



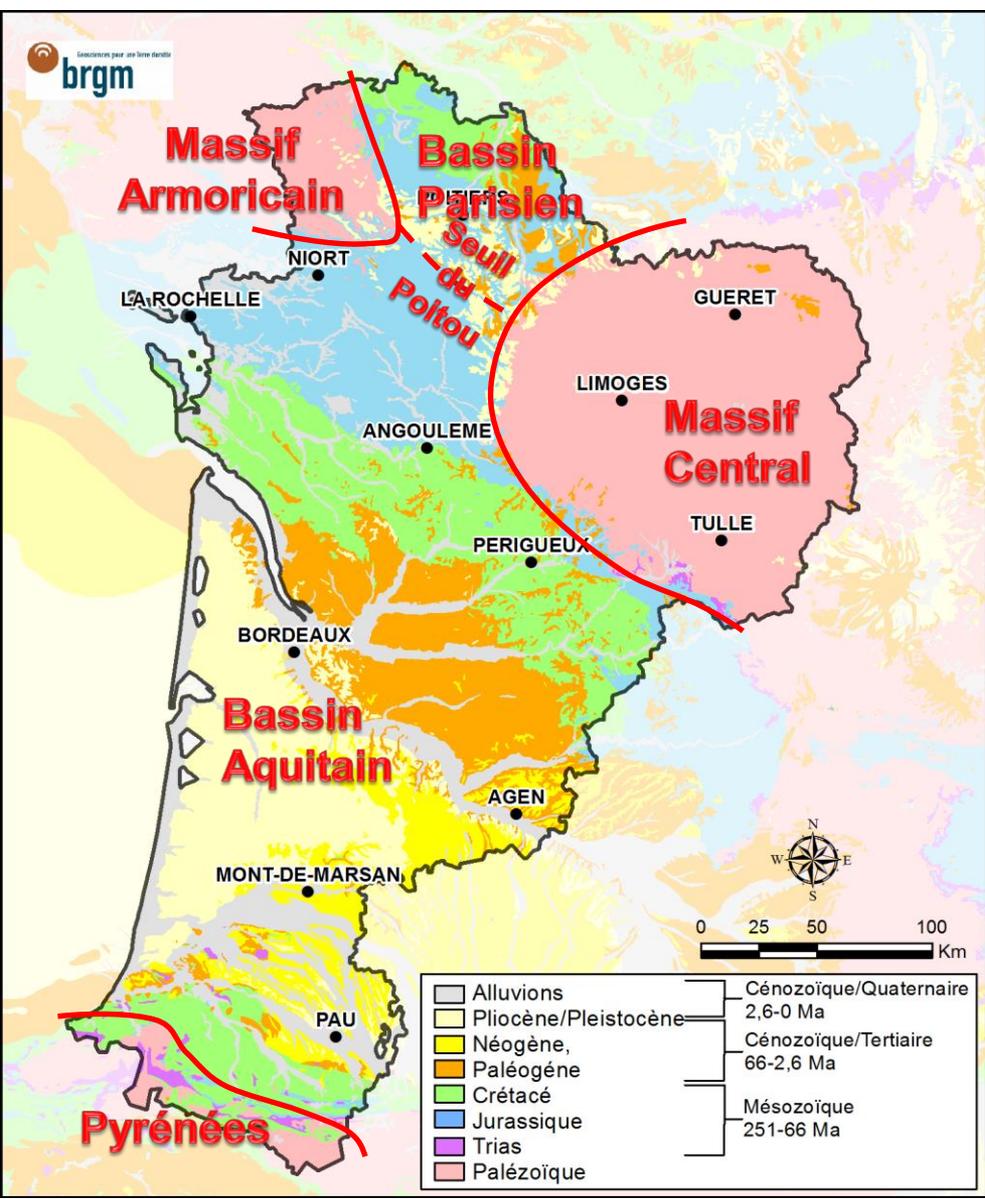
LES DIFFÉRENTES
FORMES DE
GÉOTHERMIE ET
LE CONTEXTE
GIRONDIN

**CONTEXTE
GÉOLOGIQUE
GIRONDIN**

LA GIRONDE

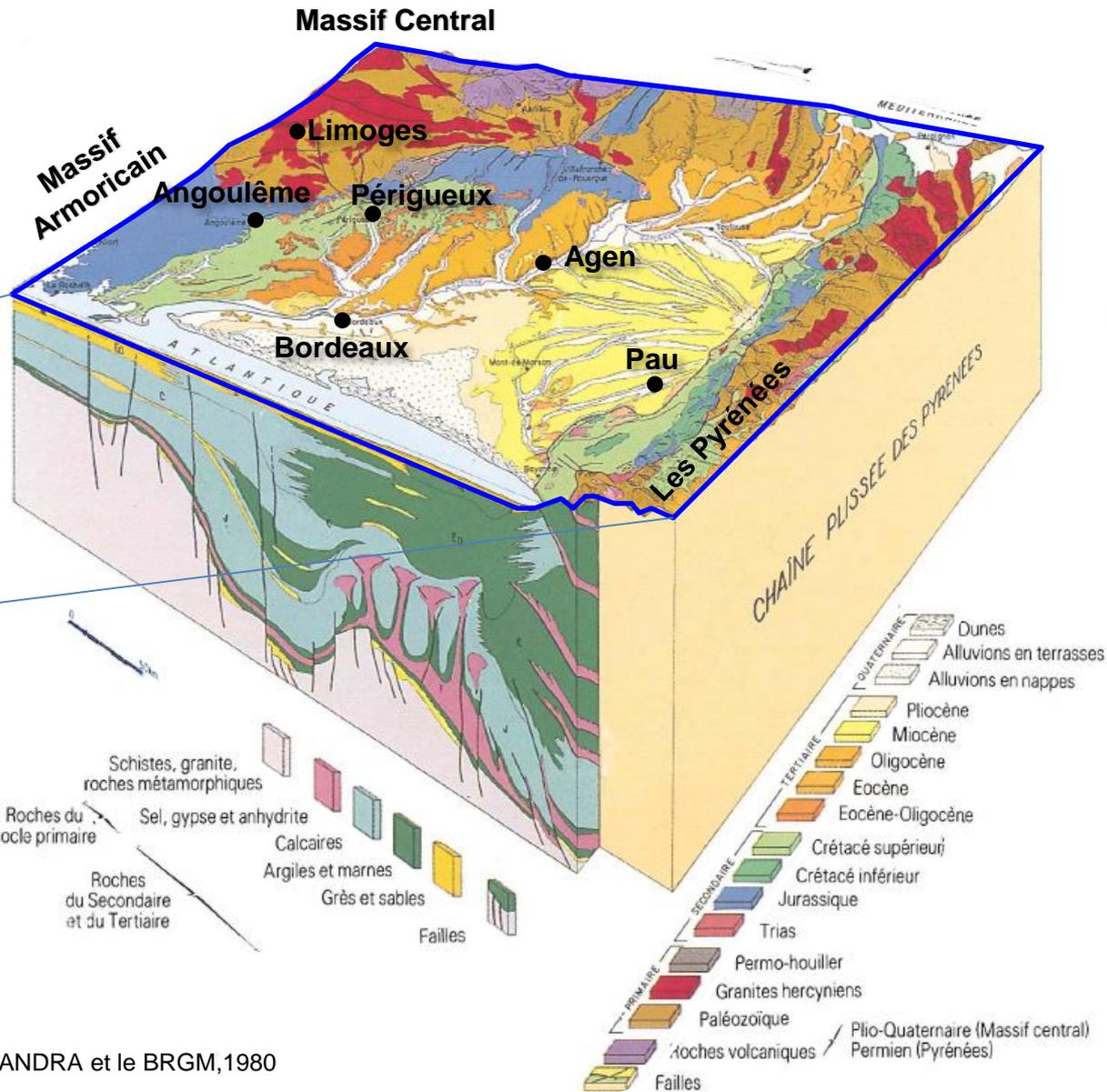
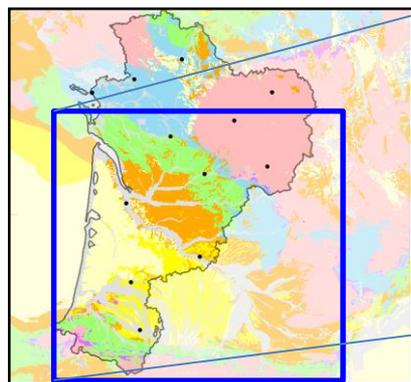
Bassin Aquitain

- 1 bassin sédimentaire



BLOC 3D

Le Bassin Aquitain,
un empilement de couches



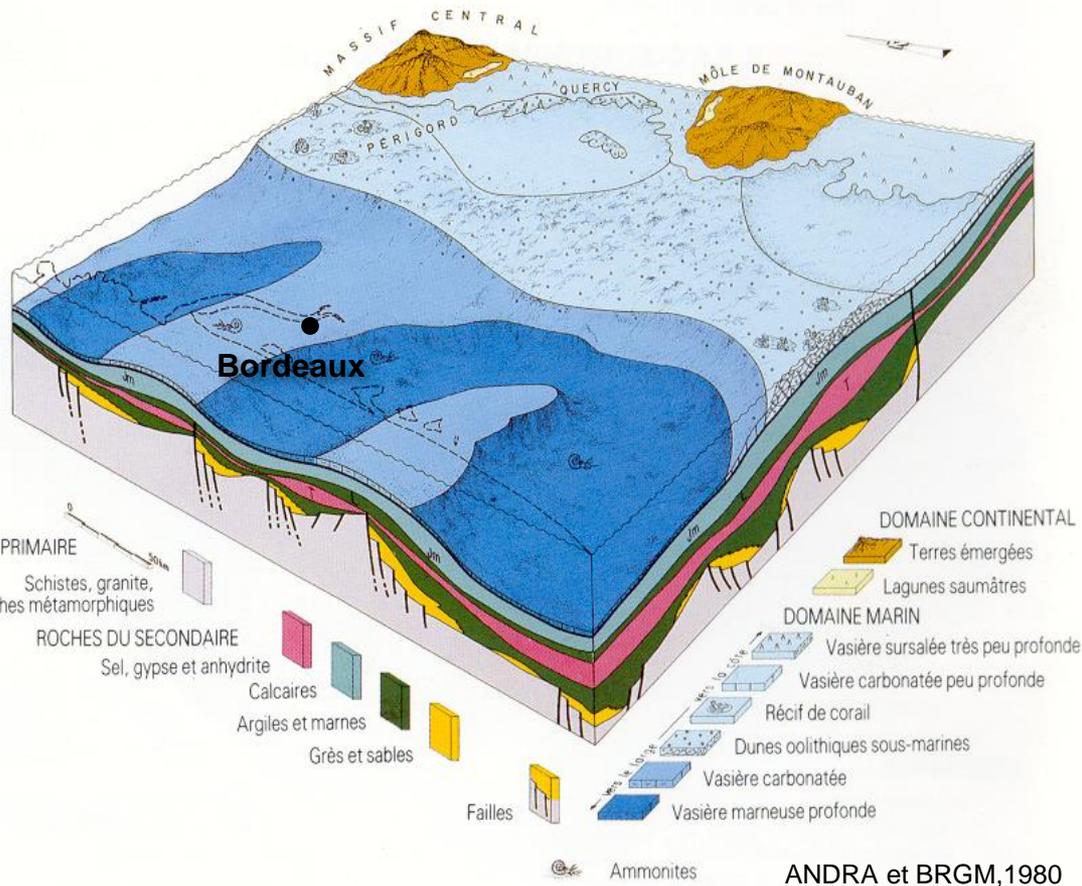
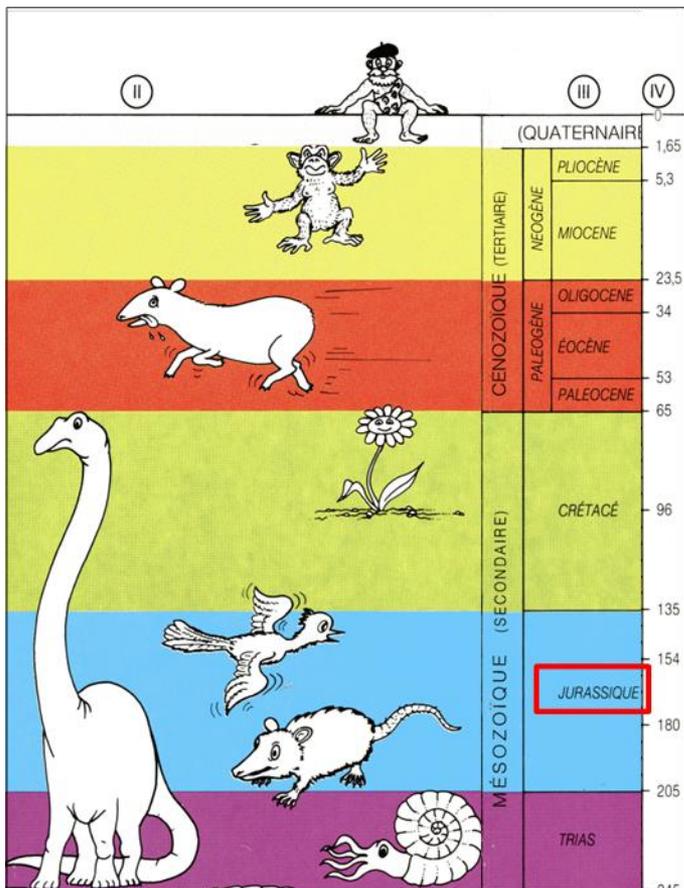
ANDRA et le BRGM, 1980

LES COUCHES SÉDIMENTAIRES

Héritage de plusieurs millions d'années

IL Y A QUELQUE 150 MILLIONS D'ANNÉES

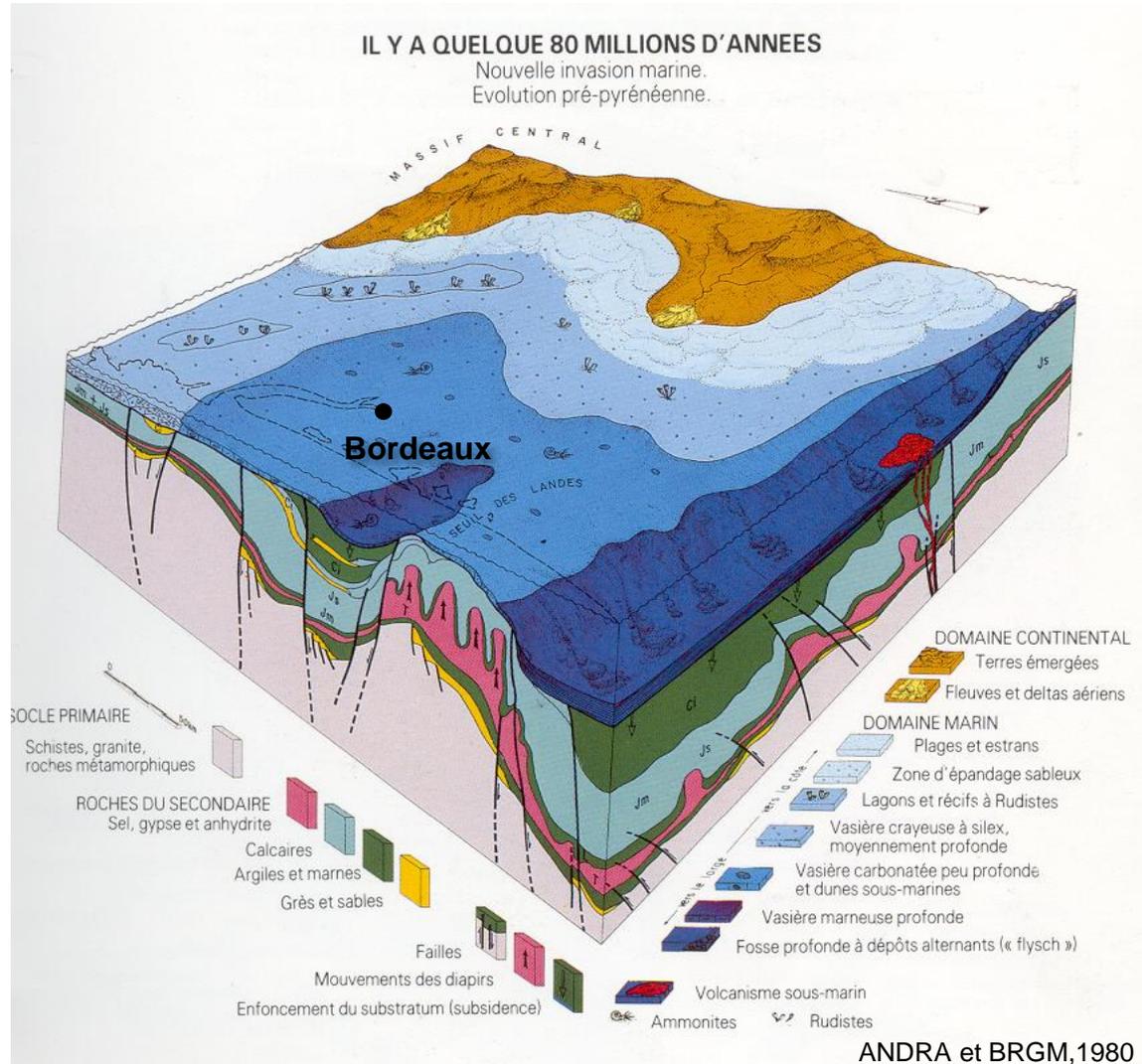
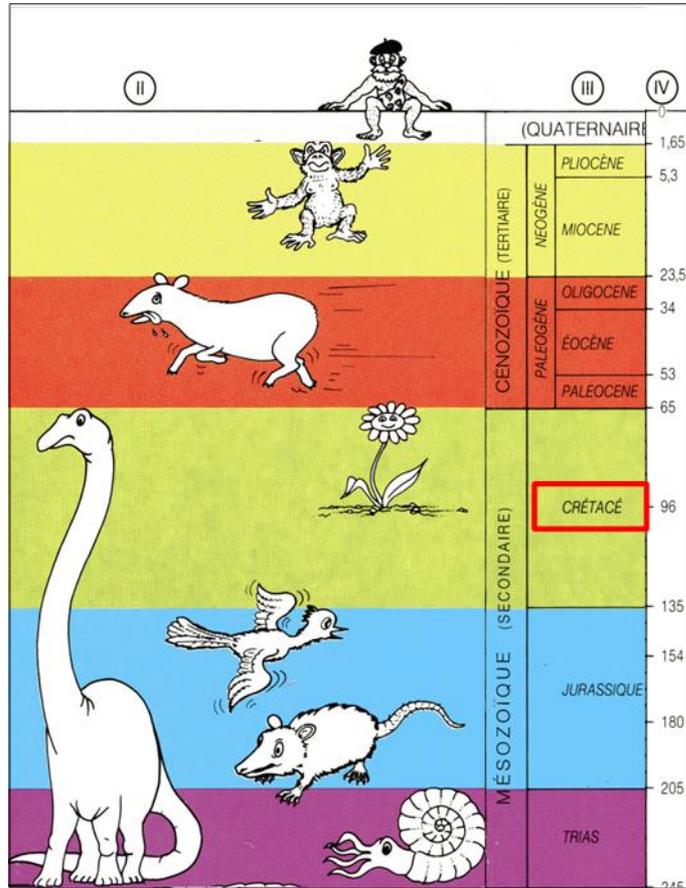
Première invasion marine



ANDRA et BRGM, 1980

LES COUCHES SÉDIMENTAIRES

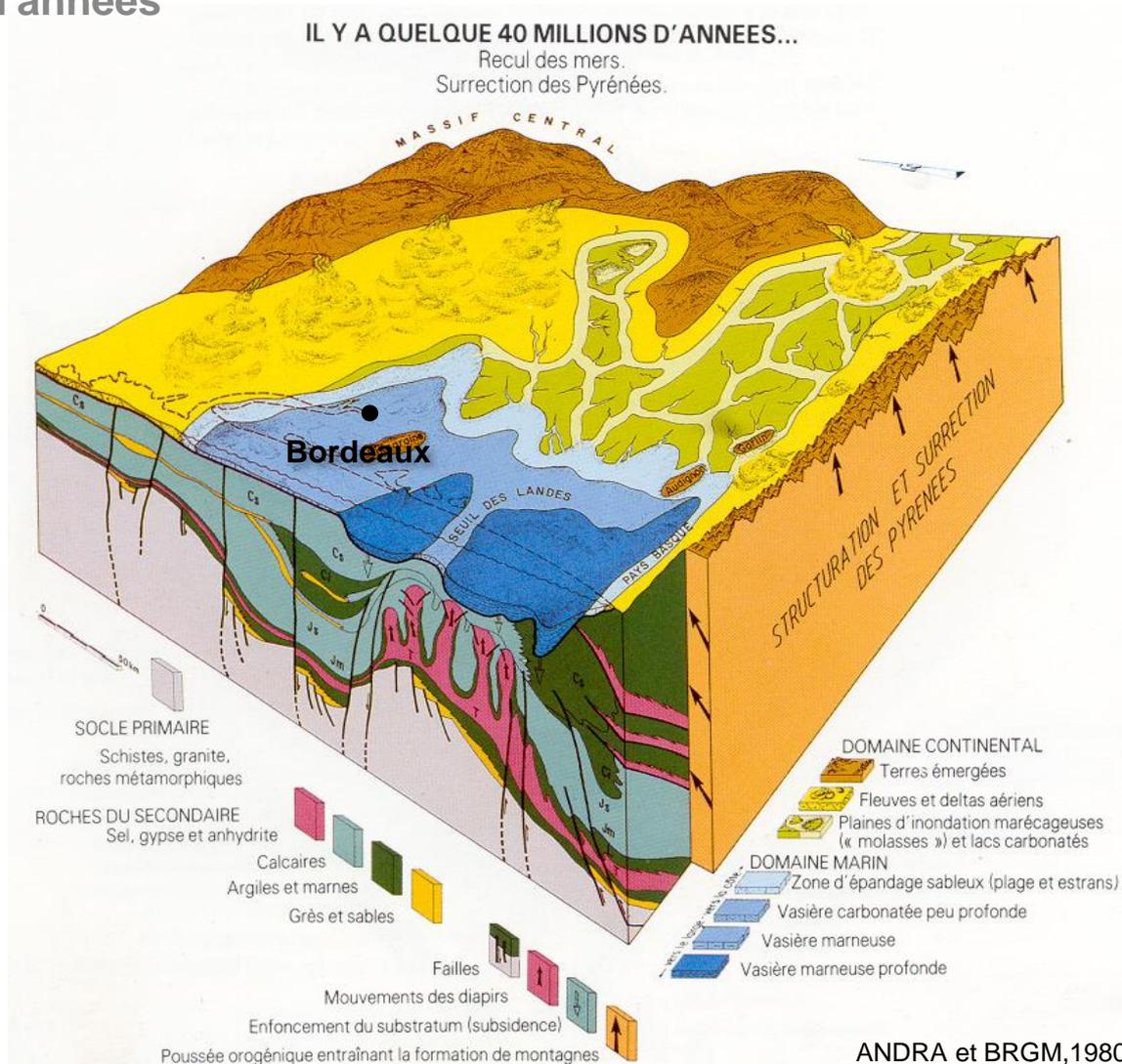
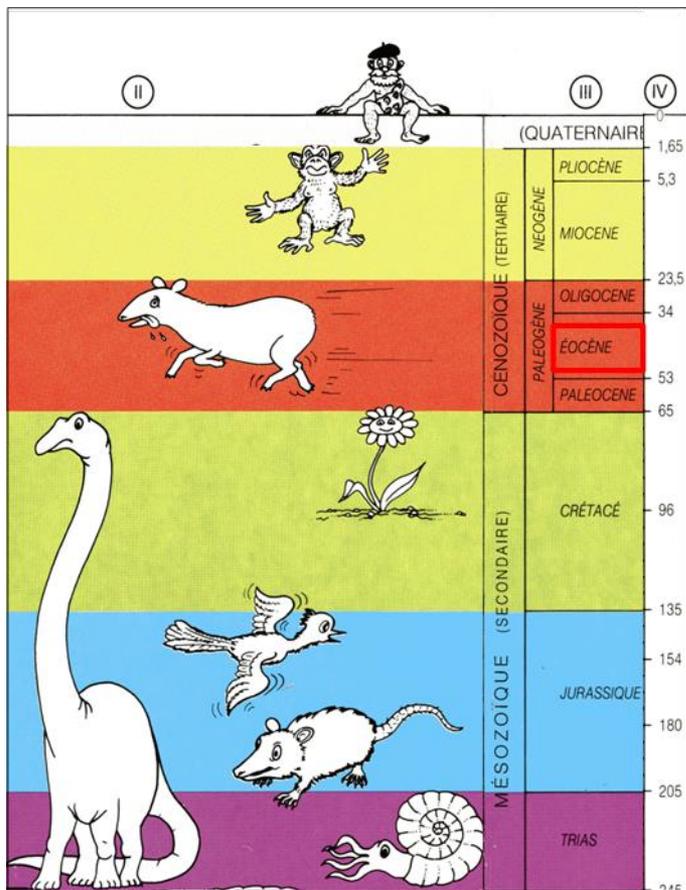
Héritage de plusieurs millions d'années



ANDRA et BRGM, 1980

LES COUCHES SÉDIMENTAIRES

Héritage de plusieurs millions d'années



ANDRA et BRGM, 1980



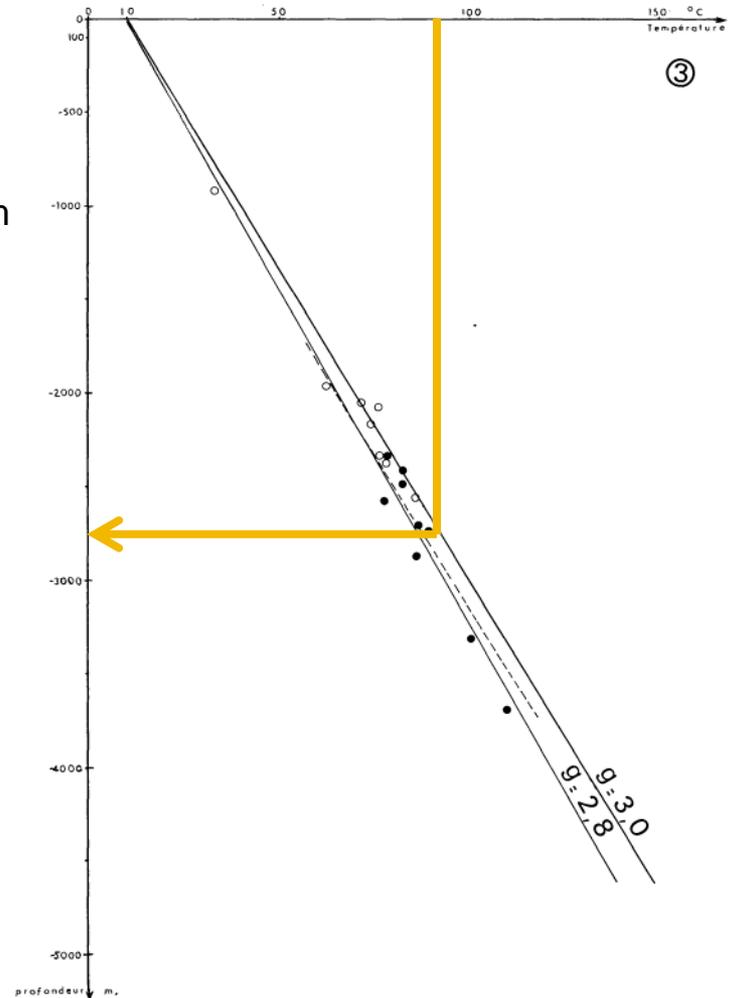
**GISEMENTS
PROFONDS**

GÉOTHERMIE HAUTE ÉNERGIE

Produire de l'électricité

- Turbine à vapeur → températures > 90°C
- France métropolitaine : gradient géothermique $\approx 3^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$

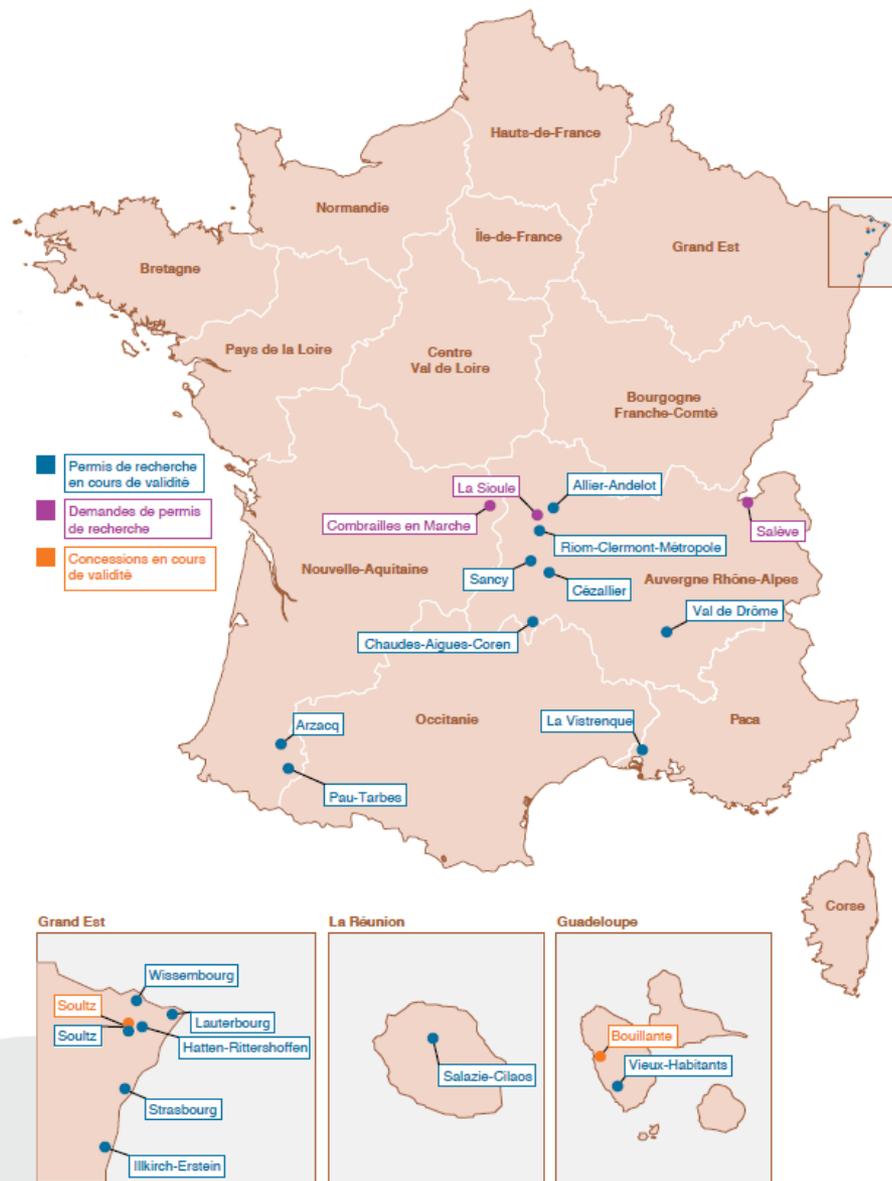
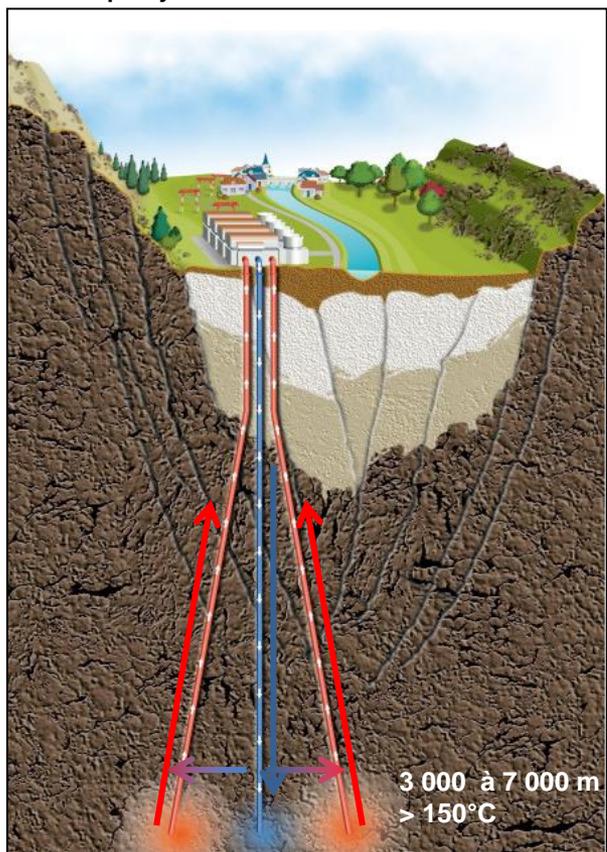
↓
Profondeurs de forage de plusieurs milliers de mètres !



GÉOTHERMIE HAUTE ÉNERGIE

Produire de l'électricité

- Installations en France
Bouillante : 15 MW
Soulz : 1,5 MW
- Plusieurs projets en cours



Source : Observ'ER d'après la DGEC

GÉOTHERMIE BASSE ÉNERGIE

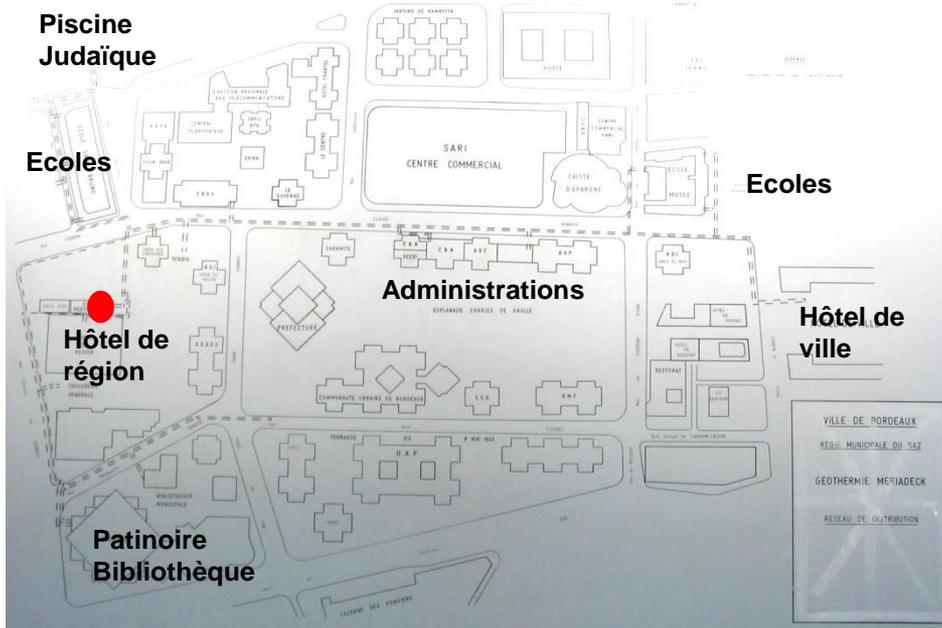
Produire directement de la chaleur

- Exemple : Bordeaux Mériadeck



En sous-sol

Forage profond de 1 134 m
Température $\approx 50^{\circ}\text{C}$



Installations hydrauliques, échangeurs

GÉOTHERMIE SUPERFICIELLE

GÉOTHERMIE SUPERFICIELLE

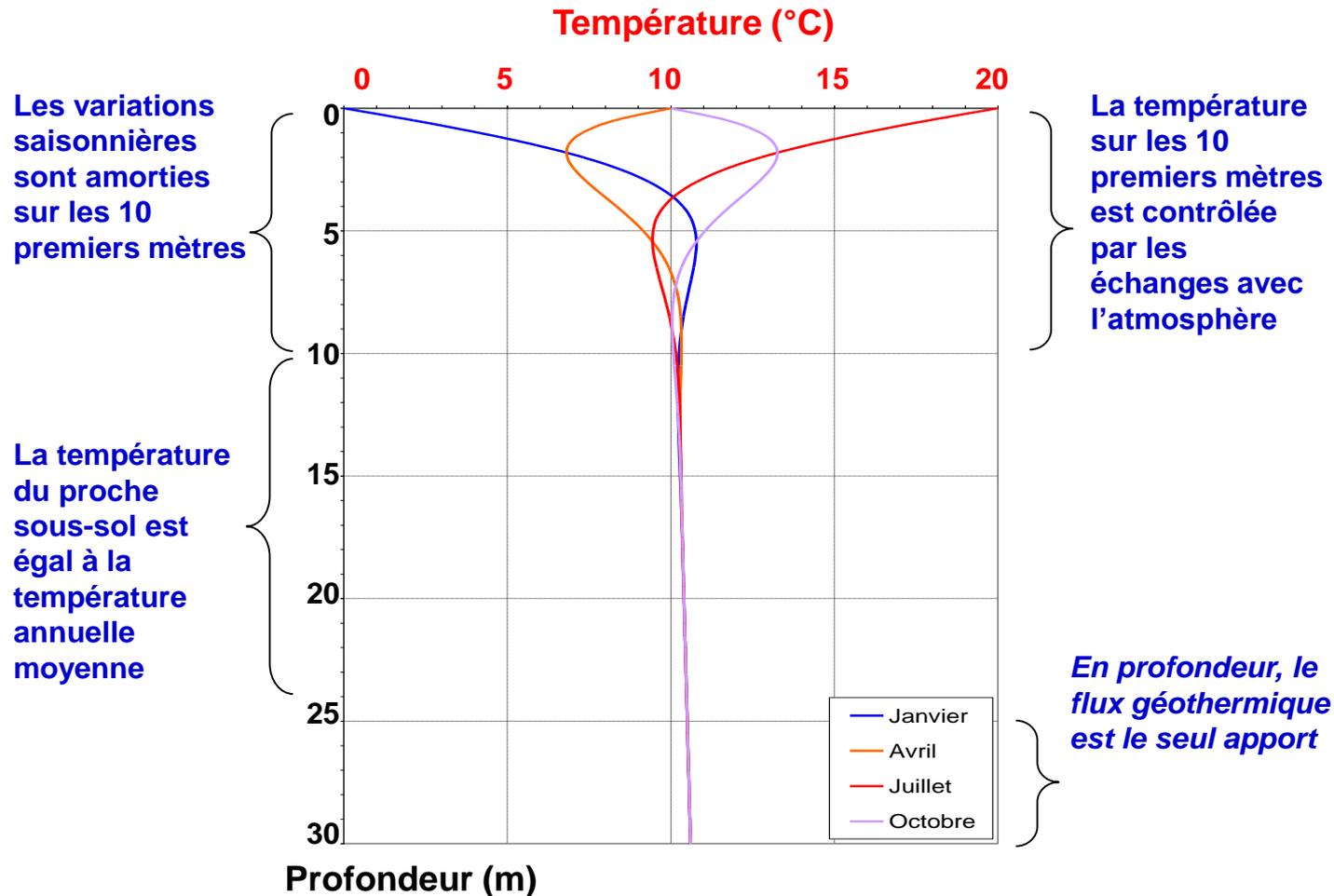
Chauffage et refroidissement indirect

- "Géothermie très basse énergie"
- Réglementairement : géothermie de minime importance
 - Profondeur < 200 m
 - Puissance thermique prélevée au sous-sol < 500 kW
 - (Température de l'eau captée < 25°C)
- Assisté par pompe à chaleur

GÉOTHERMIE SUPERFICIELLE

Chauffage et refroidissement indirect

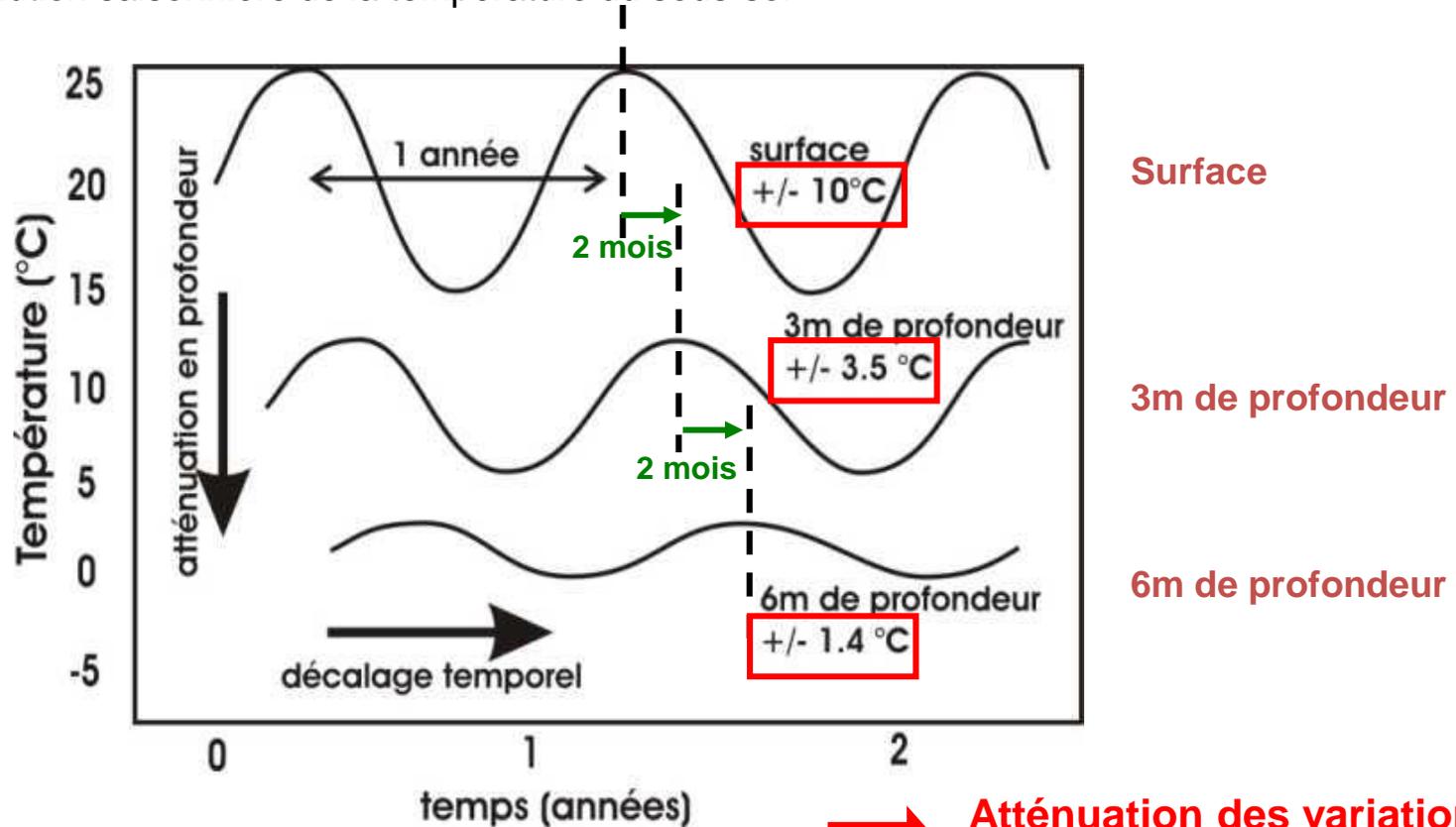
- Evolution saisonnière de la température du sous-sol



GÉOTHERMIE SUPERFICIELLE

Chauffage et refroidissement indirect

- Evolution saisonnière de la température du sous-sol

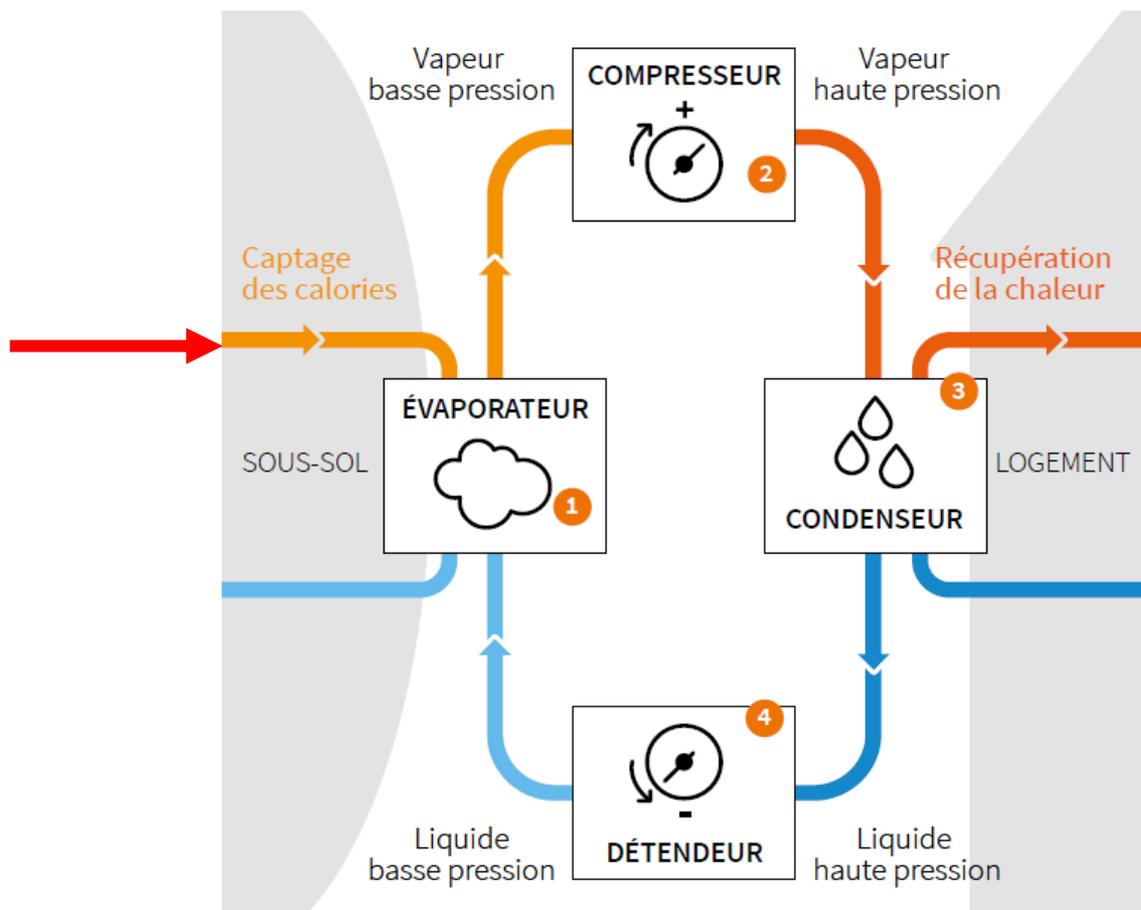


➔ Atténuation des variations de température en profondeur

GÉOTHERMIE SUPERFICIELLE

Chauffage et refroidissement indirect

- Source de chaleur / froid indépendante de la température de l'air extérieur



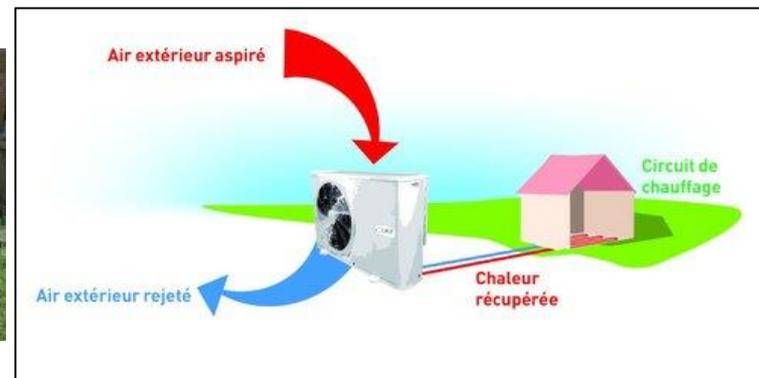
GÉOTHERMIE SUPERFICIELLE

Chauffage et refroidissement indirect

- Source de chaleur / froid indépendante de la température de l'air extérieur

Pompe à chaleur air-air

**Température
de l'air en hiver !!**



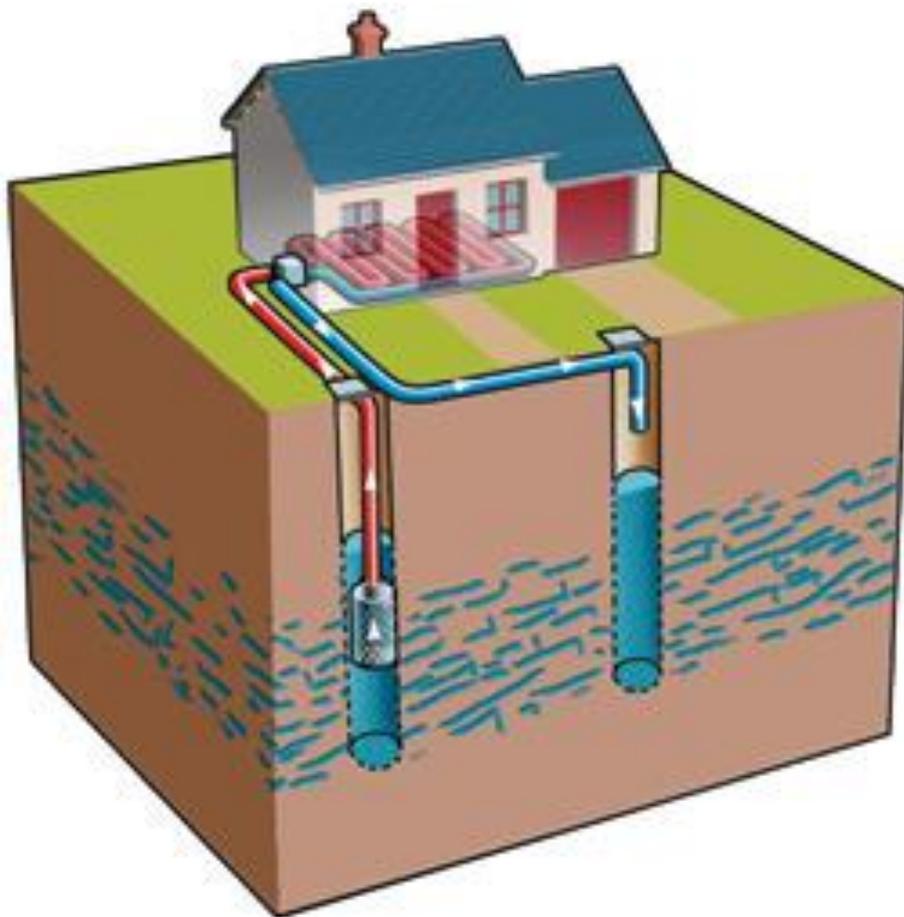
Pompe à chaleur géothermique

**Température constante > 12°C
(ou fluctuations amorties)**



SYSTÈMES EN BOUCLE OUVERTE ("SUR NAPPE")

Quand on a la chance d'avoir de l'eau sous les pieds...

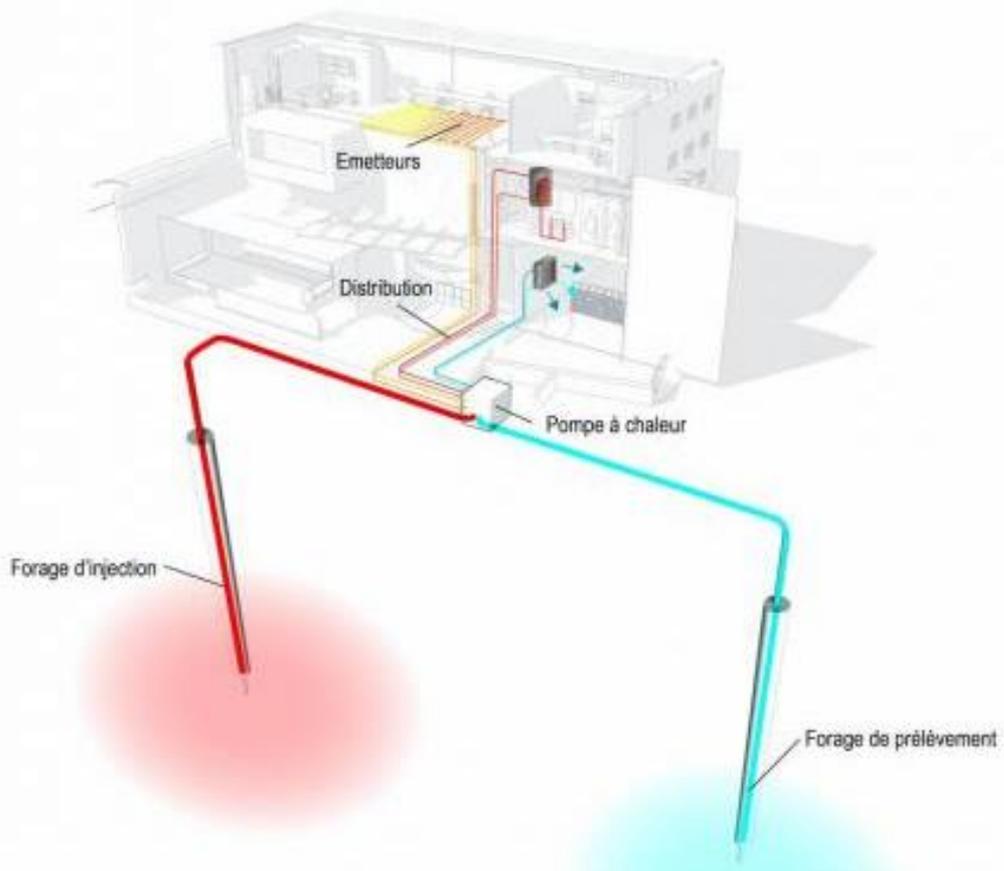


Nappe



SYSTÈMES EN BOUCLE OUVERTE ("SUR NAPPE")

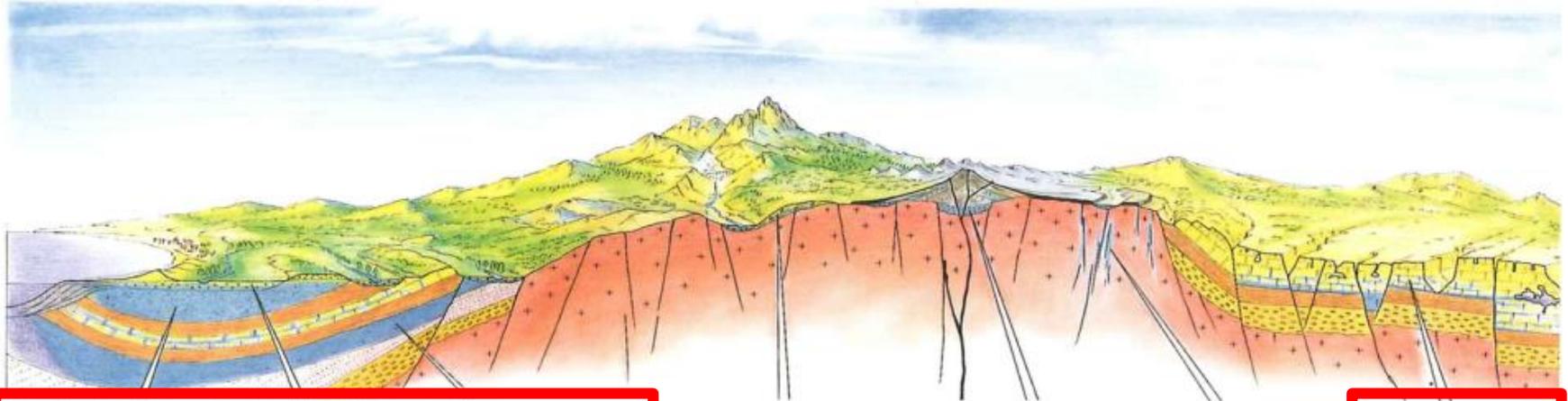
Quand on a la chance d'avoir de l'eau sous les pieds...



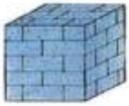
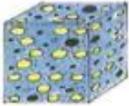
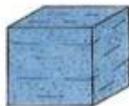
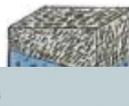
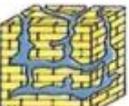
Document Ademe

SYSTÈMES EN BOUCLE OUVERTE ("SUR NAPPE")

Fortement dépendant de la nature du sous-sol

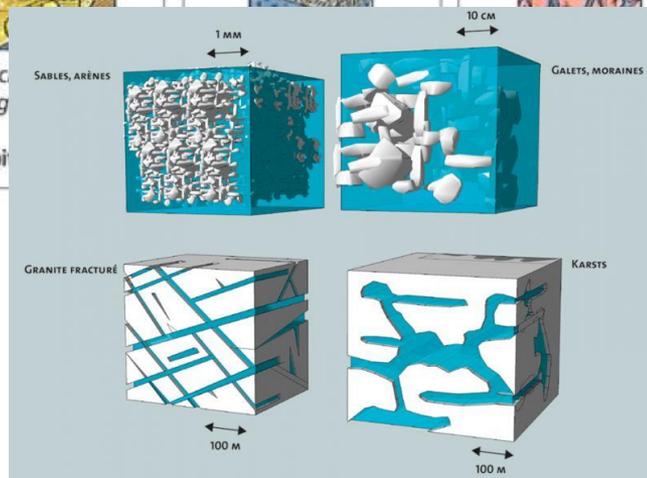


© J.-J. Collin - Les eaux souterraines

<p>Aquifères de roches sédimentaires (libres)</p>  <p>Calcaire, craie, grès</p> <p>Débit : moyen à élevé</p>	<p>Sables et alluvions des vallées</p>  <p>Graviers et sables</p> <p>Débit : bon à élevé</p>	<p>Aquifères sédimentaires profonds (captifs)</p>  <p>Formations sédimentaires poreuses Calcaires, craie, grès</p> <p>Débit : bon à élevé</p>	<p>Dépôts glaciaires (moraines)</p>  <p>Assoc arg</p> <p>Débit</p>	<p>Aquifères volcaniques</p> 	<p>Roches dures fissurées</p>  <p>Granite</p> <p>en</p>	<p>Aquifères karstiques</p>  <p>Cavités dans le calcaire compact</p> <p>Débit : très variable</p>
--	--	---	---	---	---	---

GIRONDE

GIRONDE



SYSTÈMES EN BOUCLE OUVERTE ("SUR NAPPE")

Principales caractéristiques

- Rendement énergétique le plus performant
- Puissance fournie fonction du débit (m^3/h) et du différentiel de température appliqué (ΔT)
- Minimum de 2 forages : pompage + réinjection
- Impératif d'entretien/maintenance des forages et installations hydrauliques associées
- Température de l'eau captée en Gironde : 12 à 20°C (selon profondeur)
- Qualité de l'eau à valider
- Possibilité de rafraîchissement (geocooling)
- Puissances fournies pouvant atteindre plusieurs centaines de kW, nombreuses applications tertiaires / industrielles

SYSTÈMES EN BOUCLE OUVERTE ("SUR NAPPE")

Outil d'aide à la décision, première approche

- Exploitabilité locale des aquifères au droit d'un site
- Très basse énergie (minime importance)
- Basse énergie

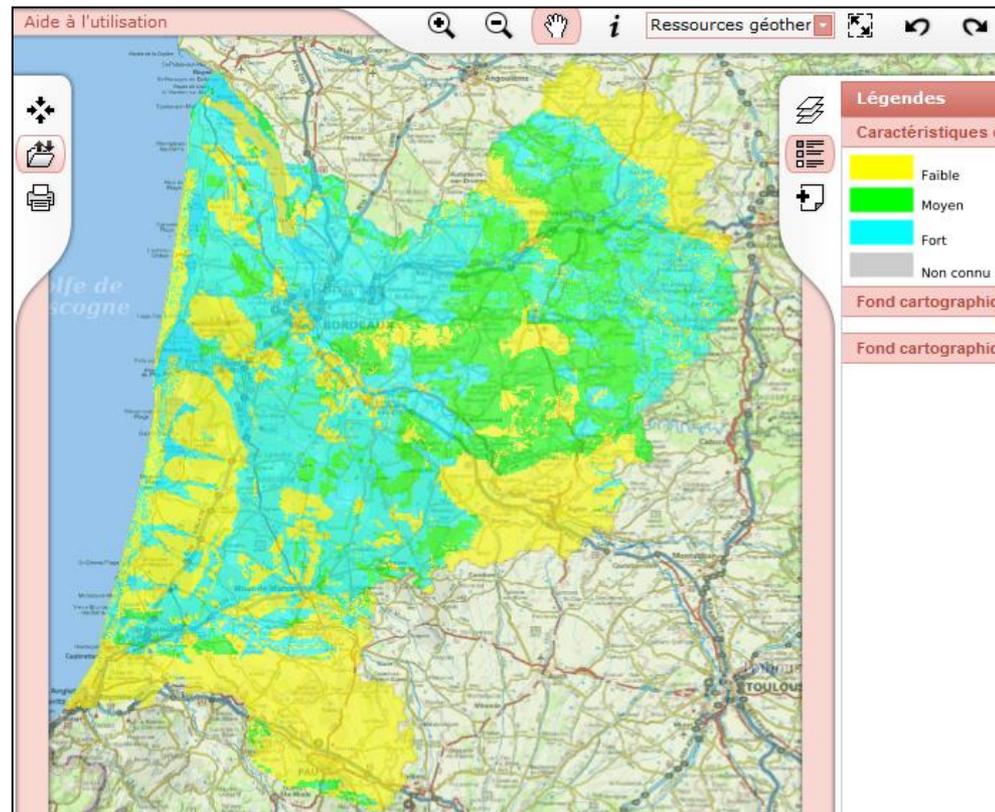
Document public



SYSTÈMES EN BOUCLE OUVERTE ("SUR NAPPE")

Outil d'aide à la décision, première approche

- Exploitableté locale des aquifères au droit d'un site
- Très basse énergie (minime importance)
- Basse énergie
- Egalement en cours en Poitou-Charentes
- Basé sur une analyse multicritères :
 - Profondeur d'accès à la ressource
 - Productivité hydraulique (débit exploitable)
 - Température de l'eau
- Consultable en ligne
<http://www.geothermie-perspectives.fr/>



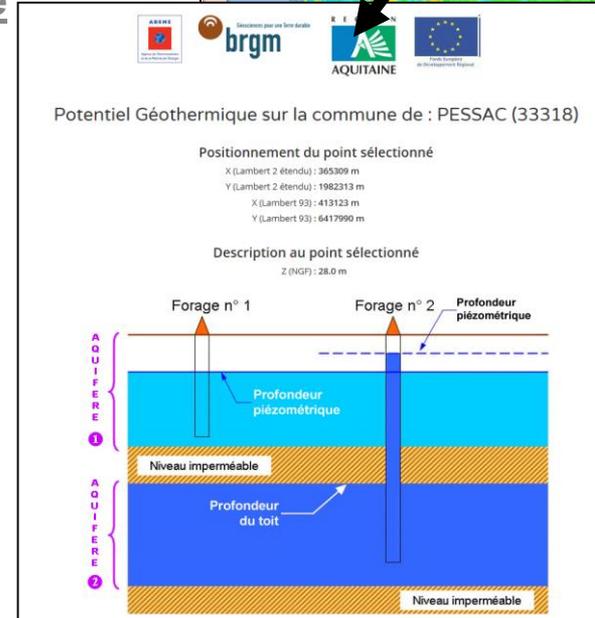
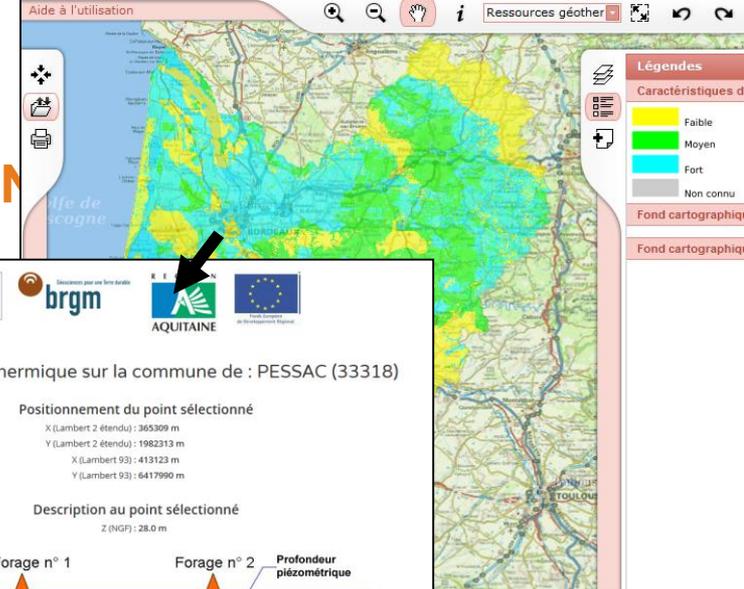
SYSTÈMES EN BOUCLE OUVERTE ("SUR M...)

Outil d'aide à la décision, première approche

- Consultable en ligne
<http://www.geothermie-perspectives.fr/>



Maille 500 x 500 m

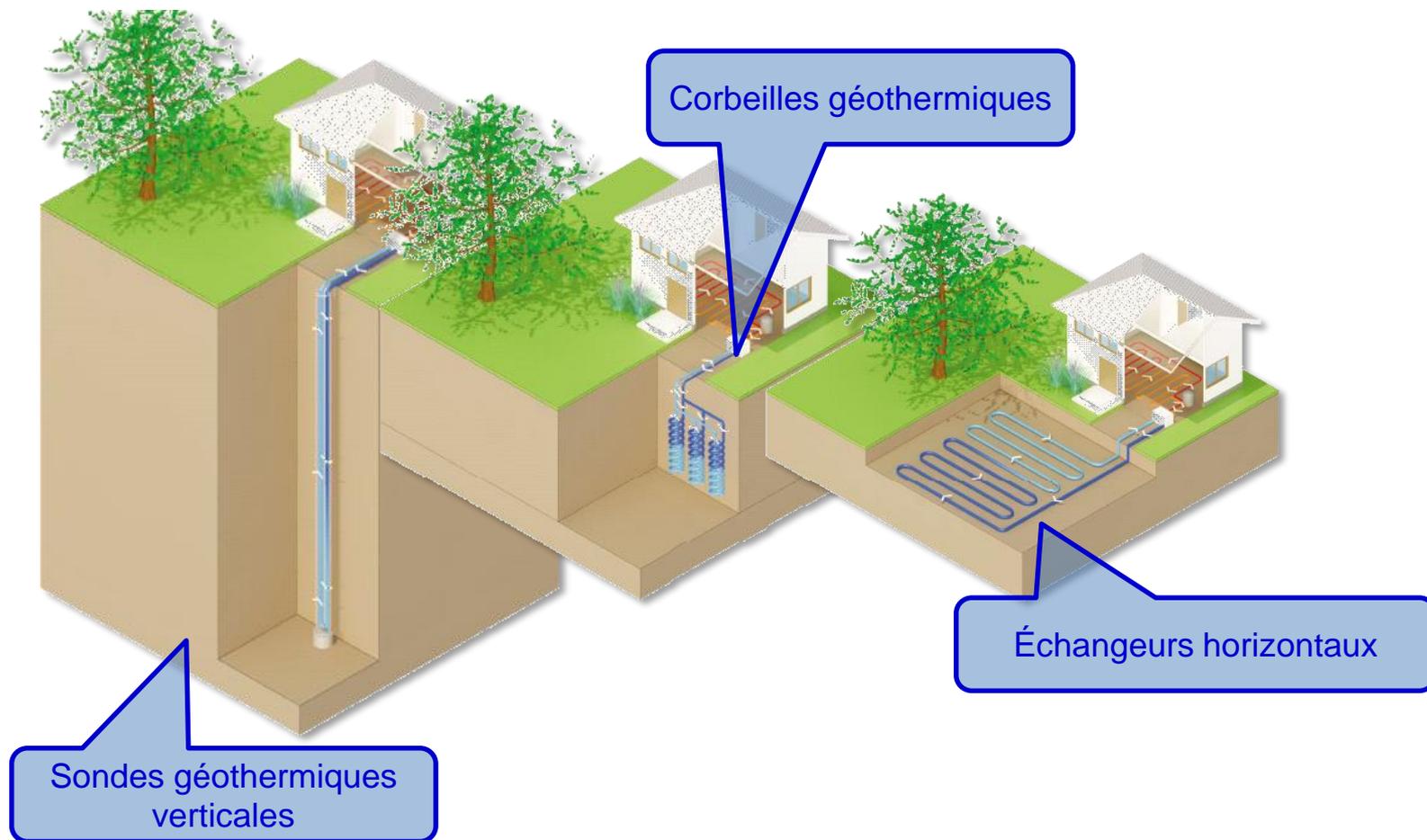


Aquifère	Toit (Côte NGF)	Mur (Côte NGF)	Piézométrie (Côte NGF)	Profondeur d'accès (m)	Température °C	Débit exploitable	Chimie	Ouvrage AEP (*)	Type d'aquifère	Potentiel TBE	Potentiel BE
Plioquaternaire	-9999	-9999	-9999	-9999	-9999	Non défini	Inconnue	Non	Non artésien	Potentiel inconnu	Potentiel inconnu
Oligocène	1	-44	19	26	15	Supérieur à 100		Oui	Non artésien	Fort potentiel	Potentiel inconnu
Eocène-supérieur	-146	-159	7	174	18	0 à 5	Inconnue	Non	Non artésien	Potentiel faible	Potentiel inconnu
Eocène-moyen-SIM	-168	-342	-15	196	22	10 à 50	Inconnue	Non	Non artésien	Potentiel moyen	Potentiel moyen
Eocène-inférieur	-399	-440	-12	427	25	5 à 10	Inconnue	Non	Non artésien	Potentiel inconnu	Potentiel moyen
Campano-Maastrichtien	-521	-555	4	549	31	5 à 10	Inconnue	Non	Non artésien	Potentiel inconnu	Potentiel moyen
Coniacien-Santonien	-753	-775	16	781	34	0 à 5	Inconnue	Non	Non artésien	Potentiel inconnu	Potentiel moyen
Turonien	-779	-828	18	807	41	10 à 50	Inconnue	Non	Non artésien	Potentiel inconnu	Potentiel moyen
Cénomanién	-828	-997	18	856	48	Supérieur à 100	Inconnue	Non	Non artésien	Potentiel inconnu	Fort potentiel
Bathonien-Oxfordien	-1275	-1519	29	1303	53	50 à 100		Non	Artésien	Potentiel inconnu	Potentiel moyen

(*) Présence d'un captage exploitant la nappe pour l'alimentation en eau potable dans un rayon de 2km.

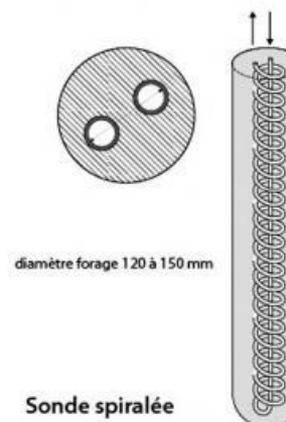
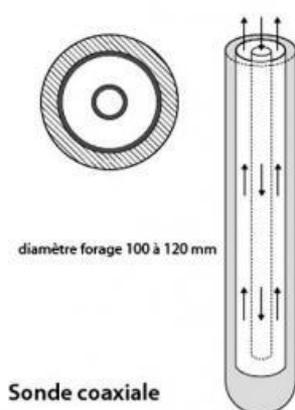
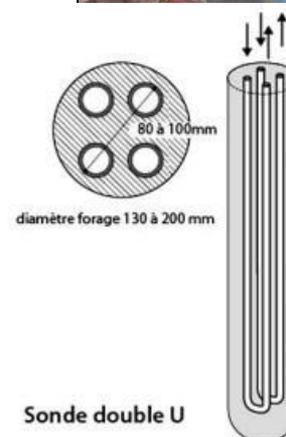
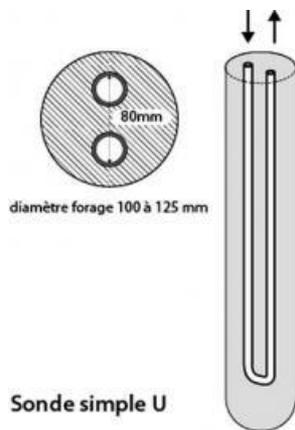
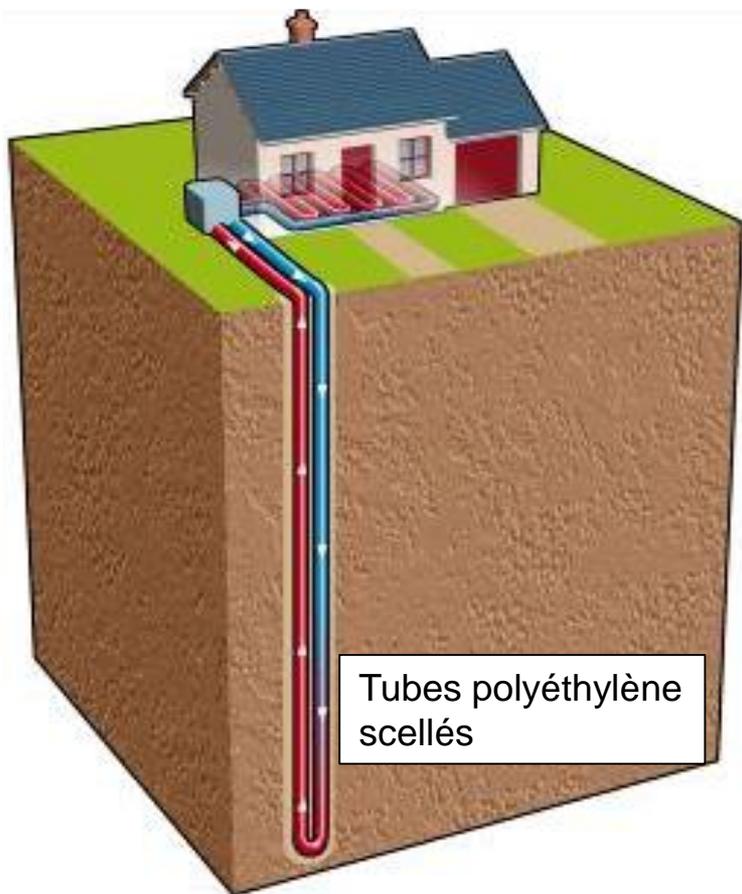
SYSTÈMES EN BOUCLE FERMÉE

Quel que soit le contexte hydrogéologique



SONDES GÉOTHERMIQUES VERTICALES

Quel que soit le contexte hydrogéologique



SONDES GÉOTHERMIQUES VERTICALES

Quel que soit le contexte hydrogéologique



SONDES GÉOTHERMIQUES VERTICALES

Dépendant des propriétés thermiques des terrains et de leur température

- Quelques valeurs indicatives

Puissance énergétique prélevable en $W.m^{-1}$ d'échangeur p_{fr} (W/ml forage)

Type de terrain	Puissance spécifique extraite	
	pour 1 800 h/an (W/m)	pour 2 400 h/an (W/m)
Valeurs générales indicatives		
— sous-sols pauvres (sédiments secs)	25	20
— sous-sols normalement rocheux, sédiments saturés en eau	60	50
— roches consolidées à conductivité thermique élevée	84	70
Roches spécifiques		
— graviers et sables secs	< 25	< 20
— graviers et sables saturés en eau	65 à 80	55 à 65
— argile humide	35 à 50	30 à 40
— calcaire massif	55 à 70	45 à 60
— grès	65 à 80	55 à 65
— granite	65 à 85	55 à 70
— basalte	40 à 65	35 à 55
— gneiss	70 à 85	60 à 70

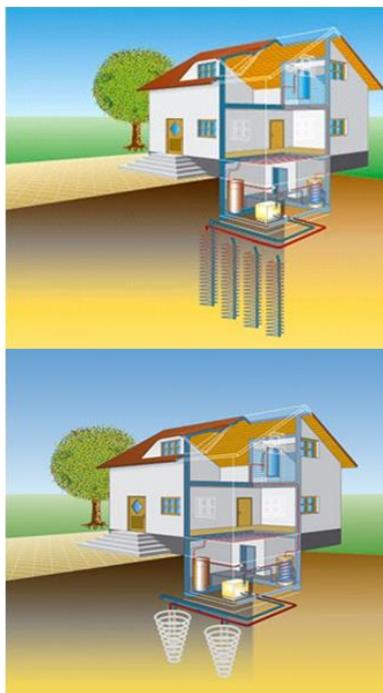
SONDES GÉOTHERMIQUES VERTICALES

Principales caractéristiques

- Faible emprise au sol (mais éloignement minimum de 10 m entre forages)
- Vecteur = fluide caloporteur
- Impératif de cimentation des tubes verticaux pour assurer la performance
- Faible maintenance
- Non inféodé à la mobilisation de nappe souterraine
- Possibilité de rafraîchissement (geocooling)
- Possibilité d'implantation d'un champ de sonde pour couvrir des besoins de plusieurs dizaines / centaines de kW, avec un dimensionnement adapté (Test de Réponse Thermique des terrains)

ÉCHANGEURS COMPACTS ("CORBEILLES")

Alternative récente à destination du particulier



Echangeurs
compacts
cylindriques

mise en place à la tarière



Echangeurs
compacts
tronconiques

mise en place au godet

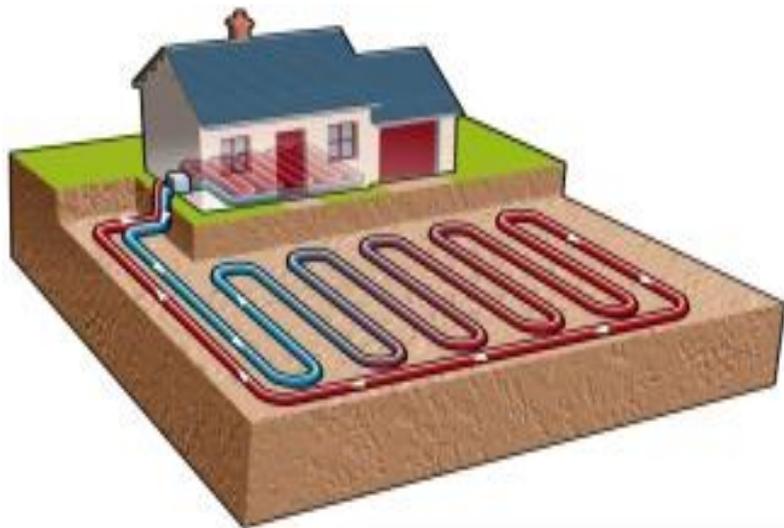


ÉCHANGEURS COMPACTS ("CORBEILLES")

Principales caractéristiques

- Emprise au sol de quelques m² (30 à 150 cm de diamètre selon les échangeurs)
- Excavation par entreprise de TP, pas de forage
- Profondeur d'implantation < 10 m
- Faible maintenance
- Boucle fermée, non inféodée à la mobilisation de nappe souterraine
- Possibilité de rafraîchissement (geocooling)
- Puissance de 2 à 7 kW par échangeur
- Introduction récente sur le marché français

ÉCHANGEURS HORIZONTAUX



ÉCHANGEURS HORIZONTAUX

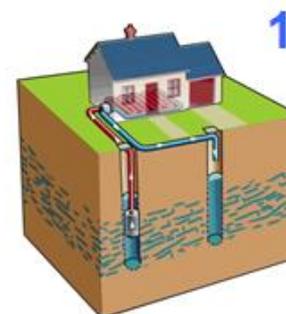
Principales caractéristiques

- "Règle du pouce" :
 - Superficie de l'échangeur = 1,5 à 2 fois la surface à chauffer
 - Boucles distantes d'au moins 40 cm
 - Puissance prélevée de 10 à 15 W/m de longueur de capteur, correspondant à 25 à 37 W/m² de surface de champ de capteur
- Vigilance : distances vis-à-vis des arbres, réseaux, fondations
- Profondeur des tubes : au moins 20 cm sous la couche sujette au gel de la région.
→ profondeur souvent comprise entre 0,6 et 1,5 m
- Fluctuation saisonnière de température de la source



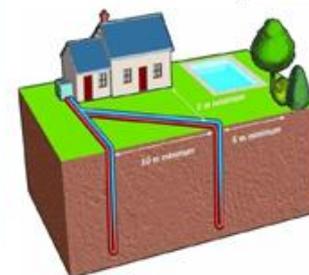
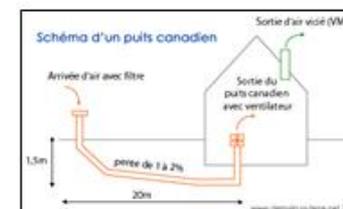
AUTRES SOLUTIONS

Profondeur	T° (°C)	Concept (nom)
10 à 200 m	10 – 15 °C	(1) PAC sur eau souterraine
1 à 10 m	8 – 10°C	(2) Puits Canadiens
0,5 à 1,5 m	8 – 10 °C	(3) Capteurs horizontaux
1,5 à 30 m	8 – 12 °C	(4) Echangeurs compacts
1 à 20 m	8 – 12 °C	(5) <u>Géostructures</u>
50 à 200 m	10 – 15 °C	(6) Sondes verticales
50 à 200 m	10 – 15 °C	(7) Champs de sondes

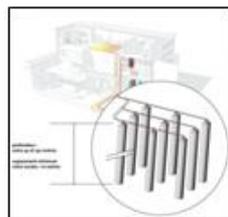


1

2



6



7

4



3



5



QUELQUES APPLICATIONS RÉGIONALES

Pauillac
Château Pontet-Canet



Arcachon
Lycée Grand Air



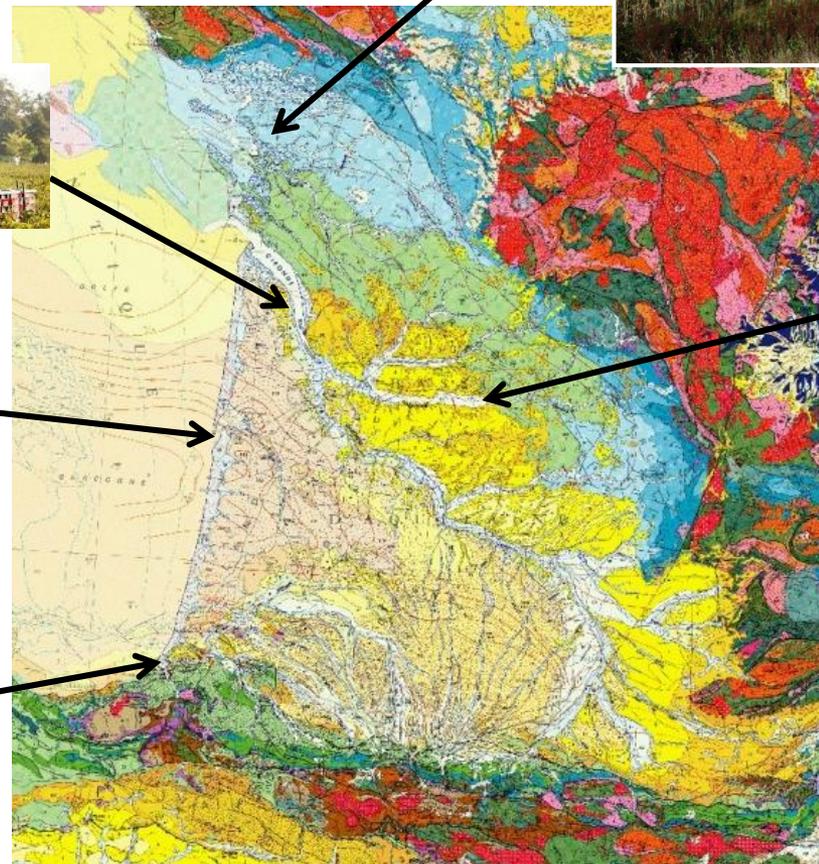
Bayonne - CPAM



Rochefort
Centre hospitalier



Bergerac
Lycée Hélène Duc



ETAT DES LIEUX

Carte de France des installations géothermiques de très basse température assistée par pompes à chaleur.

Banque des données du sous-sol :
50 000 points répertoriés (BRGM)

(sondes géothermiques en gris,
Doublets de forages en bleu)

