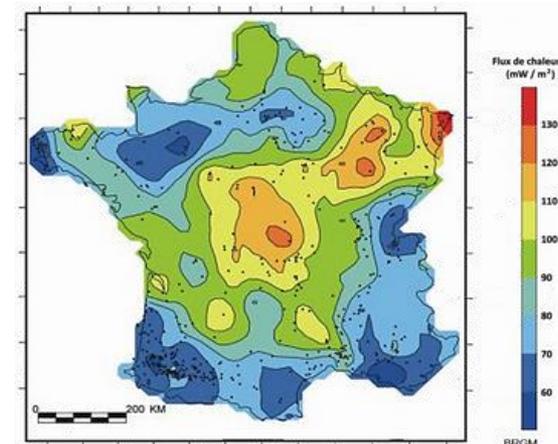
- 40 à 100mW/m² en Haut-de-France.
- La température augmente avec la profondeur. Le gradient géothermique moyen (qui donne l'augmentation de température en fonction de la profondeur) est de 30°C/Km, mais cette valeur est susceptible de varier selon le contexte local.

Figure 4. Carte du flux thermique mondial



Droits réservés - © 2014 Jean-Claude Mareschal

Figure 5. Carte du flux thermique en France métropolitaine, réalisée en 1989



Droits réservés - © 1989 BRGM - SIG Mines France,

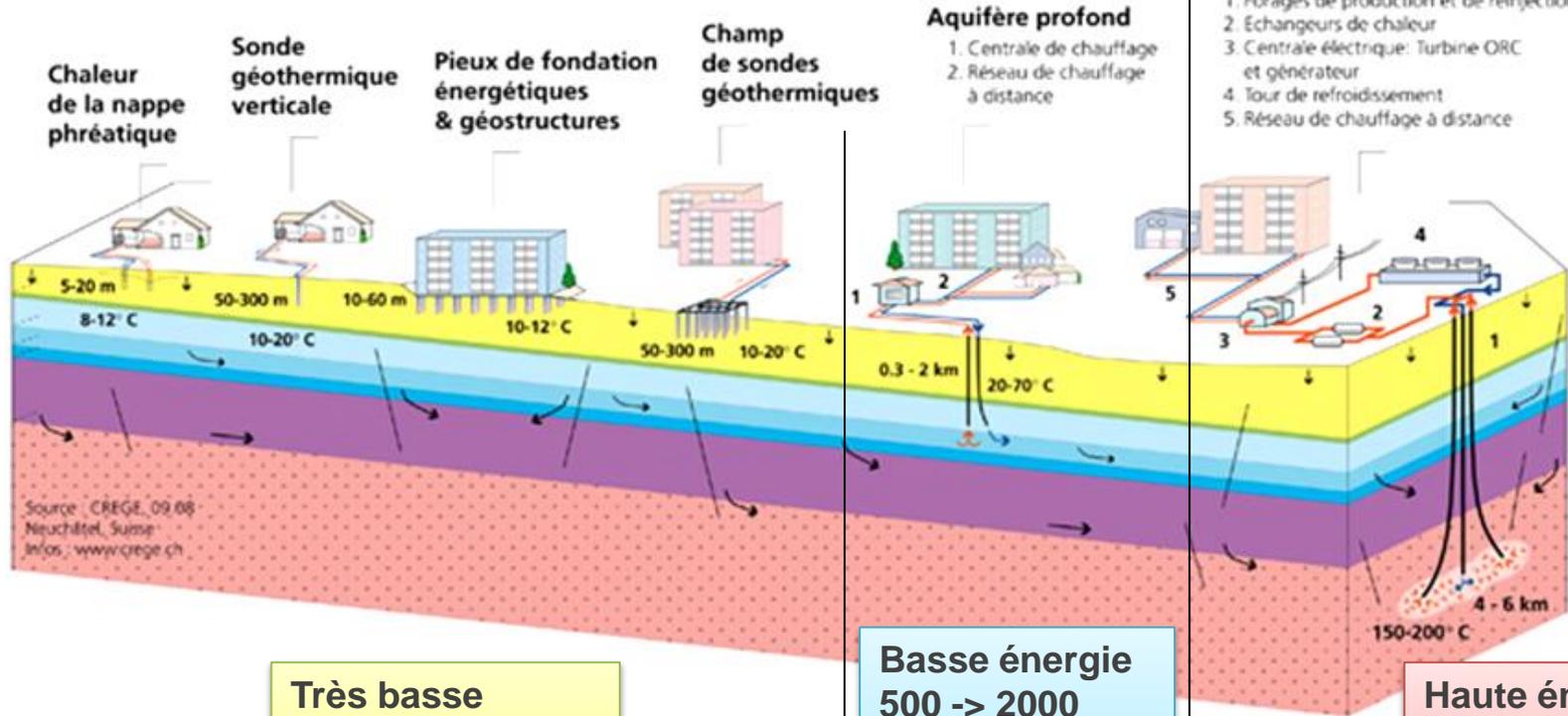


Définition : Qu'est ce que la géothermie?

L'utilisation de l'énergie accumulée dans la terre :

- Qu'elle soit stockée dans l'eau des aquifères ou directement dans les terrains, pour l'amener à la surface. En surface, elle est souvent issue des eaux d'infiltration.
- La température est constante à partir de 10 mètres. A 10 mètres, environ la température annuelle moyenne (infiltrations).





Géothermie de grande profondeur

1. Forages de production et de réinjection
2. Echangeurs de chaleur
3. Centrale électrique: Turbine ORC et générateur
4. Tour de refroidissement
5. Réseau de chauffage à distance

Très basse énergie
 0 -> 500 mètres
 $T < 30^\circ$

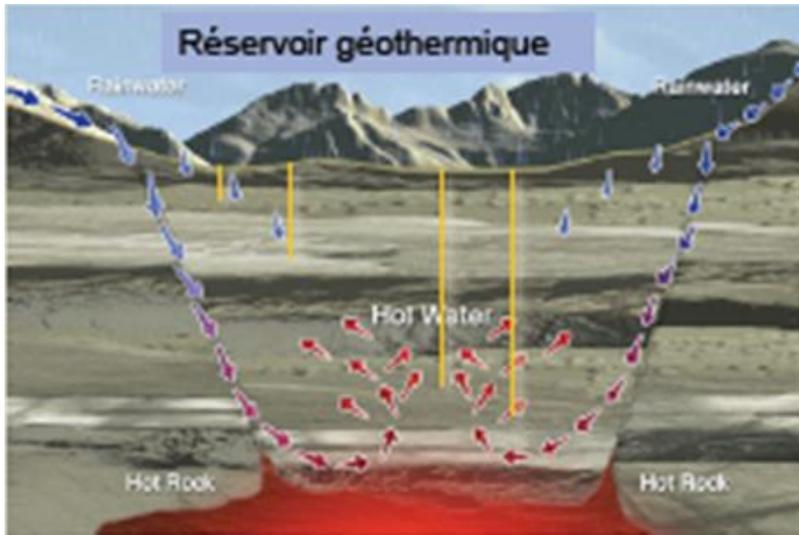
Basse énergie
 500 -> 2000 mètres
 $30^\circ < T < 90^\circ$
 4 - 10 M€

Haute énergie
 ≤ 5000 mètres
 $T > 150^\circ$
 8 - 25 M€



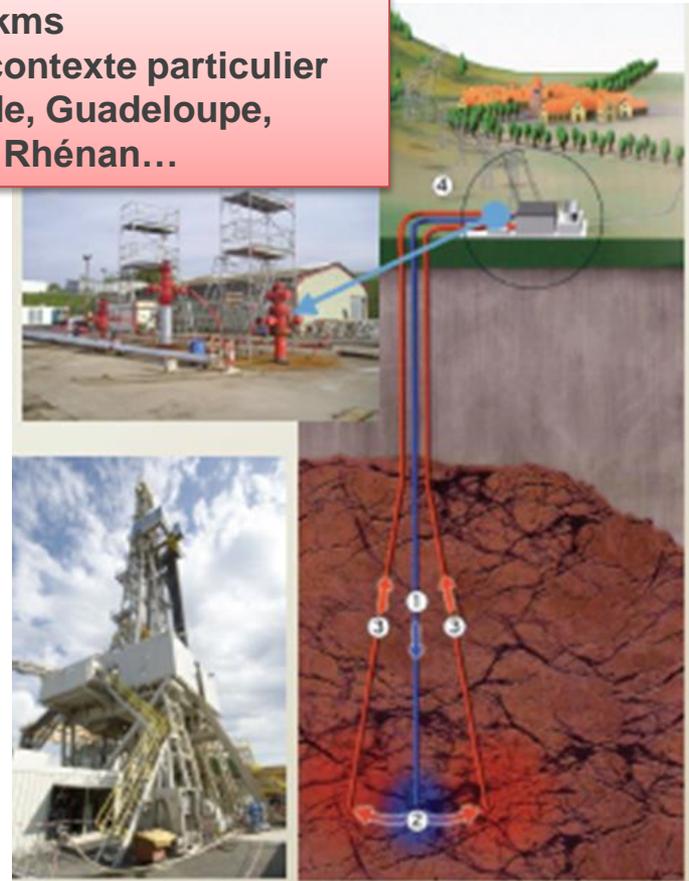
Qu'est ce que la géothermie?

La géothermie haute énergie : Production d'électricité



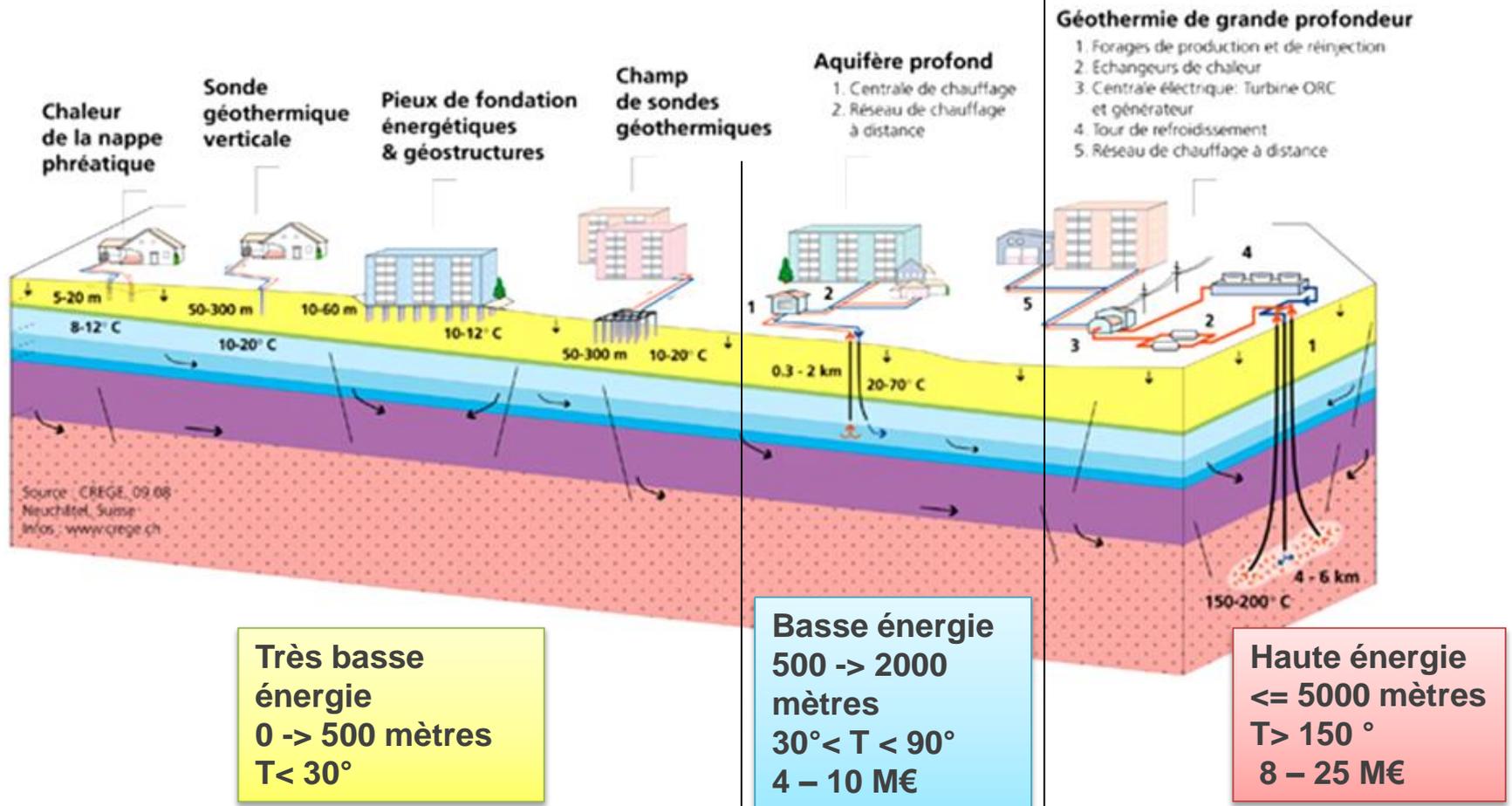
3 à 5 kms
sauf contexte particulier
Islande, Guadeloupe,
fossé Rhénan...

Potentiel d'énergie libérée
Exemple: bloc de granite de 1 km³ refroidi
de 200 à 180°C
= 10 MW électriques pendant 20 ans.
= Energie électrique de 10'000 habitants.
= Equivalent annuel de chauffage de
350'000 logements.





Qu'est ce que la géothermie?

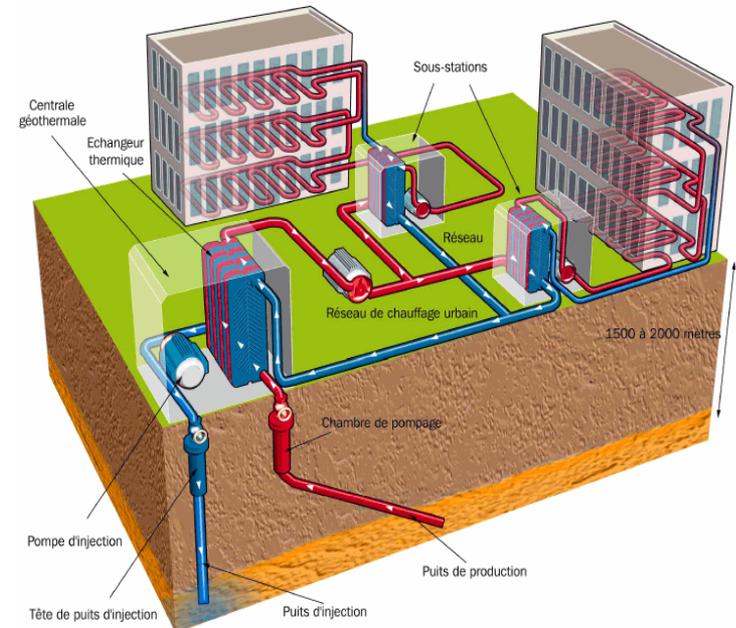




La géothermie basse énergie

- 12 000 logements franciliens chauffés par la géothermie (1800 mètres).
- Objectif de passer à 500 000.
- 100 projets de géothermie profonde en Hollande pour chauffer les serres.

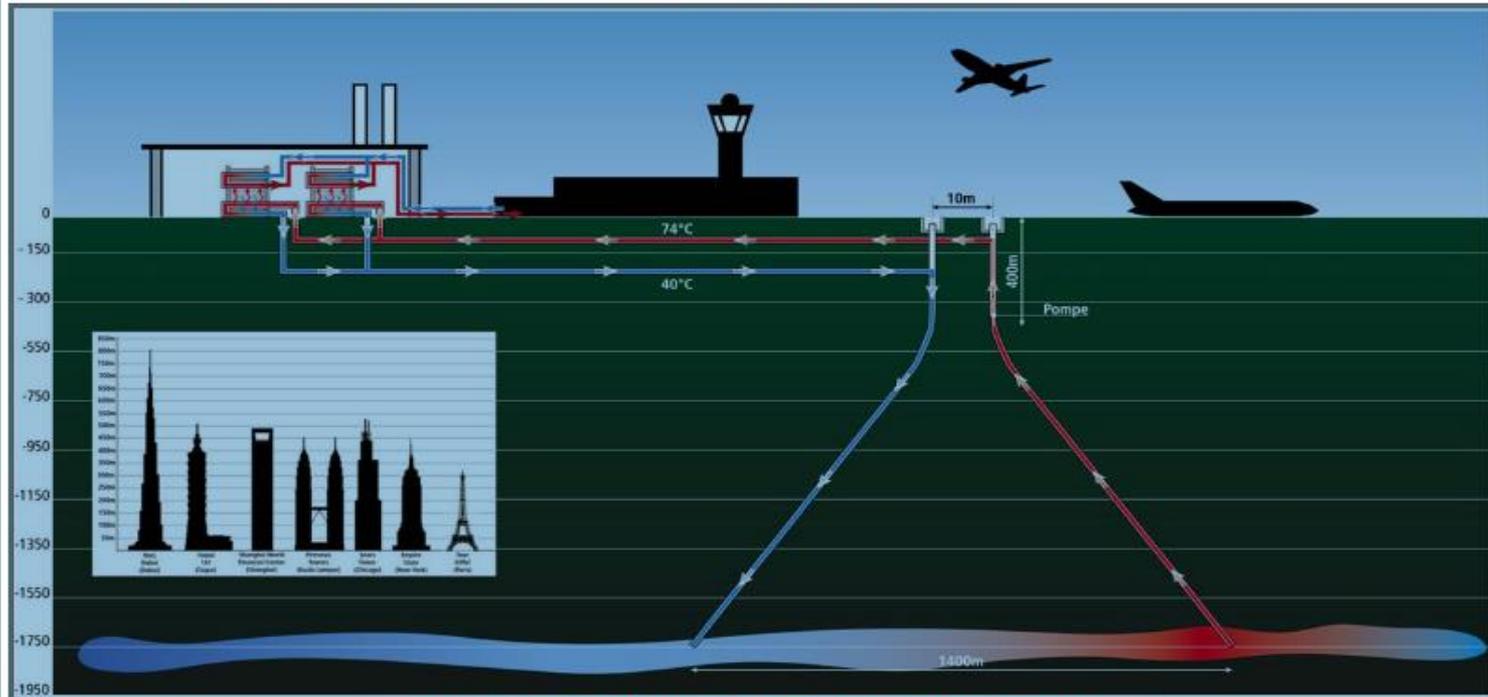
Pour un groupe de bâtiments



Réseau de chaleur / froid



Une opération typique : ADP Orly (2007)



Caractéristiques techniques attendues

Température : 74°C - Débit : 250 à 300 m³/h

Puissance 10 MW - 45 000 MWh/an

soit 5000 équivalents-logements

Economie de 10 000 t CO₂/an

Coût des travaux sous-sol: 9 M€ tout inclus



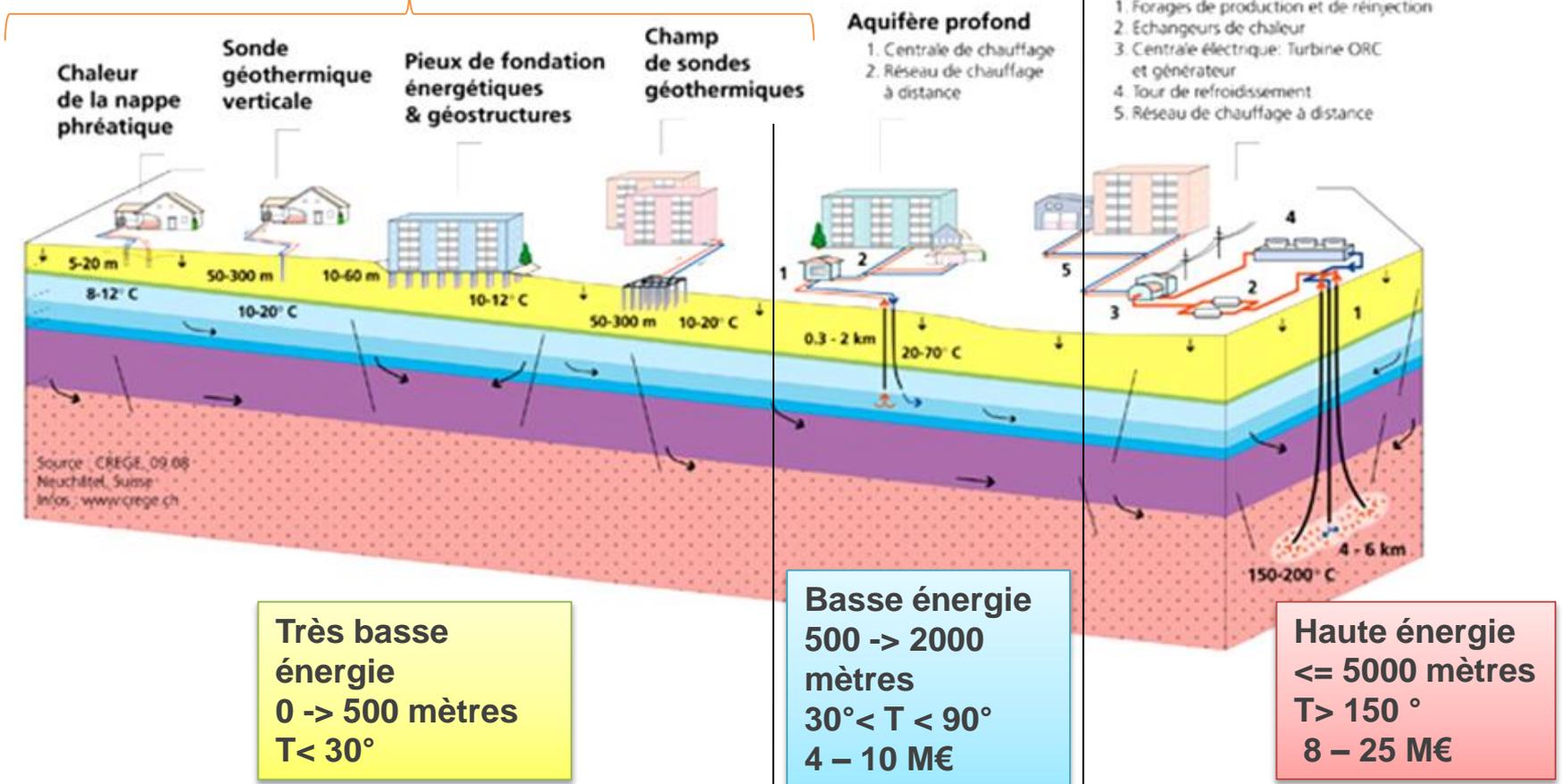
Géosciences pour une Terre durable

brgm



Géothermie superficielle

Géothermie de grande profondeur



Très basse énergie
0 -> 500 mètres
 $T < 30^\circ$

Basse énergie
500 -> 2000 mètres
 $30^\circ < T < 90^\circ$
4 - 10 M€

Haute énergie
 ≤ 5000 mètres
 $T > 150^\circ$
8 - 25 M€



Identification des ressources exploitables

- Captage sur aquifère: boucle ouverte

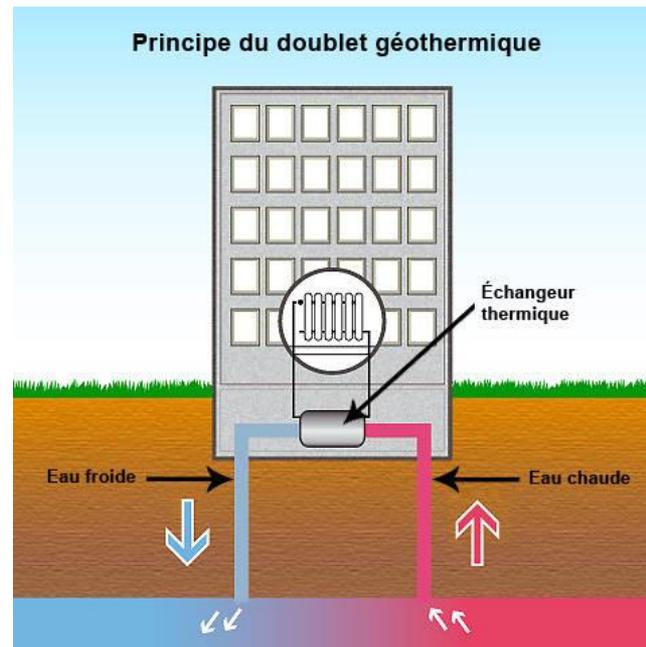
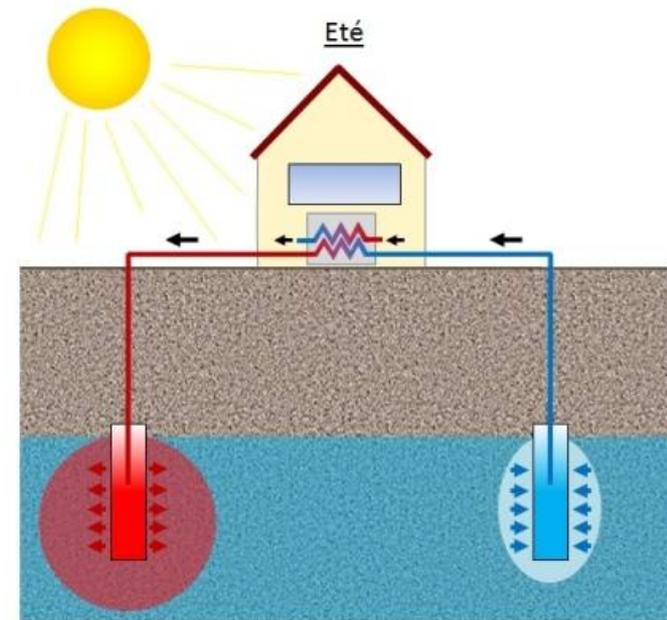
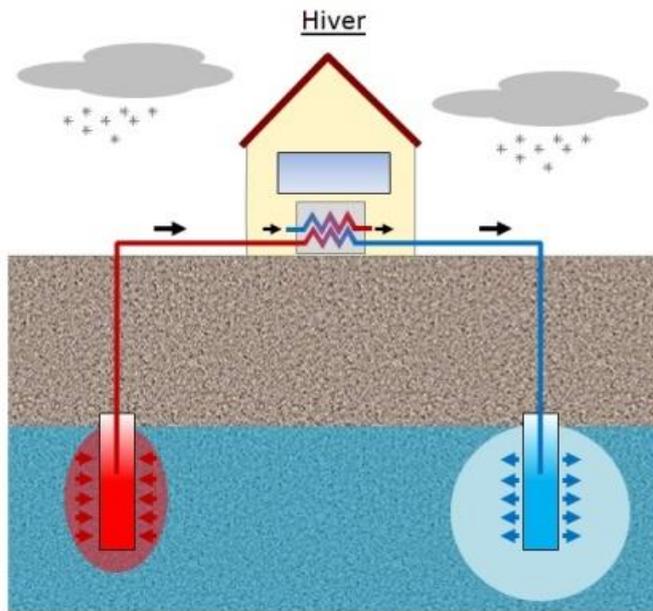


Schéma de principe d'un captage sur nappe phréatique



Identification des ressources exploitables



Fonctionnement possible dans les deux sens : chaud et froid



- https://www.youtube.com/watch?v=5S8v-Jcp_SM
- 3:33 à 5:39

afpg
Association Française des Professionnels de la Géothermie

**Nappe
Aquifère**

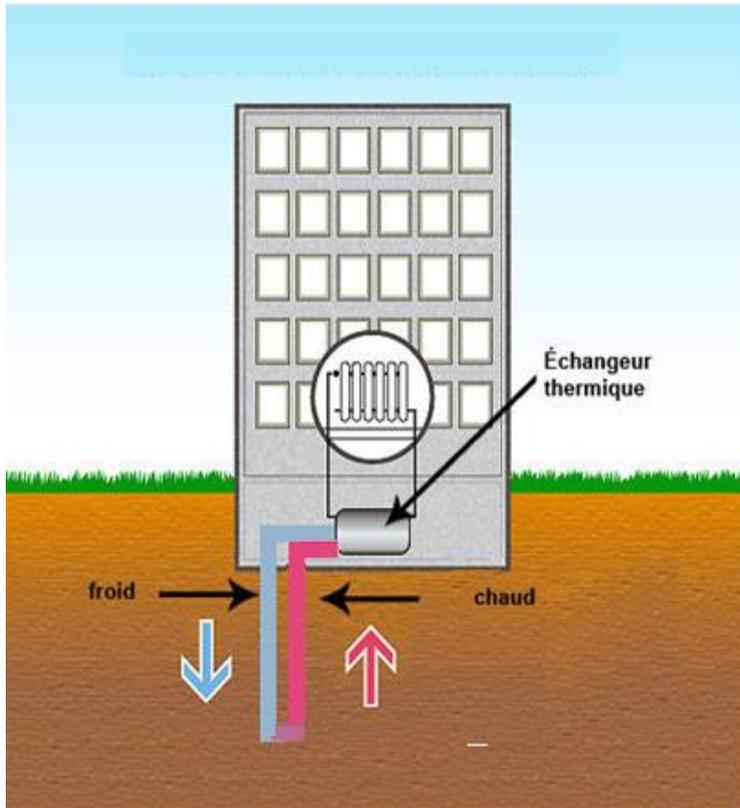
Résidentiel & tertiaire

Eau chaude sanitaire

Chauffer & Refroidir



La géothermie sur boucle fermée



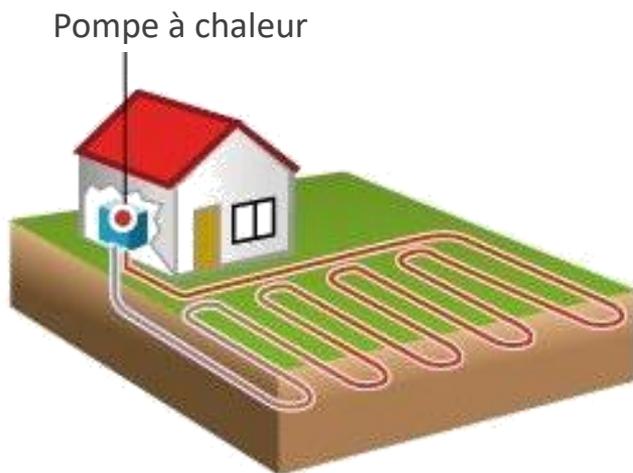
captage sur sondes géothermiques

- Captages horizontaux
- Sondes et champs de sondes
- Fondations géothermiques

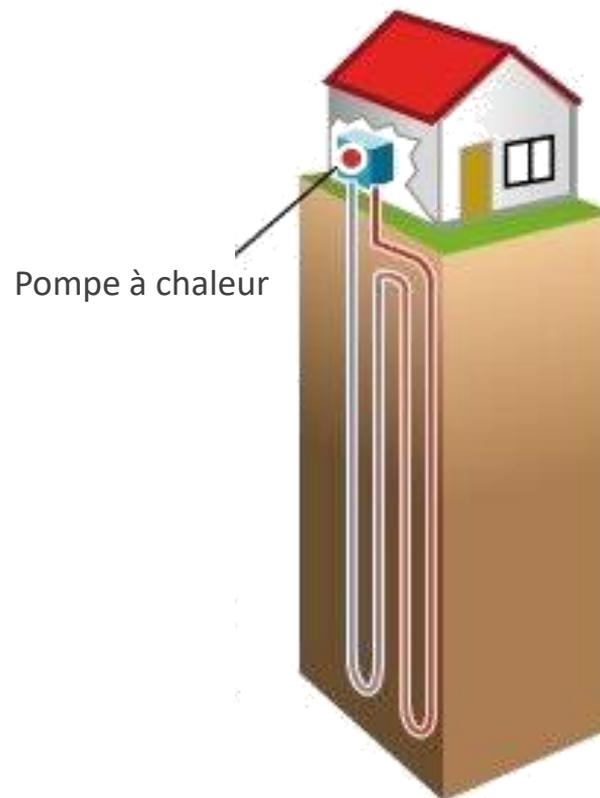


Pour le logement individuel

captage horizontal



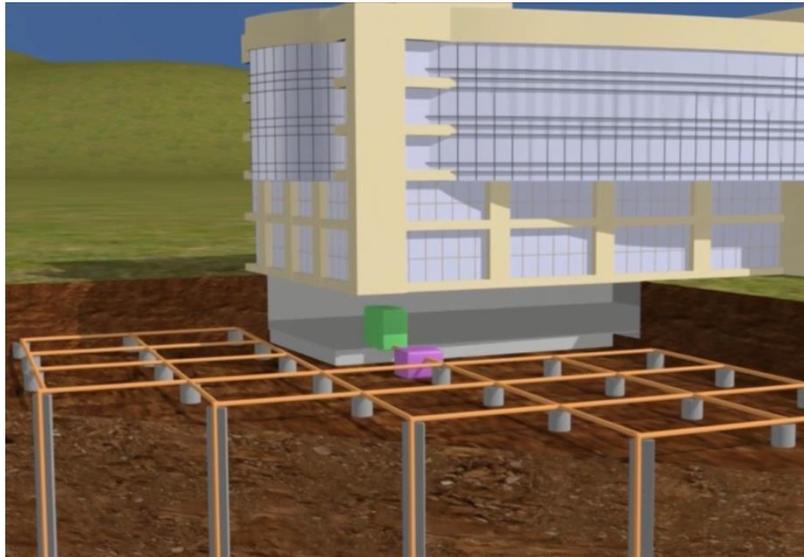
sondes géothermiques (captage vertical)





Pour le collectif et le tertiaire

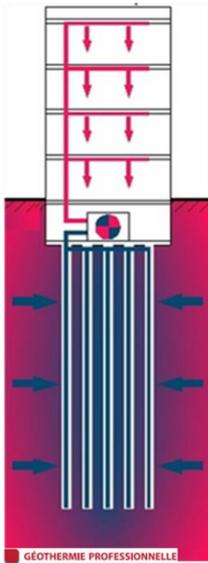
Les champs de sondes géothermiques



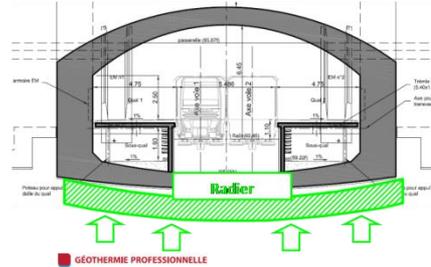


Les géostructures ou fondations thermoactives (FTA)

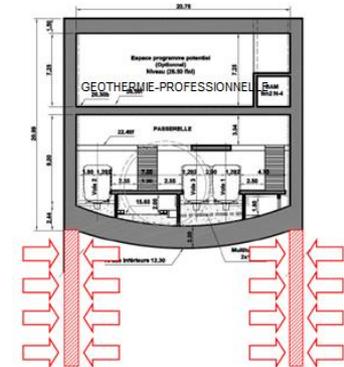
Captage sur pieux



Captage sur radier



Captage parois moulées





- https://www.youtube.com/watch?v=5S8v-Jcp_SM
- 0:40 à 3:30

afpg
Association Française des Professionnels de la Géothermie

Sonde Géothermique

Eau chaude sanitaire

Résidentiel & tertiaire

Chauffer & Refroidir



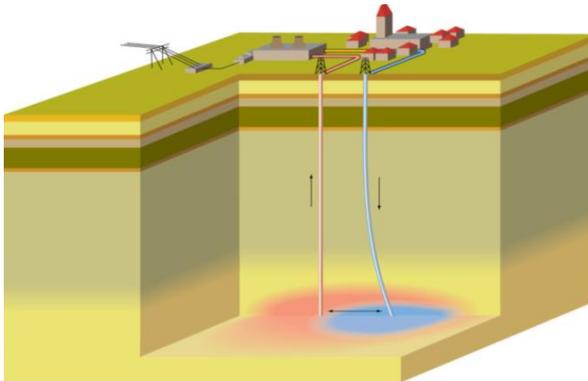
Conclusion générale systèmes ouverts (nappe) et fermés (sondes, FTA)

- Des démarches administratives simplifiées
- Quasiment toujours une possibilité de réaliser de la géothermie,
- Des performances remarquables (jusque 60 pour 1 en free-cooling) pour les labels les plus exigeants :
 - Bâtiments énergie positive (BPOS),
 - Intégration de quote-part Enr dans les bâtiments.





Le contexte réglementaire





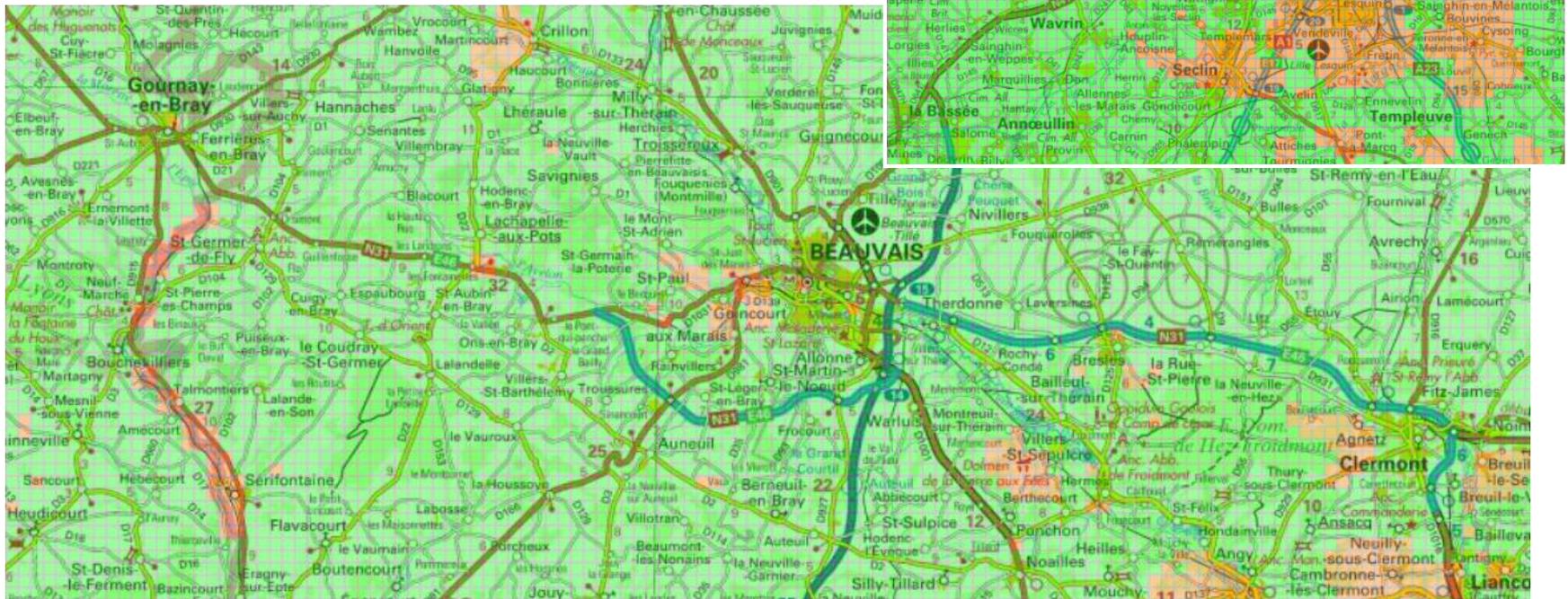
Les zones verte, orange, rouge

- Une cartographie nationale a été établie afin d'identifier les zones pouvant présenter un risque pour la réalisation d'installations de géothermie (artésianisme, gonflement, cavités, stockage...)
 - **Vert** : RAS => Simple télédéclaration,
 - **Orange** : Opération possible sous réserve d'un avis d'expert,
 - **Rouge** : Nécessité d'établir un dossier d'autorisation.
- Dossier d'autorisation = étude d'impact + enquête publique
=> 8 à 12 mois.



Les zones verte, orange, rouge

Consultable sur internet : [site geothermie-perspective](http://site.geothermie-perspective.com)





Les nouveaux décrets 2015 : Simplification administrative

Les échangeurs géothermiques sur boucle fermée qui répondent aux critères cumulatifs suivant :

- ⇒ La **profondeur** du forage est inférieure à 200 m ;
- ⇒ La **puissance thermique** maximale est inférieure à 500kW ;
- ⇒ **zone** verte. Zone orange avec avis d'expert.



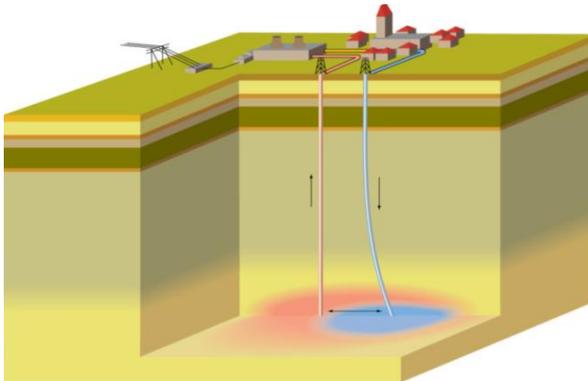
Les nouveaux décrets 2015 : Simplification administrative

Les échangeurs géothermiques sur boucle ouverte qui répondent aux critères cumulatifs suivants :

- ⇒ La profondeur du forage est inférieure à 200 m ;
- ⇒ La puissance thermique maximale est inférieure à 500kW ;
- ⇒ 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 m³/h.
- ⇒ zone verte. Zone orange avec avis d'expert.



Conduite de projet

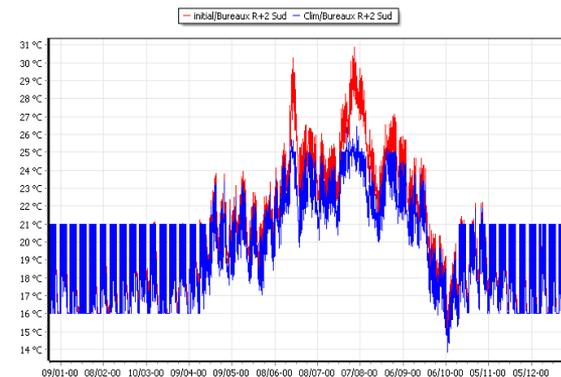
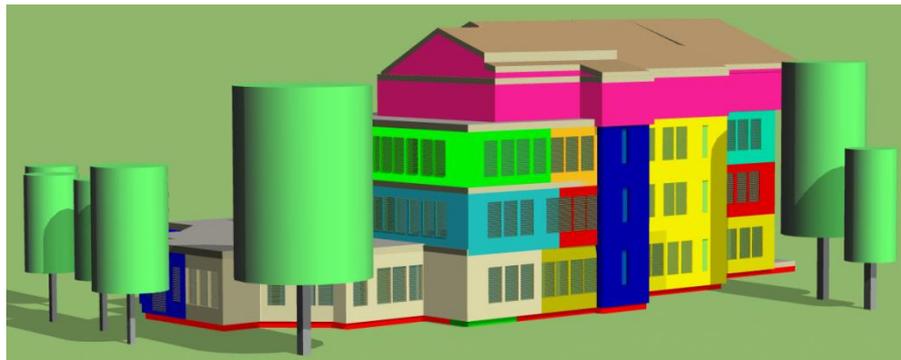




Les étapes de conception : le choix du type de géothermie

1. Etude des besoins (APS)

- Besoins en chauffage et refroidissement.
- Typologie des besoins (chaud, froid, chaud + froid).
- Objectifs du projet : Niveau de performance (RT, BEPOS, BEPAS, construction seule (promoteur) ou construction/exploitation (bailleur social)...

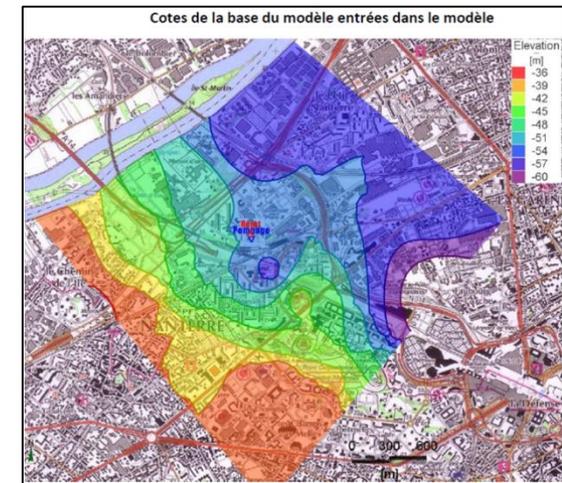


Simulation thermique dynamique de l'URSSAF de Beauvais



2. Etude des ressources exploitables (APS/APD)

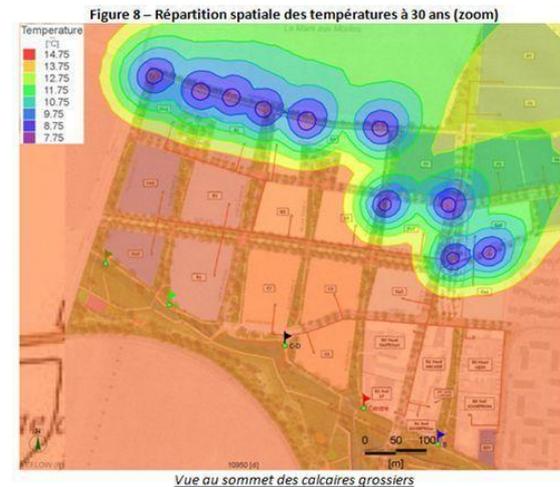
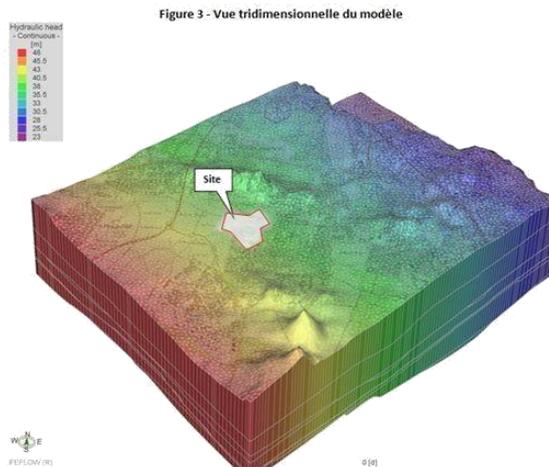
- Étude hydrogéologique préliminaire pour voir le potentiel en nappe éventuel.
- Classification de la zone Vert, Orange, Rouge. Régime applicable de déclaration ou autorisation.
- Type de structures exploitables pour fondations géothermiques.
- Espace disponible pour positionner les forages de nappe ou de sondes.
- Intégration dans le concept énergétique général .
- Étude économique comparée de rentabilité.
- Dimensionnement préliminaire de l'installation.
- Test de pompage éventuel ou Test de réponse thermique éventuel.





3.Dimensionnement thermique (APD/PRO)

- Modélisation mathématique dynamique sur 25 à 50 ans (sondes, fondations géothermiques).
- Modélisation mathématique pour phénomènes de recyclage thermique (nappe).
- Montage des dossiers de subvention et d'assurance.



Faisabilité hydrogéologique dans le cadre du développement d'un réseau de chaleur géothermique à Bondoufle (91)



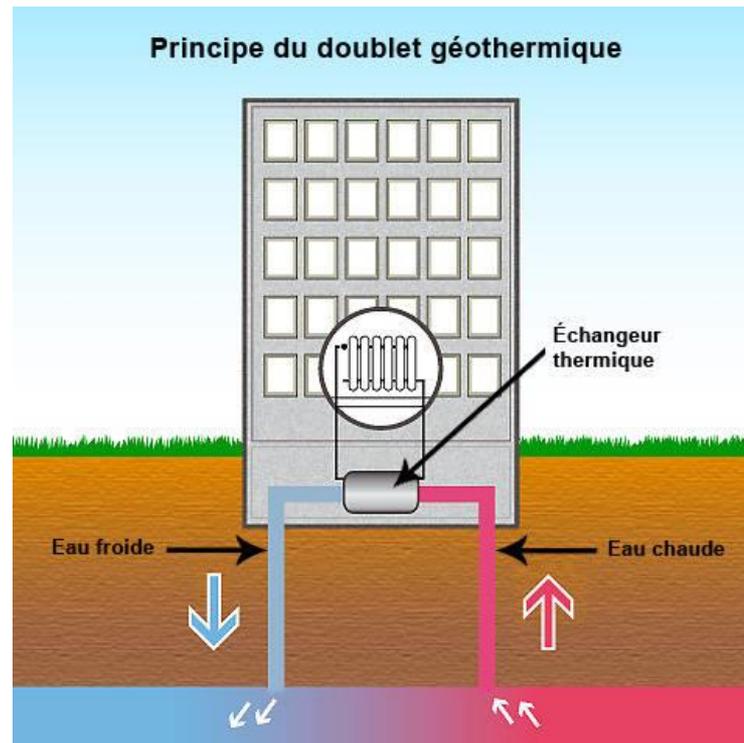
Merci pour votre attention



ANNEXES

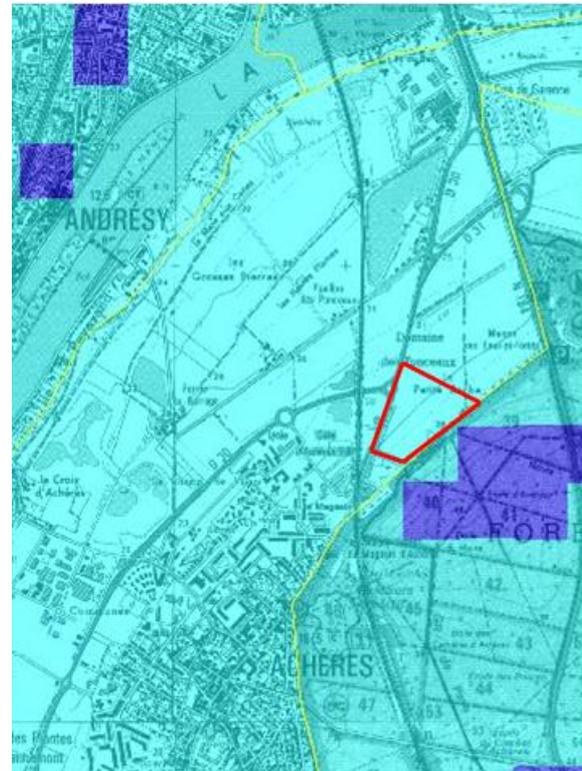
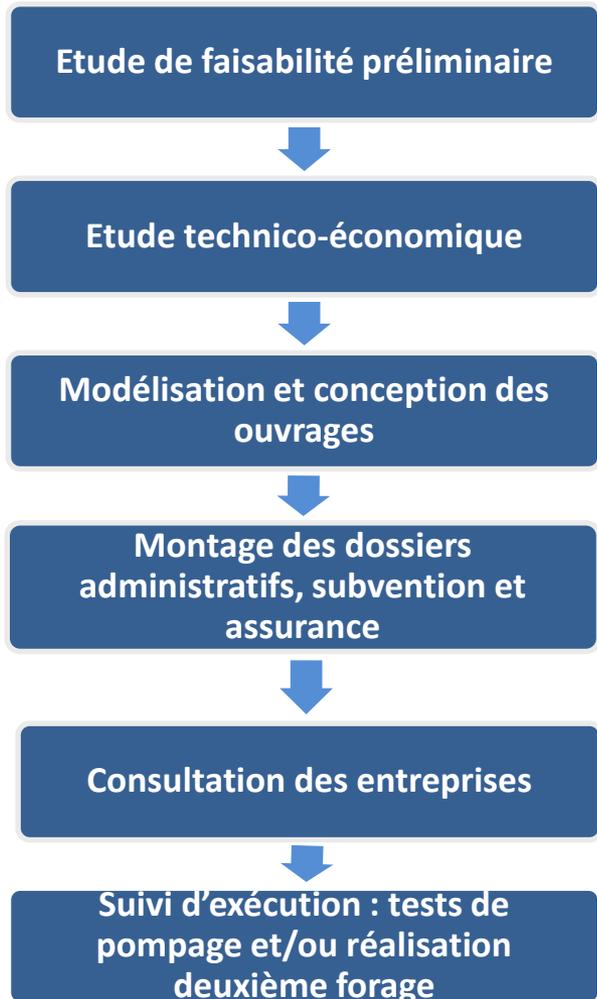


Les étapes de conduite du projet : boucle ouverte - géothermie sur nappe





Déroulement d'une opération de géothermie sur nappe



Potentiel de la nappe

- Très faible
- Faible
- Moyenne
- Forte
- Très forte

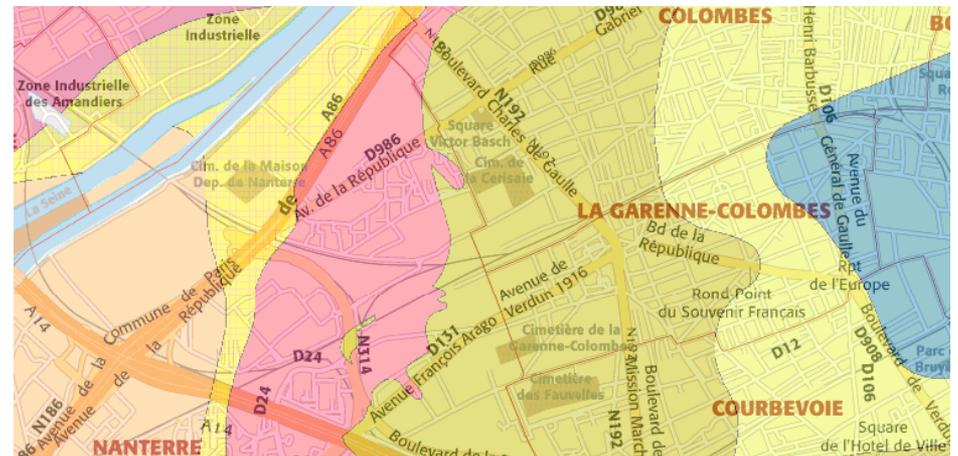


Étude hydrogéologique préliminaire

- Détermination du potentiel théorique des aquifères
- Détermination des caractéristiques impactant la mise en œuvre de sondes
- Etude du contexte réglementaire
- Description des solutions techniques envisageables
- Avis critique sur la faisabilité technique et la pertinence économique des solutions

Profondeur	Formation	Lithologie	Lithologie	Stratigraphie	Altitude
3.00	Fy-z		Sable	Holocène	37.00
15.30	Calcaire grossier s.l. d'Ile-de-France		Calcaire blanc, à grain fin à gros, parfois sableux, glauconieux à la base	Lutétien	24.70
25.00	Sables du Soissonnais (terme de sondeur)		Sable quartzueux blanc et gris, parfois grossier, à passées argileuses et couches gréseuses	Cuisien	15.00
32.00			Ensemble indifférencié de sables, argiles et graviers	Yprésien	8.00
47.00					-7.00

Coupe géologique

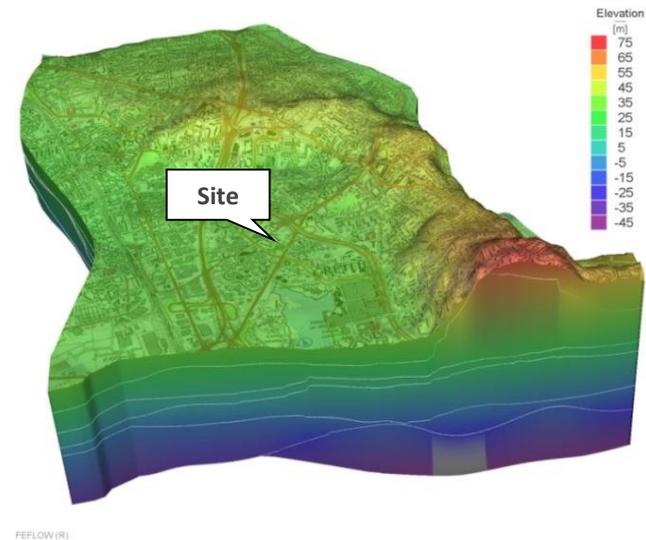
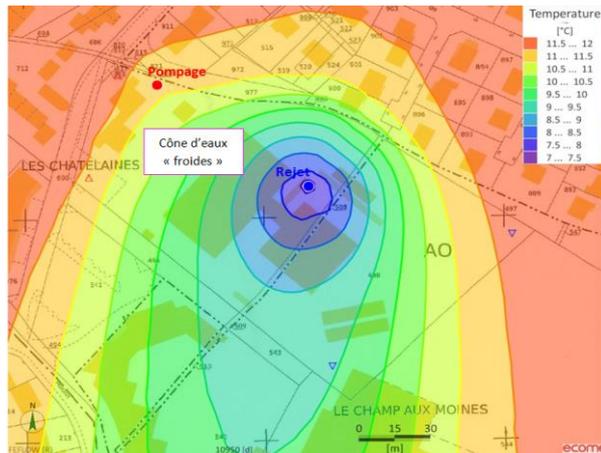


Carte géologique



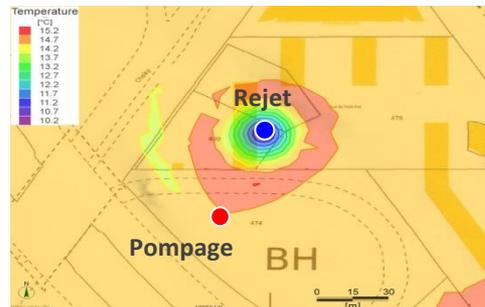
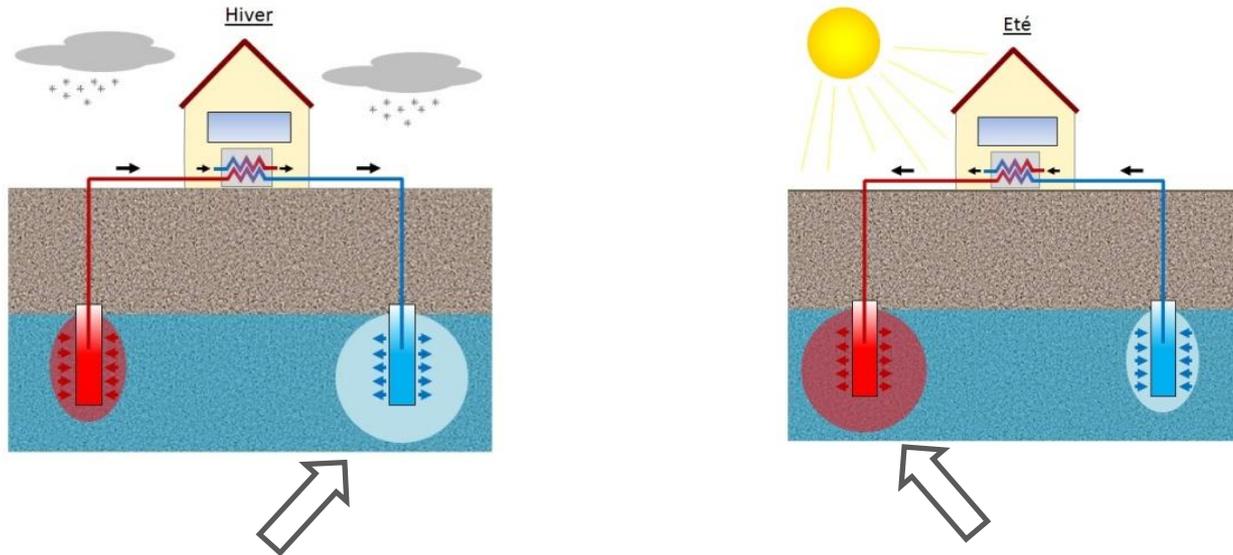
Modélisation du système

- Modélisation aux éléments finis
- Détermination des débits spécifiques
- Simulation de la propagation du panache thermique
- Validation de la pérennité du système : absence de phénomène de recyclage





Valider le comportement à long terme : absence de recyclage thermique





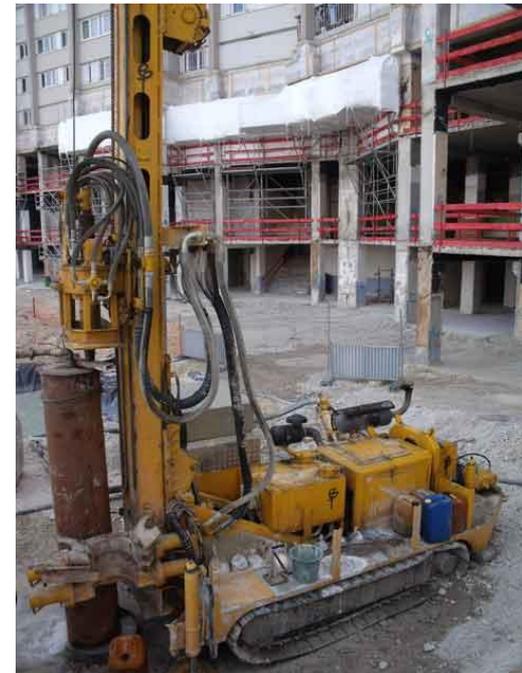
Forage d'essai

Important :

- Les études bibliographiques et modélisations n'évitent pas d'aller tester la ressource
- Importance de réaliser le forage d'essai de nappe en amont du projet (APD/PRO).

Possibilité de :

- marché pour forage d'essai.
- Marché à tranche ferme (forage d'essai) et tranche conditionnelle (1 à 2 autres forages) selon résultat du test

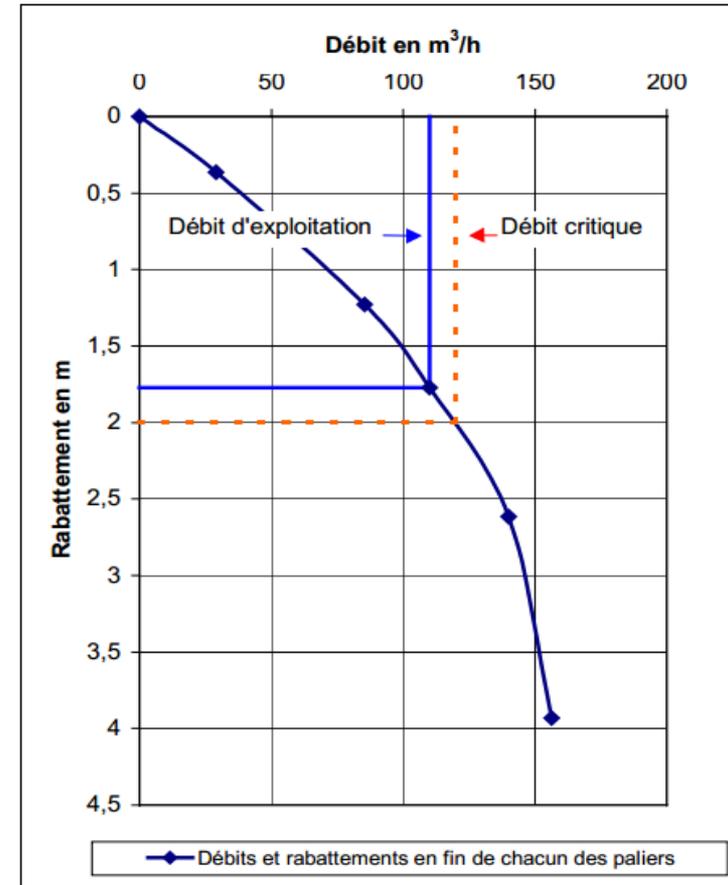




Test de pompage

Sur piézomètres ou sur forage réel (APD/PRO) :

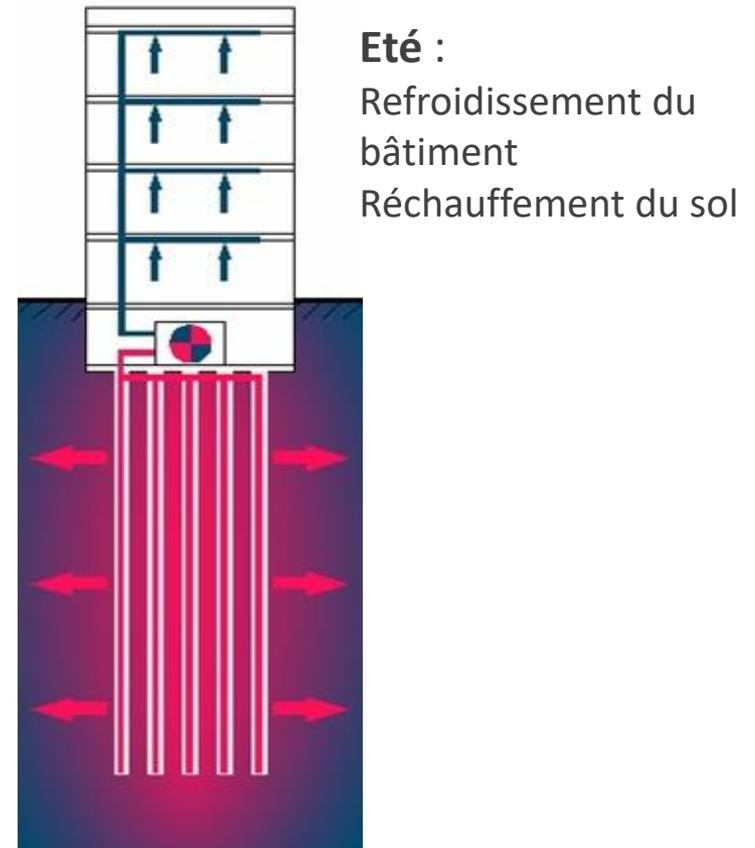
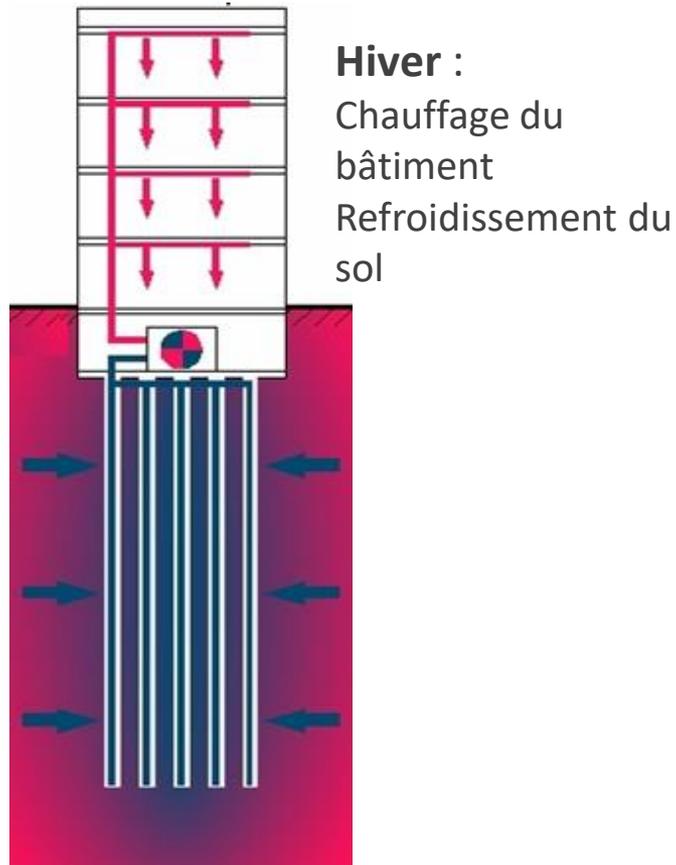
- Détermination des débits critiques
- Détermination des débits spécifiques
- Détermination de la transmissivité
- Détermination du coefficient d'emmagasinement



Exemple de pompage par paliers - BRGM

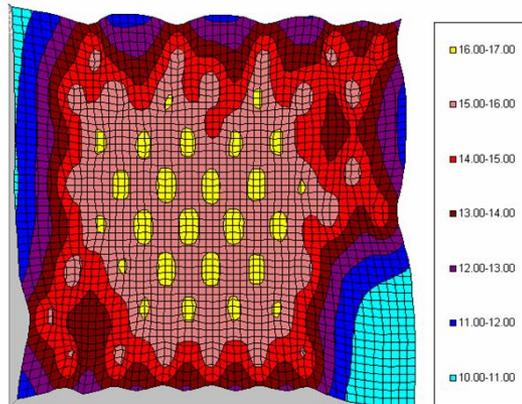


Effet stockage/déstockage de l'énergie : valider la performance à long terme

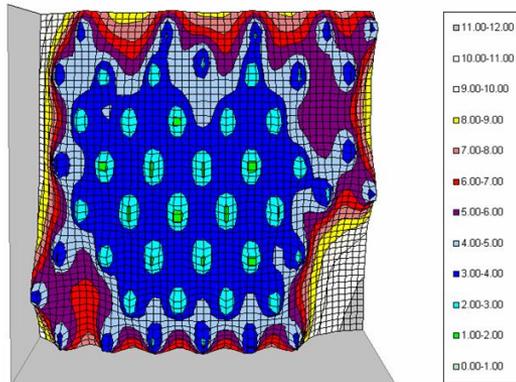




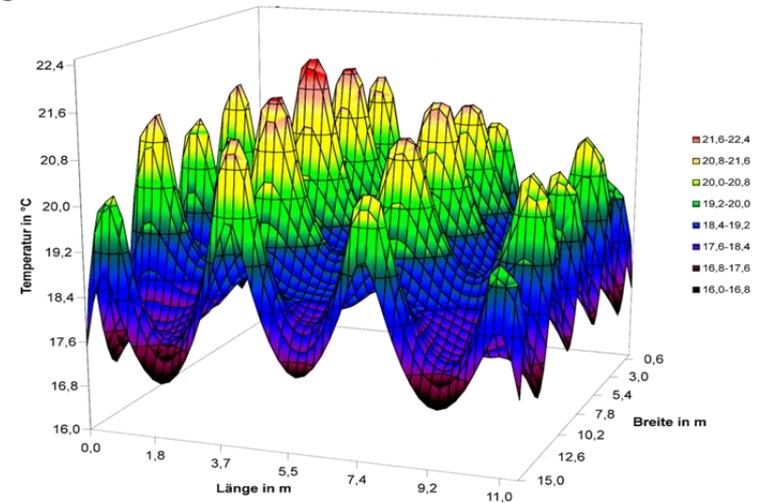
Simulation sur cycle annuel



1er Septembre



1er Février

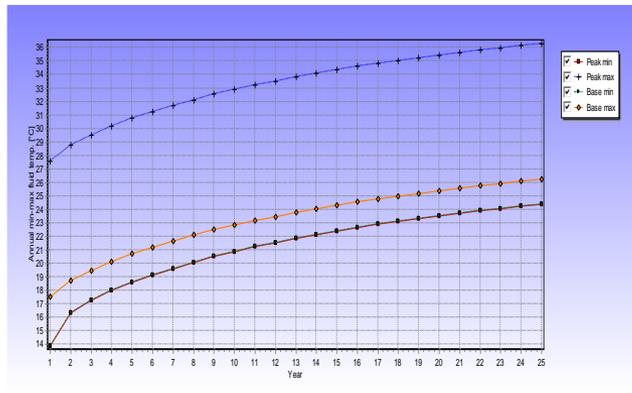


Exemple de simulation de 17 pieux



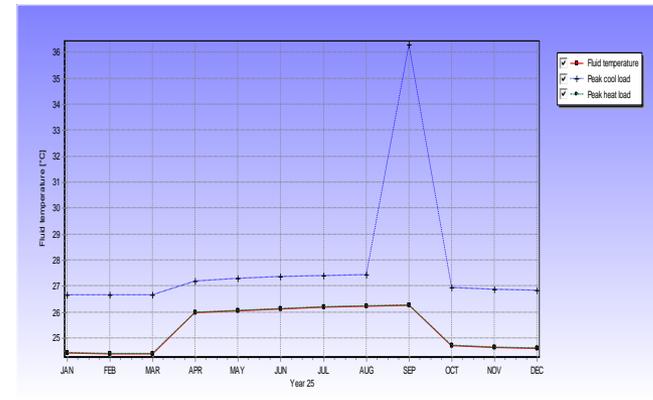
Validation de la pérennité des performances

- Simulation de l'installation sur 25 ans.
- Dimensionnement définitif de l'installation.
- Définition d'implantation des sondes.
- Optimisation du concept technique (hydraulique, températures de fonctionnement, intégration à la PAC...)



Evolution des températures mini-maxi sur 25 ans

Champ de sonde: 35 sondes , Avord (18)

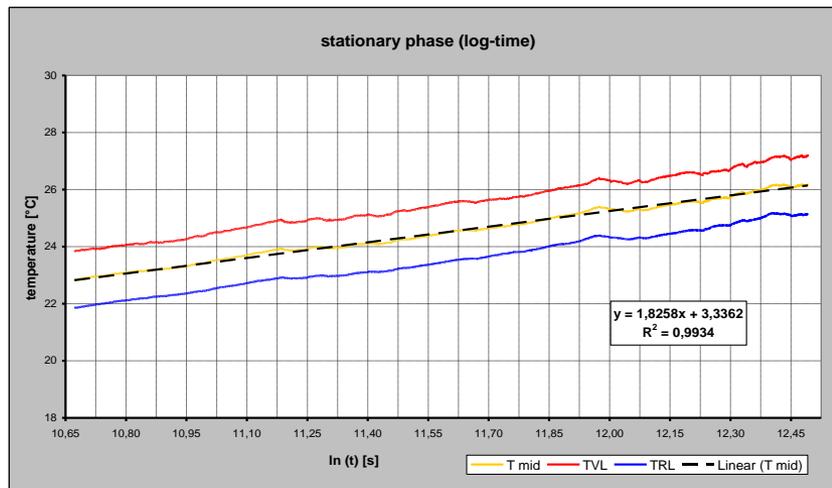


Températures charge moyenne et pointe en année 25

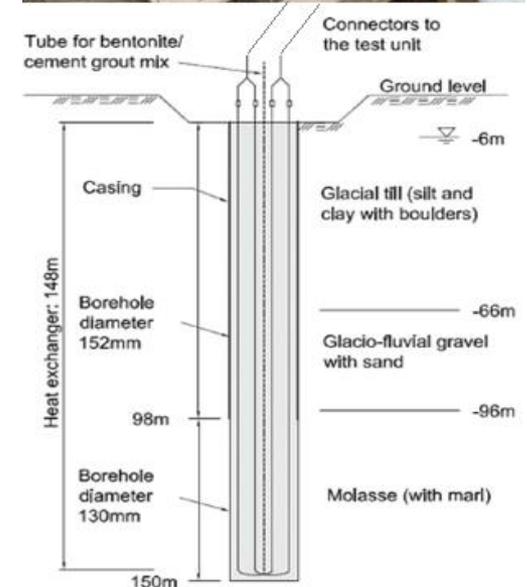


Test réponse thermique : pourquoi et quand?

- Evaluation de la température initiale du sous-sol au réel
- Evaluation de la conduction thermique du sous-sol au réel
- Détermination de la résistance thermique de la sonde

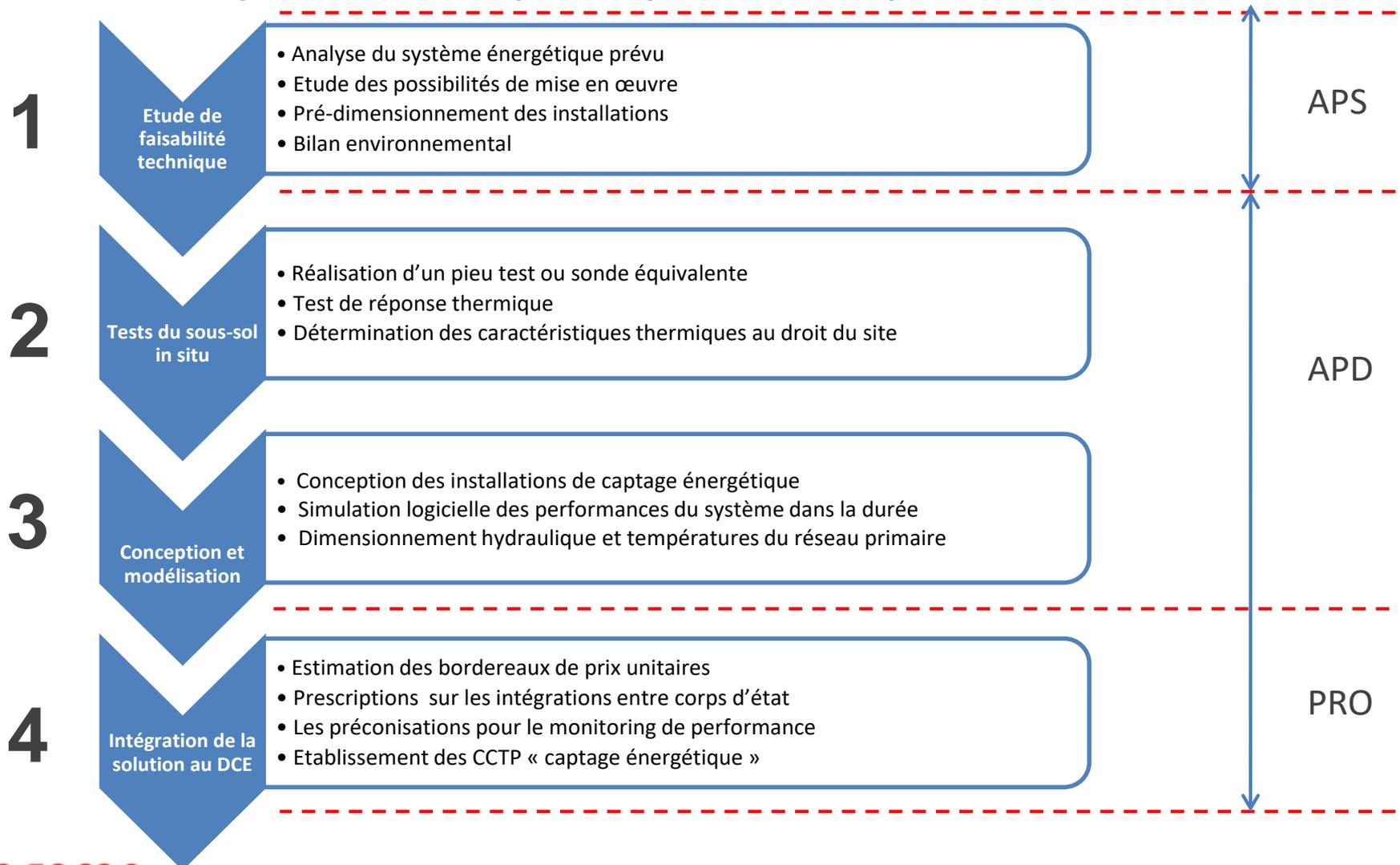


Test réponse thermique: Juillac (19)



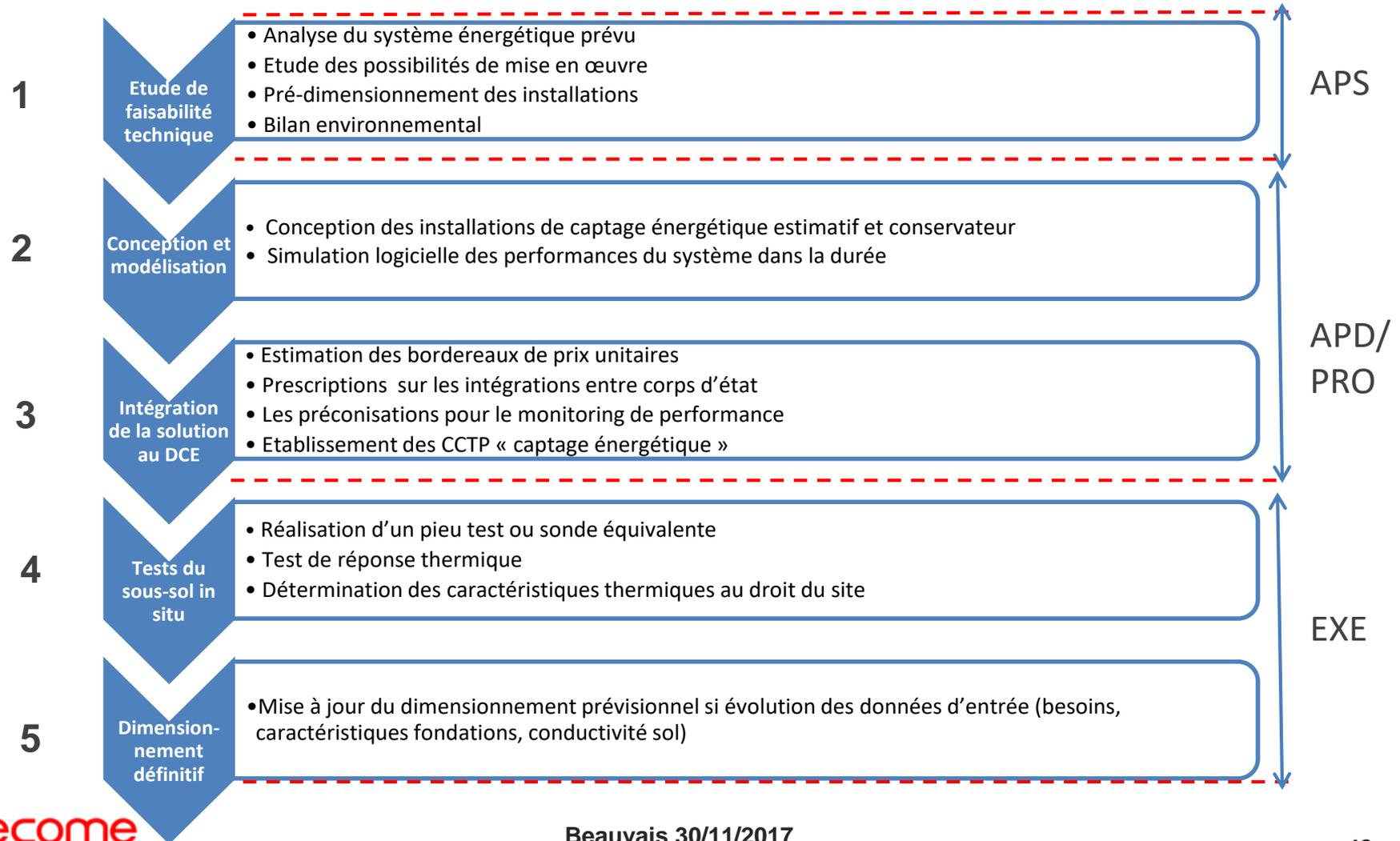


Test de réponse thermique en phase conception





Test de réponse thermique en phase exécution





La passation des marchés

- **Géothermie sur nappe :**

- Lot forage spécifique.
- Si macro-lot : au choix entre macro lot gros œuvre, ou macro lot CVC.

Attention, le forage d'essai peut se faire avant le démarrage des travaux.

- **Géothermie sur sondes :**

- Lot forage spécifique.
- Si macro lot : dans macro-lot gros œuvre si sondes sous-bâtiment.
Dans macro-lot gros œuvre ou CVC (plutôt) si sondes à côté du bâtiment.

- **Fondations géothermiques**

- Lot captage énergétique spécifique
- Si macro lots : dans macro lot gros œuvre car coordinations fondations et liaisons horizontales.