

Géothermie

Yves SIMEON
BRGM Rhône-Alpes

22 avril 2014

-1.89 3740.46 -625.5

BRGM Rhône-Alpes



Géosciences pour une Terre durable

brgm



Sommaire :

- **Principes de la géothermie**
- **Différents types de géothermie**
- **Documents disponibles en Rhône Alpes**
- **Exemple d'application géothermie très basse énergie**
- **Utilisation des sites BRGM**

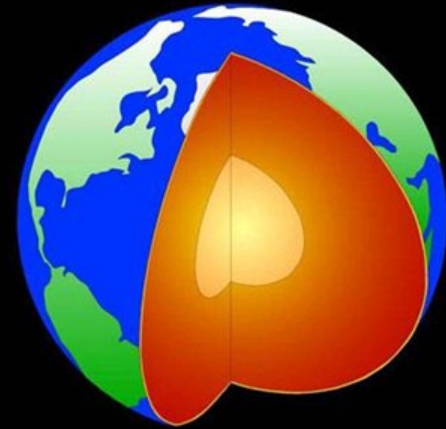
GEOOTHERMIE

du grec "gé" la Terre et "thermé" chaleur.

ENERGIE GEOTHERMIQUE

...énergie emmagasinée sous forme de chaleur sous la surface de la terre solide.

(Directive 2009/28/CE du Parlement Européen et du Conseil relative à la promotion et l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables...).



La géothermie : le cœur de notre planète

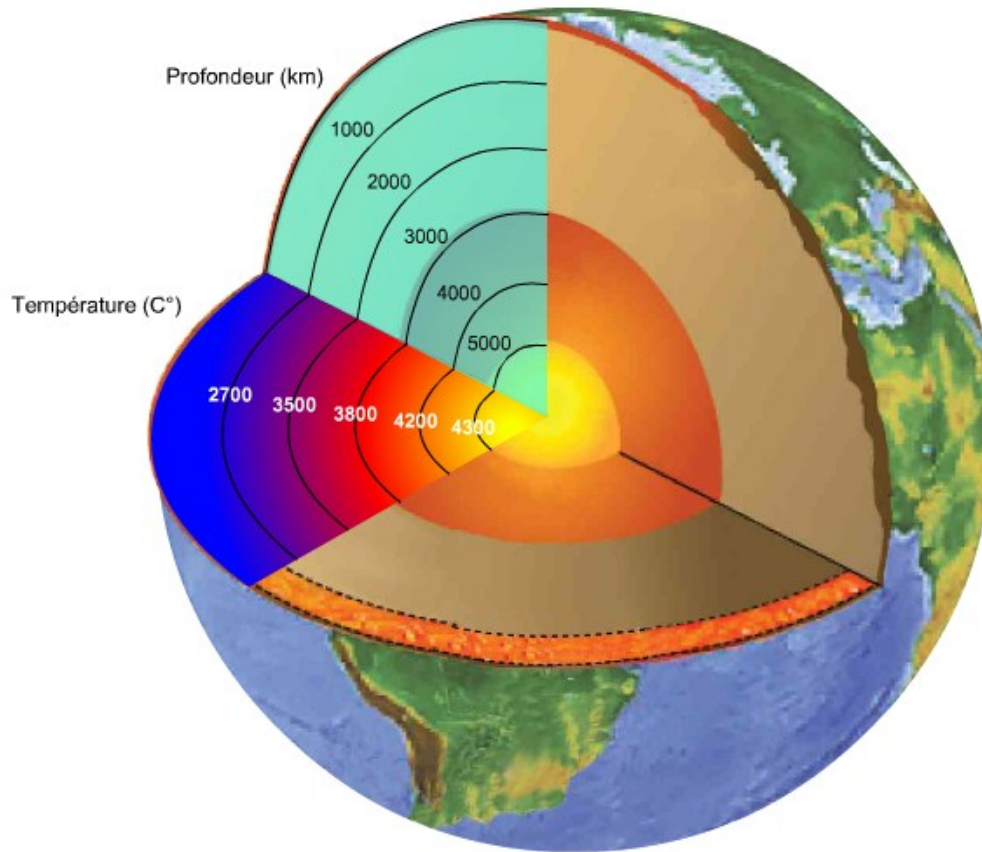


Géosciences pour une Terre durable

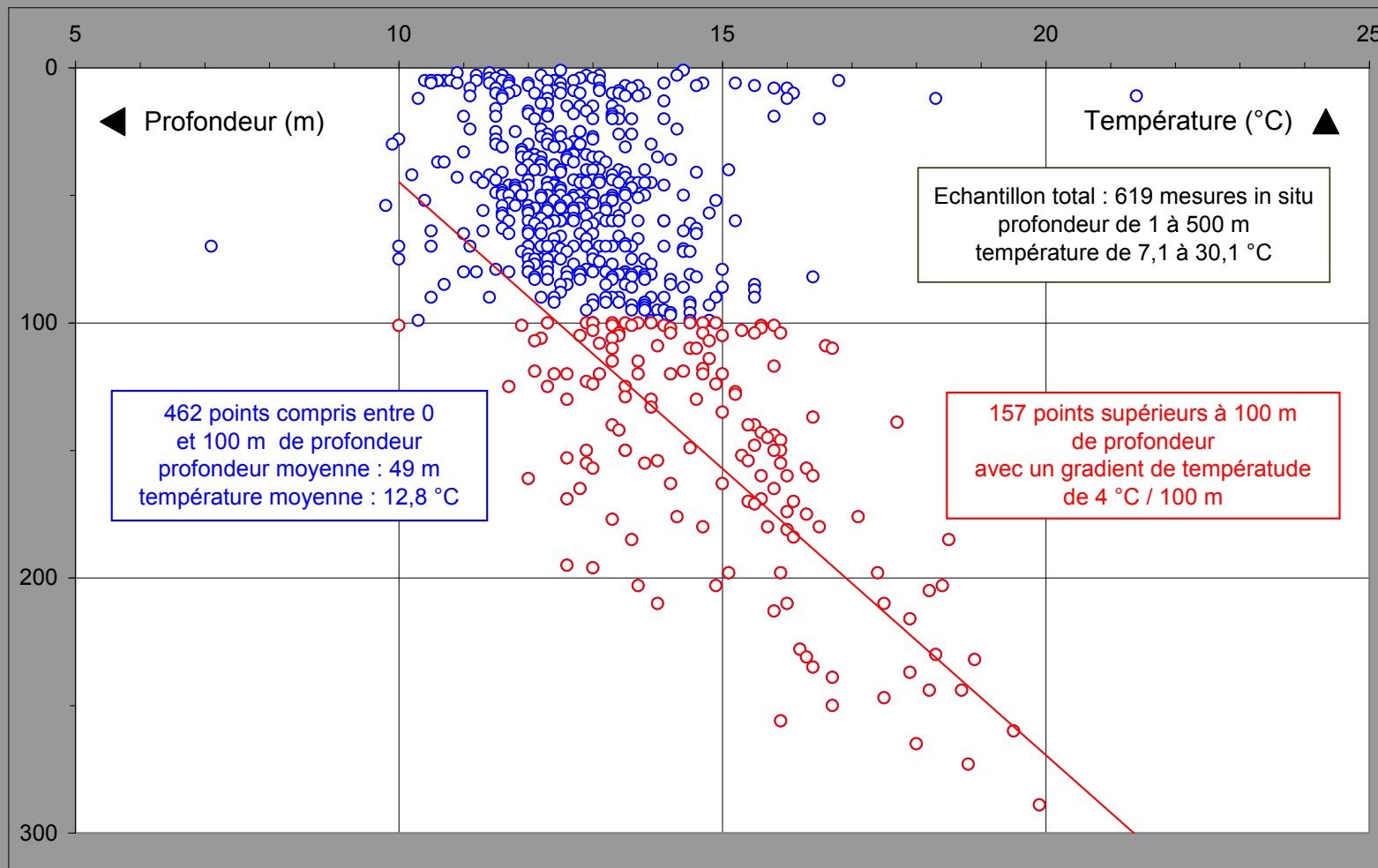
brgm

Dimensions et températures de la Terre

- Croûte
- Manteau
- Noyau
- Rayon = 6 371 KM

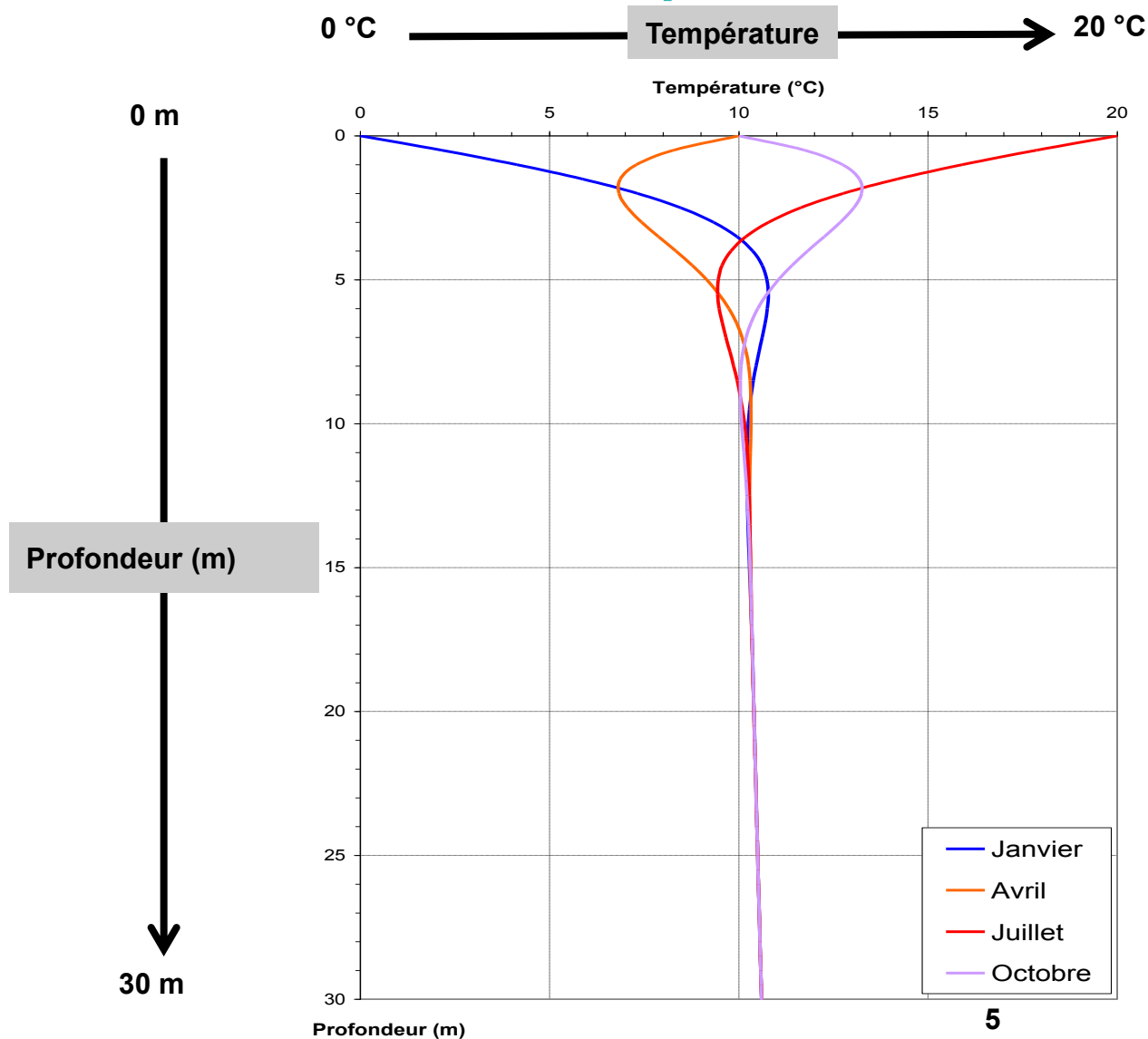


Gradient géothermique Température en fonction de la profondeur



Résultats d'une étude faite sur 619 mesures réalisées sur des captages AEP.

Gradient géothermique Température en fonction de la profondeur et de la saison

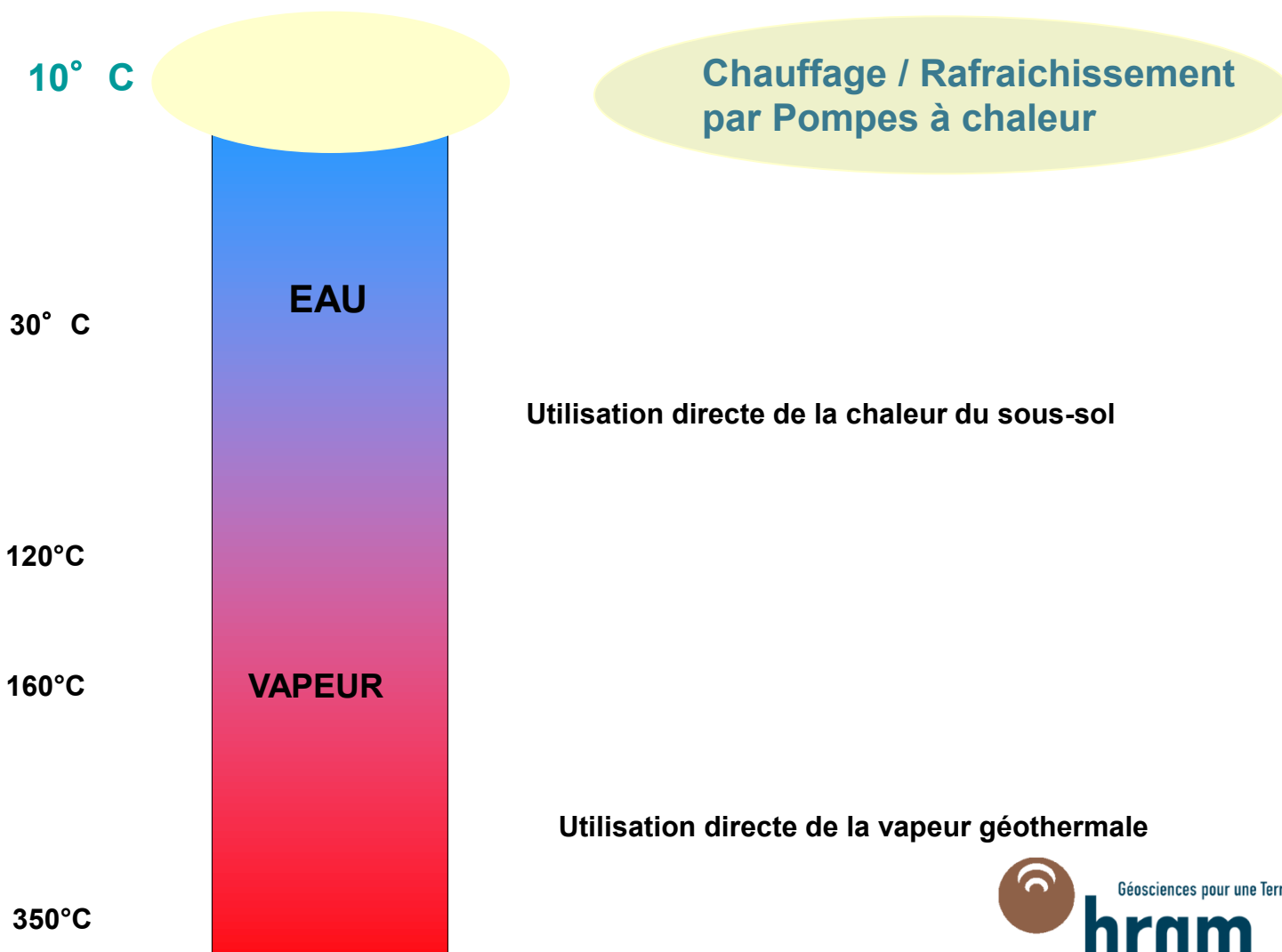


Les différents types de géothermie



Chaleur de la Terre

Température de la ressource



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Chaleur de la Terre

Géothermie, comment la classer....

☒ USAGES

- Electricité
- Chaleur
- Chaleur et/ou froid - Stockage

☒ ACTEURS

- Industriels
- Collectivités
- Individuel

☒ RESSOURCES

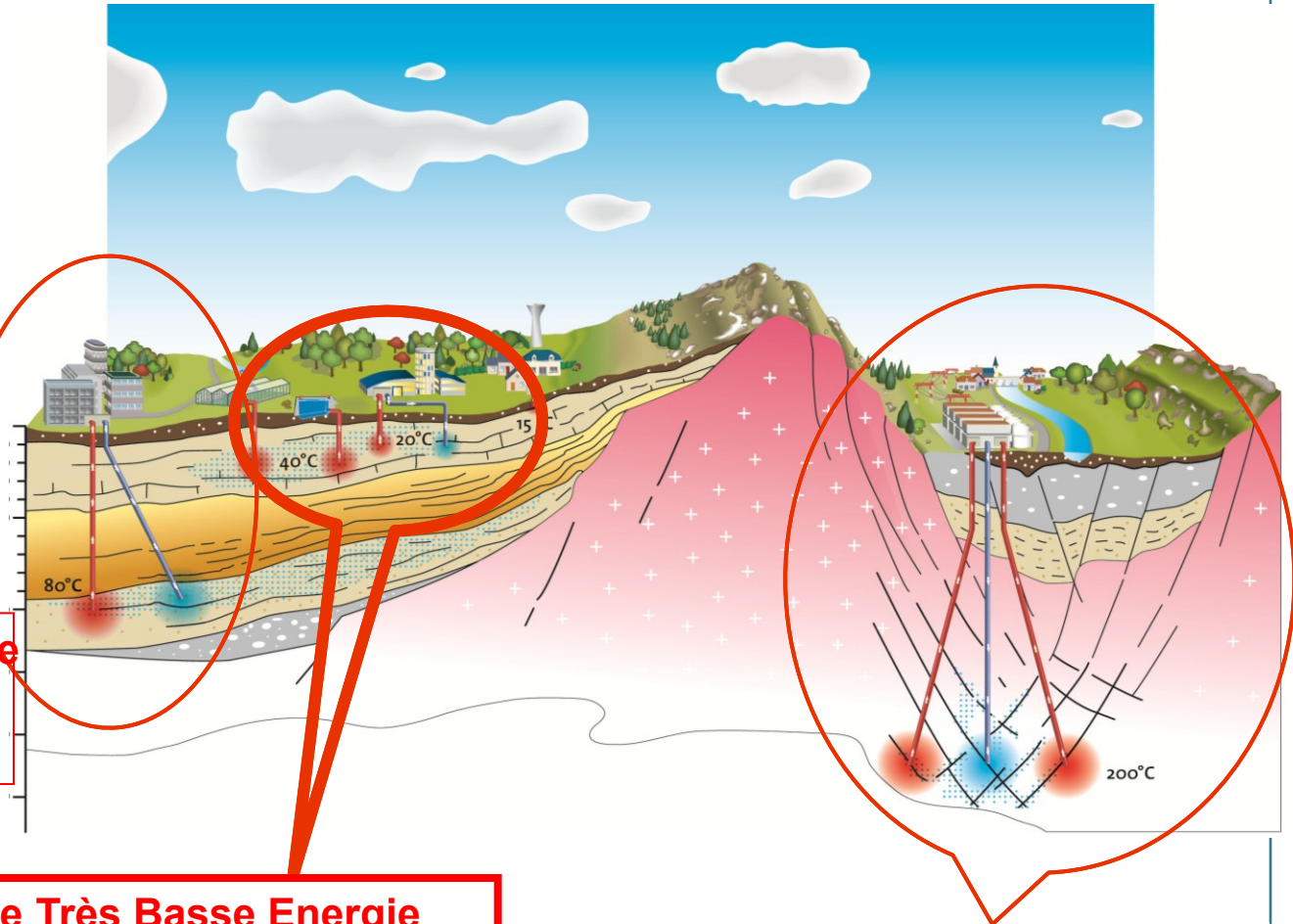
- Champs de vapeur
- Formations profondes stimulées
- Aquifères profonds
- Aquifères et formations superficiels



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Typologie usuelles en dehors systèmes volcaniques



Géothermie Basse Energie
Chauffage direct
Aquifères profonds

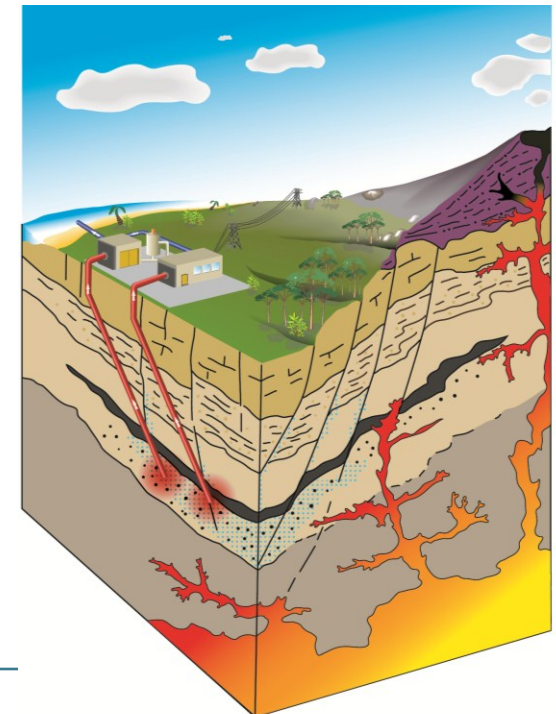
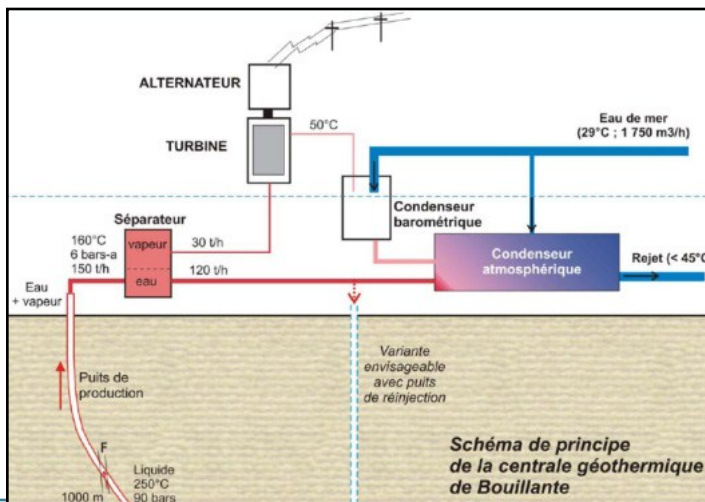
Géothermie Très Basse Energie
Chauffage et/ou rafraîchissement
Pompes à chaleur
Sous-sol ou eau souterraine

Géothermie profonde – EGS
(Enhanced Geothermal System)
Socles ou bassins sédimentaires
+/- fracturés et +/- « secs »

La Haute énergie en contexte volcanique

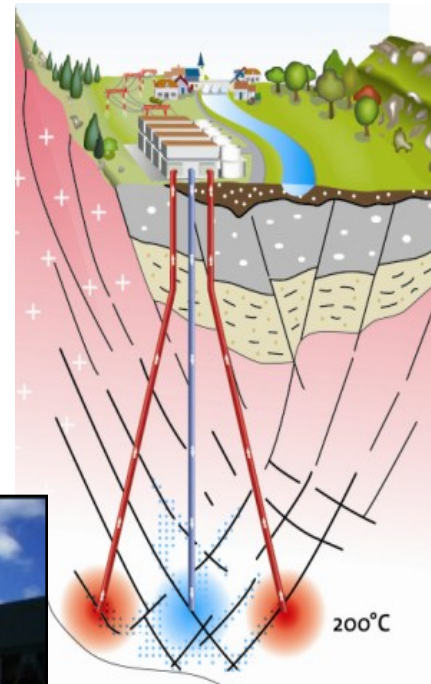
Production d'électricité à Bouillante en Guadeloupe

Réservoirs naturels de vapeur



La haute énergie hors contexte volcanique

**Géothermie profonde à Soultz-sous-forêts – EGS (Enhanced Geothermal System) –
Production d'électricité et de chaleur**



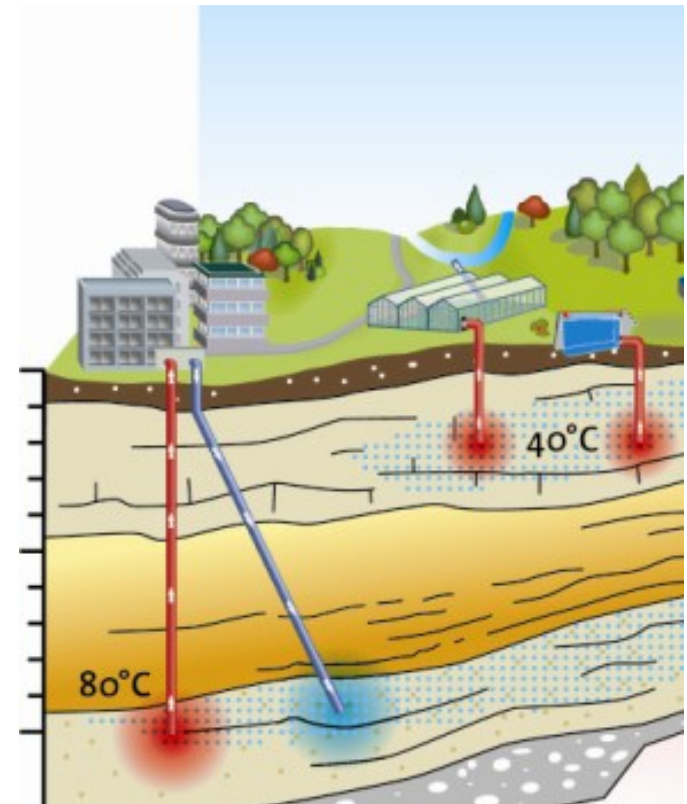
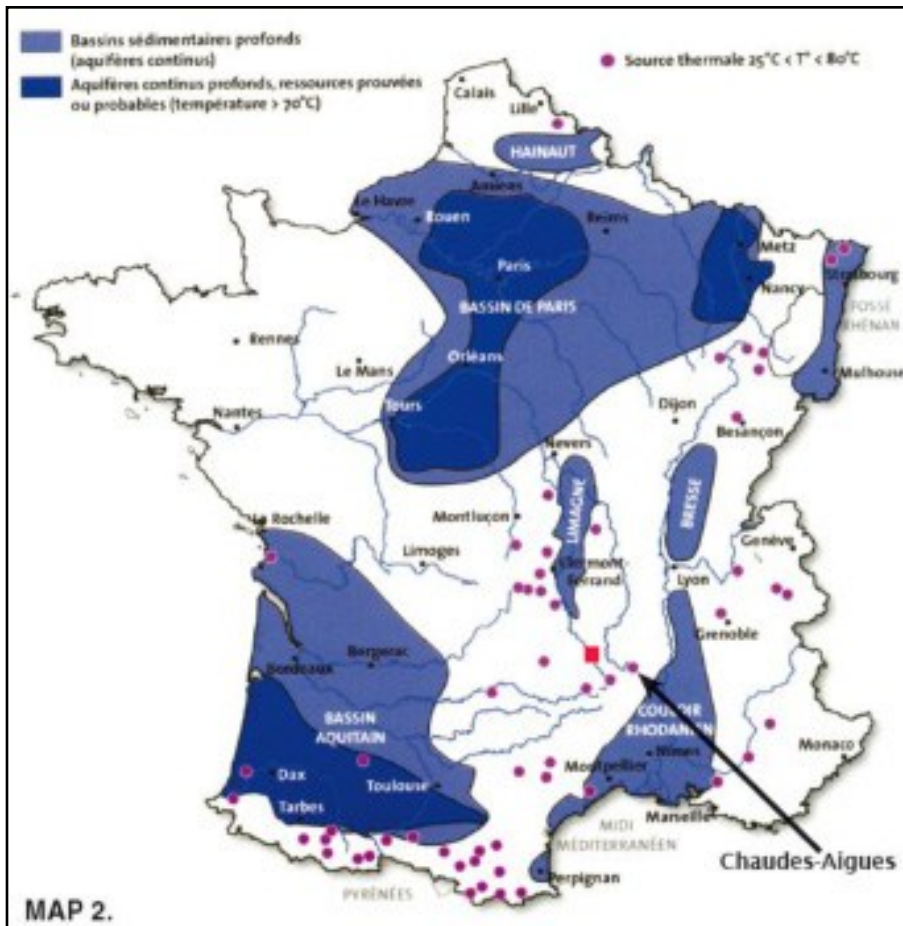
Géosciences pour une Terre durable

brgm

Géothermie basse énergie

Utilisation directe de la chaleur des nappes profondes

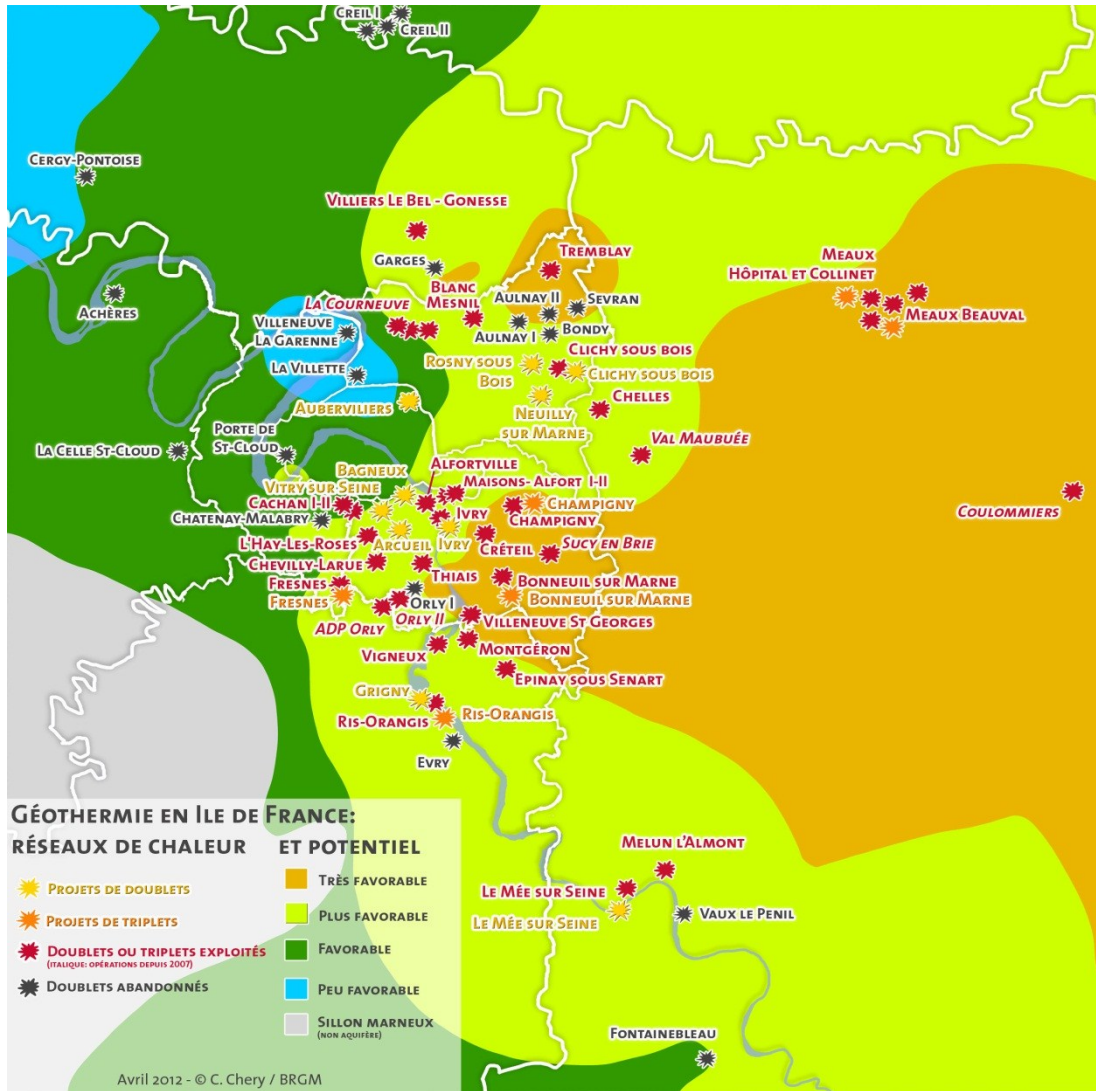
Aquifères profonds des bassins sédimentaires



Géosciences pour une Terre durable

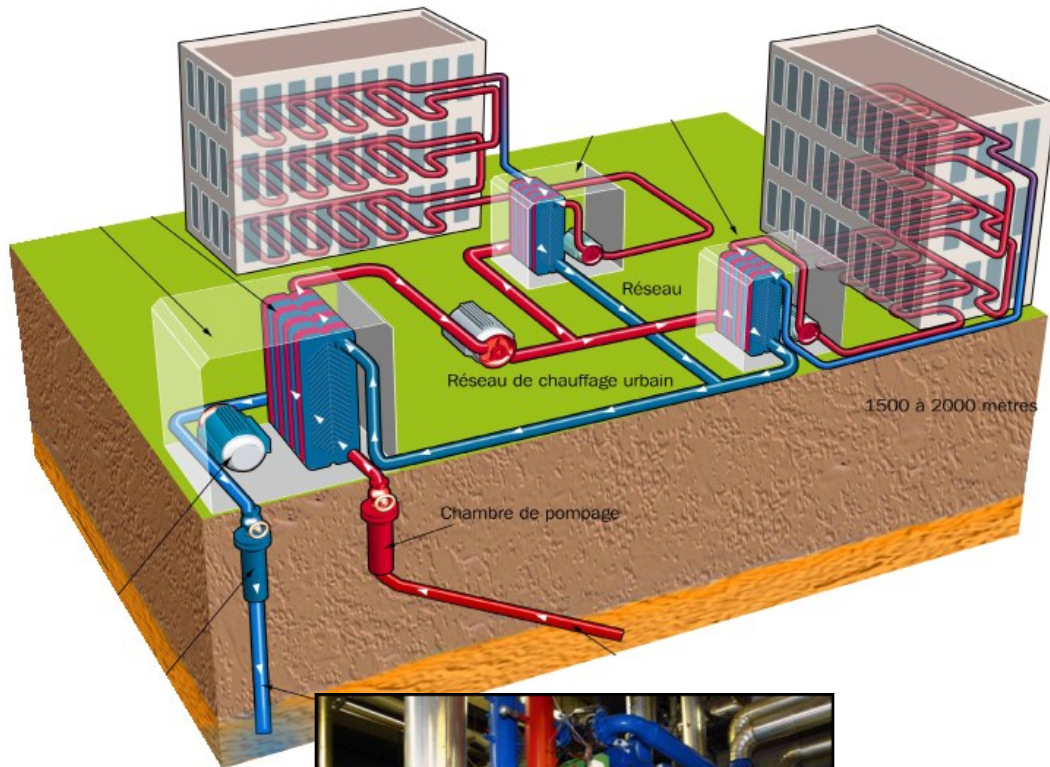
brgm

Usage direct par réseaux de chaleur géothermique dans le Bassin de Paris



Usage Direct

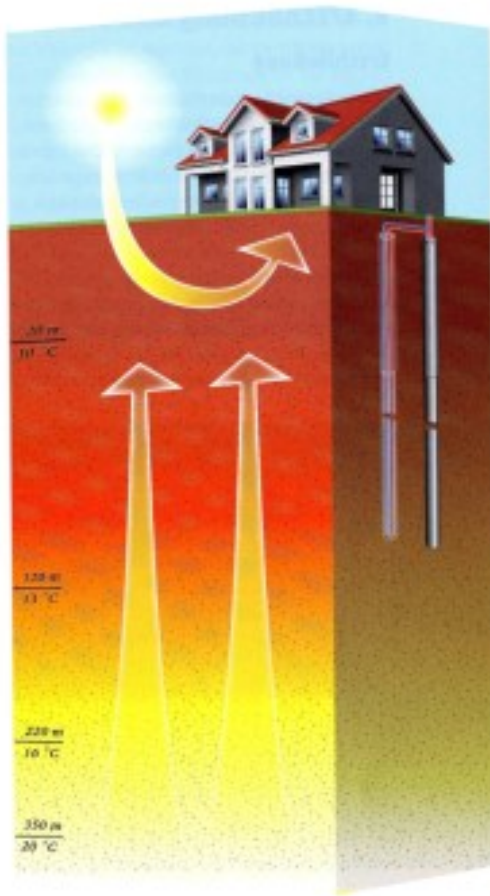
Principe du doublet pour réseau de chaleur géothermique



Géothermie très basse énergie

Géothermie par Pompe à Chaleur

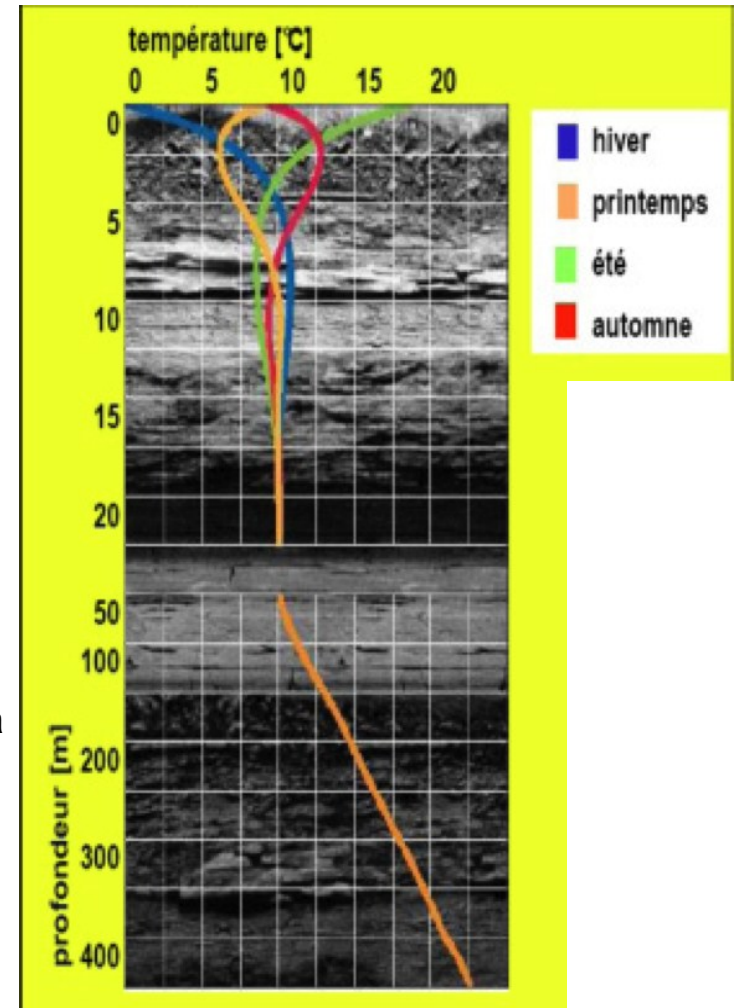
Géothermie superficielle



Les variations saisonnières sont amorties dans les premiers mètres

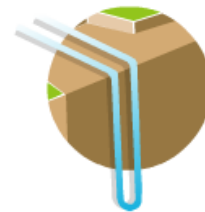
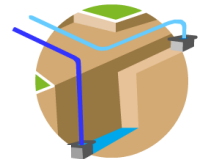
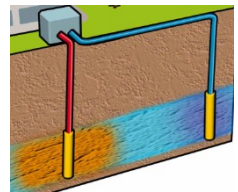
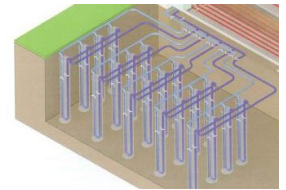
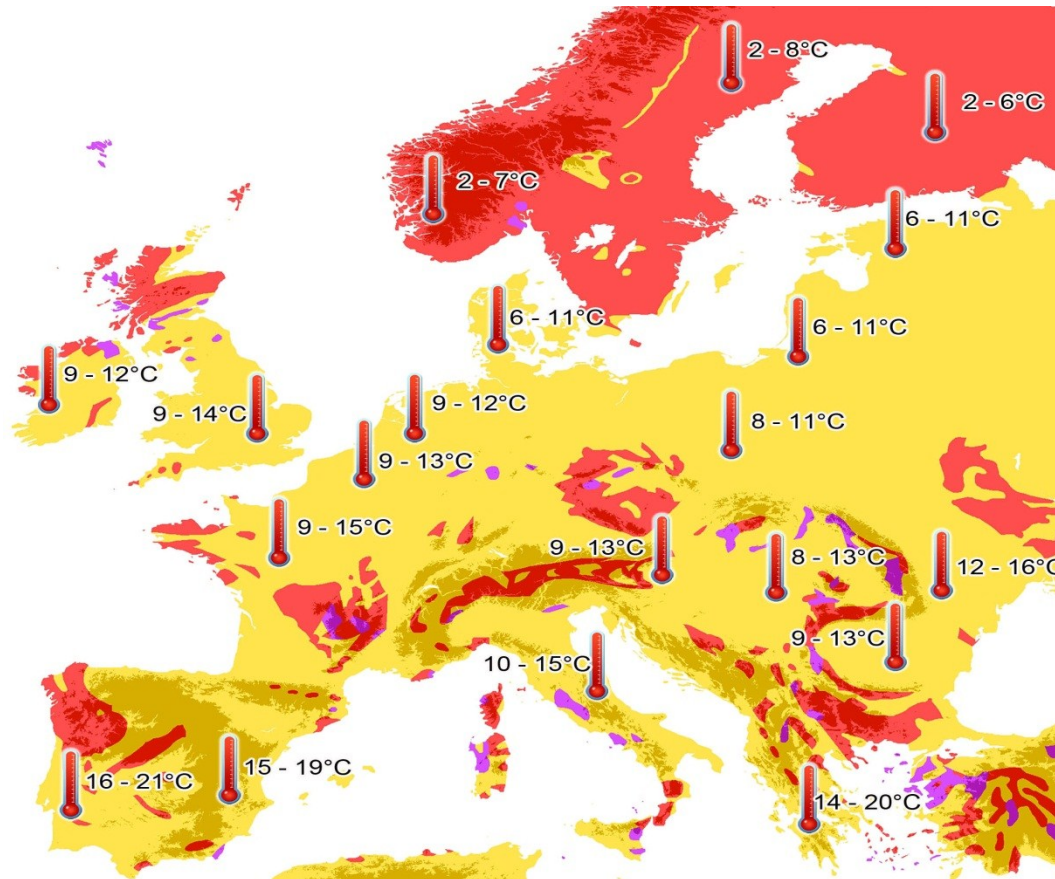
La température du proche sous-sol est égale à la moyenne des températures annuelles

Ensuite, c'est le gradient géothermique qui contrôle la température

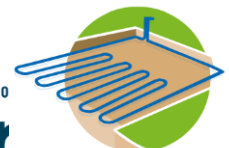


Géothermie très basse énergie

Exploitation de la chaleur souterraine

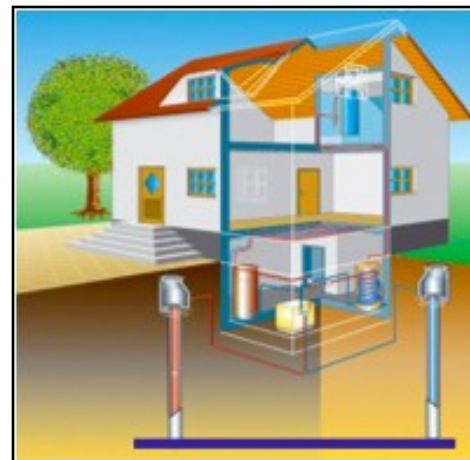


brg...



Géothermie très basse énergie

Les trois formes de géothermie superficielle les plus répandues



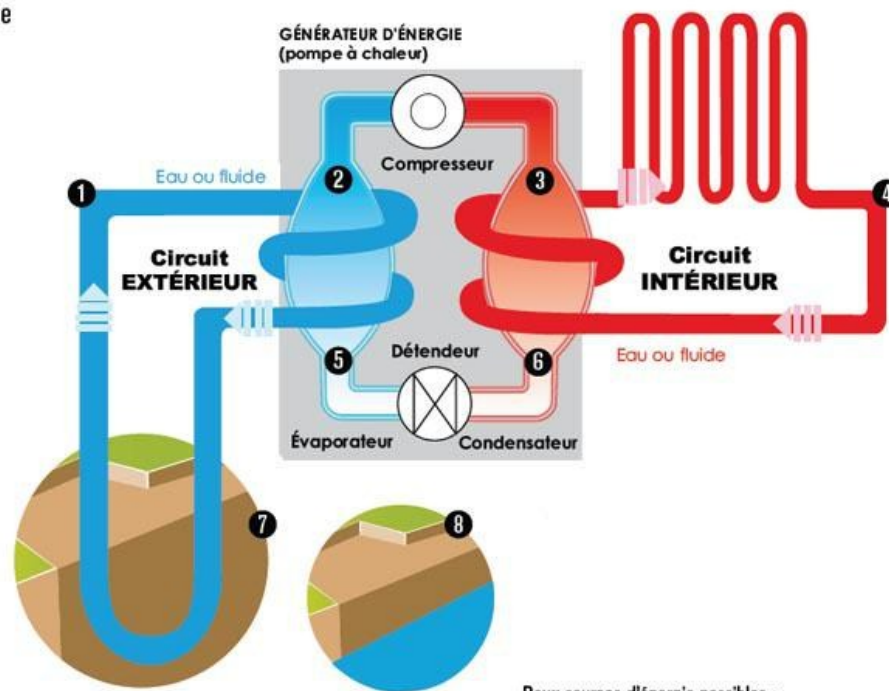
<i>Echangeur plan</i> (échangeur horizontal)	<i>Echangeur vertical</i> (sondes géothermiques)	<i>Forages sur nappe aquifère</i> (doublet de production et d' injection)
Echange d' énergie boucle fermée		échange d' énergie et mobilisation de matière boucle ouverte
Individuel	Individuel CHAMP DE SONDES Collectif &Tertiaire	Collectif &Tertiaire

Géothermie très basse énergie

Principe d'une pompe à chaleur (PAC)

Principe schématique
de la pompe à chaleur géothermique

- ❶ Circuit d'eau glycolée
- ❷ Vapeur basse pression
- ❸ Vapeur haute pression
- ❹ Circuit de chauffage
- ❺ Liquide basse pression
- ❻ Liquide haute pression
- ❼ Source de chaleur : la terre
- ❽ Source de chaleur : l'eau (nappe souterraine)



Deux sources d'énergie possibles :
- la terre (captage horizontal et vertical)
- l'eau (captage sur nappe)

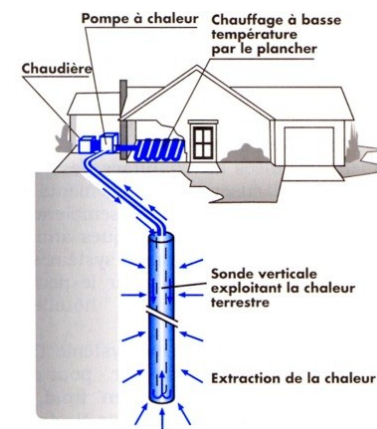
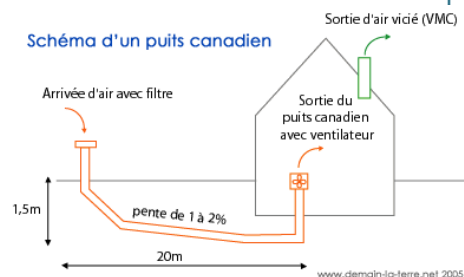
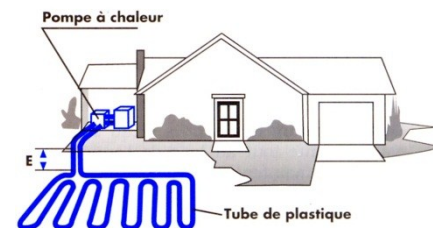
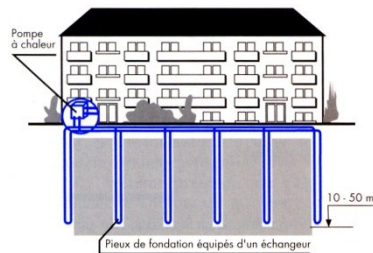
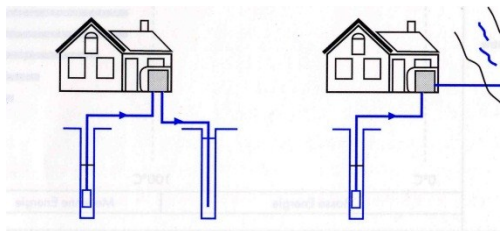


Géosciences pour une Terre durable

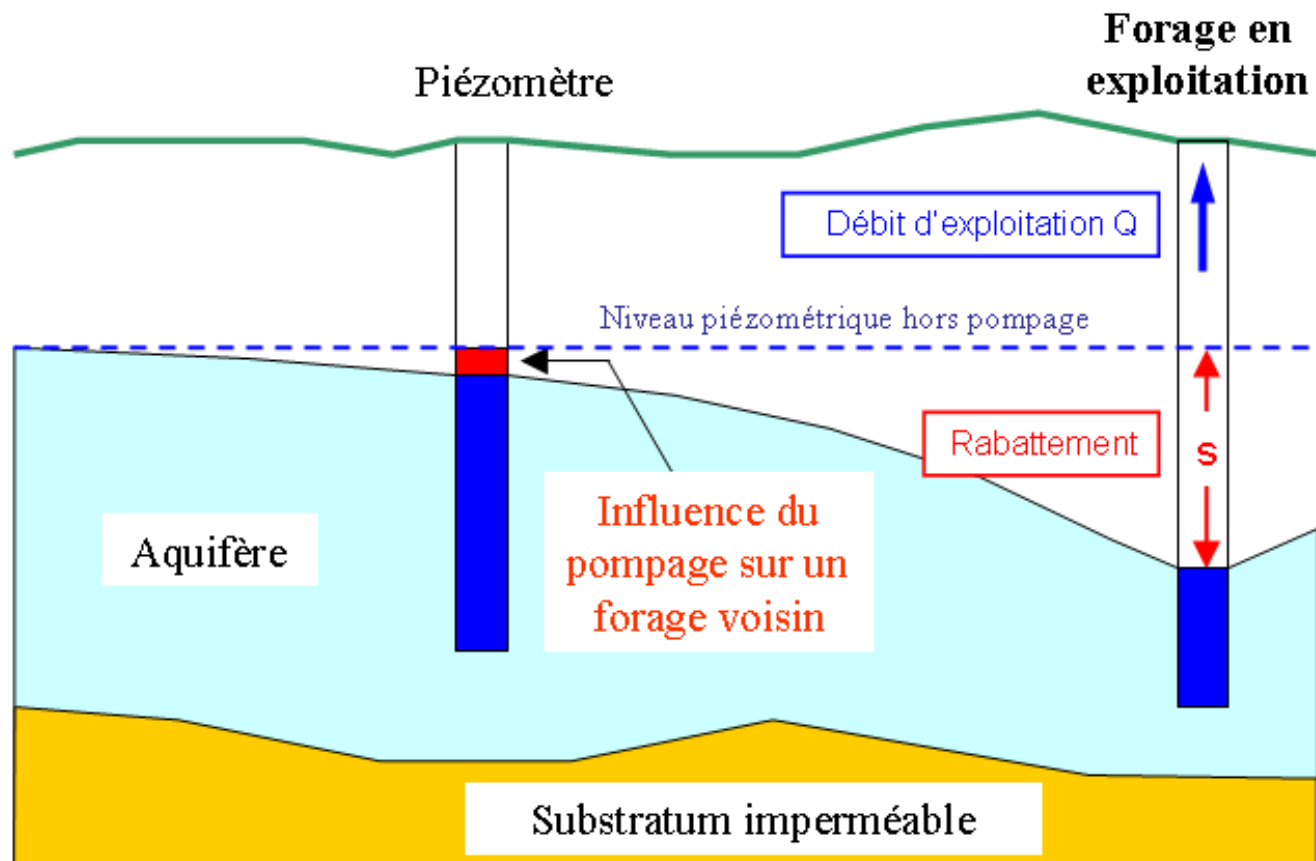
brgm

Diversité des besoins

Profondeur	Concept	Conditions d'utilisation
0,5 à 1 m	Capteurs horizontaux	Pavillon avec jardin
1 à 10 m	Puits Canadiens	Préchauffage air VMC Individuel et collectif/tertiaire
1 à 20 m	Fondations thermoactives	Bâtiment important avec pieux géotechniques
10 à 100 m	PAC sur aquifère superficiel	Du particulier au grand collectif Contraintes hydrogéologiques
50 à 100 m (ou plus)	Sondes verticales	Maison individuelle Investissement substantiel Contraintes géologiques faibles
50 à 100 m (ou plus)	Champs de sondes	Habitat collectif, tertiaire...
> 100 m - 2 000 m	Capteurs profonds	Réservé aux grands ensembles



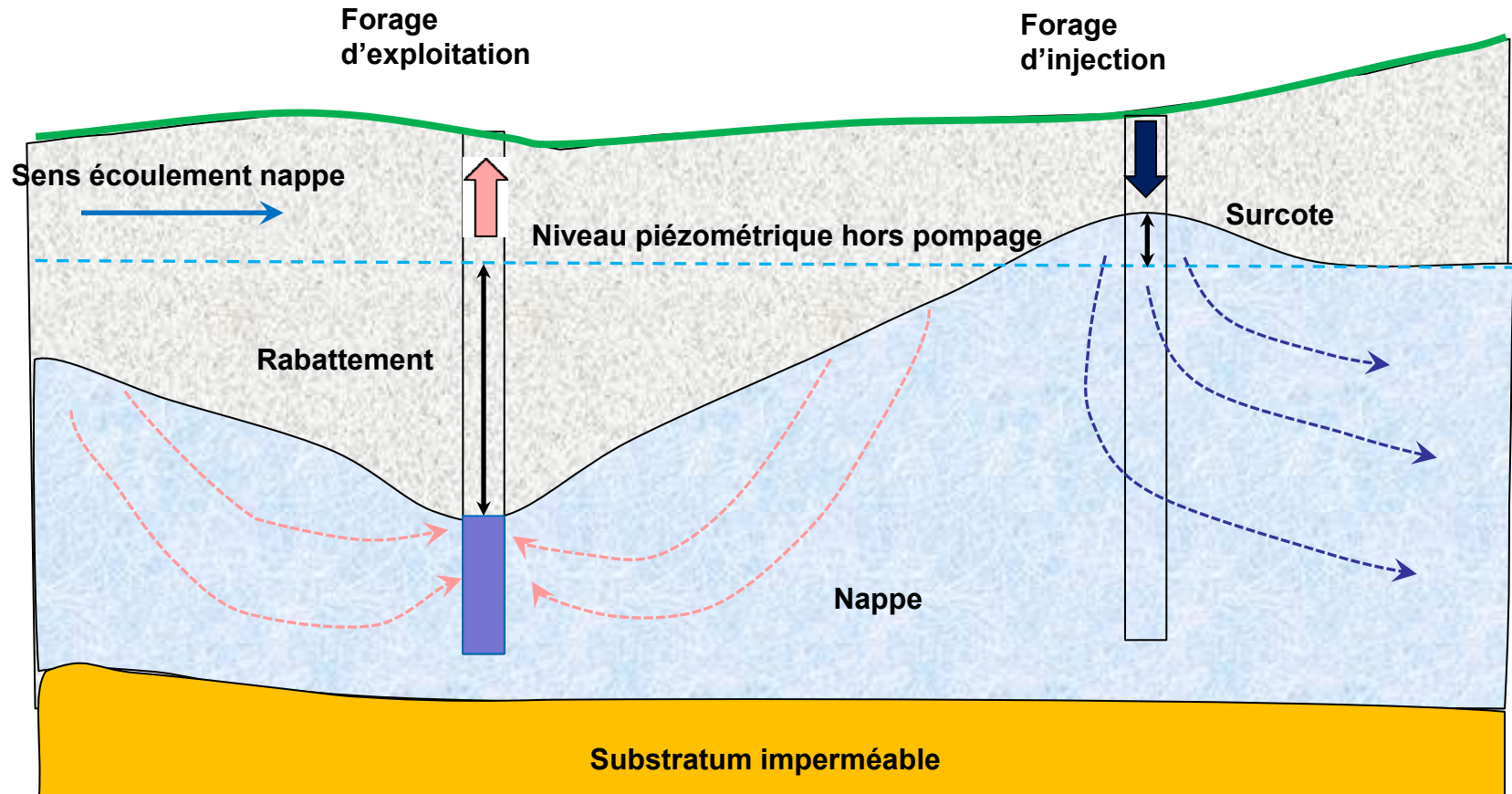
Les forages d'eau, les rabattements induits



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Les forages d'eau, production et injection



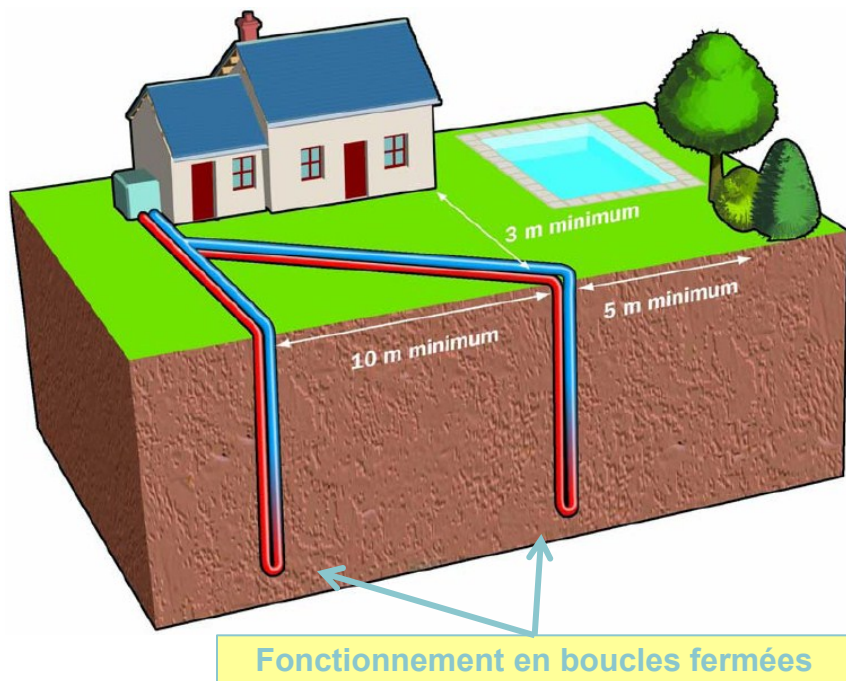
Géosciences pour une Terre durable

brgm

Les sondes géothermiques verticales (SCV)

Avantages

- Température du sol stable en profondeur
- Nécessite très peu d'espace
- Pas besoin d'eau



Dimensionnement de sondes verticales



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Dimensionnement de sondes verticales

- > Dimensionnement de la puissance extraite du terrain : « règle du pouce »

Puissance max soutirée par mètre linéaire de sonde verticale

Terrains saturés : **50 W/m**

Terrains secs : **30 W/m**

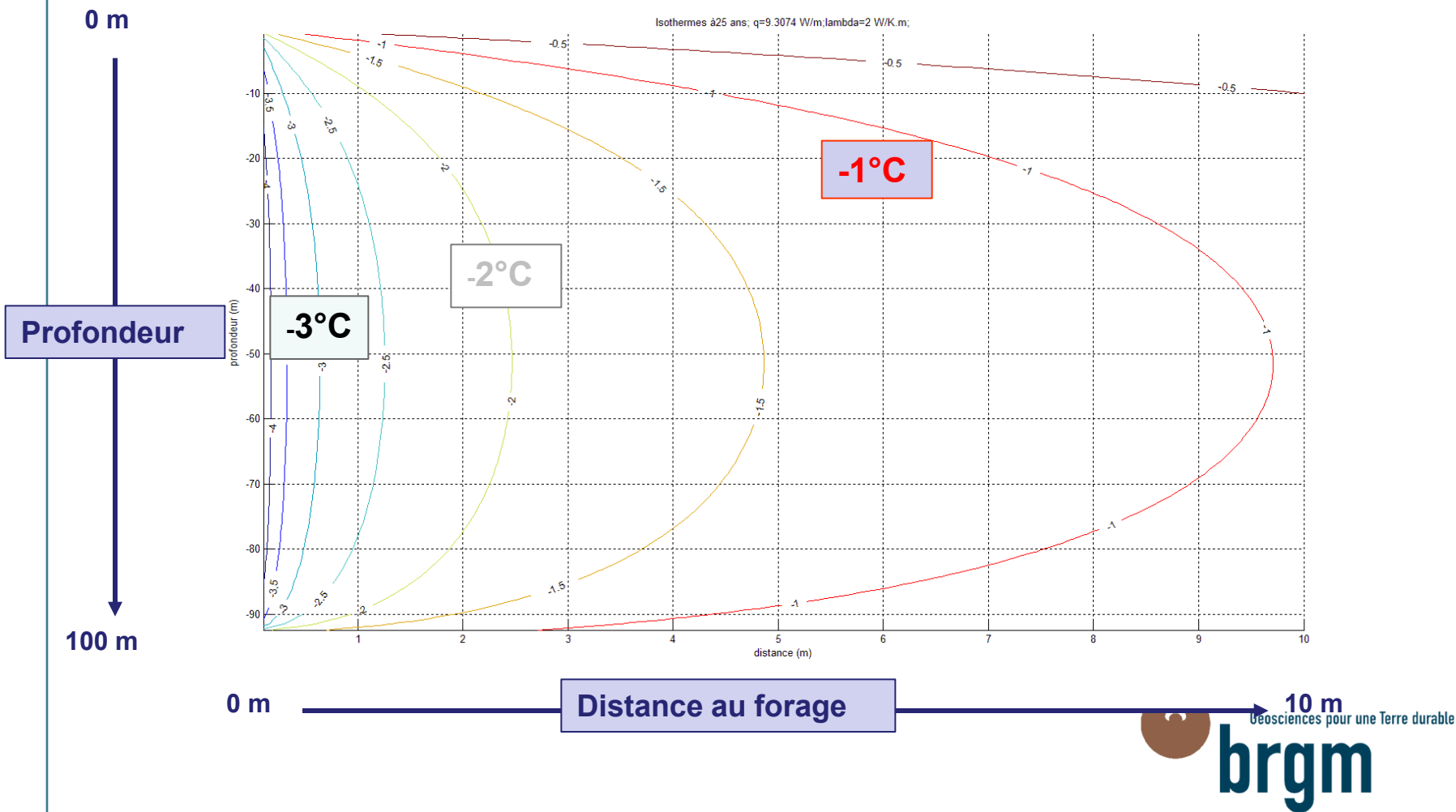
Energie max prélevée (sinon appauvrissement de la ressource)

Terrains saturés : **150 kWh/m/an**

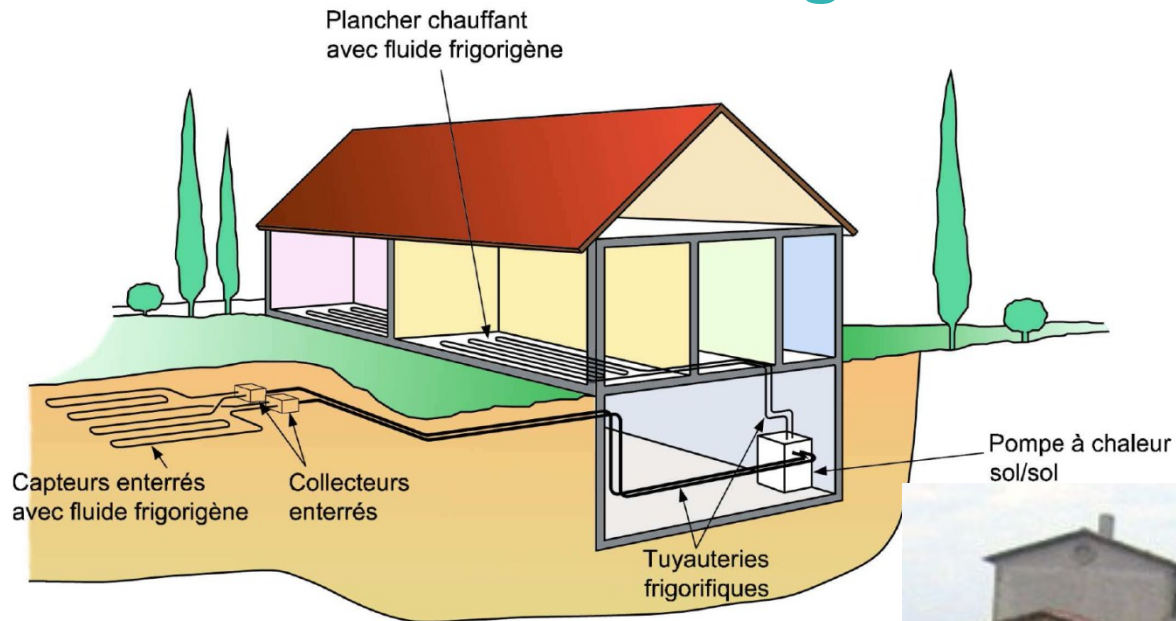
Terrains secs : **100 kWh/m/an**

Dimensionnement de sondes verticales

Baisse de température du terrain après 25 années de fonctionnement



Les échangeurs horizontaux

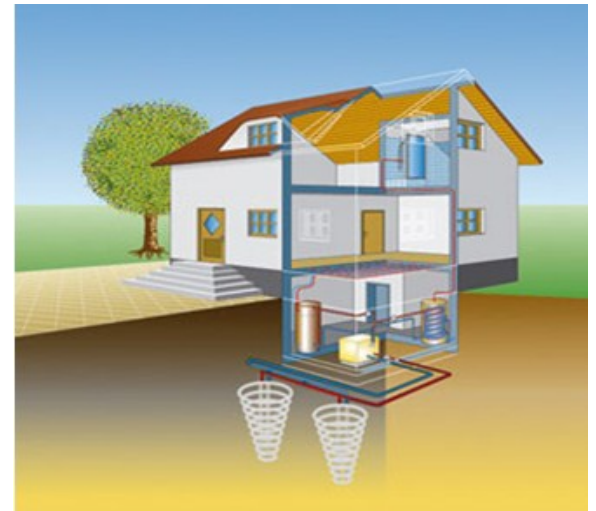
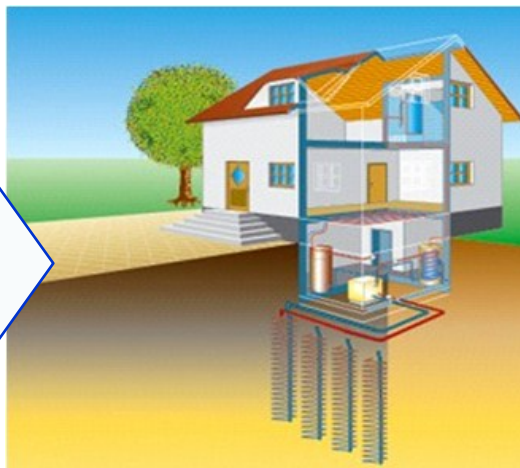
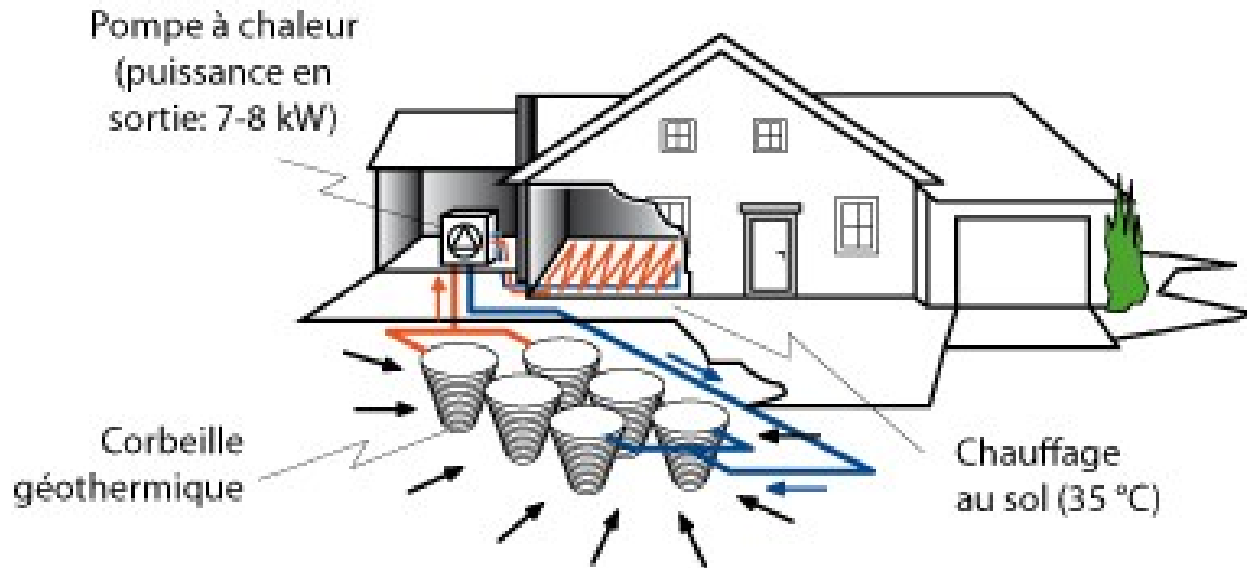


Les échangeurs horizontaux base de calcul simple

- « Règle du pouce » :
superficie de l'échangeur = 1,5 à 2 fois la surface à chauffer
- Dimensionnement : Norme allemande VDI4640
- Limite de la quantité de chaleur extraite sur 1 an :
50 à 70 kWh/m²/an
- Profondeur d'enfouissement : *1,2 à 1,5 m*
- Boucles distantes d'au moins 40 cm

Les échangeurs compacts (les corbeilles...)

Corbeilles géothermiques pour une maison familiale typique



Les échangeurs compacts (les corbeilles...)

- > **Procédés relativement récents, peu de normes / guides de bonnes pratiques établis**



- > **Puissance thermique d'une corbeille = 500 W à 1 KW**

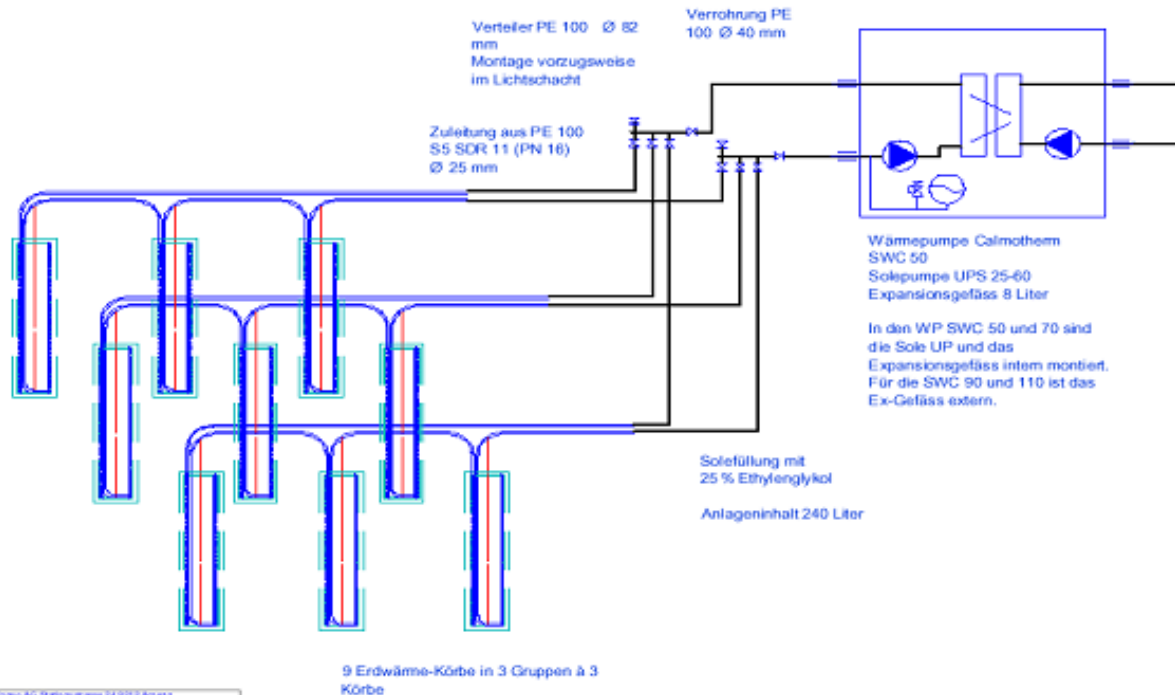


Géosciences pour une Terre durable

brgm

Les échangeurs compacts (les corbeilles...)

- Espacement entre deux corbeilles = 4 m (16m^2 par corbeille)
- Sommet des corbeilles positionné à une profondeur de 1,5 m
- 3 corbeilles en série



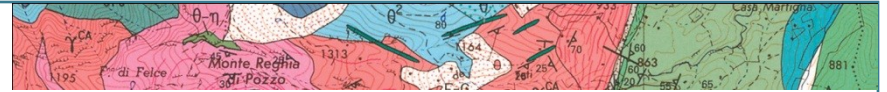
Avantages et inconvénients de la géothermie

Avantages

- ✓ **Potentiel important (chaud froid)**
- ✓ **Coefficient de performance constant (COP)**
- ✓ **Energie locale**
 - **source d'emploi locale**
 - **Coûts de fonctionnement réduits, stables**
- ✓ **Indépendante des variations climatiques**
 - **Disponible 24 / 24 h**
 - **Faible occupation foncière**
 - **Peu d'émissions (CO₂, NOx...)**
- ✓ **Maturité technique**

Inconvénients

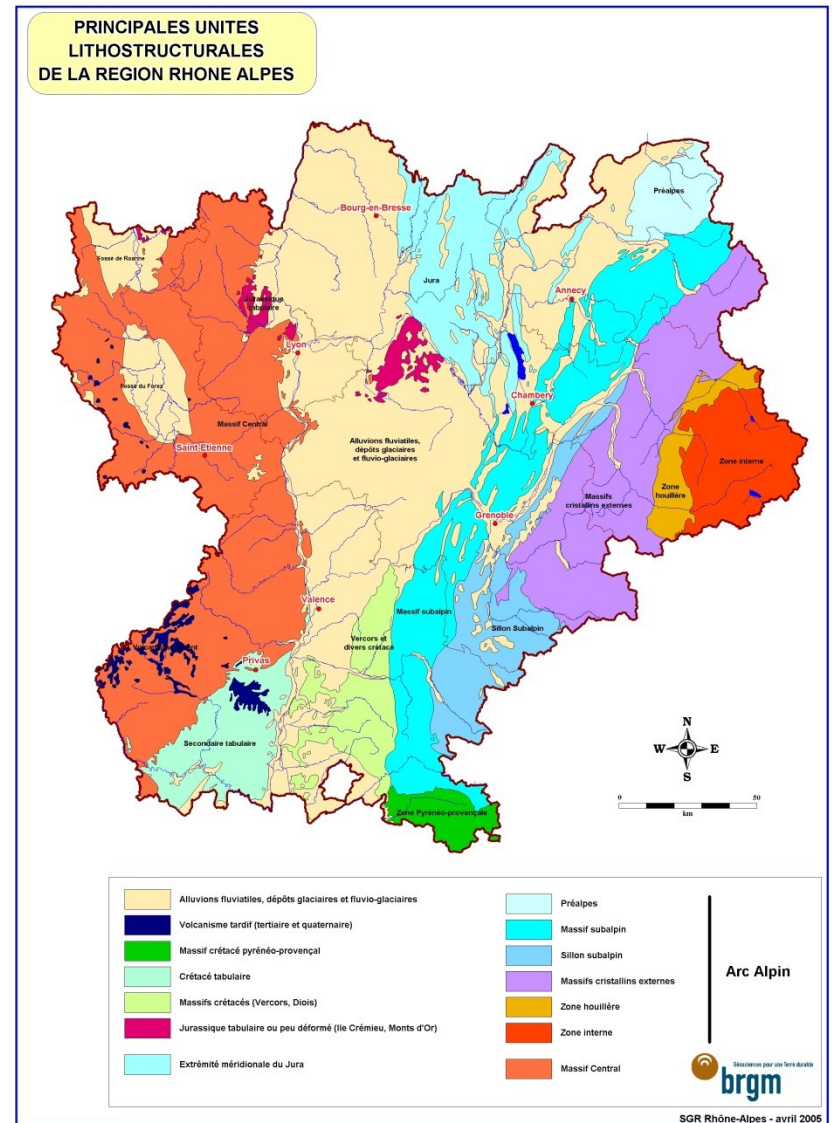
- ✓ **Doit être réalisés par foreurs habilités**
- ✓ **Energie non transportable**
- ✓ **Développement nécessite coordination (ressource épuisable)**
- ✓ **Coûts de réalisation**
- ✓ **Peu avoir impact sur milieu si mal réalisés**



Contexte géologique et potentiel géothermique en Rhône Alpes

Carte géologique simplifiée de Rhône Alpes

- > **Ages formations très étendus, plus ancien plus de 300 millions d'année (socle Alpes, Massif Central,) jusqu'au dépôt glaciaire de l'ère quaternaire récente**
- > **Les roches rencontrées, roches cristallines, volcaniques, calcaires, marnes, argiles, sables, formations alluviales et glaciaires...**
- > **Structure géologique d'effondrement sillon rhodanien séparant Massif Central des Alpes**



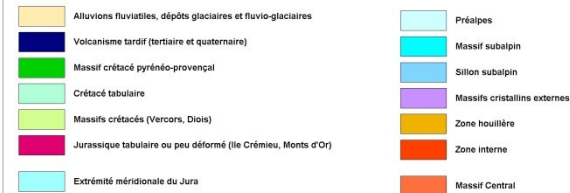
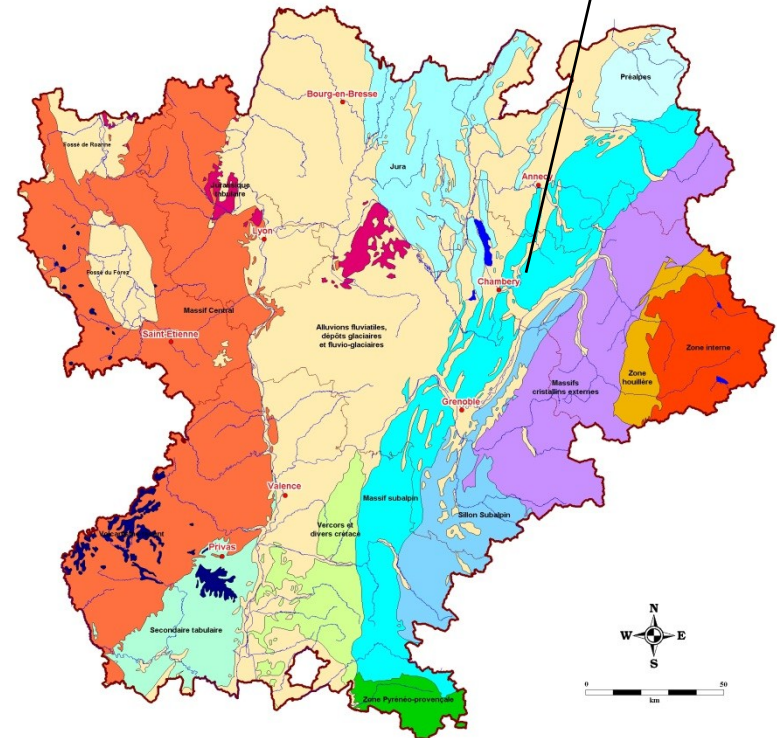
Différents types d'aquifère en Rhône Alpes

Différents types d'aquifères en Rhône Alpes

- Calcaires (dont contexte karstique)
- Alluvions des grands cours d'eau
- fluvio-glaciaires
- Molasse

PRINCIPALES UNITES
LITHOSTRUCTURALES
DE LA REGION RHONE ALPES

Contexte karstique



Arc Alpin

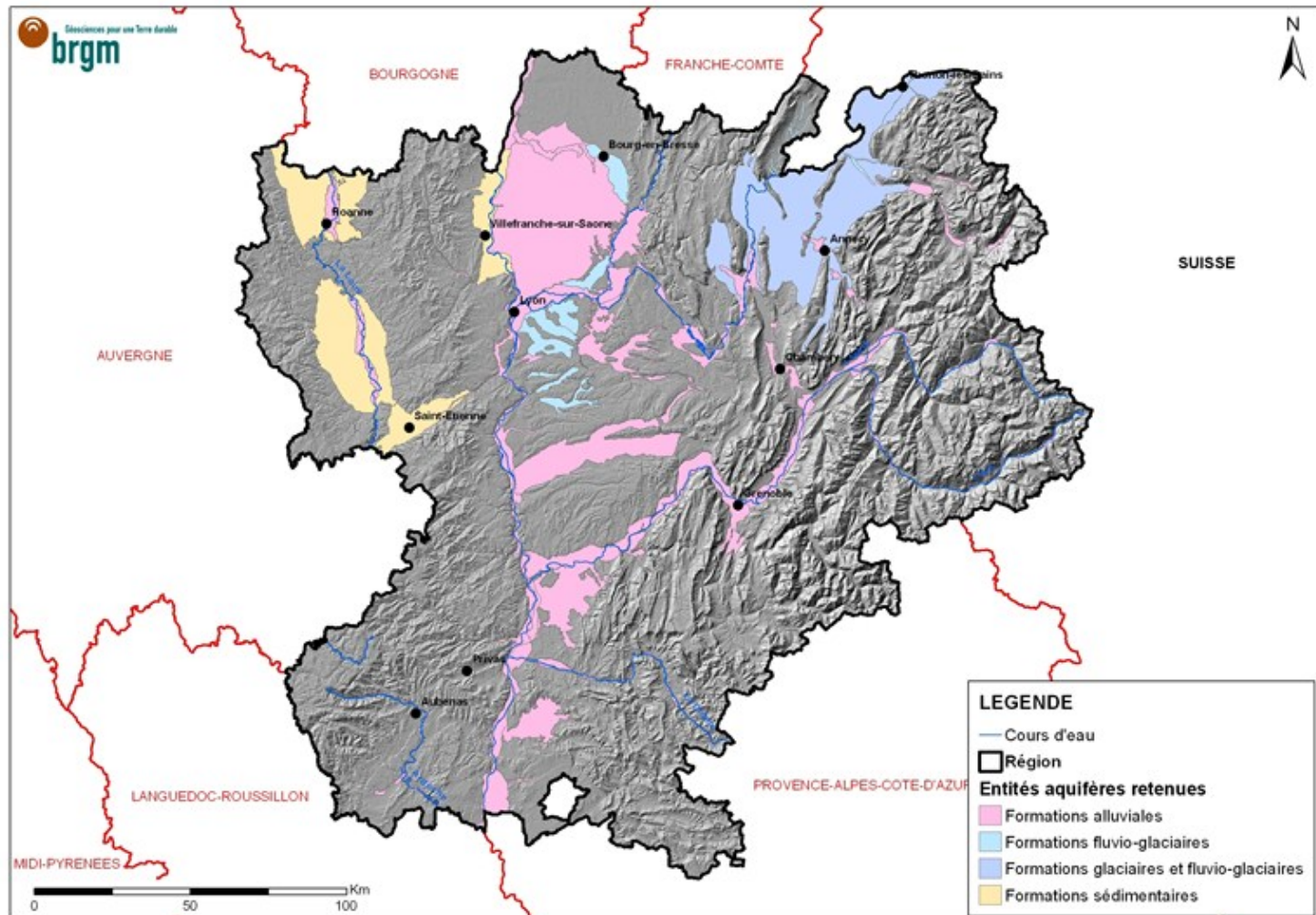
brgm

Données pour une carte durable

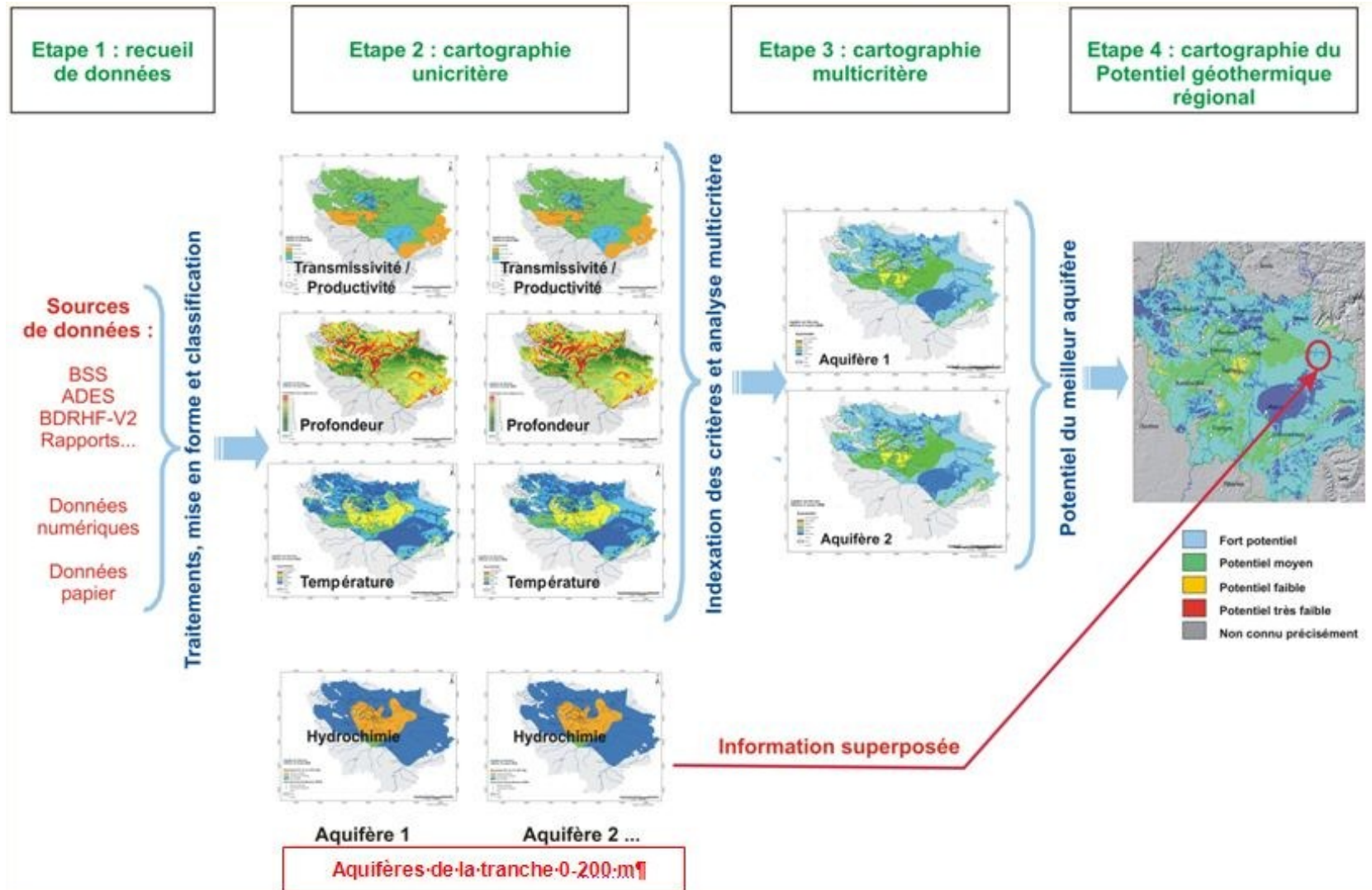
Valorisation du potentiel géothermique en Rhône Alpes

- **Atlas du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères**
- **Potentialité du sous-sol pour la mise en place de sondes géothermiques verticales**
- **Diffusion des résultats – mise en ligne**

Evaluation du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères



Evaluation du potentiel géothermique très basse énergie des aquifères



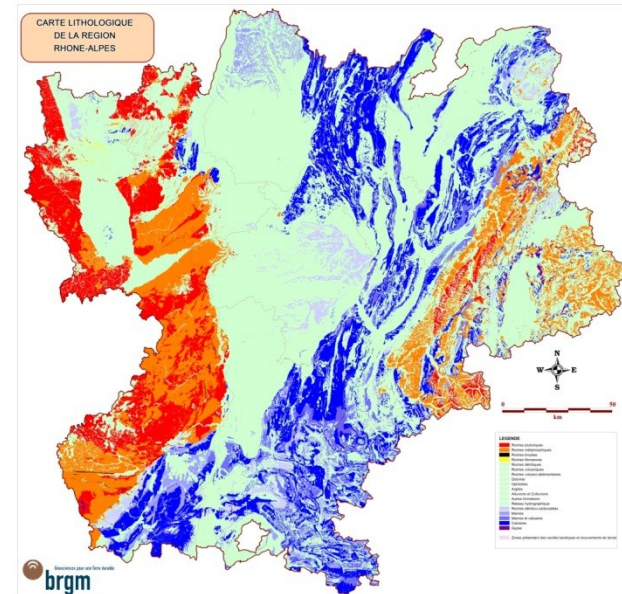
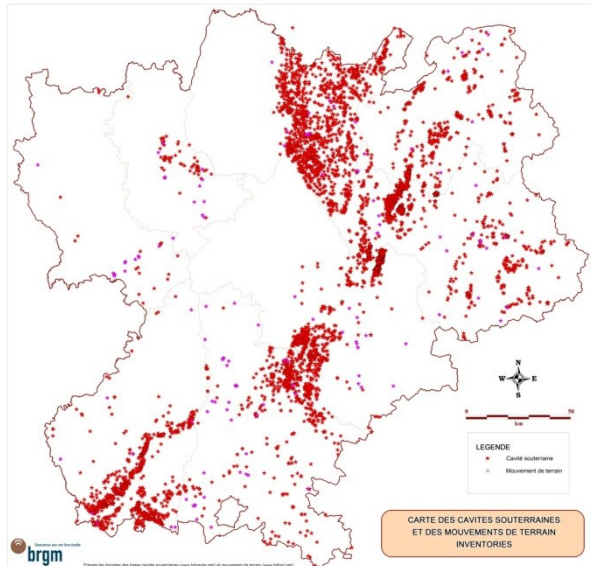
Evaluation du potentiel géothermique très basse énergie : indexation des différents critères

Critère de potentialité géothermique	Classification de critères	Indexation des classes	Potentialité
Profondeur d'accès à la ressource	Prof < 5m	1	Défavorable
	5 m < Prof < 15 m	4	Très favorable
	15 m < Prof < 30 m	3	Favorable
	30 m < Prof < 100 m	2	Peu favorable
	Non connue précisément	x	
Productivité de l'aquifère	$Q < 5 \text{ m}^3/\text{h}$	1	Défavorable
	$5 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 10 \text{ m}^3/\text{h}$	2	Peu favorable
	$10 \text{ m}^3/\text{h} < Q < 50 \text{ m}^3/\text{h}$	3	Favorable
	$Q > 50 \text{ m}^3/\text{h}$	4	Très favorable
	Non connu précisément	- 9999	
Température de la ressource	$T < 10^\circ\text{C}$	2	Peu favorable
	$10^\circ\text{C} \leq T < 15^\circ\text{C}$	4	Très favorable
	$T > 15^\circ\text{C}$	3	Favorable
	Non connu précisément	x	

Evaluation du potentiel du sous-sol pour la mise en place de **SGV** : rappel sur la mise en œuvre des sondes

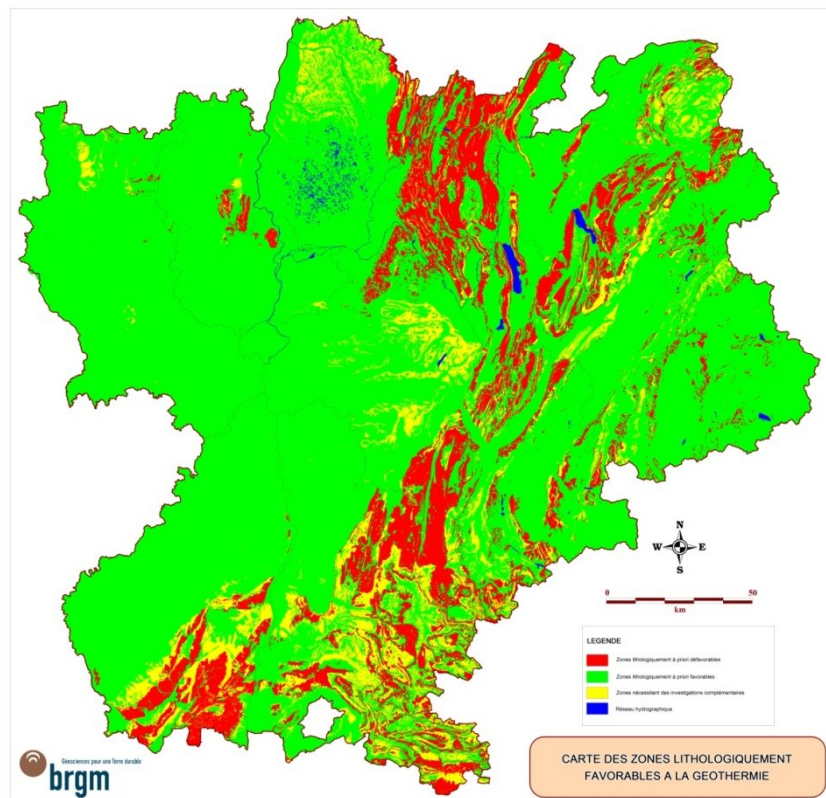
- connaissance préalable du sous-sol indispensable
- présence de vides karstiques ou de vides liés à une dissolution du gypse abaisse la performance des installations (conductivité thermique de l'air plus faible que celle des terrains traversés)
 - Mise en place de sondes géothermiques en secteur potentiellement karstique ou gypseux est donc déconseillée
- Norme NF X 10-970 sur la sonde géothermique verticale (homologation le 28 août 2010) définissant les prescriptions relatives au dimensionnement et à la mise en œuvre d'une sonde géothermique verticale
 - cimentation sur toute la hauteur du tube de la sonde
 - en présence de perte(s) ou perte(s) totale(s) liée(s) à des vides, cimentation imposée, pouvant présenter des difficultés de mise en œuvre

Evaluation du potentiel du sous-sol pour la mise en place de SGV : choix de la méthode et des critères de potentialité géothermique



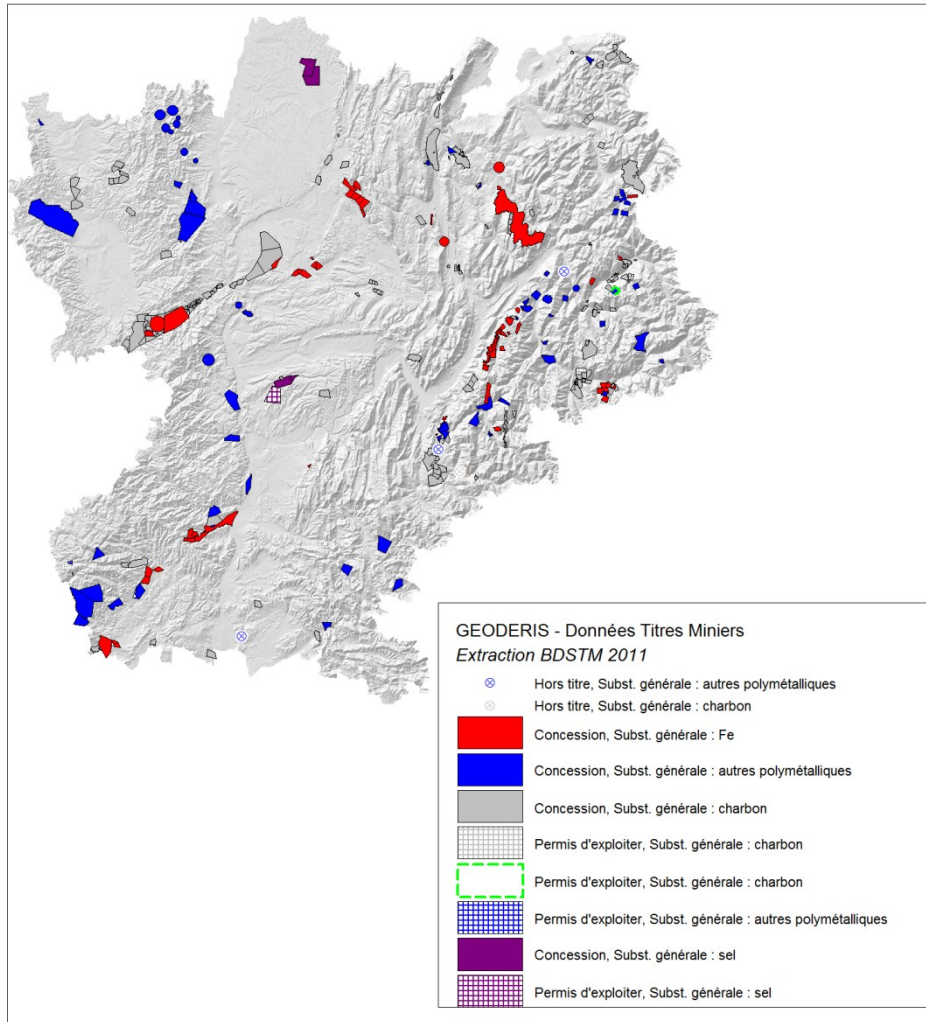
- Pas possibilité de travailler en 3D déformation structurale trop importante pour connaître en tous lieux la coupe géologique
- Prise en compte lithologie
- Effondrement karstique, mouvement de terrain

Evaluation du potentiel du sous-sol pour la mise en place de SGV : Potentialité géothermique

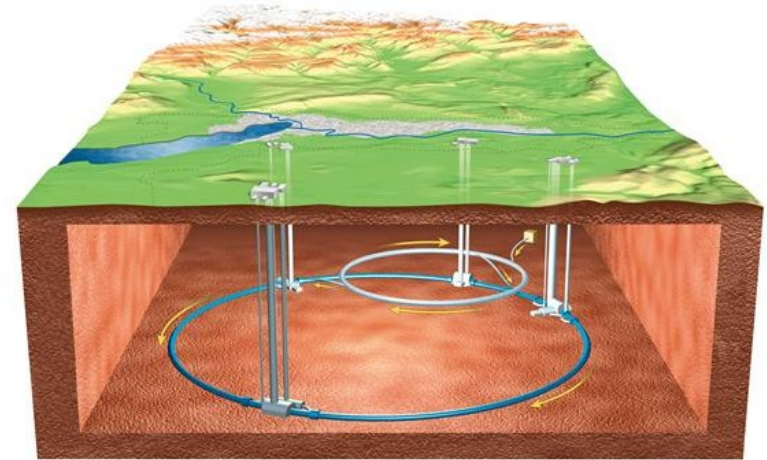


	Zone a priori favorable sous réserve d'étude confirmant le caractère adapté
	Zone incertaine nécessitant des études complémentaires
	Zone a priori défavorable sauf étude démontrant le caractère adapté
	Zone non concernée

Particularités site internet

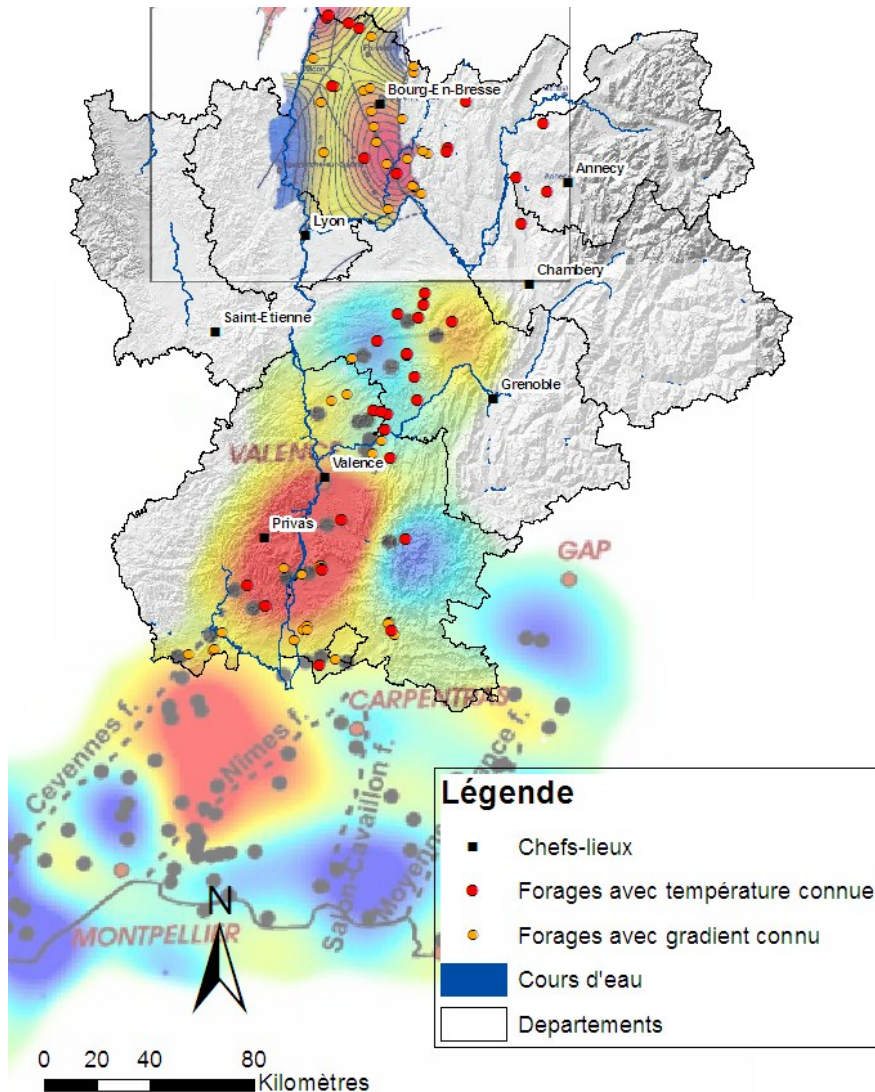


Données minières

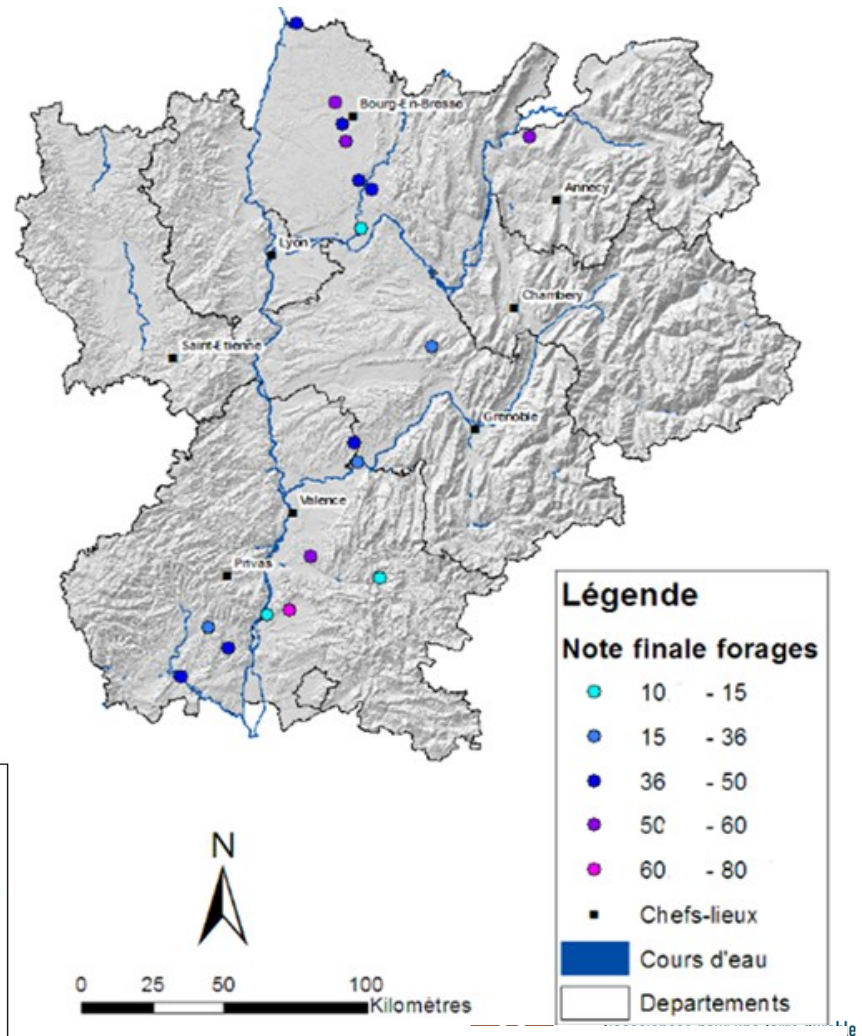


Présence structure scientifique à enjeux
CERN Pays de Gex

Autres formes de géothermie en Rhône Alpes



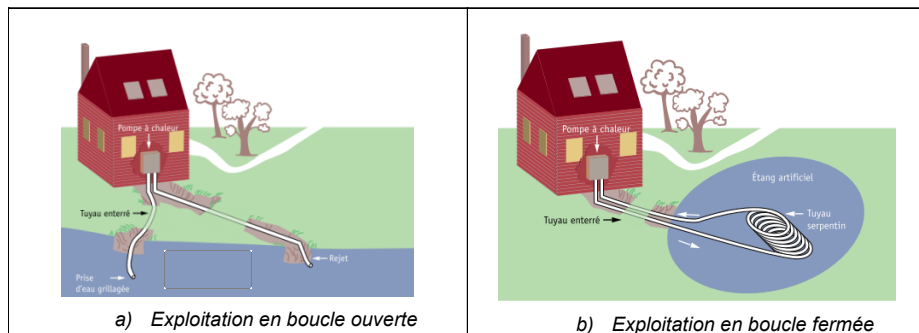
Forages pétroliers et gradients géothermiques



20 forages pétroliers au meilleur potentiel

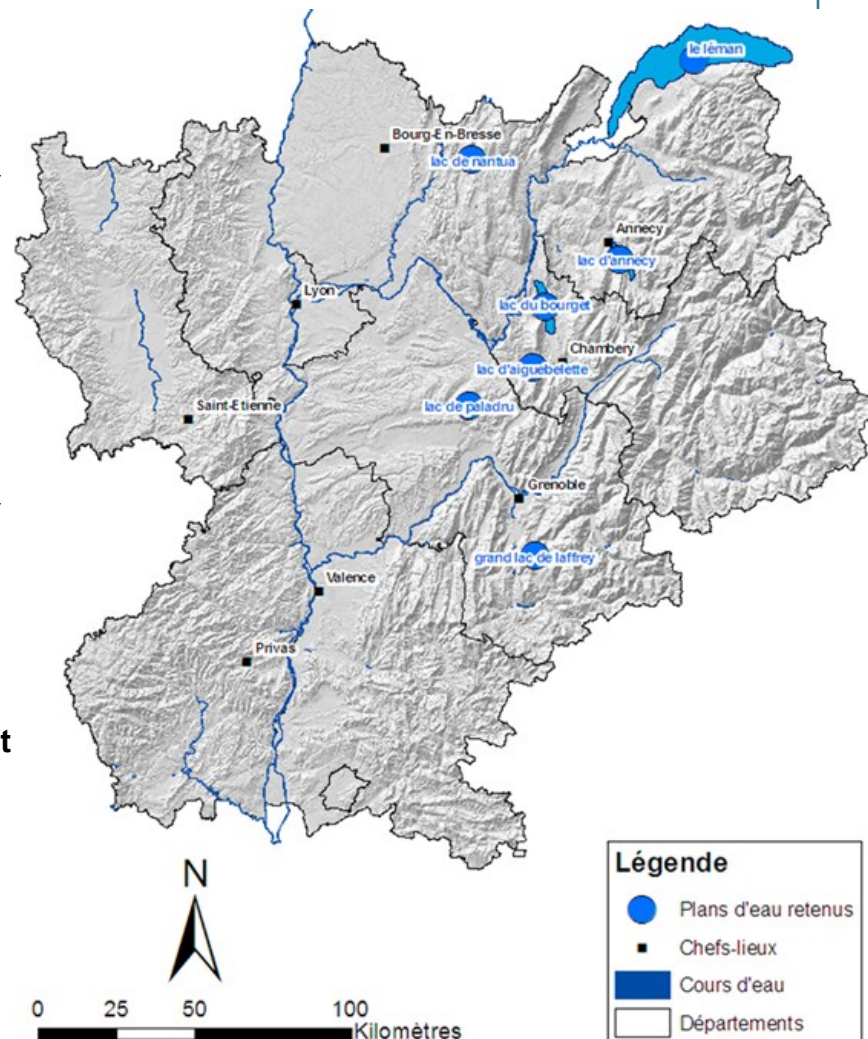
Autres formes de géothermie en Rhône Alpes

Lacs



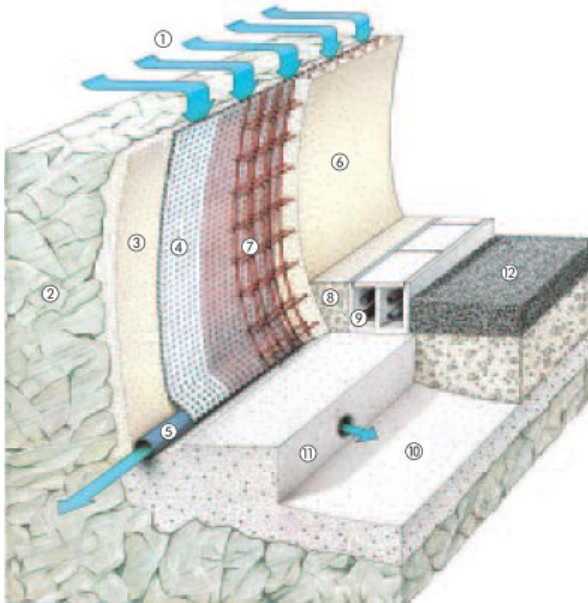
Potentiel lacs pour surtout rafraîchissement /climatisation

- Léman (Genève Lac Nations) chauffage et climatisation
- Lac du Bourget prototype (société De profundis) fait en boucle fermée
- 6 lacs pré-sélectionnés

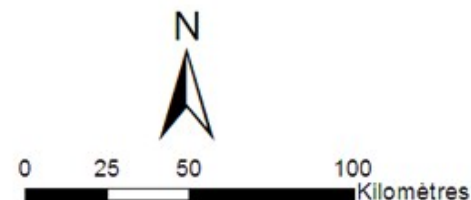
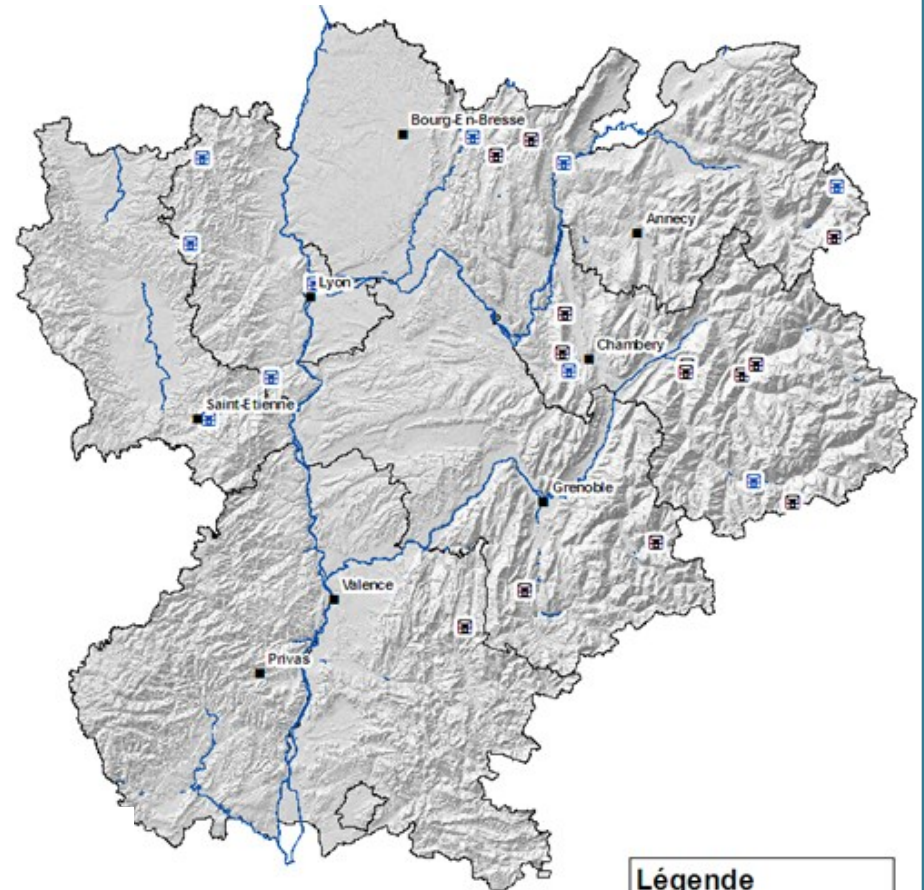


Autres formes de géothermie en Rhône Alpes

Tunnels



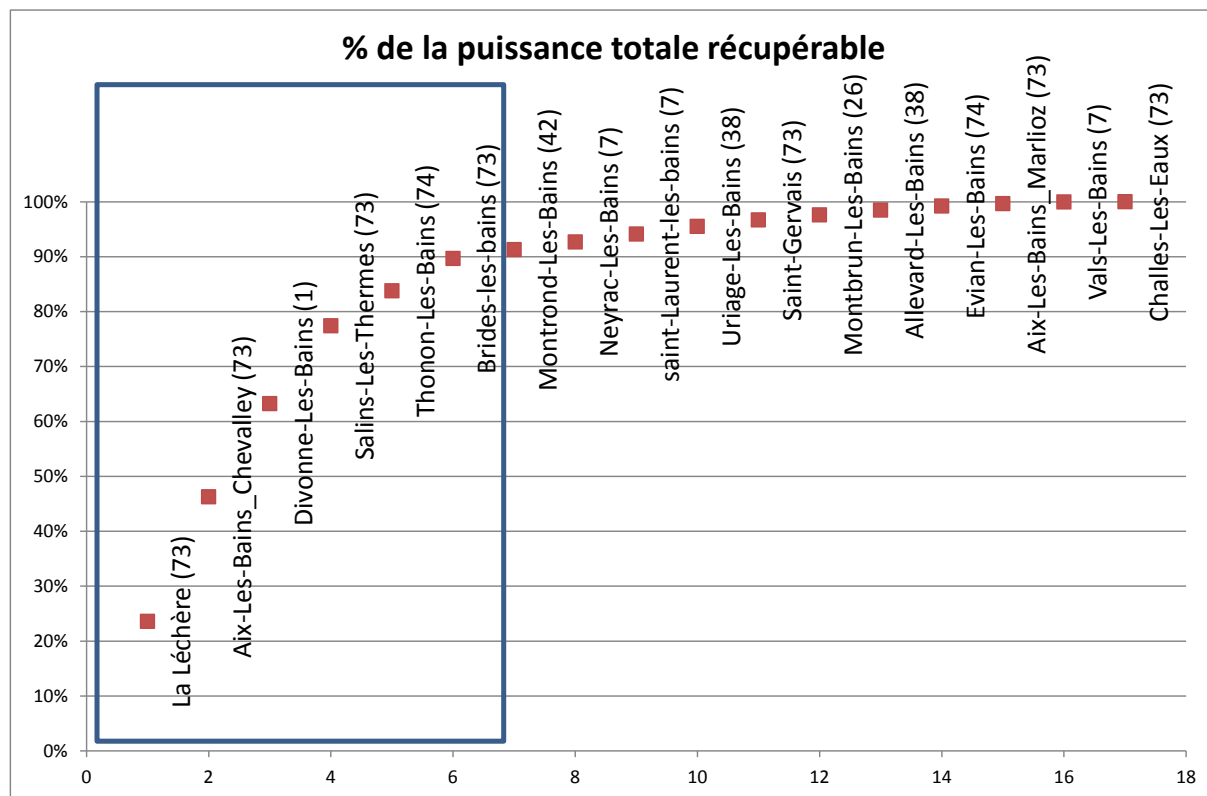
25 ouvrages pré-sélectionnés



Légende	
	Tunnels ferroviaires
	Tunnels routiers
	Chefs-lieux
	Cours d'eau
	Départements

Autres formes de géothermie en Rhône Alpes

Eaux thermo-minérales



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Site internet potentiel géothermie en Rhône Alpes

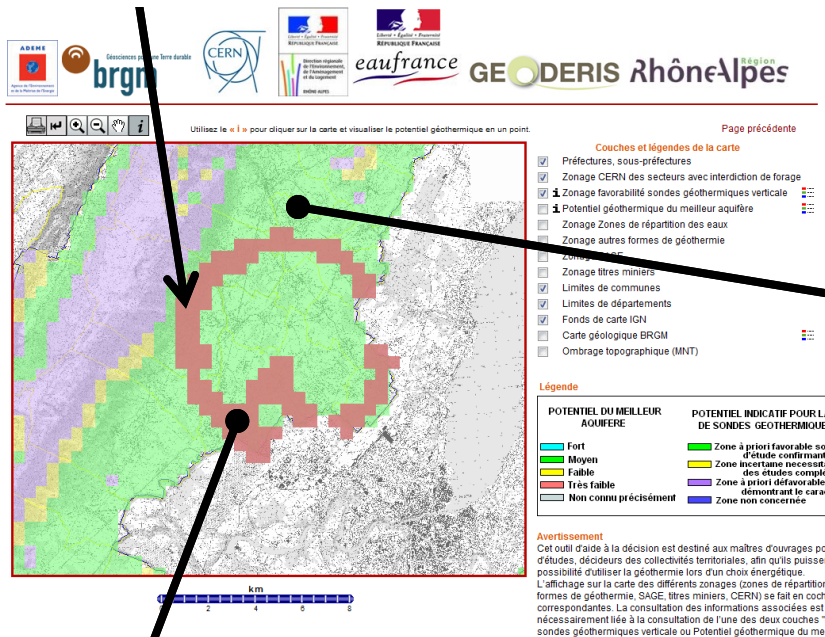
- Données accessibles à l'adresse <http://www.geothermie-perspectives.fr/>



The diagram shows a cross-section of the ground with two aquifers. The top layer is Aquifère n° 1 (light blue), and the bottom layer is Aquifère n° 2 (dark blue). They are separated by a grey horizontal band labeled Niveau imperméable. The ground surface is a brown line. Two boreholes are shown: Forage n° 1 on the left and Forage n° 2 on the right. Forage n° 1 has a water level indicated by a dashed line to Profondeur niveau 1. Forage n° 2 has a water level indicated by a dashed line to Profondeur niveau 2. A red box labeled Altitude sol is positioned between the two boreholes at the ground surface level. Another red box labeled Profondeur aquifère 2 is located within Aquifère n° 2, below the first impermeable layer.

Exemples Site internet potentiel géothermie en Rhône Alpes

Anneau CERN



Potentiel Géothermique sur la commune de : ECHENEVEX (01153)

Positionnement du point sélectionné

X (Lambert 2 étendu) : 885131 m

Y (Lambert 2 étendu) : 2151499 m



CERN

RISQUES LIÉS AUX STRUCTURES SOUTERRAINES DU CERN sur le secteur sélectionné, des infrastructures souterraines du CERN (Organisation européenne pour la recherche nucléaire) existent. Les forages de plus de 10m de profondeur sont localement interdits et dans tous les cas impérativement soumis à accord préalable, écrit et explicite du CERN. Contactez le service "Information du Site et du Patrimoine" du CERN par mail (Dict.Service@cern.ch) ou le standard CERN au +41 22 767 6111.

Potentiel Géothermique sur la commune de : THOIRY (01419)

Positionnement du point sélectionné

X (Lambert 2 étendu) : 881893 m

Y (Lambert 2 étendu) : 2144953 m

Z : 467 m

POTENTIEL INDICATIF POUR LA MISE EN PLACE DE SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES

Le caractère favorable ou non est donné de façon indicative et se base sur les lithologies identifiées d'après la carte géologique au 1/50000. La présence de mouvements de terrain, de zones présentant des formations calcaires ou gypseuses impliquent que l'implantation de sondes géothermiques verticales est a priori défavorable. Toutes les précautions nécessaires doivent être prises avant d'envisager de réaliser un forage. Un examen des données géologiques existantes est nécessaire et des investigations complémentaires peuvent être à prévoir. Le caractère favorable ou non peut être modifié au regard des données géologiques et lithologiques plus précises disponibles ou acquises par ailleurs. Une vérification de l'absence d'infrastructures souterraines (mines, tunnels...) est nécessaire avant d'envisager de réaliser un ouvrage. On veillera également aux périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable, aux zones de répartition des eaux (protections réglementaires) et aux zonages des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux.

A titre indicatif, les conductivités thermiques (W/m²K) habituelles rencontrées pour les lithologies reconnues sont indiquées (conductivités thermiques pour un milieu sec ou saturé en eau, conductivités thermiques minimales, intermédiaires et maximales).							
Cela ne remplace pas une étude locale complétée par des tests de réponse thermique.							
Nature	Description	Favorabilité	Sec Min	Sec	Sec Max	Satur Min	Satur Max
Alluvions et Colluvions	Alluvions torrentielles anciennes (Würm)	Zone a priori favorable	3,64	3,9	4,17	4,68	4,84
						5	

RAPPELS REGLEMENTAIRES IMPORTANTS l'obligation de déclaration préalable s'impose à toute personne exécutant un sondage, un ouvrage souterrain ou un forage dont la profondeur dépasse 10 mètres (code minier, article 131). Cette réglementation est générale et s'applique à tous les types de forages : forages d'eau, forages géothermiques, recherche de substances utiles, fondations, géophysique, reconnaissance géologique... Une demande d'autorisation est nécessaire également au titre du code minier pour tout ouvrage ou forage dont la profondeur dépasse 100 mètres. Par ailleurs, le Décret no 91-1147 du 14 octobre 1991 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution précise les modalités de demandes de renseignements et déclarations d'intention de commencement de travaux.

Tous les ouvrages de prélèvement d'eau souterraine, puits ou forages, à des fins d'usage domestique (prévisionnels ou exécutés) doivent être déclarés (article L. 2224-9 du code général des collectivités territoriales).

