

Geotermia en Francia: distrito térmico de Villejuif y central EGS de Soultz-Sous-Forêts

DANIELA BLESSENT, PhD

PROFESORA INGENIERÍA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN



EARTH SCIENCES FOR SOCIETY

UNESCO » Natural Sciences » Environment » Earth Sciences » International Geoscience Programme » IGCP Projects

Earth Sciences

International Geoscience
and Geoparks Programme

Project 636 - Characterization and
sustainable exploitation of geothermal
resources

**JORNADA GEOTERMIA
Y AGUA SUBTERRANEA**

UN ESPACIO PARA APRENDER Y
COMPARTIR EL CONOCIMIENTO

MARTES

**13
NOV**



**Universidad
de Medellín**
Ciencia y Libertad



CONTENIDO

1 - INTRODUCCIÓN

¿Qué es un distrito térmico ?

¿Qué es un EGS (Enhanced geothermal system)?

2 - CASOS DE ESTUDIO

A – Villejuif (periferia de Paris)

B – Soultz-Sous-Forêts (Alsacia)

3 - CONCLUSIONES





**Universidad
de Medellín**
Ciencia y Libertad

Qué es un distrito térmico?





**Universidad
de Medellín**
Ciencia y Libertad

INTRODUCCIÓN

Paris geothermal district heating on track to deliver heat by winter 2017



THINK GEOENERGY



Leading in News and Research on
Geothermal Energy

NEWS ▾ GEOTHERMAL PLANT MAP SERVICES ABOUT EVENTS NEWSLETTER OTHER REGIONS ▾



View from Notre Dame over Paris (source: flickr/ Clarissa Peterson, creative commons)



Another geothermal district heating project near Paris is on track to deliver heating to households and communal buildings by the winter of 2017.

<http://www.thinkgeoenergy.com/paris-geothermal-district-heating-on-track-to-deliver-heat-by-winter-2017/>



**Universidad
de Medellín**
Ciencia y Libertad

INTRODUCCIÓN

New geothermal heating plant started operation in Paris, France

Quotidien indépendant sur le Val de Marne et le Grand Paris

ACCUEIL | SOCIÉTÉ | POLITIQUE | ENVIRONNEMENT | ECONOMIE | LOISIRS | AGENDA

EN IMAGES | VILLEJUIF | 10/03

REAGIR PAR C.DUBOIS

Nouvelle centrale de géothermie à Villejuif: un joyau de l'énergie verte



Like 47 Share 47 Twitter

De couleur cuivre et argent, ses cheminées qui s'élancent désormais depuis la rue Jean-Baptiste Baudin à Villejuif

A LIRE AUSSI
Réunion publique sur

Screenshot of news on the new Villejuif geothermal heat plant in Paris, France



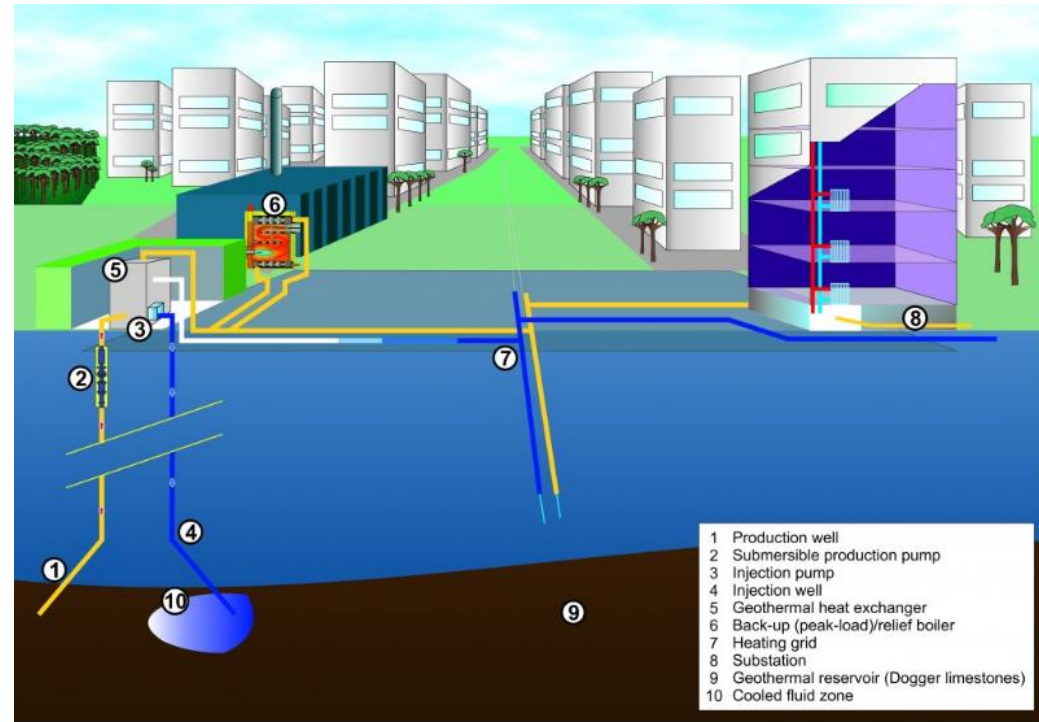
Alexander Richter
20 May 2017

A new large-scale geothermal heating plant has been inaugurated in Villejuif in the greater capital area of Paris, France. With a production of 220 GWh/ year it is one if not the largest geothermal district heating system in Europe.



INTRODUCCIÓN

- **Qué es un distrito térmico?**
 - Es un sistema de calefacción urbana o telecalefacción
 - Se genera calor en una central y se distribuye a través de una red de tubería (como acueductos y gas)



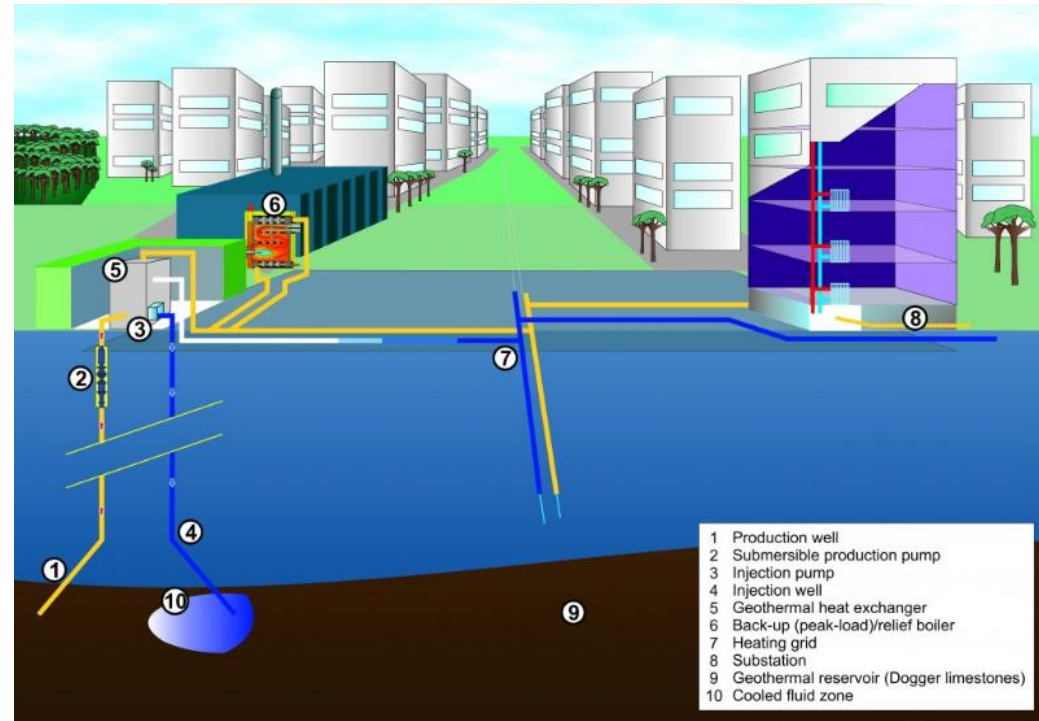
DEVELOPING GEOTHERMAL DISTRICT HEATING IN EUROPE,
GEODH (2014)



INTRODUCCIÓN

- Se caracteriza por 3 componentes
 - Producción de calor
 - Red de distribución para llevar el calor a los usuarios
 - Una segunda red de distribución en cada edificio

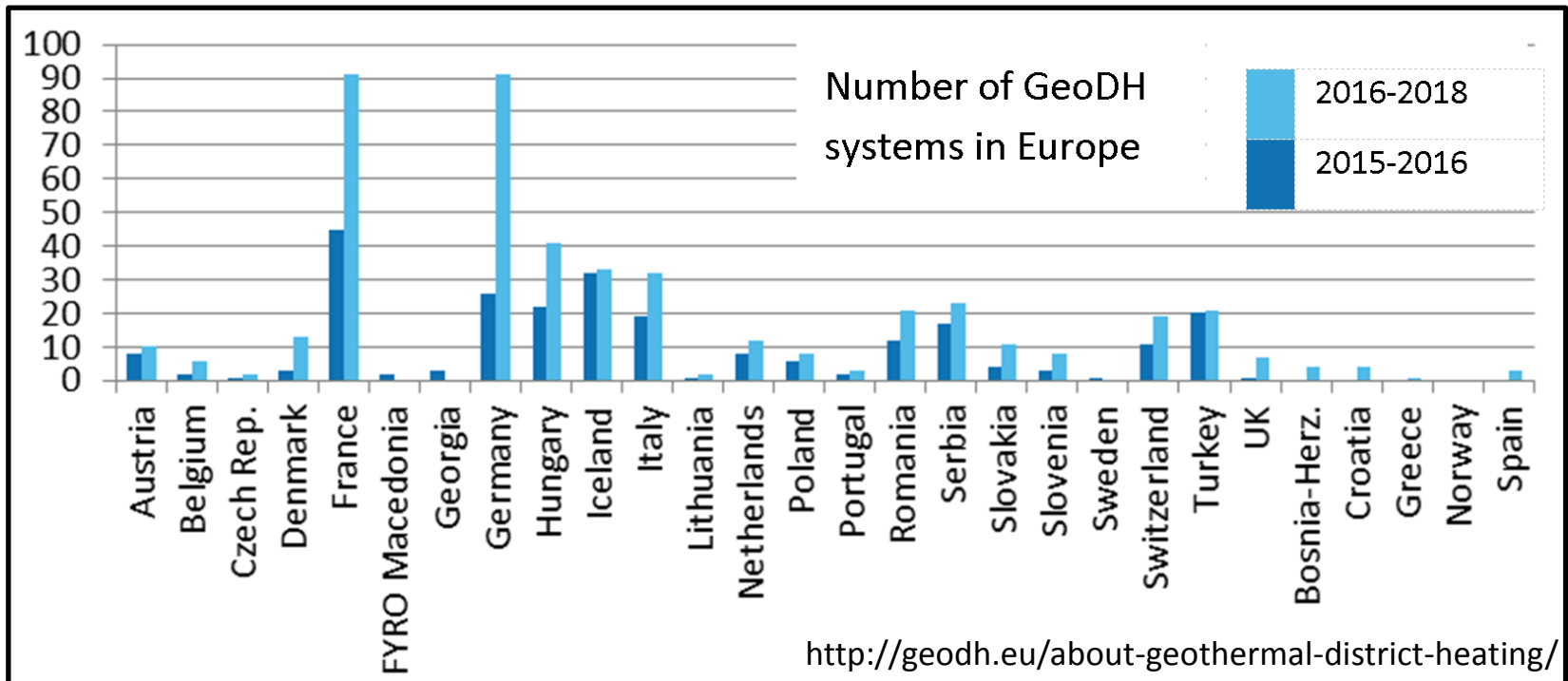
- 1 Production well
- 2 Submersible production pump
- 3 Injection pump
- 4 Injection well
- 5 Geothermal heat exchanger
- 6 Back-up (peak-load)/relief boiler
- 7 Heating grid
- 8 Substation
- 9 Geothermal reservoir (Dogger limestones)
- 10 Cooled fluid zone





INTRODUCCIÓN

- **Distritos térmicos en Europa, según datos de la *European Geothermal Energy Council (EGEC)***



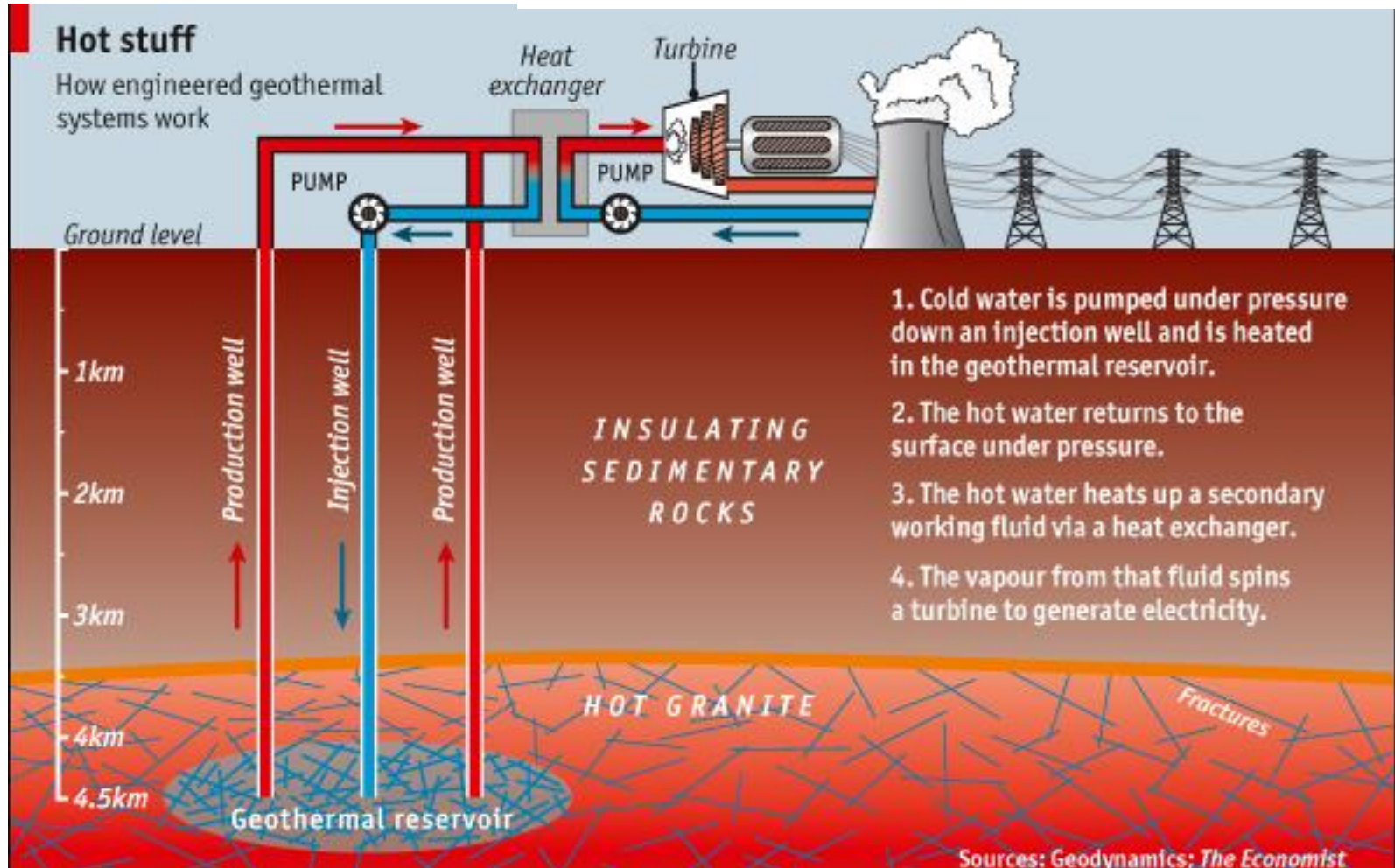


Qué es un EGS ***Enhanced Geothermal System*** **(Sistema geotérmico mejorado)?**



INTRODUCCIÓN

SISTEMAS GEOTERMICOS MEJORADOS ENHANCED GEOTHERMAL SYSTEMS (EGS)





INTRODUCCIÓN

SISTEMAS GEOTERMICOS MEJORADOS ENHANCED GEOTHERMAL SYSTEMS (EGS)

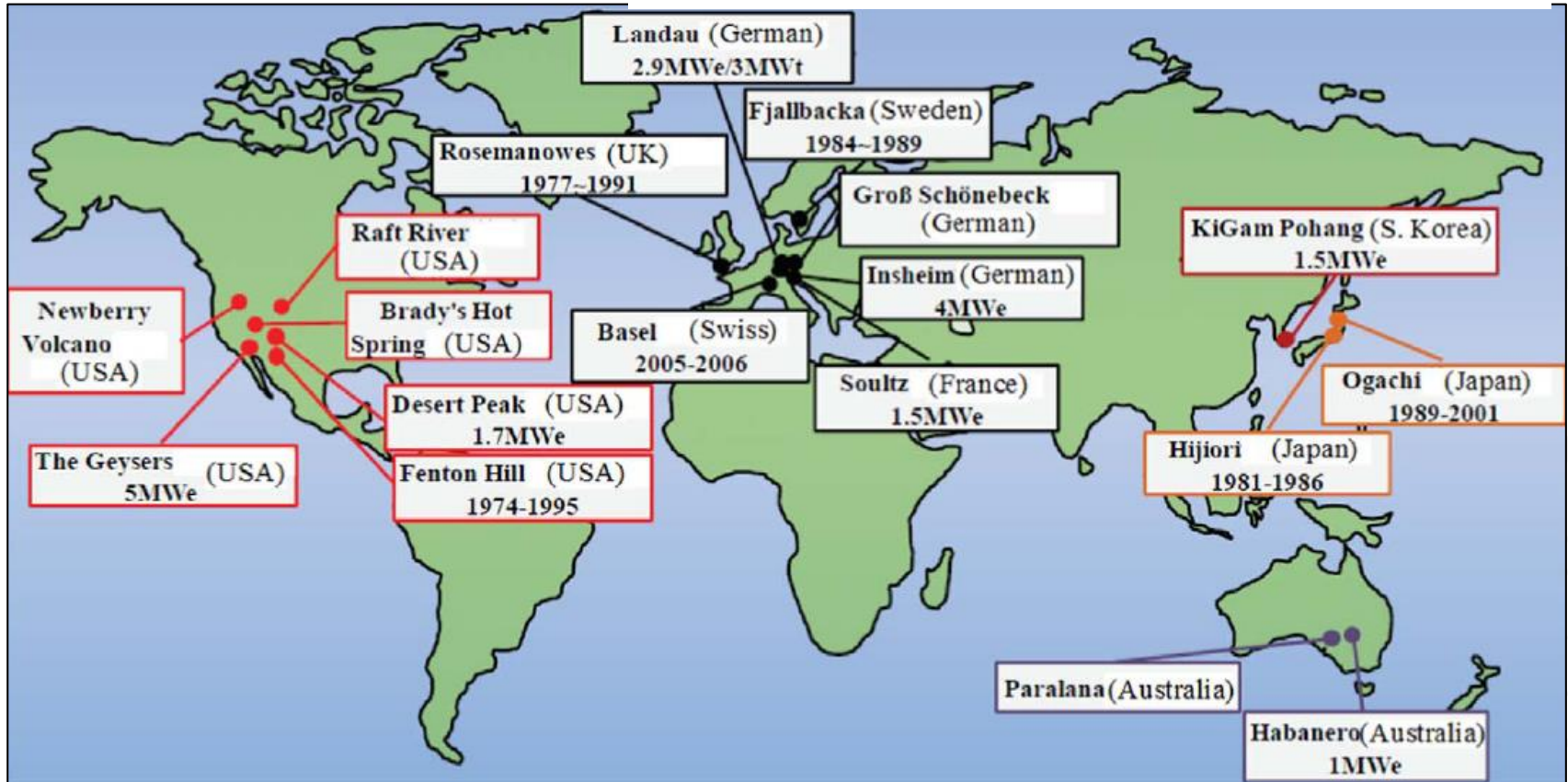


Fig. 2. Illustration of global EGS sites distribution. (Sources: [17,20-22,69-80]).



INTRODUCCIÓN

- **Enhanced Geothermal Systems (EGS)**
 - Temperatura es suficientemente alta (100-200° C) pero no hay suficiente permeabilidad
 - Se crean o se expanden fracturas, con el fin de transportar agua y recuperarla como vapor o agua caliente
 - Técnicas (Watanabe et al., 2016)
 - Estimulación hidráulica → **Afecta unos cientos de metros de reservorio**
 - Estimulación térmica
 - Estimulación química → **Impacto limitado a una distancia de algunas decenas de metros del pozo**



**Universidad
de Medellín**
Ciencia y Libertad

Villejuif

Distrito térmico





VILLEJUIF

- Se ubica en la periferia de Paris





VILLEJUIF

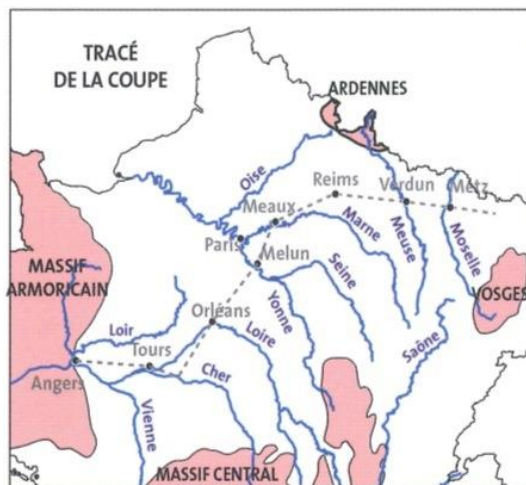
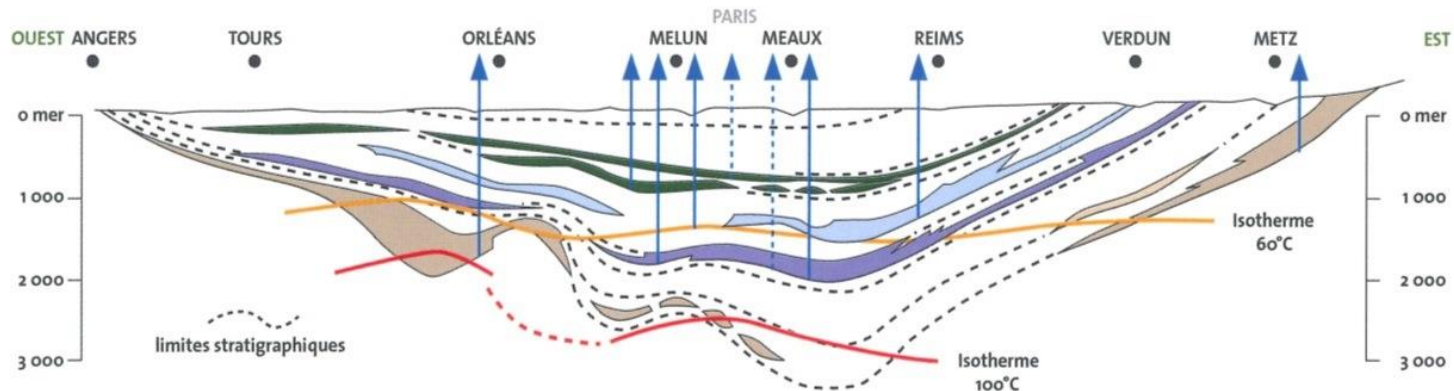
- Hay 50 centrales en toda la *Ile de France*
 - Las más antiguas tienen 30 años
- Central de Villejuif entró en función en 2016
- Jardín pedagógico (niños de escuelas), techo con cubierta verde





VILLEJUÍF

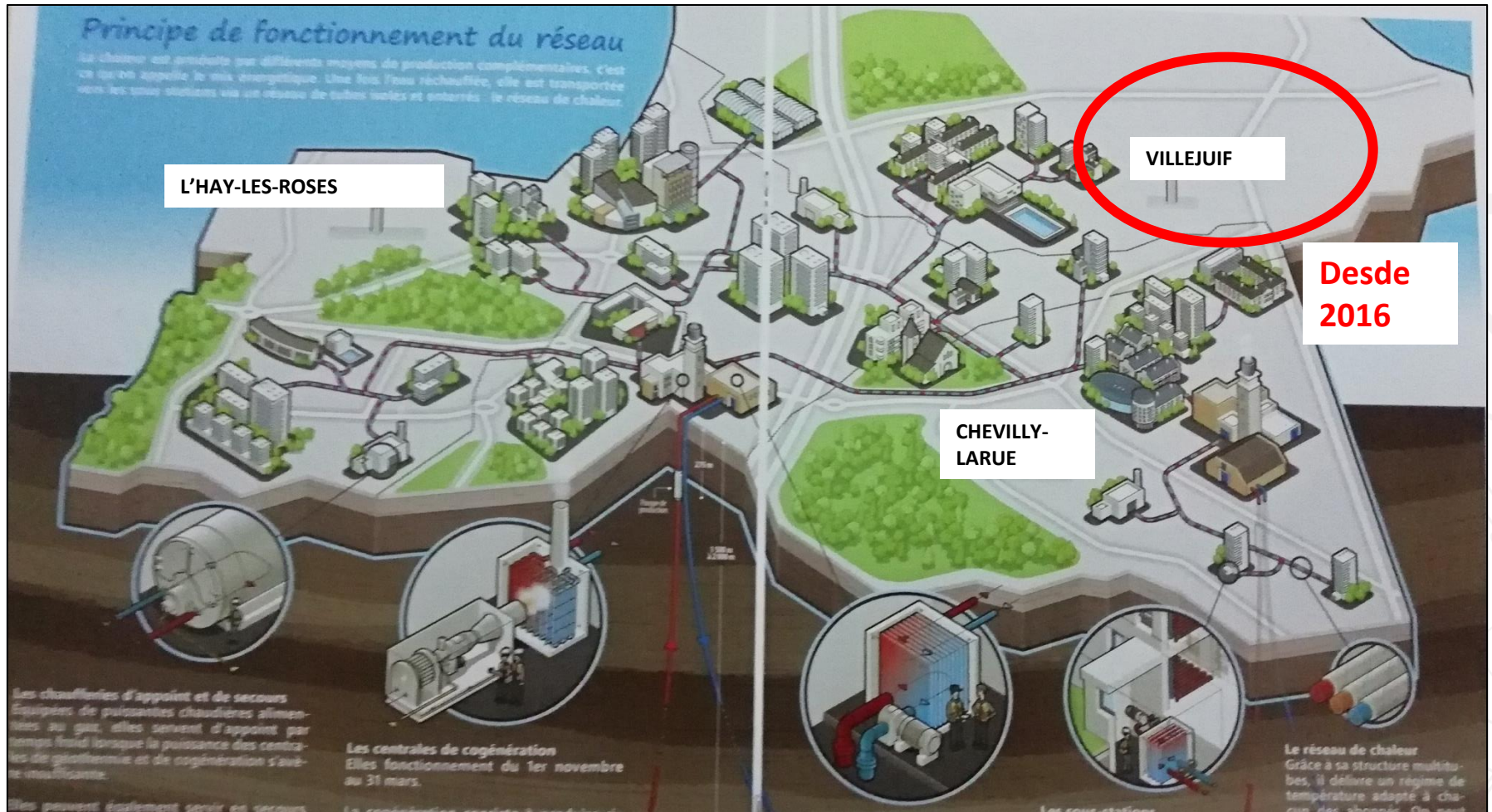
- Contexto hidrogeológico: acuífero *du Dogger*



PÉRIODES		AQUIFÈRES
SECONDAIRE	TERTIAIRE 65 millions d'années	
	CRÉTACÉ 140 millions d'années	NÉOCRÉTACÉ Sables de l'Albien Sables du Néocomien
		ÉOCRÉTACÉ Calcaires du Lusitanien
	JURASSIQUE 195 millions d'années	DOGGER Calcaires du Dogger
		LIAS Grès du Retien Grès de Lorraine à l'est Grès fluviatiles à l'ouest
	TRIAS 225 millions d'années	TRIAS
PRIMAIRE		



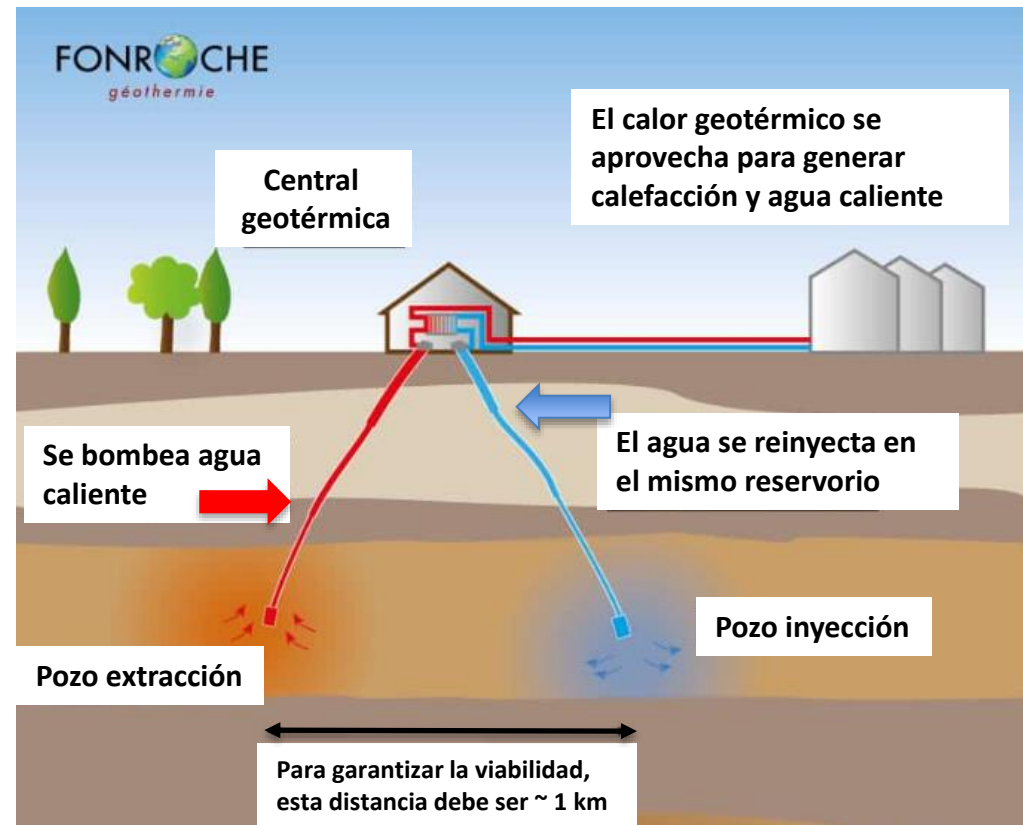
VILLEJUIF





VILLEJUIF

- **Doblete geotérmico**
 - Pozo de producción (extracción fluido geotérmico) y pozo de reinyección con longitud de 1800 m
 - Los pozos tienen inclinación de 45° para evitar que la reinyección (a temperatura de 25°C) tenga un impacto negativo en la temperatura de producción ($60\text{-}80^\circ\text{C}$)

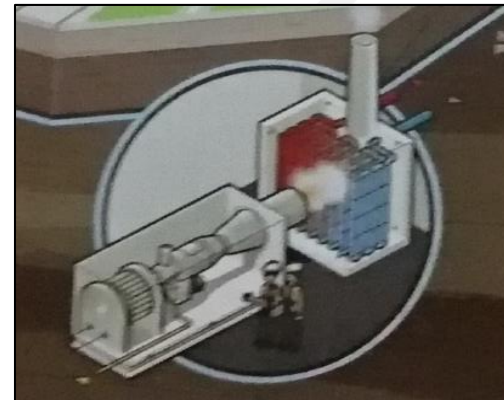
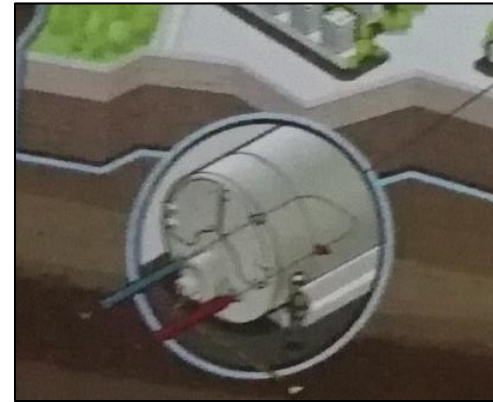


<http://www.geoven.fr/le-projet-de-a-a-z/presentation-du-projet/>



VILLEJUIF

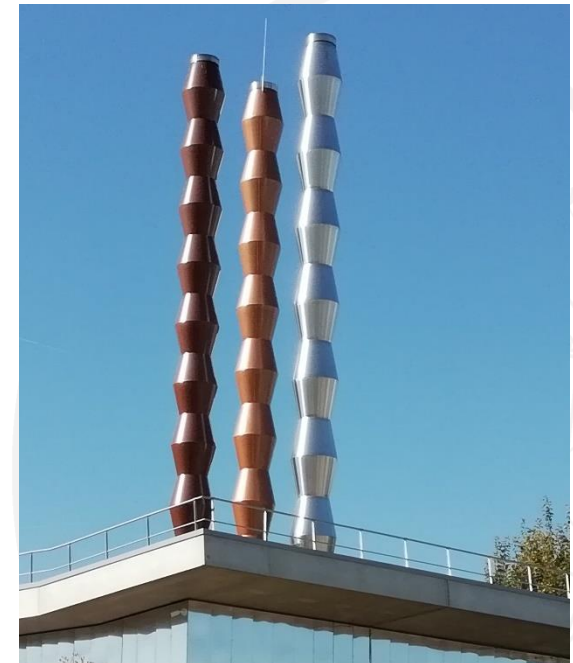
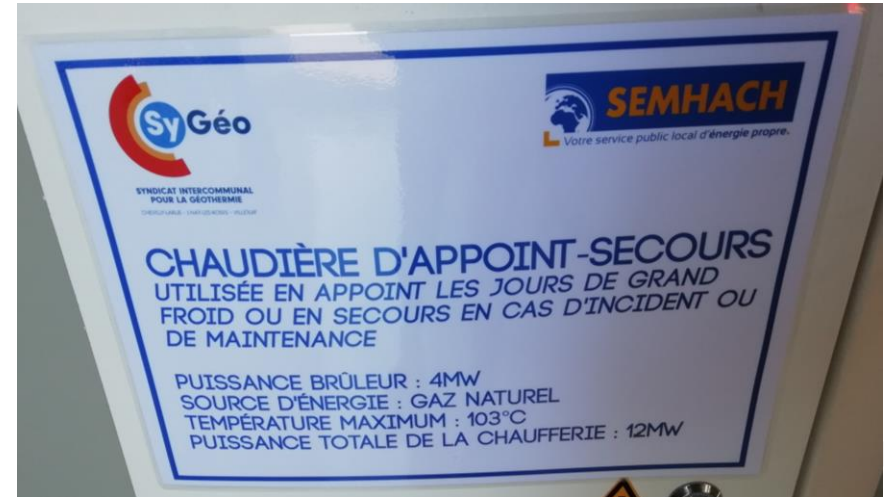
- 3 calderas a gas
- Turbina a gas (en otras centrales)
- Bomba de calor
 - Para los periodos de clima más frío entre noviembre y marzo o en caso de problemas técnicos en la central





VILLEJUIF

- 3 calderas a gas
 - Para los periodos de clima más frío o en caso de problemas técnicos en la central
 - Potencia 12 MW
 - $T_{max}=103^{\circ} \text{ C}$





VILLEJUIF

- **Subestación**

- Intercambiador de calor pequeño en cada edificio conectado a la red: el agua de la red transfiere su calor al edificio

1. POZO-CENTRAL : FLUIDO GEOTÉRMICO

Intercambiador de calor en la central

2. CENTRAL-RED DE DISTRIBUCIÓN : CIRCUITO CON 2000 m³ DE AGUA

Intercambiador de calor en cada edificio



3. RED-EDIFICIO: CALEFACCIÓN Y AGUA CALIENTE



VILLEJUÍF

- Intercambiador de calor





VILLEJUÍF

- Bombas para la distribución de agua caliente en la red





VILLEJUIF

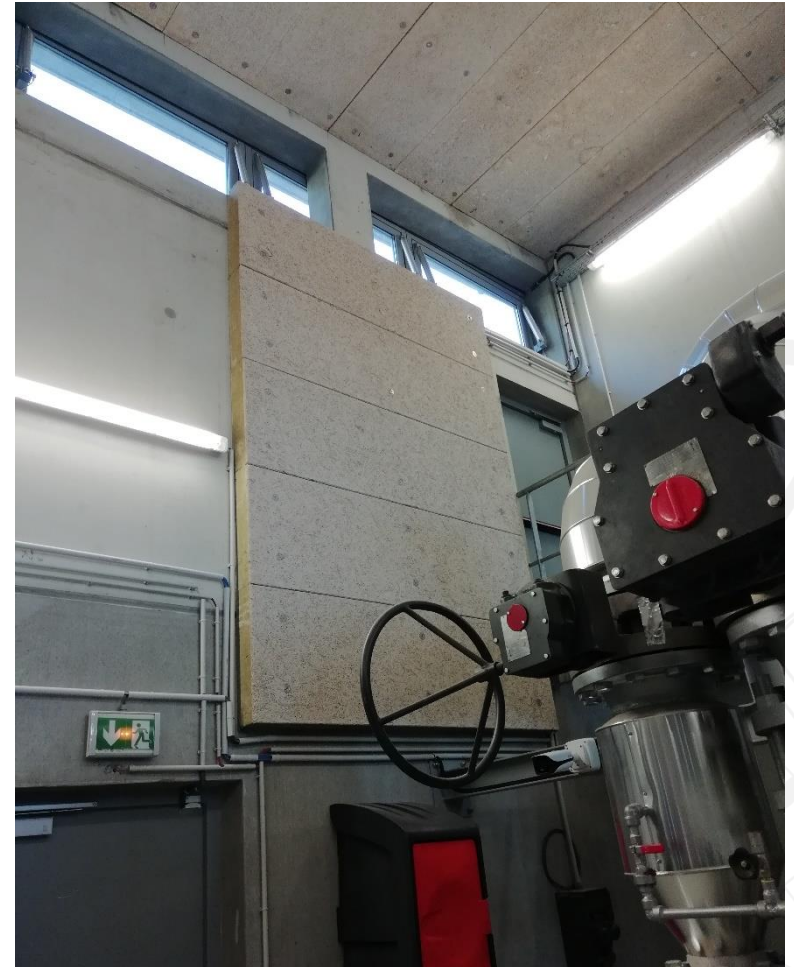
- **Bombas de inyección**
 - Presión de 35-40 bar, más elevada que en otras zonas porque aquí el acuífero es menos poroso y es necesaria más presión para reinyectar el fluido





VILLEJUIF

- **Aislamiento acústico**
 - La central está en un barrio
 - Hay una urbanización justo al lado





VILLEJUÍF

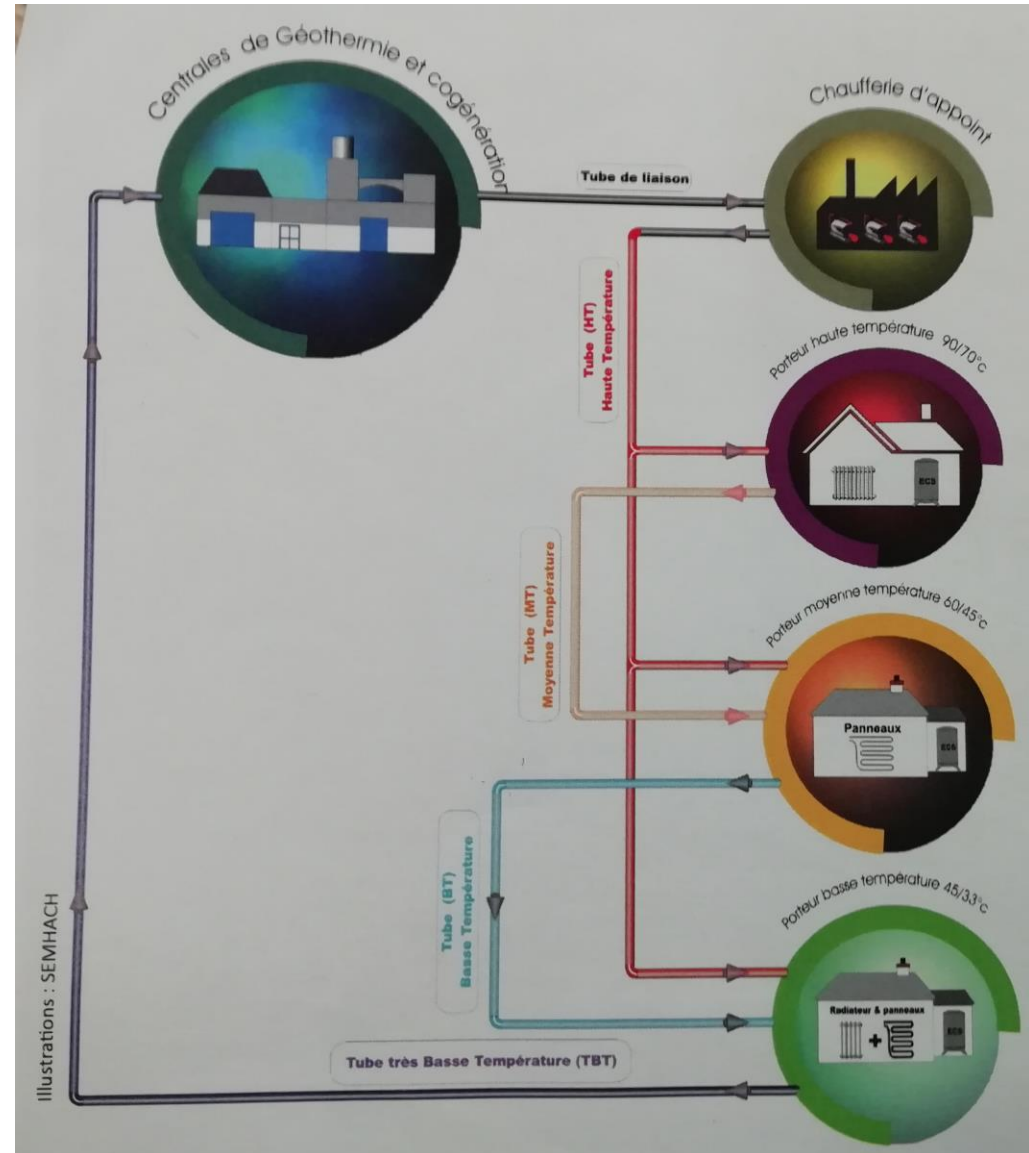
- **Tanque de expansión**
 - Variación del volumen del agua debido a la variación durante el día y las estaciones
 - En la red circulan 2000 m³ de agua
 - Se debe ablandar el agua que circula en los 80 km de la red de distribución para evitar corrosión e incrustaciones





VILLEJUIF

- **Distribución en cascada**
 - Los edificios más viejos requieren más temperatura
 - Sistemas de tuberías que distribuyen agua a diferentes temperaturas:
 - Alta ($90/70^{\circ}\text{C}$) para edificios más antiguos
 - Media ($60/45^{\circ}\text{C}$)
 - Baja ($45/33^{\circ}\text{C}$) para edificios más nuevos





VILLEJUIF

- **Eficiencia de la red**
 - 1 kWh utilizado para hacer funcionar la central genera 20 kWh de energía térmica **→** **COP** (*coeficiente de rendimiento*) = 20
- **Bomba de calor: 1 kWh → 4kWh de calor**
 - Menos eficiente que toda la red, pero ayuda mucho en invierno
- **A la red están conectados**
 - ¼ edificios públicos (escuelas, hospitales)
 - ¾ edificios privados
- **3 Calderas + 1 bomba de calor + central geotérmica = equilibrio económico y seguridad en caso de accidentes técnicos**



VILLEJUIF: COSTOS

- **COSTOS:**
 - **Central: 12 millones de euros**
 - 10 millones para los 2 pozos (parte subterránea)
 - 2 millones para la construcción de la central en superficie
 - **Red de distribución: 1000 euros/metro**
 - No viable para casas unifamiliares
 - Se conectan a la red únicamente edificios de varios pisos o edificios públicos (escuelas, hospitales...)





**Universidad
de Medellín**
Ciencia y Libertad

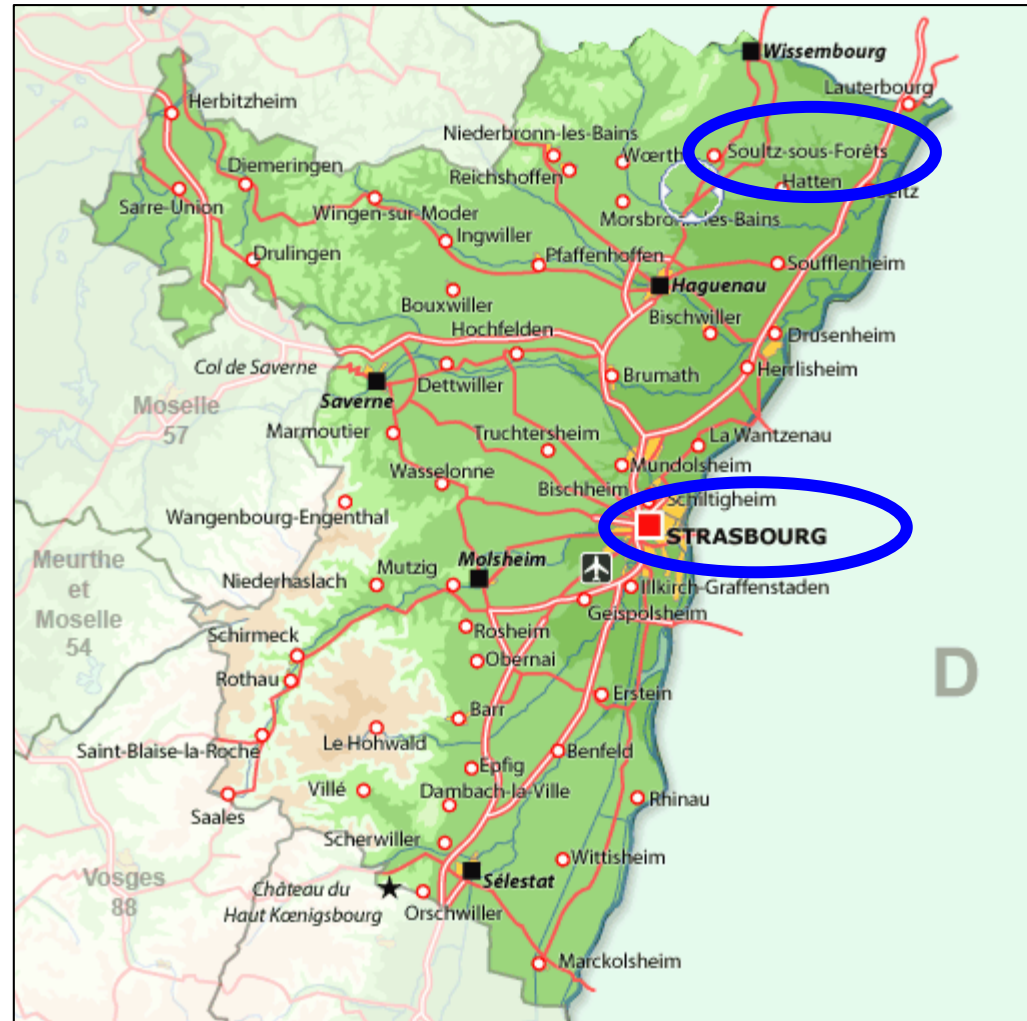
Soultz-Sous-Forêts Central EGS





SOULTZ-SOUS-FORETS

- 50-60 km desde Estrasburgo (Francia)
- Primera planta de este tipo en el mundo que produce electricidad
- El primer kWh fue producido en junio 2008





SOULTZ-SOUS-FORETS

- Investigaciones desde 1986
- La explotación petrolera en la misma región permitió tener un conocimiento geológico detallado hasta 1400 m de profundidad
- Anomalía térmica: $T > 50^{\circ} \text{ C}$ a 400 m de profundidad, gradiente $> 10.5^{\circ} \text{ C/100 m}$

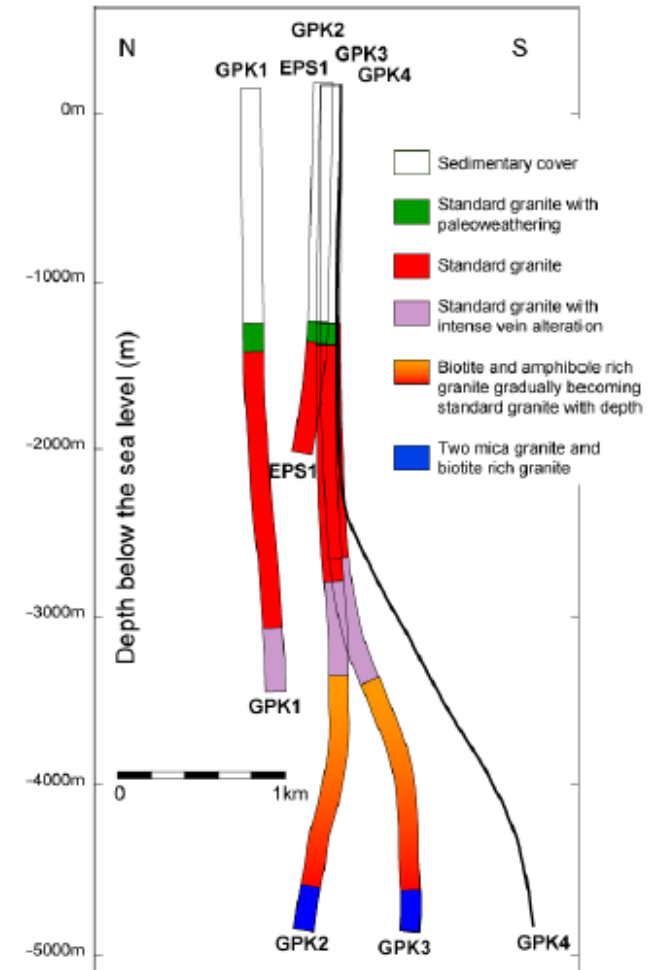


Figure 6: N-S geological cross-section between the Soultz wells. See location in Figure 3.

Dezayes et al 2005



CENTRAL BOUILLANTE (GUADALUPE)

- Central con 2 unidades de tipo flasheo:
- Bouillante 1: 1 pozo de 350 m de profundidad, 4.7 MW
- Bouillante 2: 3 pozos entre 1000 y 1150 m, 11 MW
- Reinyección de la salmuera a partir de 2011 para garantizar una presión suficiente en el reservorio de líquido mayoritario



(Blessent et al. 2016, revista TSM)



CENTRAL BOUILLANTE (GUADALUPE)

- Central con 2 unidades de tipo flasheo:

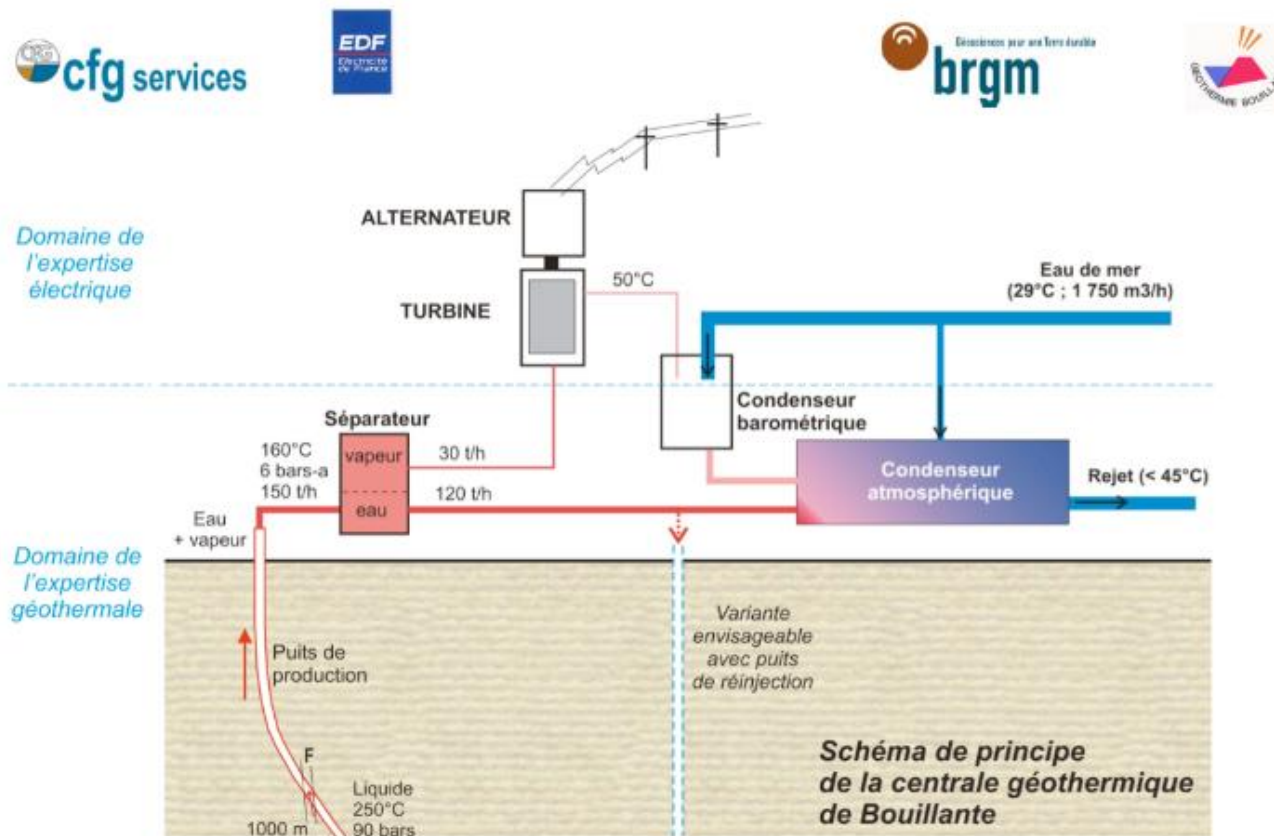
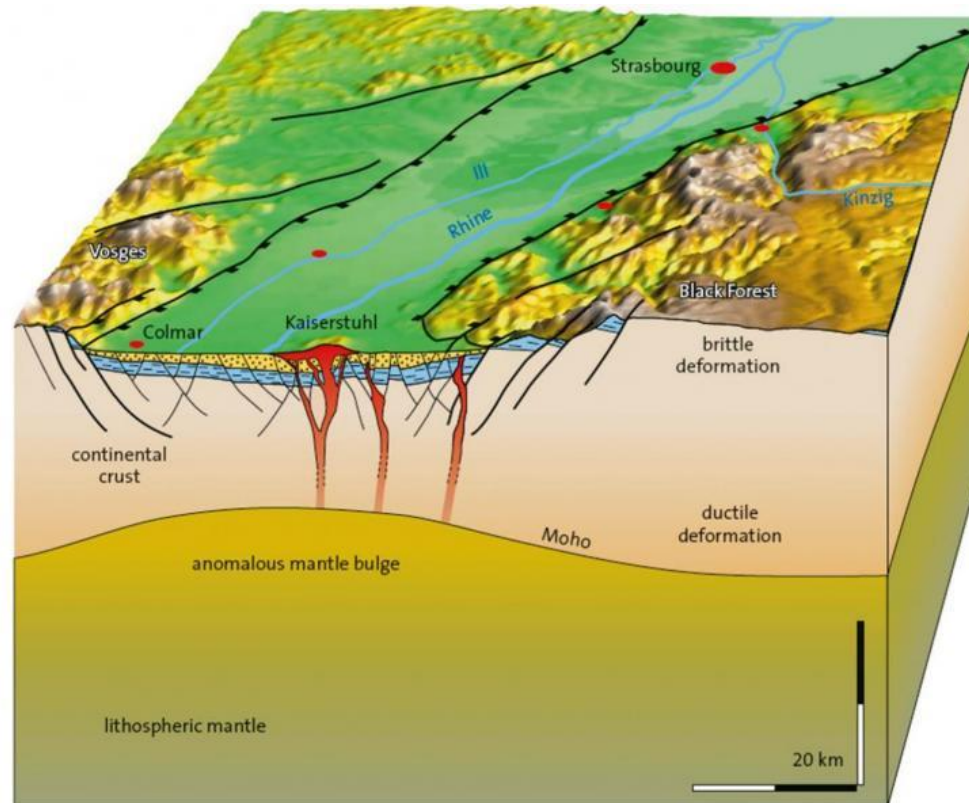


Figure 22 : Schéma de fonctionnement de l'usine géothermique de Bouillante



SOULTZ-SOUS-FORETS

- **Contexto geológico:**
 - “Graben” del Rin forma una estructura donde la corteza se adelgaza y la Moho se encuentra a 24 km de profundidad [DÈZES et ZIEGLER, 2004]

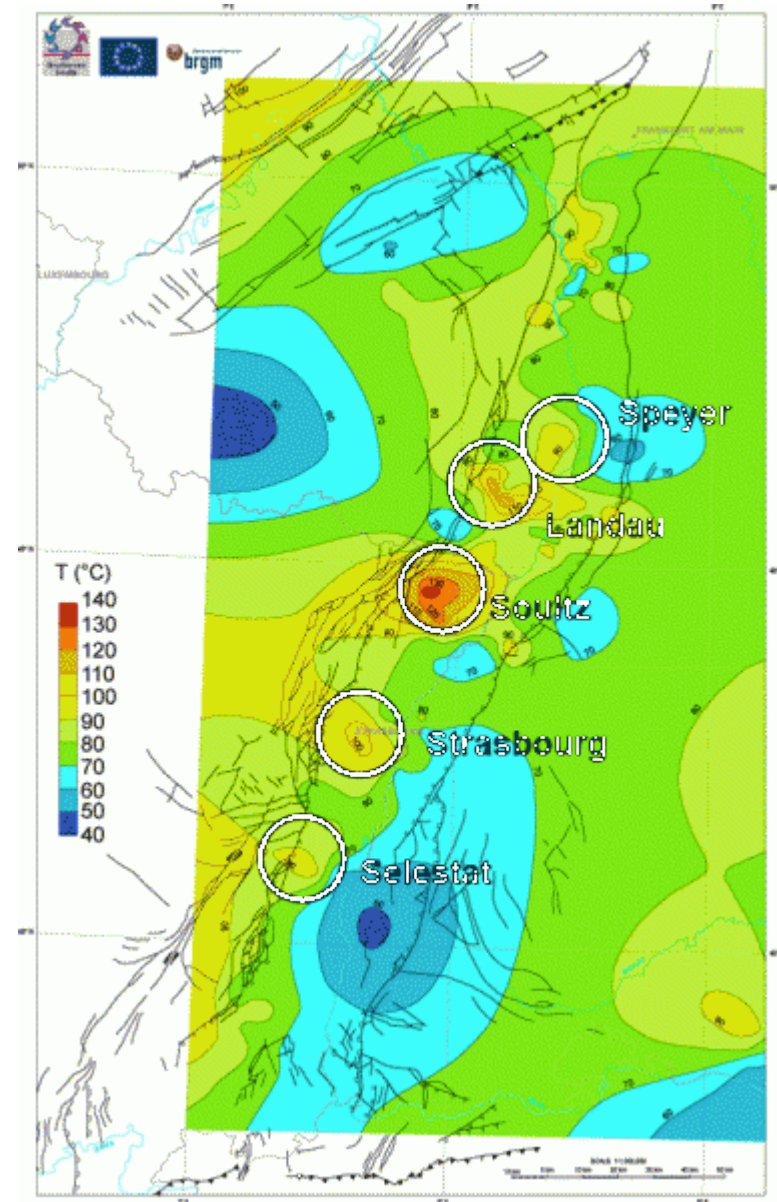




SOULTZ-SOUS-FORETS

- **Contexto geológico:**
 - Eso genera una anomalía térmica regional cuya forma está asociada a las fallas normales que se encuentran en esta área
 - El máximo de esta anomalía corresponde al "horst" de Soultz
 - Capas sedimentarias de 1.5 km de espesor [GÉRARD et al., 2006] recubren el basamento granítico fracturado, mostrando una alteración hidrotermal asociada a las fallas

http://www.geothermie-perspectives.fr/sites/default/files/styles/article_image_tres_large/public/alsace-anomalies-thermiques-locales.gif?itok=bP57Jvkt





SOULTZ-SOUS-FORETS

- Los pozos han sido estimulados por métodos hidráulicos y químicos para crear una permeabilidad suficiente para que la explotación fuera rentable [GÉRARD et al., 2006].
- PORTIER et coll. [2009] concluyen que la estimulación química debe ser combinada con la hidráulica
 - De esta forma ésta última será realizada con presiones moderadas que reducen los riesgos de sismicidad inducida



SOULTZ-SOUS-FORETS

- Etapas de construcción**

Fase de exploración 1987-1991	Perforación del pozo GPK1 a 2000 m
Creación de un doblete GPK1/GPK2 1991-1998	Profundización de GPK1 a 3600 m Perforación del pozo GPK2 a 3880 m Prueba de circulación entre los dos pozos
Creación de un triplete GPK2/GPK3/GPK4 1999-2007	Profundización de GPK2 a 5080 m Perforación de GPK3 a 5100 m Perforación de GPK4 a 5270 m Pruebas de circulación entre todos los pozos
Construcción y prueba de la primer unidad generadora de 1.5 MW de energía 2007-2008	Instalación de los equipos de la superficie (turbina e intercambiador) Instalación de las bombas en cada pozo Inauguración de la central el 13 de junio de 2008

(Palacio Villa, TDG Ing. Ambiental, 2018)



SOULTZ-SOUS-FORETS

• Etapas de construcción

Géothermie Soutz
Siège social / Sitz:
Route de Soutz
F-67250 Kutzenhausen
Tel. +33 (0)3 88 80 53 63

**HISTORIQUE DES TRAVAUX
HISTORIE**

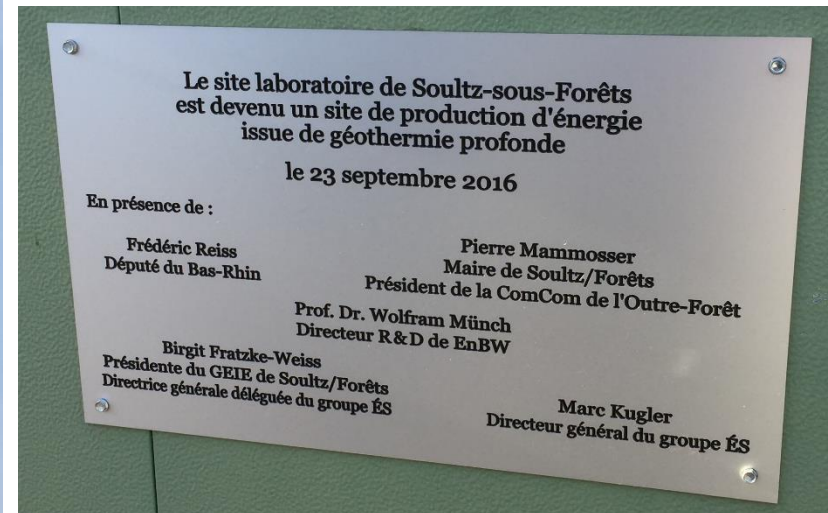
- 1987 - 1992 **Faisabilité de l'exploitation géothermique des milieux fracturés profonds
Cas du fossé Rhénan**
Machbarkeitsstudie zur geothermischen Nutzung tiefer und geklüfteter Formationen am Beispiel des Rheingrabens
- 1993 - 1997 **Deux puits forés à profondeur moyenne (3 500 m)**
Abteufen zweier Bohrungen mittlerer Tiefe (3 500 m)
Test de circulation à 25 kg/s et 142 °C satisfaisant
Erfolgreiche Zirkulation mit Fließraten von 25 kg/s und Wassertemperaturen von 142 °C zwischen den beiden Bohrlöchern
- 1998 - 2000 **Approfondissement de l'un des puits jusqu'à 5 000 m de profondeur - température 203 °C**
Vertiefung eines der beiden Bohrlöcher auf 5 000 m ; Temperatur von 203 °C
Développement par stimulation et tests satisfaisants d'un réservoir profond
Erstellung eines tiefen Reservoirs (Rissystem) durch hydraulische Stimulation und anschließende Reservoir-Charakterisierung
- 2001 - 2004 **Second puits foré avec succès en 2002 et stimulé en 2003**
Abteufen der zweiten tiefen Bohrung im Jahr 2002 und Stimulation im Jahr 2003
Troisième puits terminé en avril 2004 et stimulé en 2004 et 2005
Fertigstellung der dritten tiefen Bohrung im April 2004 und Stimulation in den Jahren 2004 und 2005

PROJET EN DEUX PHASES

Phase 1 : 2001 - 2005
Forage et stimulation des puits

Phase 2 : 2005 - 2008
• Circulation et récupération de la chaleur géothermale
• Construction de la centrale de production d'électricité

Coût total :
54 millions d'euros



Central de tipo binario



**Universidad
de Medellín**
Ciencia y Libertad

SOULTZ-SOUS-FORETS





SOULTZ-SOUS-FORETS

- **Características principales del sitio de estudio**

Soultz

Goal	The construction of two 1.5MWe power plants
Number of well	3
Well depth (m)	5000
Reservoir temperature (°C)	> 180
Capacity (kg/s)	2 × 35 kg/s
Power plant type	ORC binary cycle unit
Preliminary study period	1987–2005
Plant construction period	2005–2008
Current state	1.5 MWe power plant already in operation

A global review of enhanced geothermal systems (Lu, 2018),
Renewable and Sustainable Energy Reviews 81: 2902–2921



CONCLUSIÓN

- Los recursos geotérmicos se pueden explotar en diferentes contextos
- Se requieren siempre estudios geológicos, geofísicos e hidrogeológicos previos
 - Estudios de geología estructural (caracterización de fallas)
 - Estudios sobre el flujo del agua subterránea en medios porosos y fracturados
 - Estudios geoquímicos
 - Estudios eléctricos, sísmicos, magnetotelúricos
- **Y se requiere tiempo**
 - ➔ **Trabajos multidisciplinarios
(instituciones académicas + industria)**



CONCLUSIÓN

- Otras aplicaciones de la geotermia**

Invernaderos:



Primera cosecha de hortalizas entregó invernadero geotérmico de CET Valle Verde

Redacción, Diario El Divisadero - 19-01-2018



Geotermia marina (Thassalia, Marsella, France)

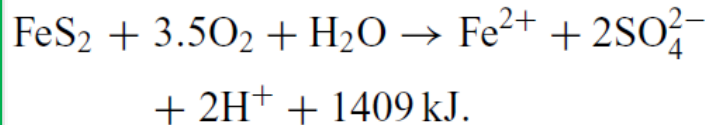


Thassalia en chiffres : 500 000 m² de bâtiments alimentés en énergie d'ici 2020, 3 km de réseau, 70 % d'énergie renouvelable et une réduction de 70 % des émissions de gaz à effet de serre.

Réseau de chaud et de froid alimenté à partir de l'eau de mer

<https://www.renewableenergyworld.com/articles/2016/11/thassalia-france-s-first-marine-geothermal-energy-power-plant-inaugurated.html>

Geotermia y minería:
Rocas estériles e inundación de minas abandonadas



UNITED NATIONS
UNIVERSITY

UNU-GTP

Geothermal Training Programme

Orkustofnun, Grensasvegur 9,
IS-108 Reykjavik, Iceland

Desalinización de agua:

USE OF GEOTHERMAL ENERGY FOR SEAWATER DESALINATION
IN THE GALÁPAGOS ISLANDS, ECUADOR

Andrés Lloret C.

Reports 2015
Number 19



Gracias



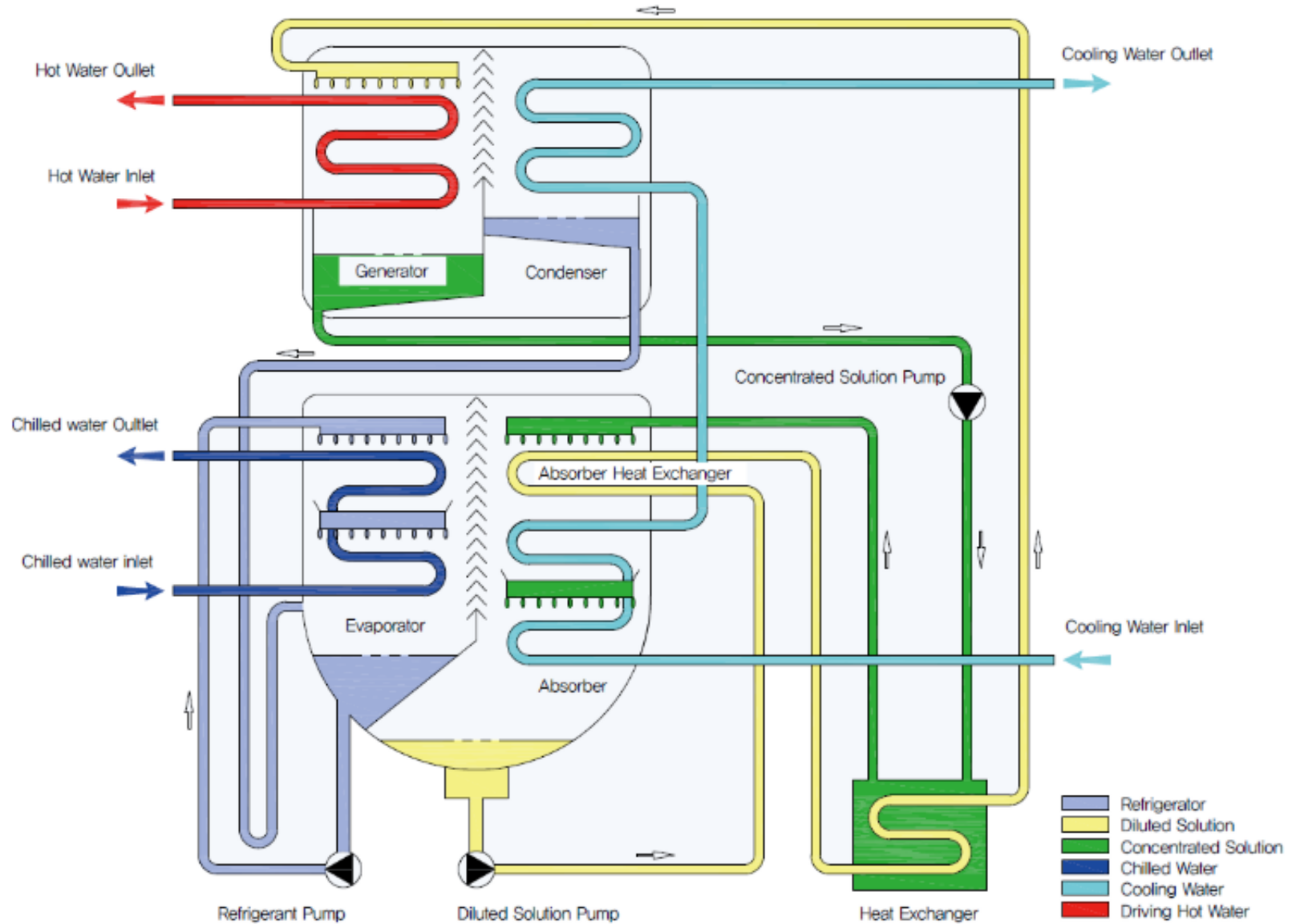
**Universidad
de Medellín**
Ciencia y Libertad



DANIELA BLESSENT
dblessent@udem.edu.co

VIGILADA MINEDUCACIÓN

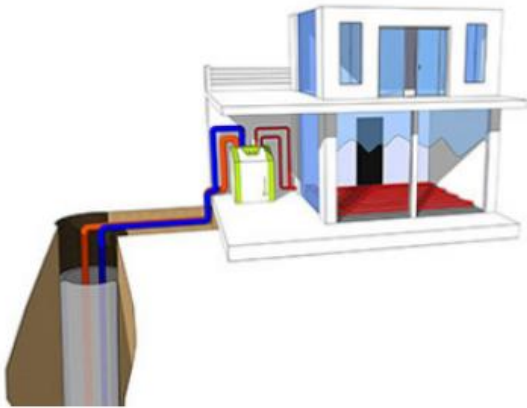
SINGLE EFFECT HOT WATER DRIVEN ABSORPTION CHILLER



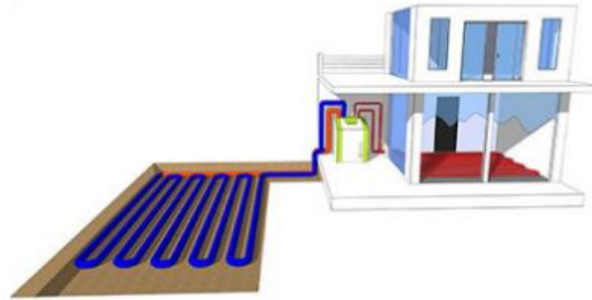
● Sistema de captación

- Vertical (80-150 m)
- Horizontal (1-2 m)
- Freático (si hay acceso a agua subterránea: pozo o manantial)

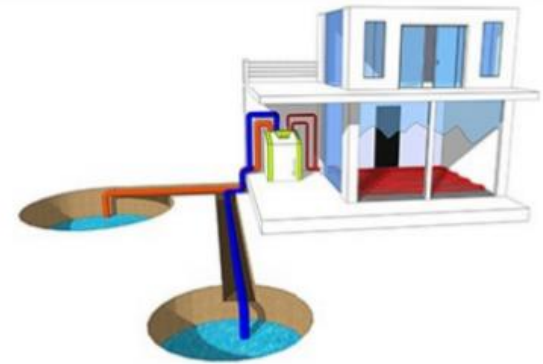
Captación Vertical



Captación Horizontal



Captación Freática



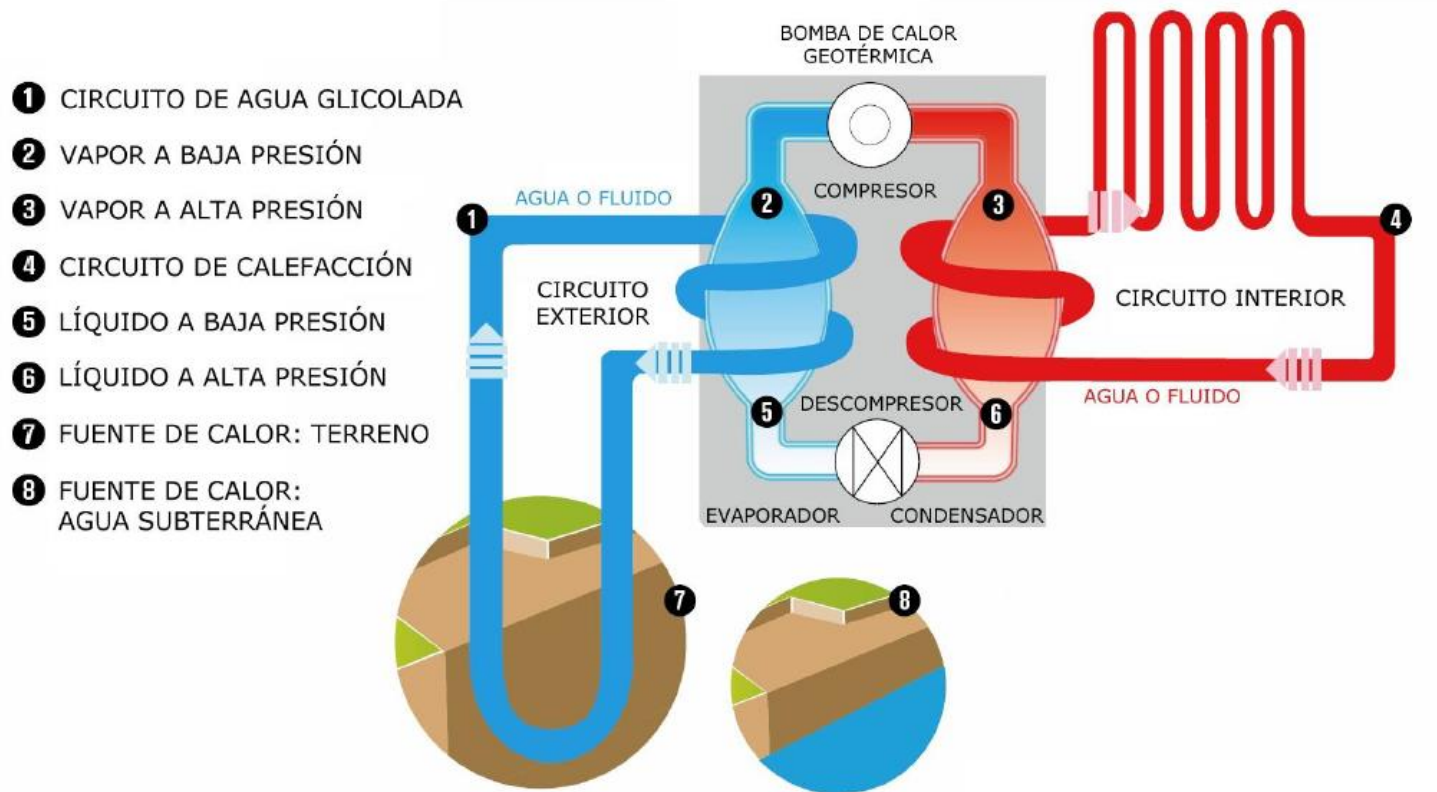


Figura 4. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor.