

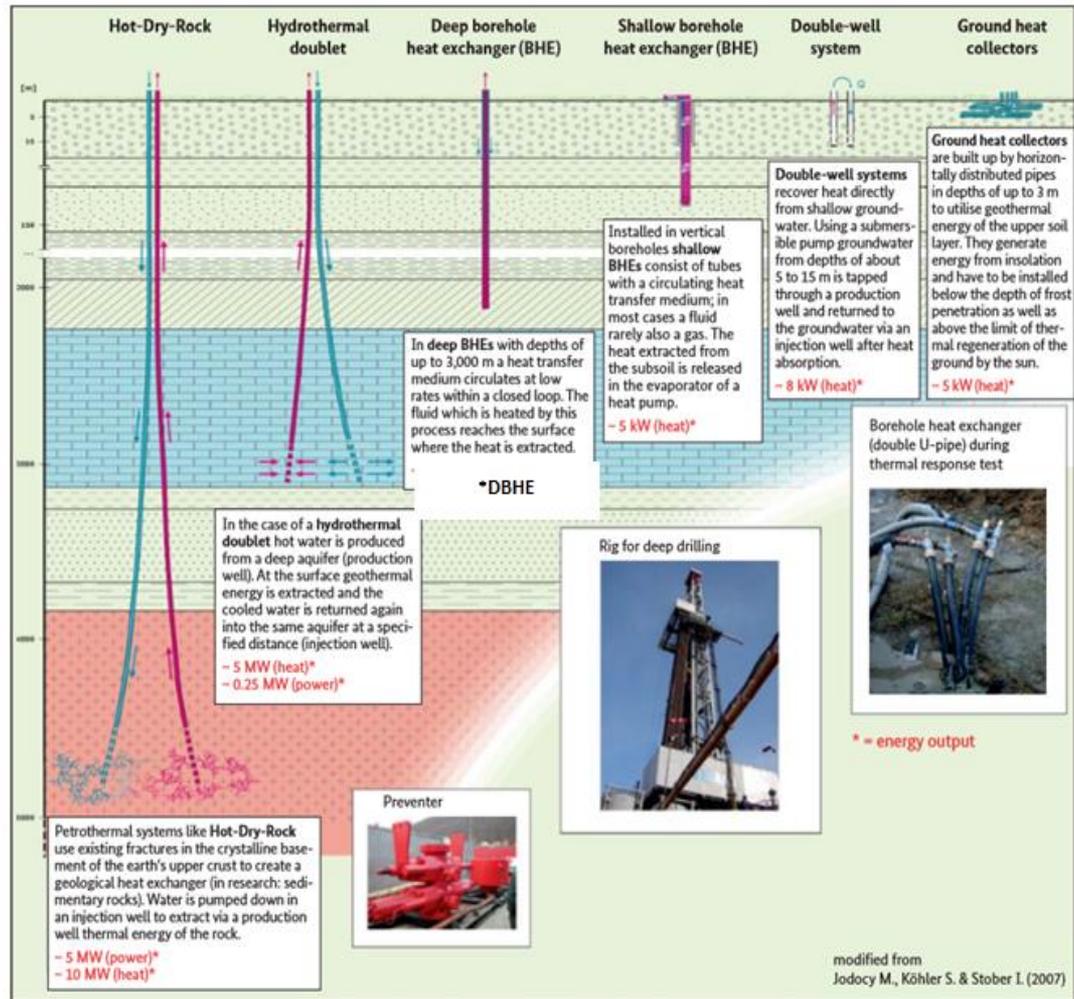
Contribution au développement de la Géothermie basse enthalpie en Provence.

Exploration par sondes géothermiques profondes exploitables .



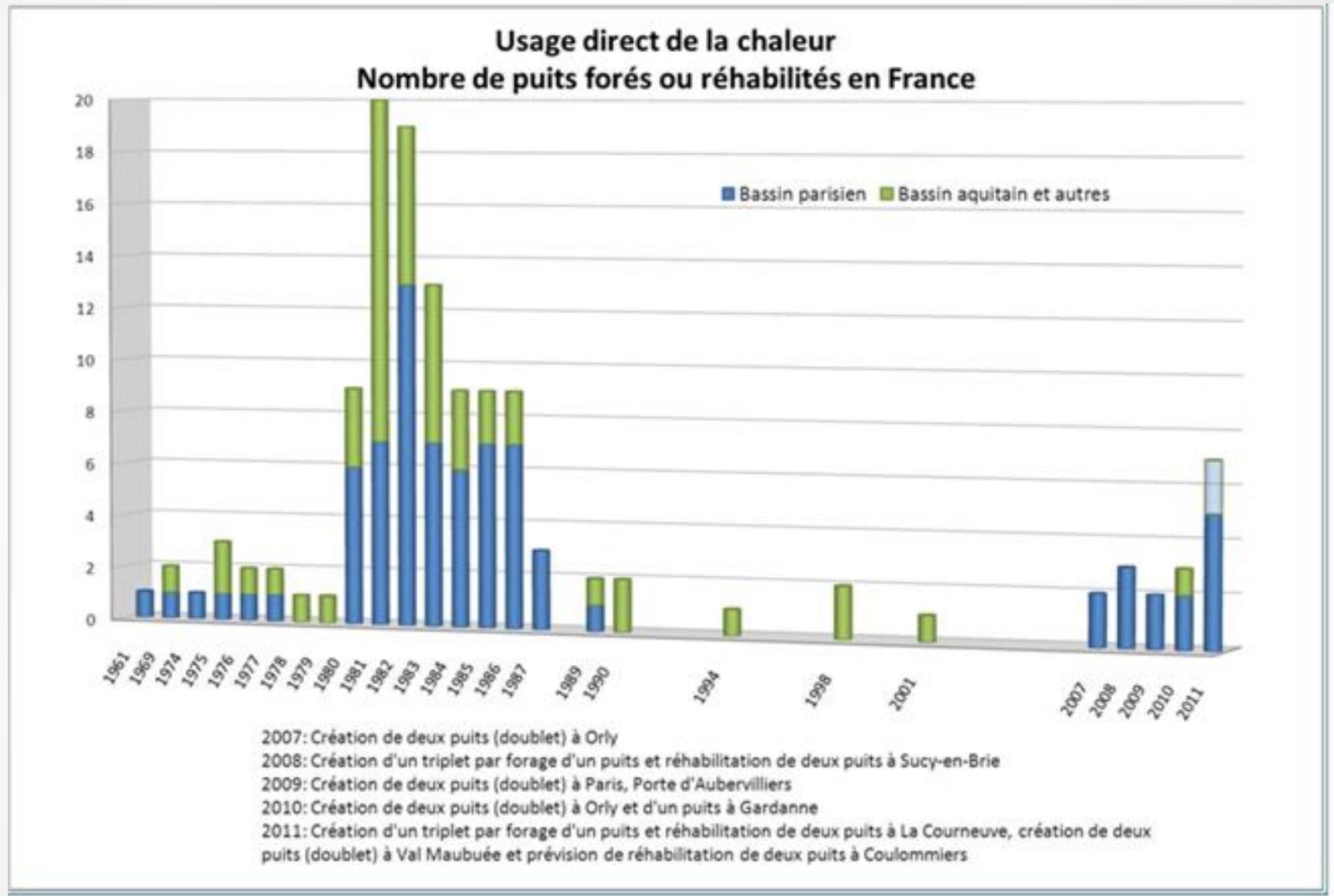
J Gimenez et Yves Glard

Les différents types de géothermie



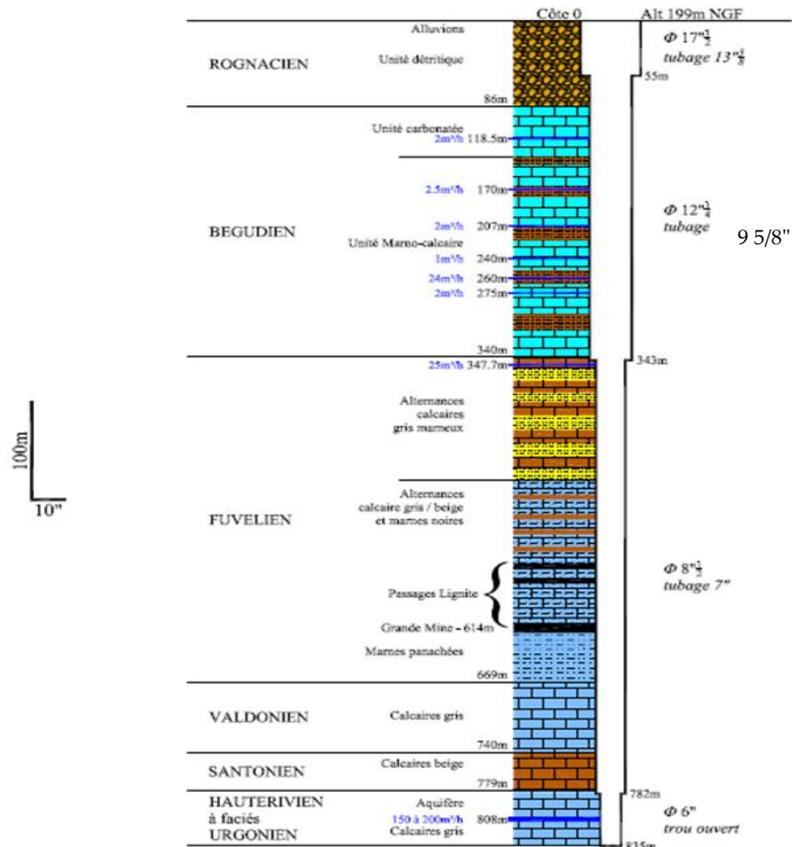
In Geothermal Energy Deutschland 2007 *Deep Bottom Hole Exchanger DBHE= Sonde géothermique profonde, la puissance dépend de la vitesse de circulation du fluide caloporteur, peut produire en 2016 chaleur et/ou électricité.

Un seul puits foré en 2010 en Provence à Meyreuil



**FORAGE GEOTHERMIQUE
de MEYREUIL (13)**

Coupe géologique simplifiée



02/2011

Meyreuil CGT

Est basé sur l'information fournie par un DST d'un forage d'exploration CDF

Débit de **250 m³/h avec pompe**

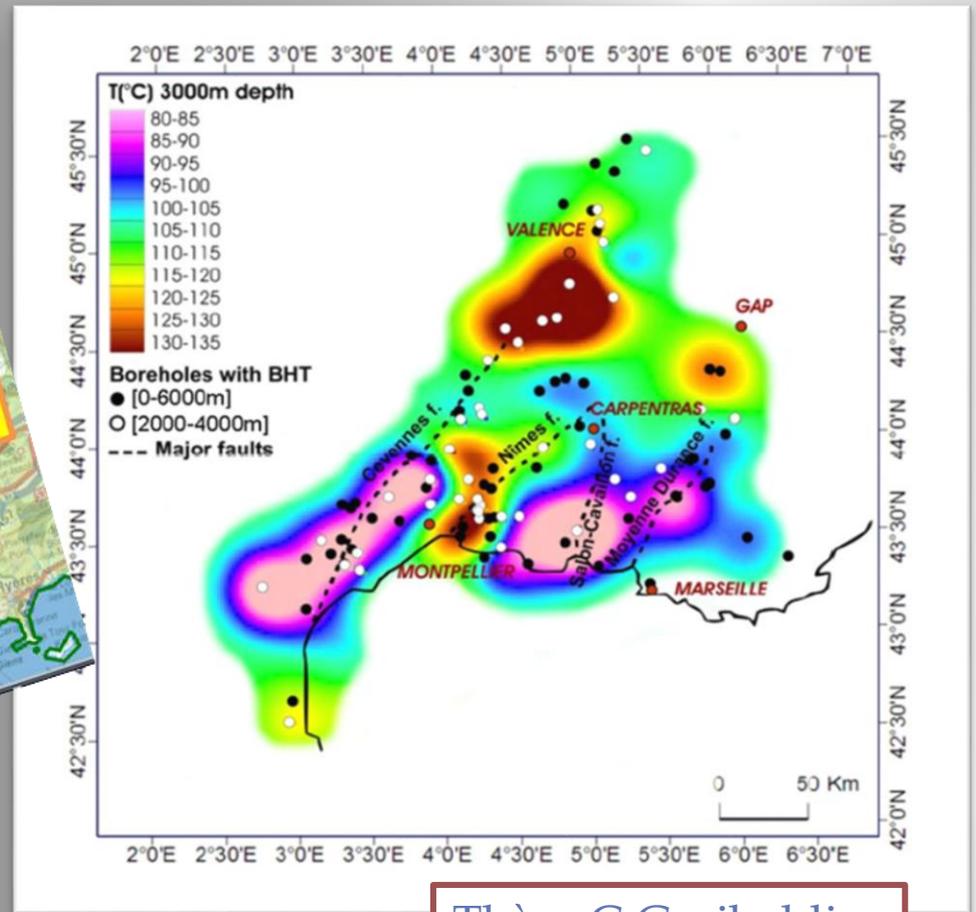
Eau de très bonne qualité mais

Température 21°C plus faible que celle donnée par le DST 36°C

La mine de Gardanne a refroidi l'aquifère HAUTERIVIEN à faciès URGONIEN



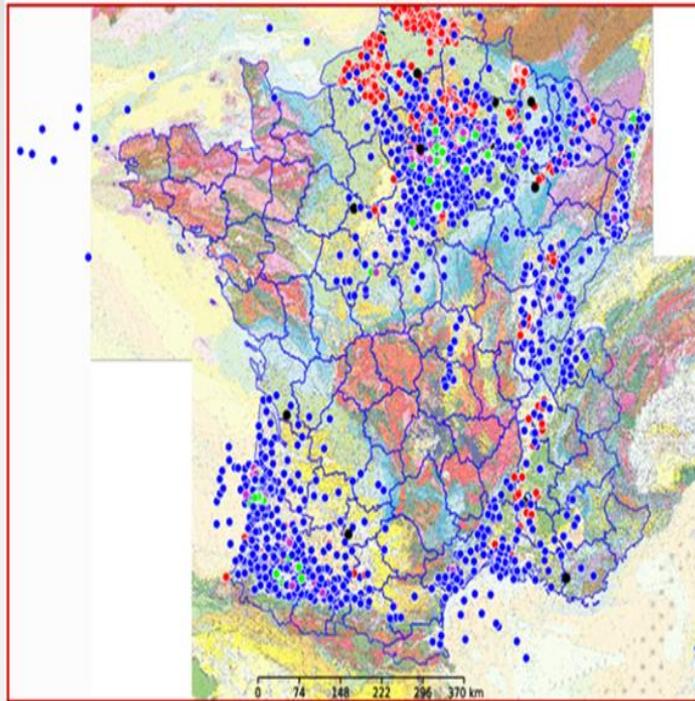
les PER attribués en Paca
(CG2t .. Meyreuil Fos),
Fonroche , Geothermar –
Cofely



Thèse C Garibaldi
2010

Aucun nouveau forage après Meyreuil qui prouve la productivité Crétacé inf (200 m³/h) et malgré la Thèse de C Garibaldi 2010 qui montre l'importance des ressources thermiques

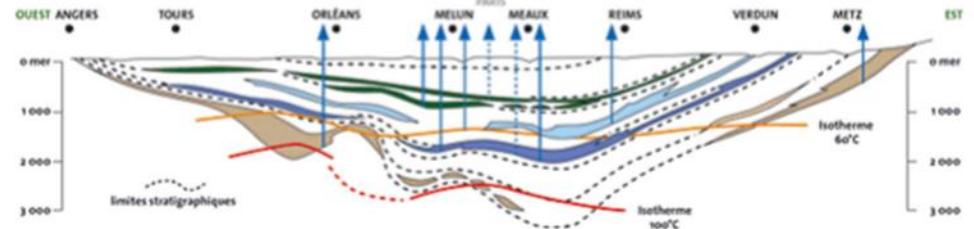
L'exploration pétrolière (FSH) est à l'origine de la géothermie dont le Dogger .



- Couches et légendes de la carte
- Préfectures et sous-préfectures
 - Forages pétroliers
 - Lignes sismiques année inconnue
 - Lignes sismiques post-2000
 - Lignes sismiques 1990-1999
 - Lignes sismiques 1980-1989
 - Lignes sismiques 1970-1979
 - Lignes sismiques anté-1970
 - Titres miniers
 - Feuille carte géologique 1/50000
 - Limites de communes
 - Limites de départements
 - Carte IGN
 - Carte ologique BRGM

Le bassin parisien, milieu propice à la géothermie profonde et intermédiaire

- > De nombreux aquifères intéressants
- > Dogger : température et débits favorables

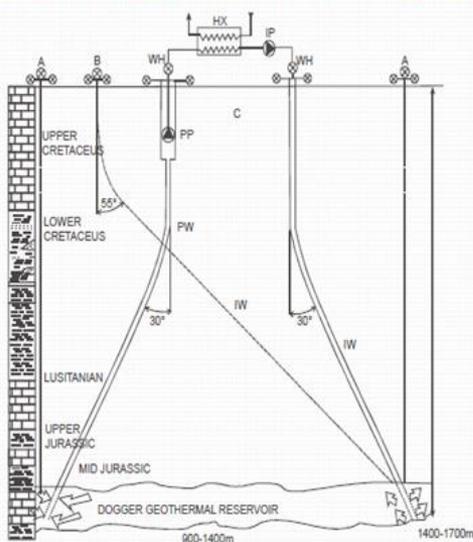


PÉRIODES		AQUIFÈRES
TERTIAIRE 65 millions d'années	CRÉTACÉ	Sables de l'Albien Sables du Néocomien
	JURASSIQUE	Calcaires du Lusitanien Calcaires du Dogger
SECONDAIRE 195 millions d'années	MALM	
	LIAS	Grès du Retien
PRIMAIRE 225 millions d'années	TRIAS	Grès de Lorraine à l'est Grès fluviatiles à l'ouest

c'est vers 1980 que la géothermie parisienne se développe .. Malgré la corrosion (H2S)

pratiquement aucune réflexion commune avec les pétroliers

PARIS BASIN GDH
THE GEOTHERMAL WELL DOUBLET CONCEPT OF HEAT EX



A - two vertical wells
B - 1 vertical, 1 deviated
C - two deviated wells

PP production pump
IP injection pump
HX heat exchanger
PW production well
IW injection well
WH wellhead

AGEC 2011, MELBOURNE
16-18 NOVEMBER 2011

Quelques équipements clés

Les outils de forage



Les échangeurs à plaques en titane



La pompe d'exhaure



Les tubages (6 km)



On oublie souvent en région parisienne que malgré l'expérience de Total (V La Garenne fin années 70 tubé en fibres de verre) les pb de corrosion (sel + H2S) ont été en fin des années 70 ignorés .. des doublets ont dû être abandonnés avant la mise au point des réinjection en permanence en fond de trou .



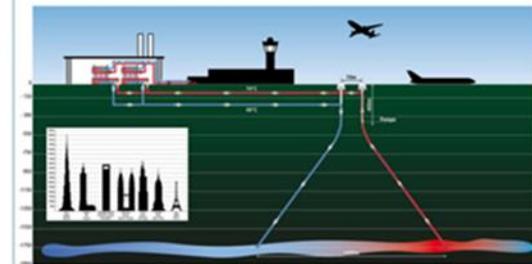
Equipements

GORY 6A
Mise en place de la tête du puits de production

Tube d'injection de l'inhibiteur de corrosion



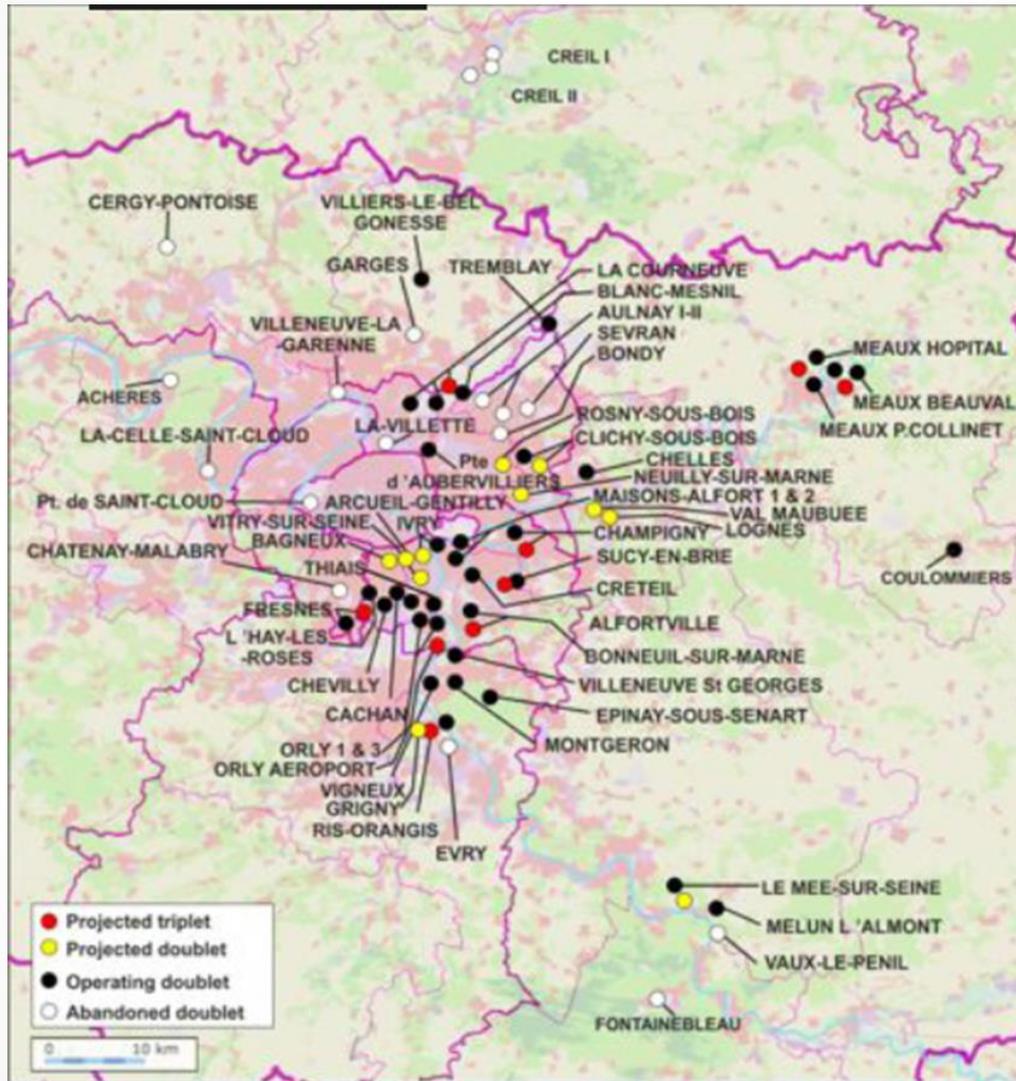
Une opération typique : ADP Orly



Caractéristiques attendues
Température : 74°C - Débit : 250 à 300 m³/h
Puissance 10 MW - 45 400 MWh/an
Economie de 10 483 t CO2/an
Coût des travaux sous-sol : 9 M€



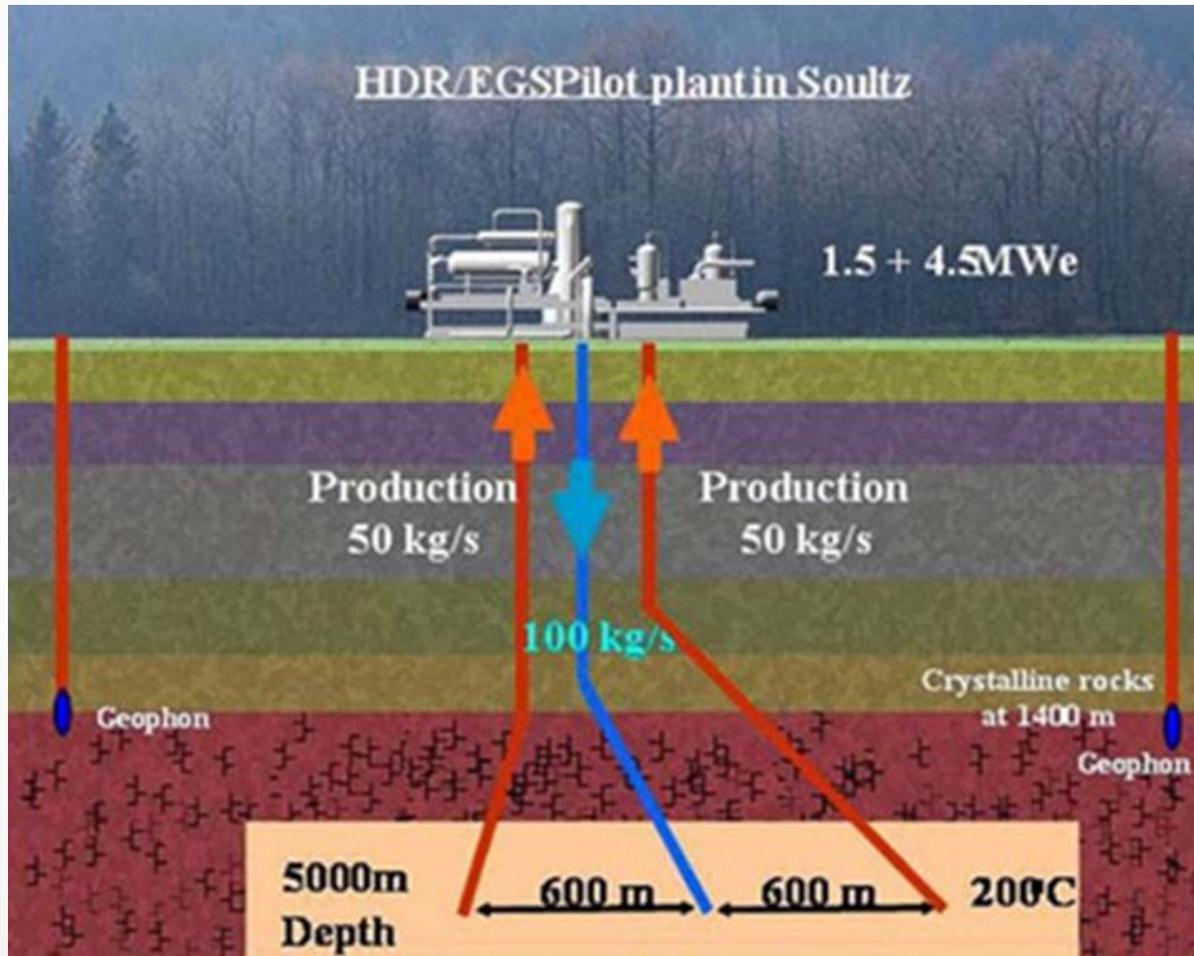
Les échecs en région parisienne sont dus au manque de connaissance du réservoir du Dogger et de l'H2S



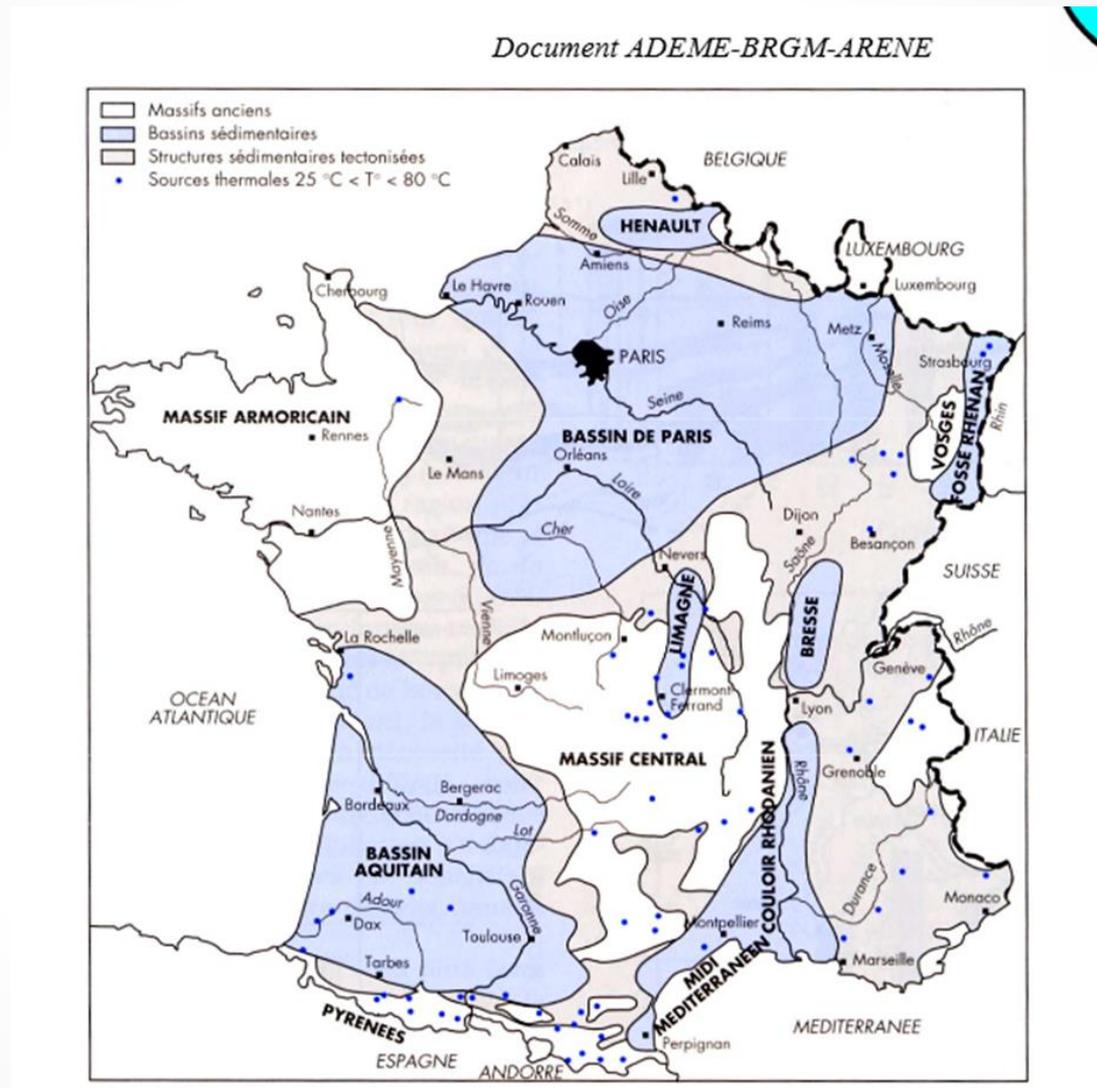
1 doublet = 10 M€

Malheureusement il est admis que les bassins sédimentaires français susceptibles d'être exploités en géothermie sont le Bassin

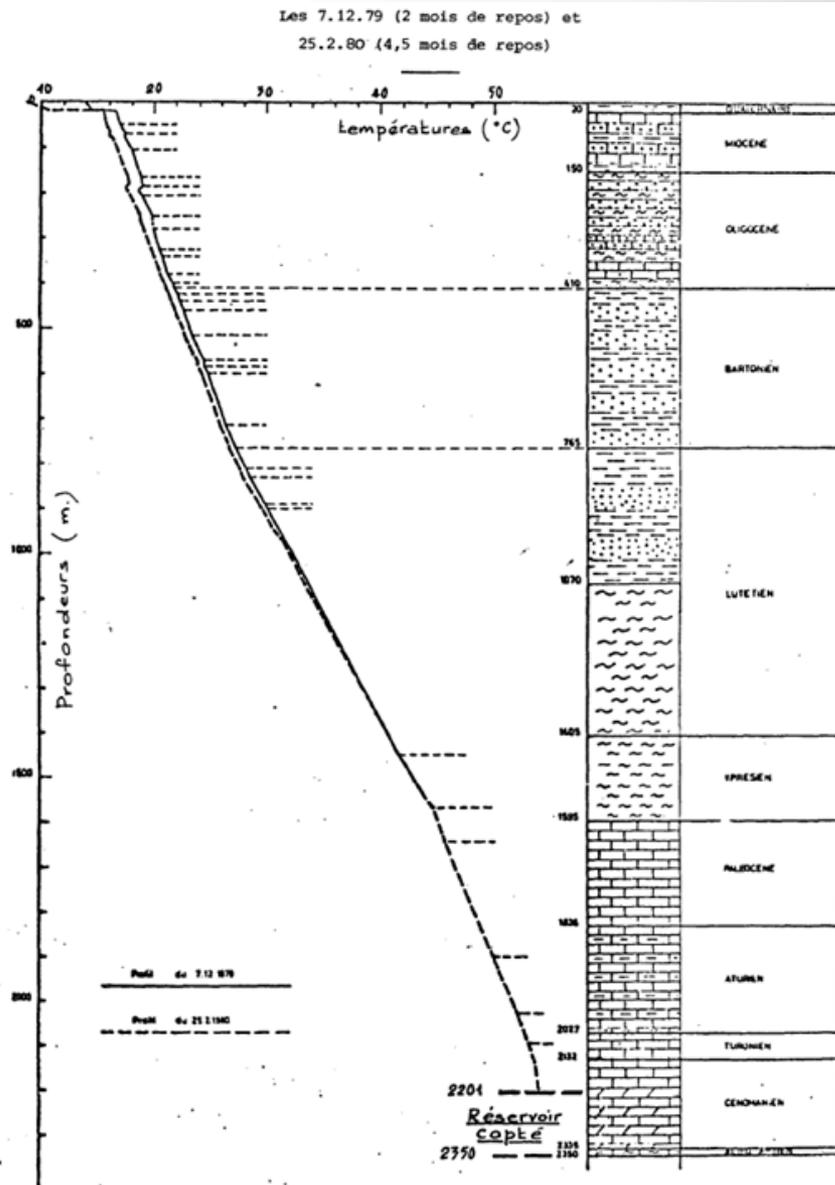
parisien et le Bassin aquitain et éventuellement le Bassin Rhéan (HDR 22 ans de recherche 5 puits ,100 Millions d'euros)

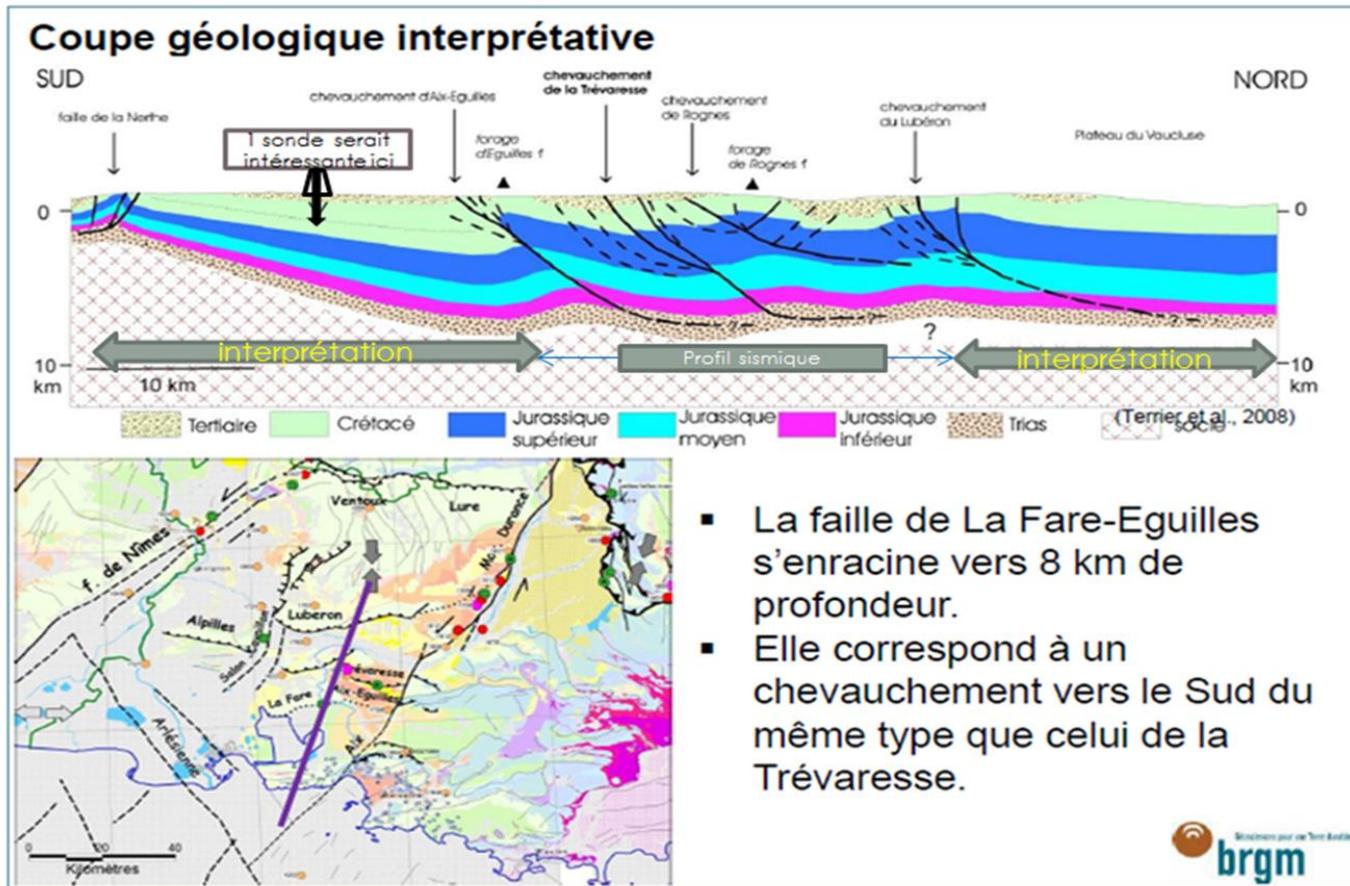


Tous les bassins sédimentaires renferment des aquifères .. la complexité géologique y est différente



COMPANY: SNER(P)	OTHER SERVICES- DLL BHC GR MSFL LDL CNL GR ML HST RFT	
WELL: LUC 8 1		
FIELD: LUCY		
DEPT.: MARNE		
NATION: FRANCE		
LOCATION: LUCY-MONTMORT SEZANNE		
LATITUDE: Y = 1 138 791.0		
LONGITUDE: X = 707 259.9		
PERMANENT DATUM: MSL	ELEVATIONS-	
ELEV. OF PERM. DATUM: .0 M	KB: 178.0 M	
LOG MEASURED FROM: TABLE	DF: 177.7 M	
177.7 M ABOVE PERM. DATUM	GL: 170.8 M	
DRLG. MEASURED FROM: TABLE	PROGRAM TAPE NO: 28.407 SERVICE ORDER NO: NB	
DATE: 20 OCT 86		
RUN NO: 2		
DEPTH-DRILLER: 2667.0 M		
DEPTH-LOGGER: 2666.0 M		
BTM. LOG INTERVAL: 2665.0 M		
TOP LOG INTERVAL: 2050.0 M		
CASING-DRILLER: 103.5 M	1200.0 M	
CASING-LOGGER: 103.5 M	1200.0 M	
CASING: 13 3/8"	9 5/8"	
WEIGHT: 61.0000 LB/F	36.0000 LB/F	
BIT SIZE: 17 1/2"	12 1/4"	8 1/2"
DEPTH: 103.5 M	1206.0 M	2667.0 M
TYPE FLUID IN HOLE: BOUE KCL SOLTEX		
DENSITY: 1.11 G/CC		
VISCOSITY: 70.0 S		
PH: 10.0		
FLUID LOSS: 3.0 CC		
SOURCE OF SAMPLE: FLD/LINE		
RM:	.234	DHMM AT 15.0 DEGC
RMF:	.179	DHMM AT 17.0 DEGC
RMC:	.280	DHMM AT 16.0 DEGC
SOURCE RMF/RMC:	PRESS /PRESS	
RM AT BHT:	.082	DHMM AT 83.0 DEGC
RMF AT BHT:	.066	DHMM AT 83.0 DEGC
RMC AT BHT:	...	DHMM AT 83.0 DEGC
TIME CIRC. STOPPED: 08:25 LE 20	TIME CIRC. STOPPED TIME LOGGER ON BTM	
TIME LOGGER ON BTM: 16:06 LE 20		
MAX. REC. TEMP: 83.0 DEGC	MAX. REC. TEMP:	
LOGGING UNIT NO: 2642		
LOGGING UNIT LOC: N.F.		
RECORDED BY: M. BROCCOLO		
WITNESSED BY: MR. P. RENAUD		
REMARKS: MAX. DEVIATION 7.5 DEG. AT 1000 M. BOUE KCL SOLTEX (HUILE = 2 /) TOOL CENTRALIZED WITH CEM 2. LOG CORRELATED WITH LDL CNL GR OF 25/09/86		
EQUIPMENT NUMBERS-		
DLC D 712	DLS F 766	SRS D 814
SDC A ENPS	SGC SA 1929	SLS WA 1518
FTM AA 687	LTM AA 710	SGD TAB 3687
		TCH AB 452





- La faille de La Fare-Eguilles s'enracine vers 8 km de profondeur.
- Elle correspond à un chevauchement vers le Sud du même type que celui de la Trévaresse.

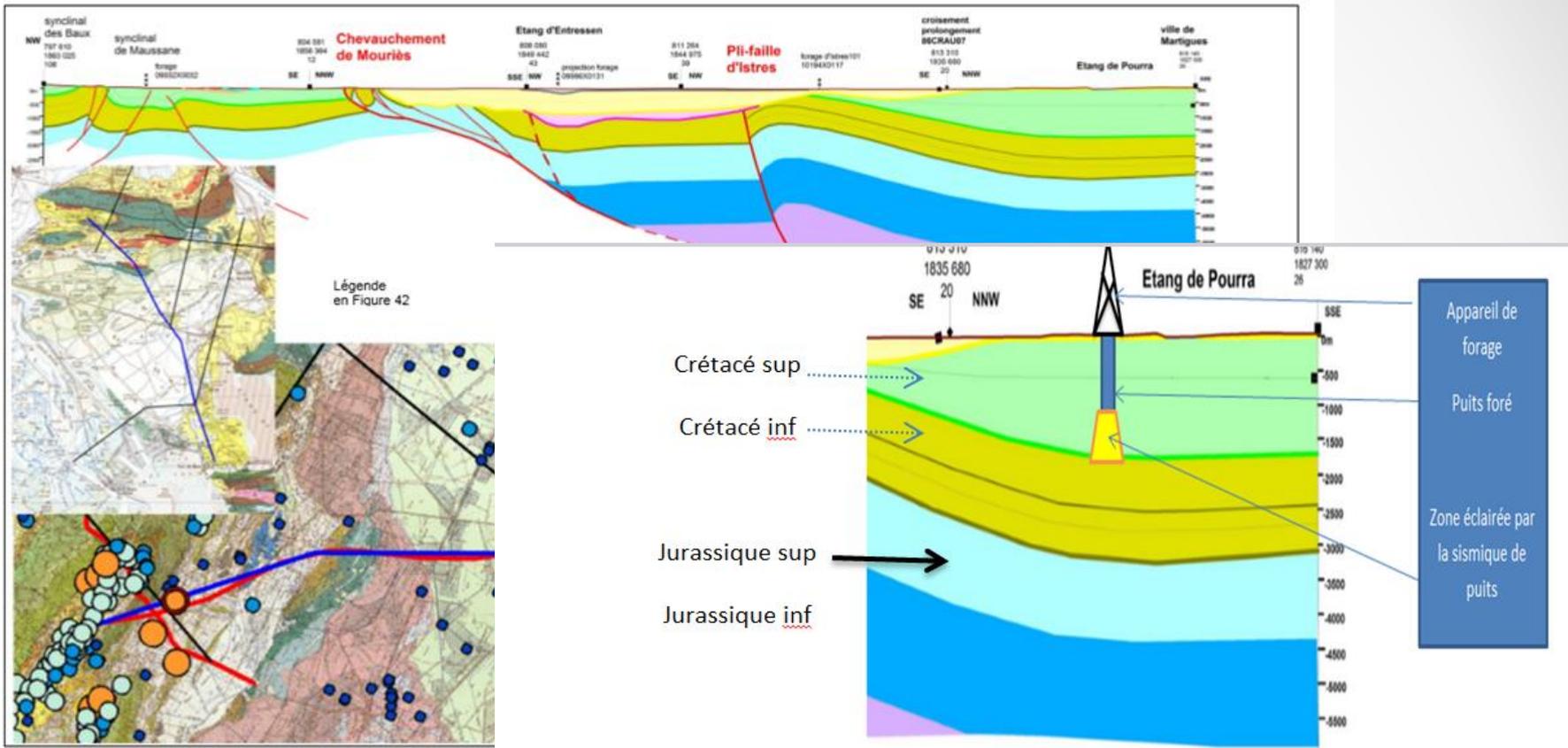


Figure 49 - Coupe géologique interprétative NW-SE depuis les Alpilles jusqu'à Martigues

BRGM/RP-55989-FR - Rapport final

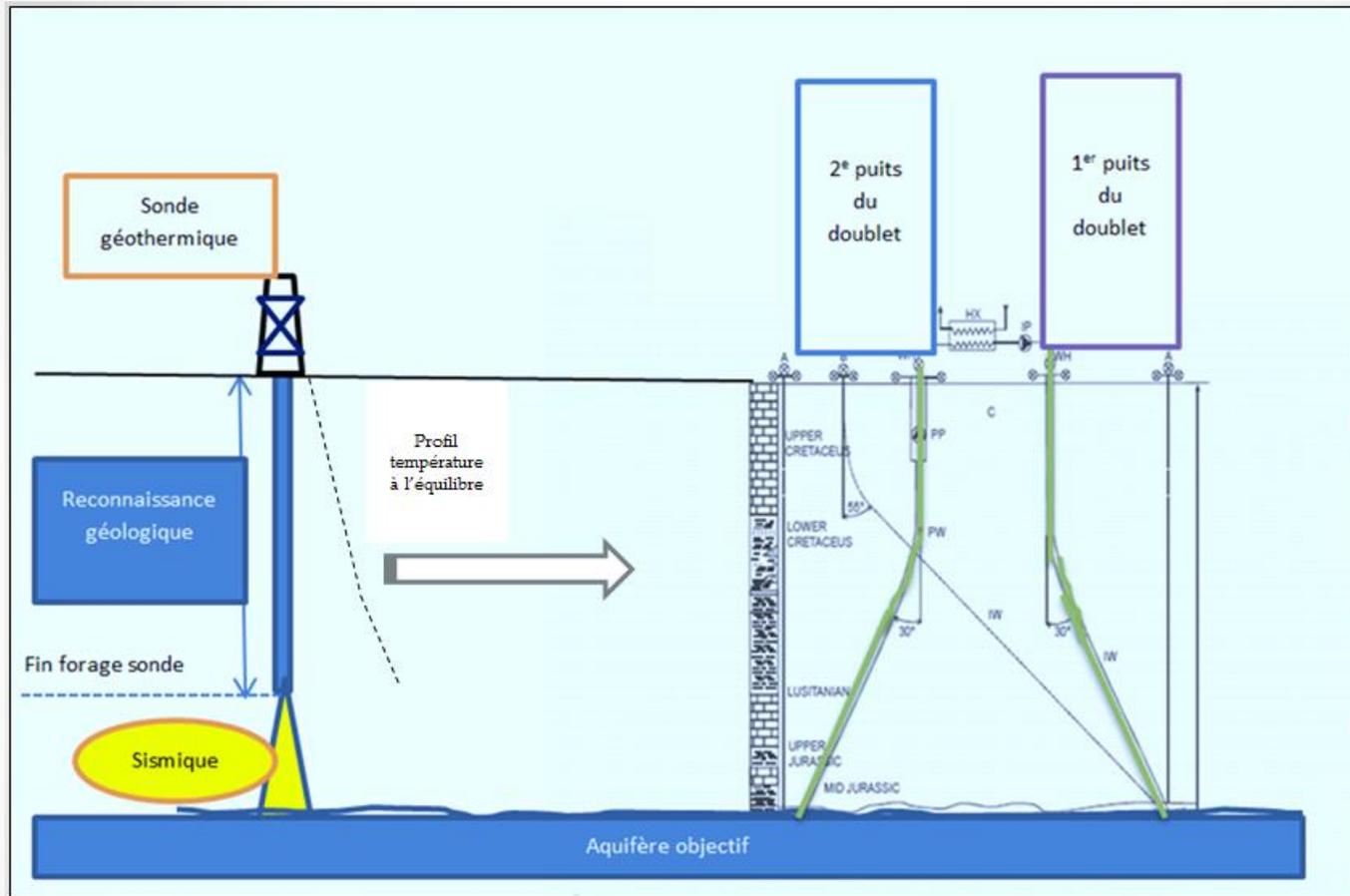
L'exemple ci-dessus montre qu'une sonde géothermique profonde va donner des informations géologiques (terrains traversés et au-dessous) et sur le gradient géothermique réel.

la température avec un gradient moyen de **3°C / 100m** atteindra à **1200 m** : $14^{\circ}\text{C} + (3 \times 12) ^{\circ}\text{C}$ soit **50°C** avec un tubing isolé de dernière génération on aura **47°C en tête de puits** : on pourra chauffer une maison de retraite, un lycée, parc de loisir aquatique, Hôtel Implanter des serres, une aquaculture ..

Exemple de l'implantation possible d'une sonde géothermique de 1200m

Cette sonde peut « voir » jusqu'au **CRETACE inf**

Selon la méthode sismique retenue, on peut « voir » le pendage du **CRETACE inf**



L'exemple ci-dessus montre qu'une sonde géothermique profonde va donner des informations géologiques (terrains traversés et au-dessous) et sur le gradient géothermique réel.

la température avec un gradient moyen de $3^{\circ}\text{C} / 100\text{m}$ atteindra à 1200 m : $14^{\circ}\text{C} + (3 \times 12) ^{\circ}\text{C}$ soit 50°C avec un tubing isolé de dernière génération on aura 47°C en tête de puits : on pourra chauffer une maison de retraite, un lycée, parc de loisir aquatique, Hôtel Implanter des serres, une aquaculture ..

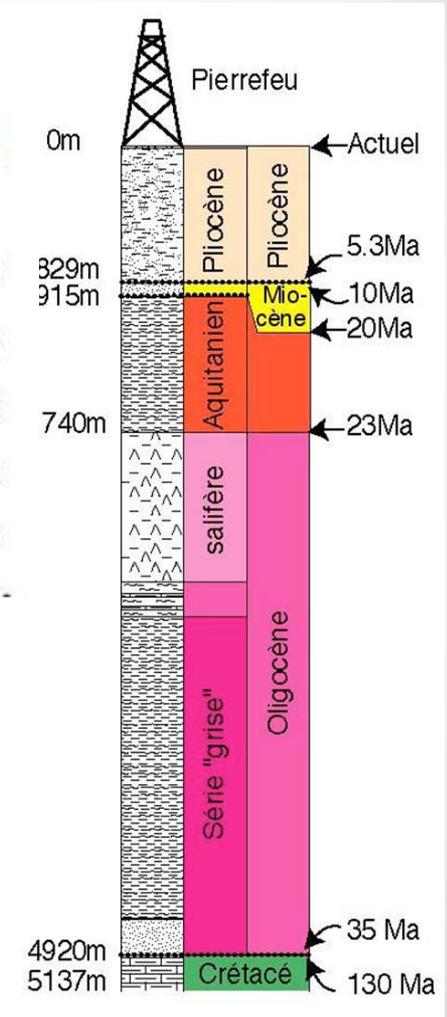
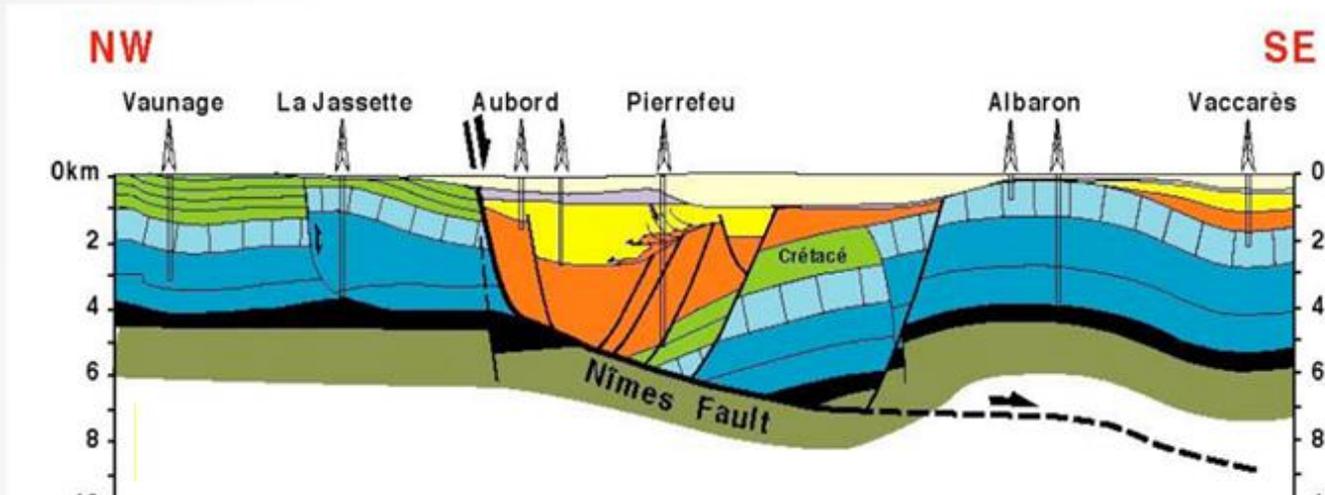
La sonde géothermique augmente la POS de doublets ultérieurs

- La sonde géothermique est un forage de reconnaissance géologique qui permet en outre avec la sismique de puits, de déterminer la profondeur de l'aquifère objectif, de vérifier le gradient géothermique ,*ce forage est exploitable* .
- le 1^{er} puits du doublet géothermique à venir a une Probabilité de Succès (POS) importante , on peut le réaliser avec une inclinaison qui permettra de réaliser le doublet sur la même plate-forme
- avec dans notre cas 30° d'inclinaison.

SONDE GEOTHERMIQUE :

- La part la plus importante de l'investissement est le forage
- Souvent après forage de puits en échec pour la recherche d'huile ou de gaz , de charbon..... ou de géothermie avec aquifère
- **Pas de risque lié à l' exploration et à la nécessité d'un aquifère exploitable**
- pas d'interaction avec des fluides souterrains
- opération simple et sûre
- disponible comme source de chaleur toute l'année
- terrain sédimentaire ou métamorphique ou autre
- la profondeur va de 1000 (45°C au fond pour un gradient normal) à 3000m.
- importance du gradient géothermique
- importance de la conductivité de la couche source
- nécessite une réalisation d'un forage ben conçu et bien réalisé
- exige une cimentation complète et réussie
- exige un tubing parfaitement isolé et fiable
- exige une modélisation des échanges thermiques et de se garantir de l'épuisement de la ressource thermique

sondes géothermiques et sel :**VAUVERT (Kem ONE)** gradient 4°C/100m soit 114°C à 2500m



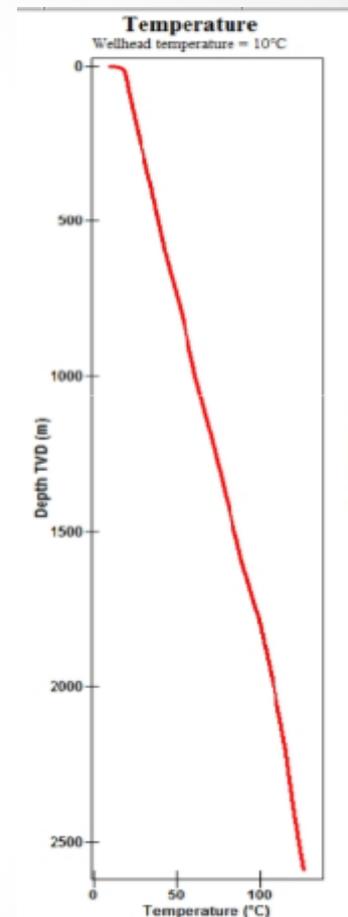
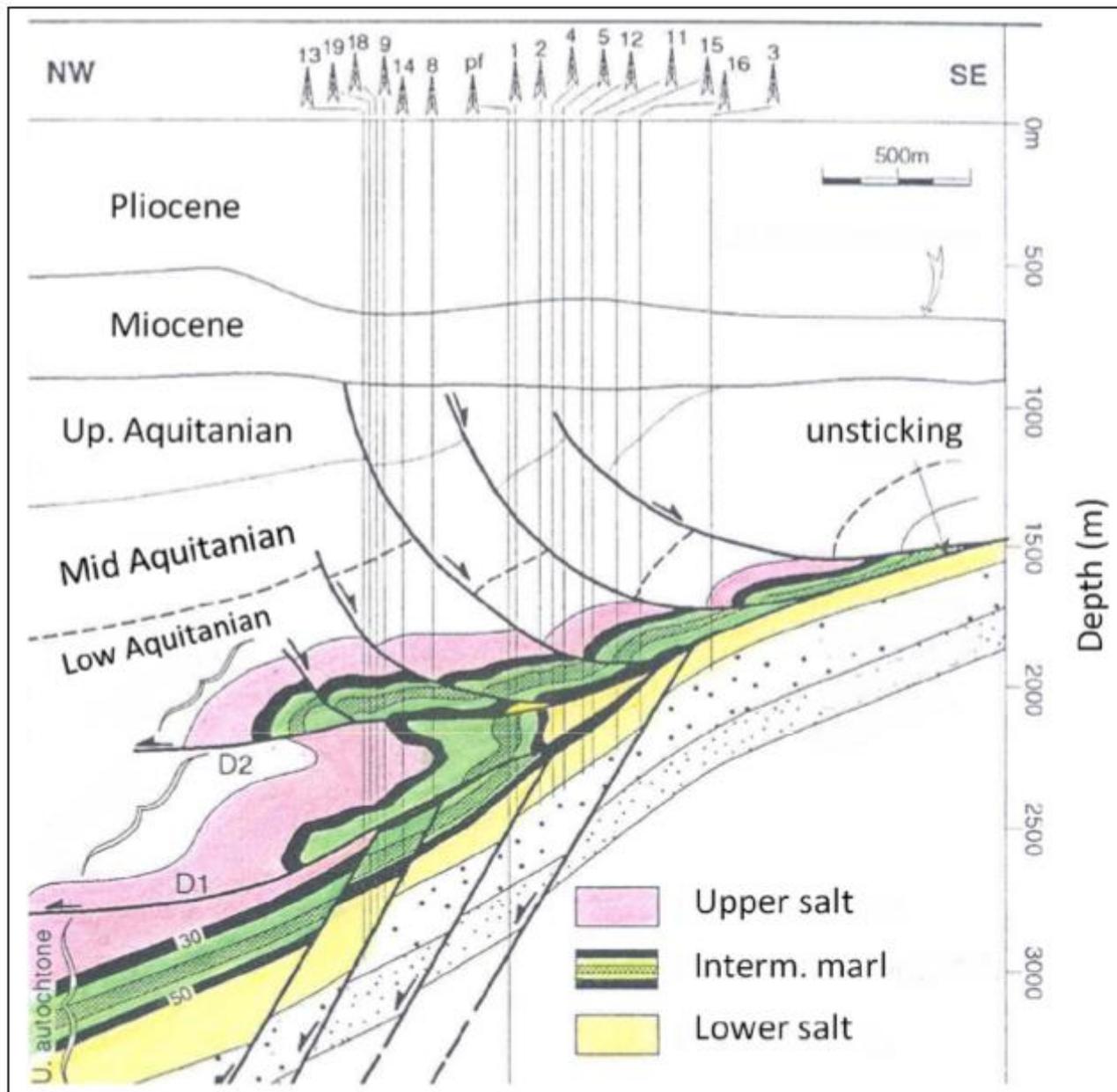
Benedicto 1996 , Valette et Benedicto 1995

D'après Michel Serrane , modifié :

Les salines de Vauvert exploitent du sel gemme , Oligocène sup. par forages entre 2500 et 3000m . Injection d'eau dans un puits , dissolution du sel => saumure pompée par un second puits. Saumure expédiée à l'usine de traitement à Fos sur mer (saumoduc 80 km) et à Lavera .

Production =10 millions de tonnes de sel/an Industrie chimique (4%du Chlore mondial)

KEM ONE :20 personnes à Vauvert



Prenzlau en Allemagne est exploitée depuis 1994 avec 110°C à 3000 m

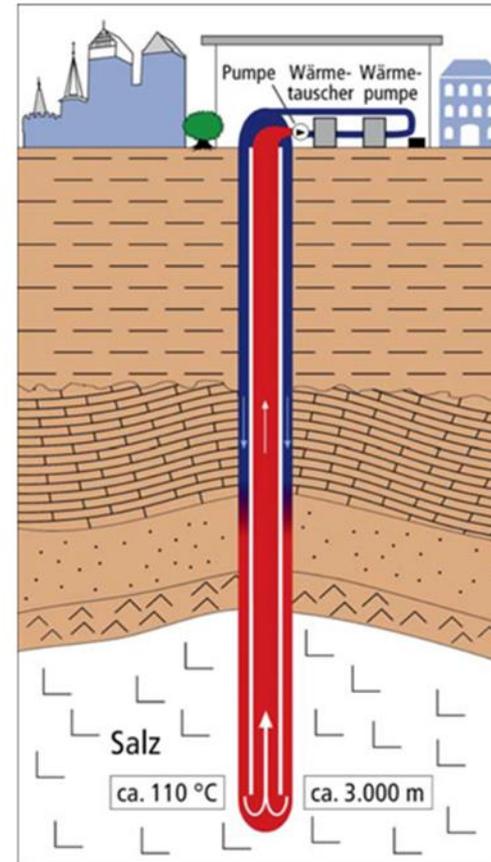
ROCHES SEDIMENTAIRES	CONDUCTIBILITE THERMIQUE 10 ⁻³ cal/s cm ² , °/cm	ROCHES IGNEES	CONDUCTIBILITE THERMIQUE 10 ⁻³ cal/s cm ² , °/cm
Argiles (carbonifères)	3,0 à 4,3	Andésite	8
Calcaire	5 à 7	Gneiss	4,9 à 8,7
Conglomérat	7,1 à 8	Granite	5,7
Craie	22	Rhyolite (altérée)	7,4 à 8,8
Dolomite	10	Syénite	6,3 à 9,5
Grès (carbonifères)	6 à 7,7		
Marnes (perliennes)	4,2 à 6,6		
Marnes, argiles (Iran)	5		
Quartzite	13		
Sel gemme	27		

FIGURE 2 : Conductibilité thermique pour quelques roches (extrait du Handbook of Physical Constants)

CAPE BRETON
UNIVERSITY

„Deep“ Geothermal Probes

- Most expensive part is the bore hole
- After use of unused bore holes, e.g.
 - coal
 - oil
 - gas
- Has to be equipped with geothermal probes
- Since 1994 in Prenzlau/Germany
 - 108 °C temperature
 - 2800 m deep bore hole
 - Deed into district heating system



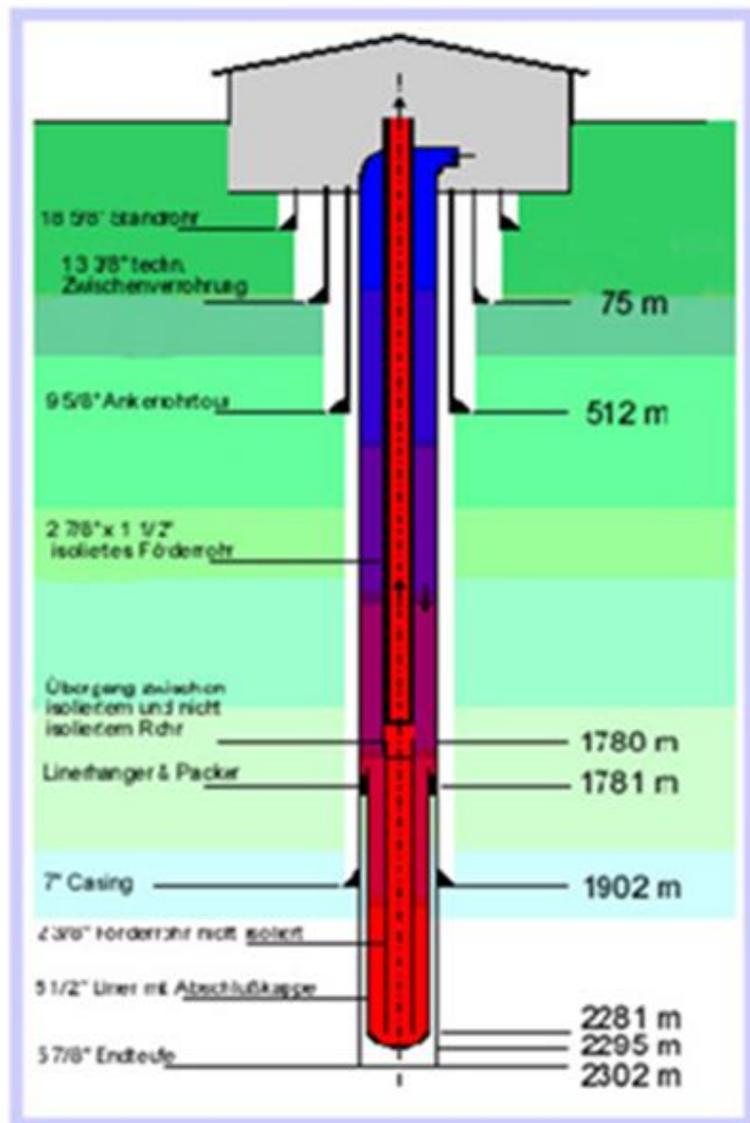
Wegis en Suisse

En fonction depuis

1994 78°C

*Caractéristiques de la sonde
profonde de Weggis*

Nom	Weggis
Canton	Lucerne
Type de bâtiment	env. 50 logements
Utilisation de l'énergie	chauffage et eau chaude sanitaire
Mise en fonction	1994
Nombre de sondes	1
Profondeur	2300 m
Type de sonde	coaxial
Puissance thermique (chauffage et eau chaude sanitaire)	230 kW
Demande d'énergie	480 MWh/an



De nombreuses applications sont possibles balnéothérapie , spa ,chauffage (EHPAD , Hôtels , écoles) , piscicultureproduction électriqueselon la ressource.

Examples for deep closed heat exchanger



Recreation spa in Arnsberg
~ 2730 m



Communal heating net in
Prenzlau
~ 2800 m, 450 kW



University in Aachen
~ 2544 m



MW-Consulting
Robenkamp 36
D - 44869 Bochum

Tel . +49 2327972850
Mobil +49 15111384483
mwc@geo-consens.de



Il nous faut apprendre de l'Allemagne et de la Suisse :

- Forage confié à des entreprises qui n'ont pas toujours un savoir-faire
- **Pb de matériels choisis pour les tubing intérieurs** qui remontent l'eau chaude (du Polyéthylène jusqu'à des fibres de verre qui ont monté leur limite)
- **parfois un épuisement de la ressource thermique**

Les plus du groupement constitué :

- Connaissance de l'exploration et de sa nécessité
- Modélisation cylindrique (GPC IP)
- Tubing (utilisés en pétrole à de températures élevées depuis des années)
- Connaissance géologie et forage , *nous sommes géologues provençaux*
- Connaissance géothermie (PER obtenus , géothermie depuis années 80 ..)
- Indépendance par rapport aux groupes industriels

Conclusion : la géothermie doit se développer en Provence

- La Provence a des ressources géothermiques certaines qu'il faut prouver, l'exploration est une nécessité. L'exploration ne peut être menée " normalement " qu'avec des moyens pétroliers .. lourds .. coûteux .. difficiles à mettre en œuvre .
- La réalisation de sondes géothermiques profondes est un des moyens de développer la géothermie dans notre région avec des moyens limités c'est une 1^e étape. Cette technique peut être appliquée ailleurs en France .
- L' évolution des techniques ORC ou Kalina permet d'envisager la production d'une électricité propre disponible en tout temps (indépendamment du vent , du soleil ...sans besoin de stockage).
- Si cette étape est franchie avec succès , nous sommes persuadés que des doublets (triplets) verront le jour en Provence .
- L'exemple de Vauvert montre qu'une exploration ou une exploitation par forage ne devrait jamais plus se terminer par un abandon de puits par bouchage .. qui est un vrai gâchis .

Altheim (1989) 2000 habitants chauffés et fourniture électricité (1MW) est exploité en doublet très proche d'une zone urbanisée (deux puits vers 2000m TVD dont 1 dévié 3000m en longueur forée) environ 250 m³/h . L'investissement voisin de 12M Euros serait rentable .

ORC = Organic Rankine cycle

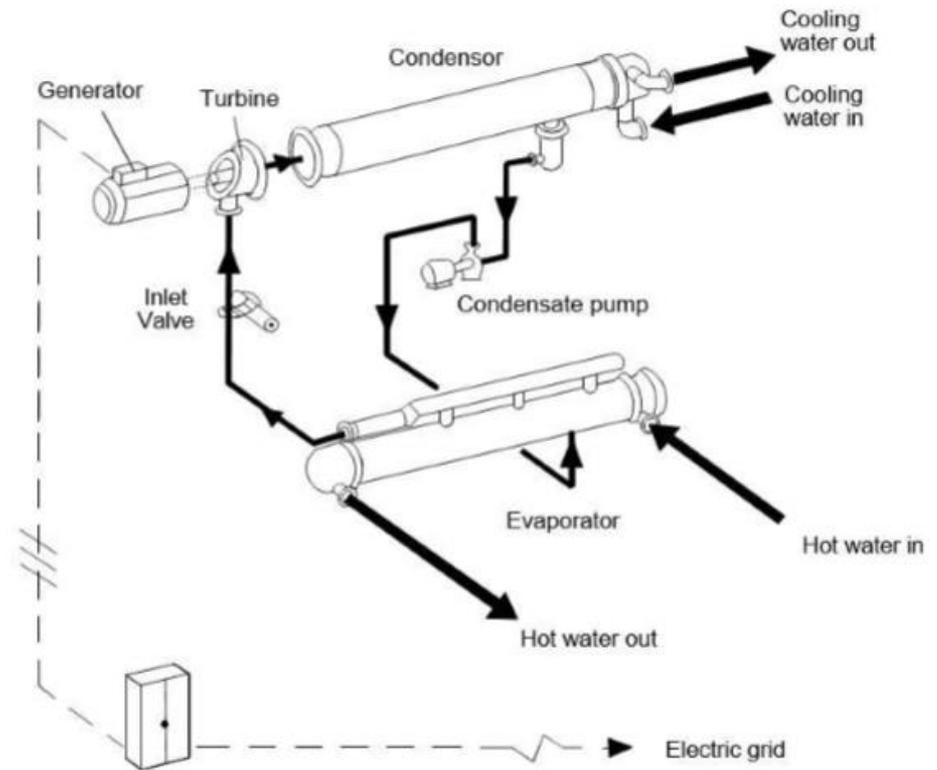


Figure 1. Schematic of the ORC turbogenerator.

ORC : isopentane ou isobutane etc ..

Table 1. Altheim ORC Turbogenerator Performance Data Sheet

Geothermal water inlet temperature:	106 °C (223 °F)
Geothermal water outlet temperature	70 °C (158°F)
Geothermal water flow rate:	81.7 kg/s (1,295 gpm)
Cooling water flow rate (about):	340 kg/s (5,389 gpm)
Cooling water inlet temperature:	10 °C (50°F)
Cooling water outlet temperature:	18 °C (64°F)
Electric generator:	synchronous, low voltage
Net electric power output:	1,000 kW

4. Project Planning

The successful development of a geothermal project requires detailed planning, a competent project management, and an effective cooperation of experts from many different fields. In Germany, a geothermal project for district heating takes six years on average. However, development time can vary, depending on the federal regulatory requirements, availability of a drilling rig and other factors. It can be divided into a series of development phases before the actual operation begins:

- (1) Preliminary Study (6–12 months)
 - Definition of project objectives
 - Data compilation
 - Technical draft
- (2) Feasibility Study (12–24 months)
 - Data acquisition
 - Quantification of exploration risk
 - Financial analysis
- (3) Exploration (18–24 months)
 - Obtaining permits
 - Seismic exploration
 - First drilling
 - Hydraulic tests and well stimulation
 - Decision on strike
- (4) Field Development (18–24 months)
 - Second drilling
 - Hydraulic tests
 - Construction of surface facilities
 - Securing licence area at the local mining authority
- (5) Start-up and Commissioning (3–6 months)



Figure 33 : Camion vibreur pour l'acquisition sismique, en milieu rural et en milieu urbain
Photos ©GTC, avec l'autorisation de l'entreprise.

Estimation 2014
O Govenèche
BRGM pour un
doublet en
Aquitaine vers
1700 m de
profondeur
= 1ME

4.1 Preliminary Study

Deep Geothermal Energy Production in Germany
Thorsten Agemar *, Josef Weber and Rüdiger Schulz
Leibniz Institute for Applied Geophysics, Stilleweg 2, 30655 Hannover, Germany;