

Energies renouvelables
Nouveaux défis de demain, rêves ou
réalités?
La Géothermie

Henri Boyé

I. Un point sur notre consommation d'énergie...

- ▶ Il faut de l'énergie pour fabriquer les biens de consommation, pour se déplacer...
- ▶ L'énergie est indispensable à la vie, au développement économique et à l'amélioration des conditions de vie

En 200 ans, en France:

Consommation énergétique

- × par 14 par français (croissance de 1,3%/an)
- × 28 pour la France (soit 1,75%/an) (population ×2)

Espérance de vie:

1780-89 Inférieur à 30 ans
1900 Environ 50 ans
2007 80 ans

Dans le monde:

6 milliards d'habitants

mais près du tiers sans électricité

Espérance de vie de ceux qui ont le moins accès à l'énergie
⇒ 36,5 ans

I. Un point sur notre consommation d'énergie...

- ❑ La population augmente ($\approx 200\ 000$ habitants/jour)
- ❑ les pays en voie de développement (ou émergents) veulent augmenter leur niveau de vie (2,8 milliards d'habitants vivent avec moins de 2\$/jour, 1,5 milliard n'ont pas accès à l'électricité)



Augmentation de la consommation énergétique

Le kWh (1 kW pendant une heure) 1kWh

- ❑ remonter 3,6 tonnes d'eau d'une hauteur de 100 m
 - ❑ un camion de 10 tonnes roulant à 100km/h
- Le tep** → tonne équivalent pétrole ; **Le baril de pétrole** = 159 litres

Consommation mondiale

(G=giga = milliard)

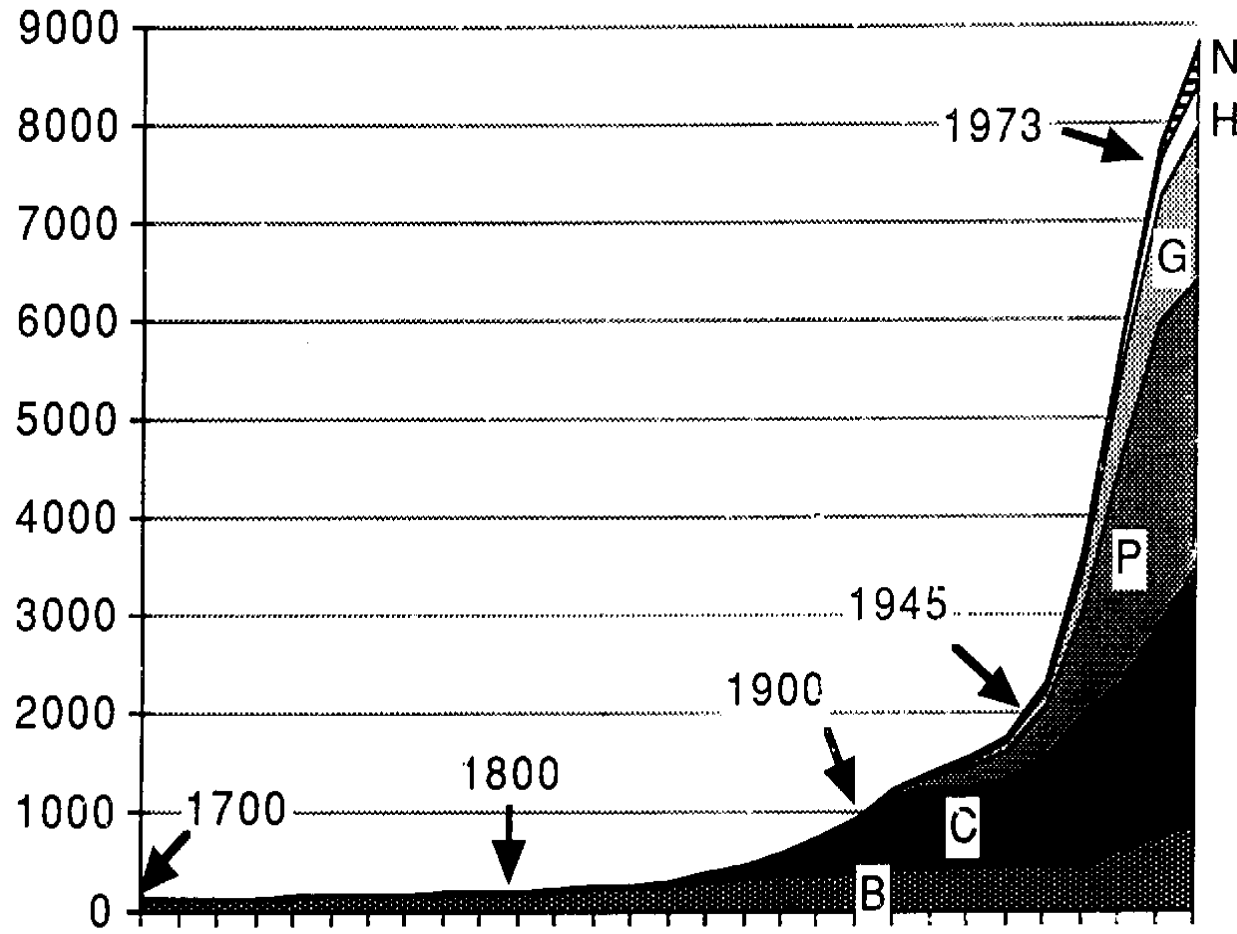
1800 (estimation) → 0,2 Gtep/an (≈ 1 Ghab)

1900 → 1 Gtep ($\approx 1,7$ Ghab); 2000 → 10 Gtep (= 6 Ghab)

Extrapolation 2100 (2% de croissance) → 70 Gtep
→ **Insoutenable pour la planète**

I. Un point sur notre consommation d'énergie...

A. Consommation mondiale d'énergie 1800-1995 (Mtep)

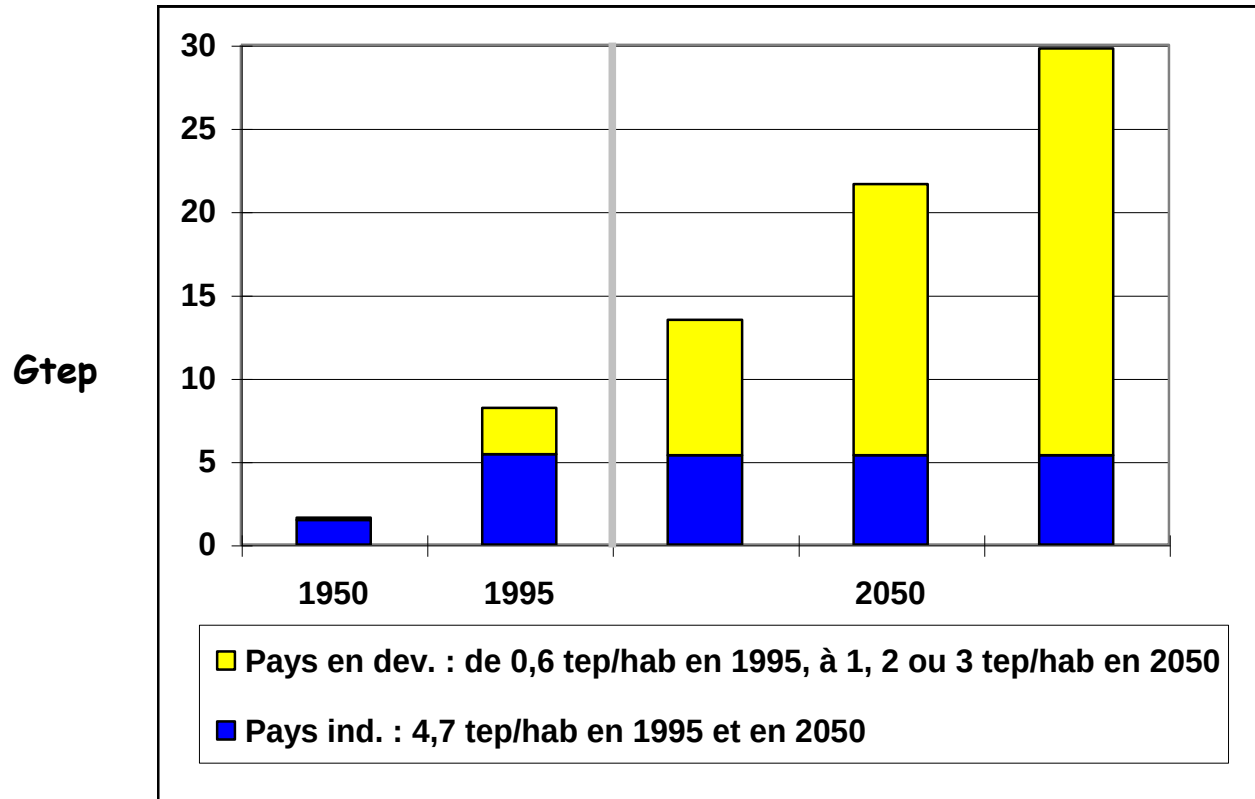


Jean-Marie Martin, IEPE 1990

I. Un point sur notre consommation d'énergie...

B. Consommation mondiale en 2050

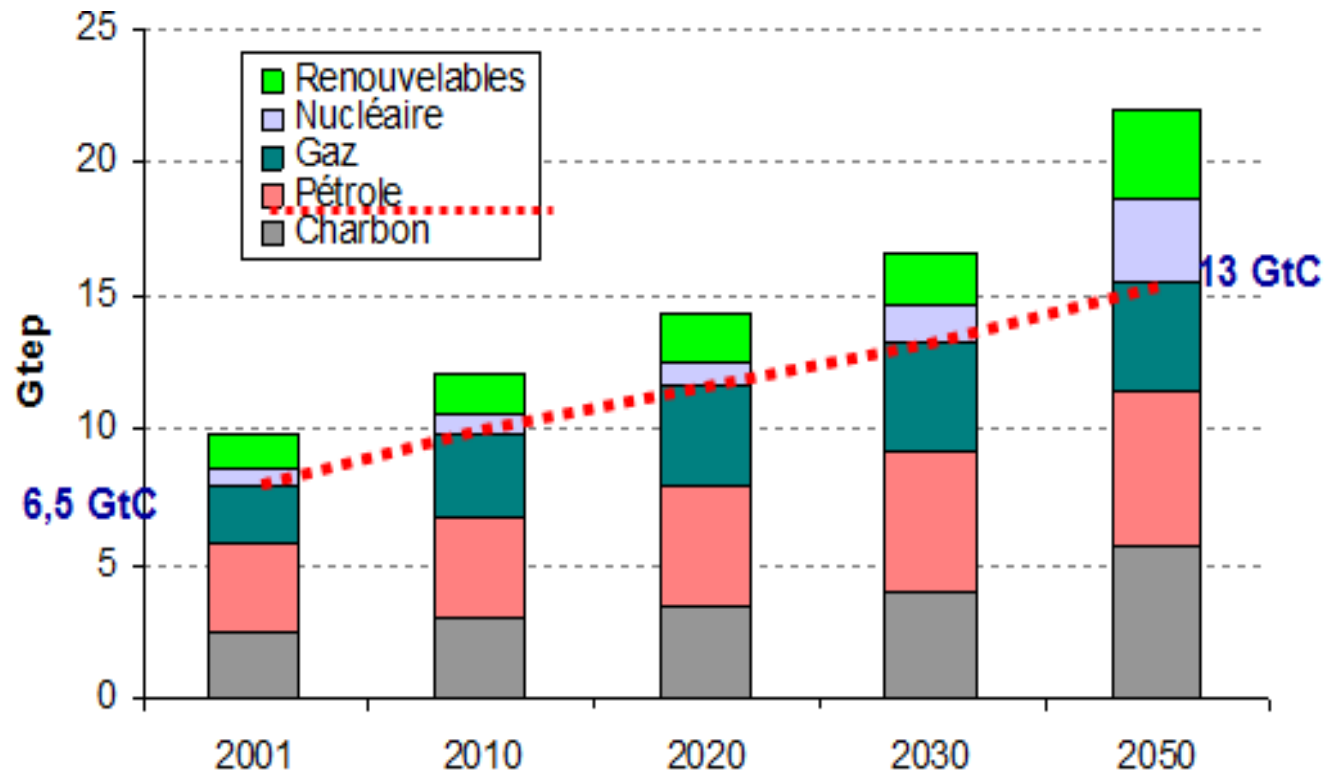
(P. Boisson, ENERGIE 2010-2020, CGP 1998)



Population en développement : de 4.6 en 1995 à 8.1 Mds en 2050
Population Pays industrialisés : de 1.15 à 1.14 Mds

I. Un point sur notre consommation d'énergie...

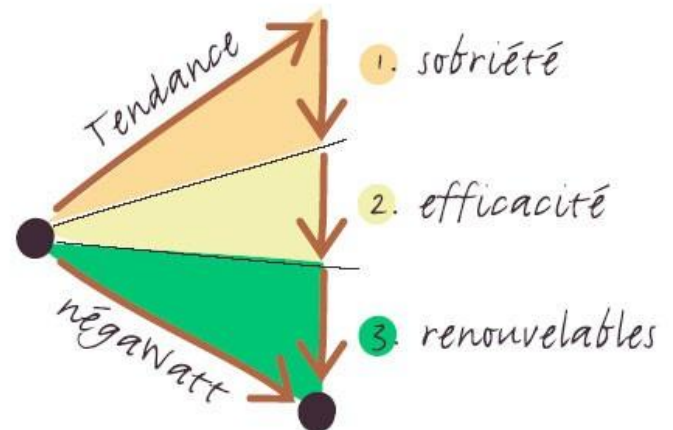
C. Pas assez de pétrole... mais trop de charbon



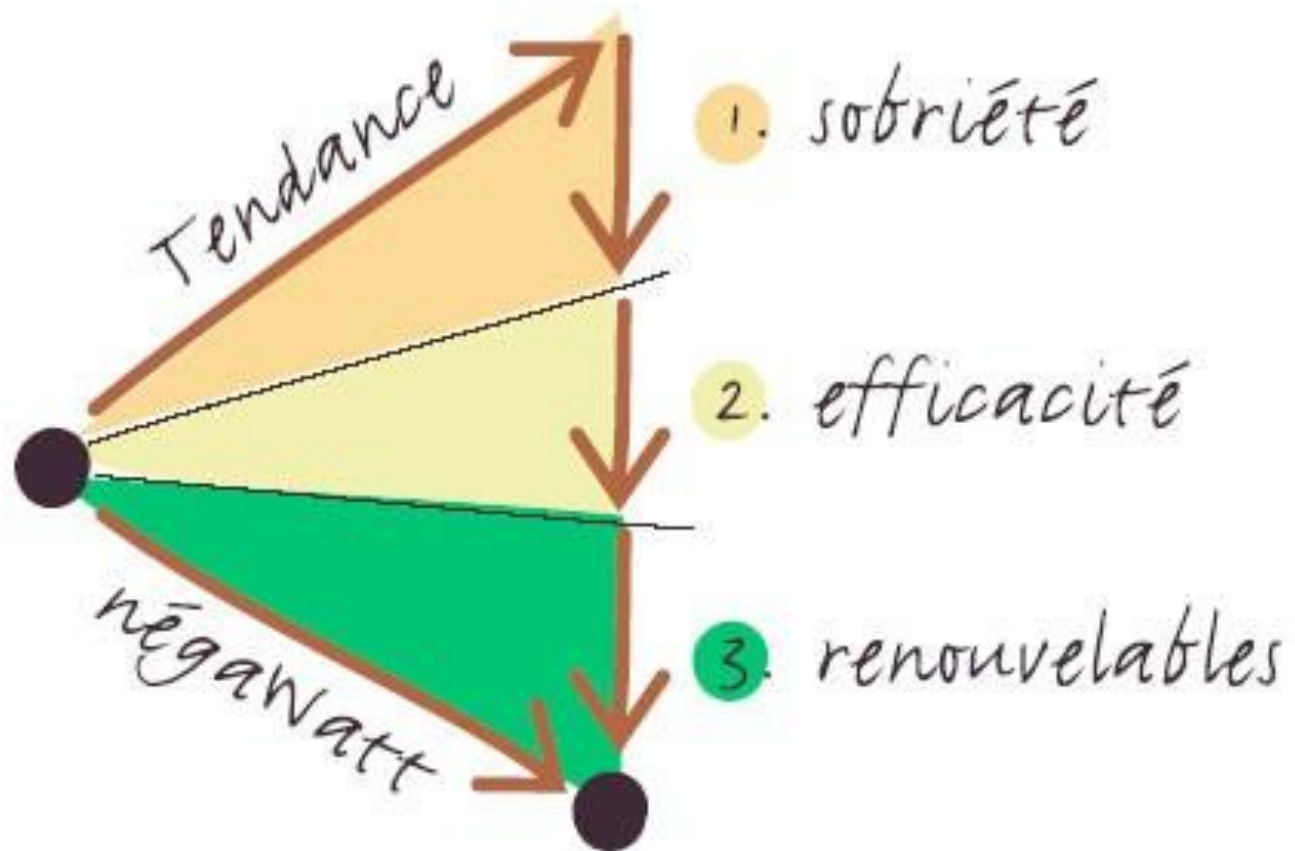
Sans politiques énergie-climat, la consommation mondiale d'énergie et les émissions doubleraient d'ici 2050

II. Face aux nouvelles contraintes: les énergies renouvelables

- Trois contraintes s'imposent dans tous les pays, développés ou en développement
 - Tensions sur le marché et hausse des prix des hydrocarbures
 - Dégradation du climat, avec des impacts locaux croissants
 - Besoins en sécurité énergétique et à un accès durable
- Nécessité d'un usage sobre et durable de l'énergie
 - Gestion de la demande et efficacité énergétique
 - Diversification vers les énergies renouvelables



II. Face aux nouvelles contraintes : les énergies renouvelables



Le schéma négawatt

II. Face aux nouvelles contraintes : les énergies renouvelables

A. Définitions et caractéristiques

- **Energies issues du soleil**

Directement : Energie solaire (thermique ou électrique).

Indirectement : Energies éolienne, hydraulique, énergies des océans, biomasse.

- **Energie issue du magma terrestre : Géothermie.**

Les Renouvelables

Inépuisables mais accessibles en quantité limitée, intermittentes et locales, et souvent coûteuses...

Peu d'impacts environnementaux : pas d'émissions de gaz à effet de serre en exploitation.

Puissance garantie variable suivant les filières technologiques
Compétitivité économique très inégale suivant les filières.

World Potential Renewable Energy

Wind Energy



Biomasse



Million Tonnes of Oil Equivalent



Hydroelectricity



Solar Energy



II. Face aux nouvelles contraintes : les énergies renouvelables

B. Les énergies renouvelables ont dominé l'histoire de l'humanité

<19^{ème} siècle

bois, hydraulique, éolien, traction animale, esclaves

19^{ème} siècle

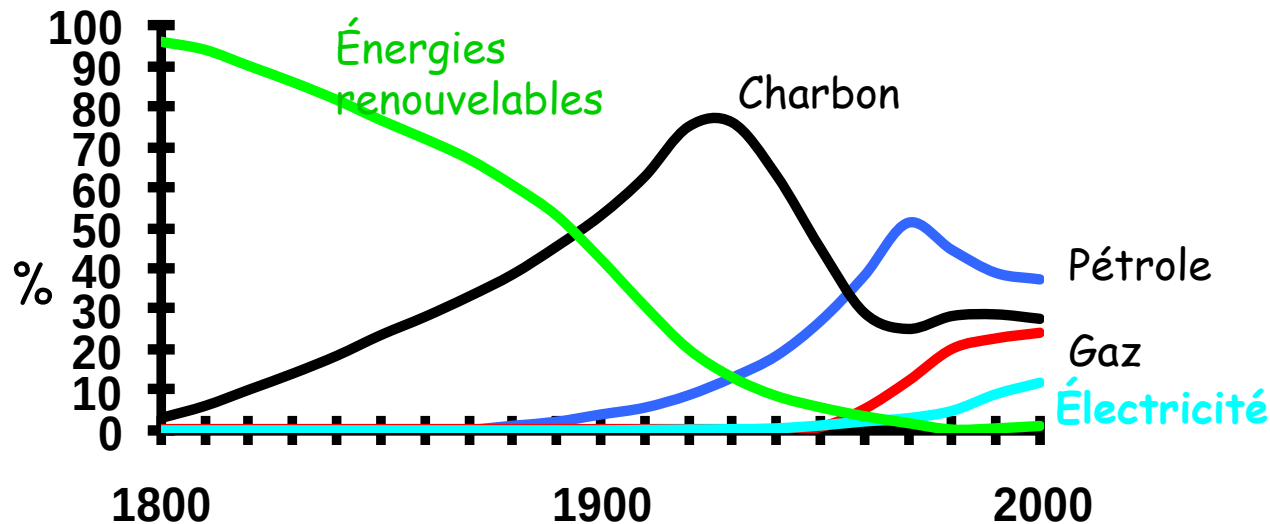
charbon, machine à vapeur

20^{ème} siècle

pétrole, gaz, nucléaire

Pour la France Hydraulique 56% en 1960

Électricité $\Rightarrow$ 1973 (174 TWh) $\Rightarrow$ 1996 (489 TWh) ($\times 2,8$ soit 4,6%/an)



Peut-on revenir aux énergies renouvelables ?

Avoir de l'énergie quand on en a besoin et non quand elle est disponible

Face aux nouvelles contraintes : les énergies renouvelables

C. Le portefeuille des solutions technologiques

The Technology Approach



Hydrogen Fuel Cell Vehicles



Zero Net Emission Buildings



Nuclear Power Generation IV



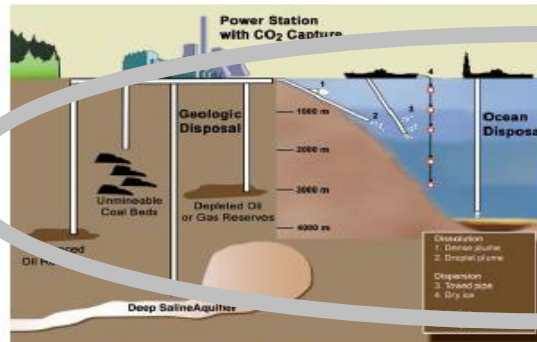
Deep cuts in
emissions require
advanced technologies
SOON
No single technology
can do it all



Renewable Energy
Technologies



Bio-Fuels and Power



Carbon (CO₂) Sequestration



Vision 21: Zero-Emission
Power Plant

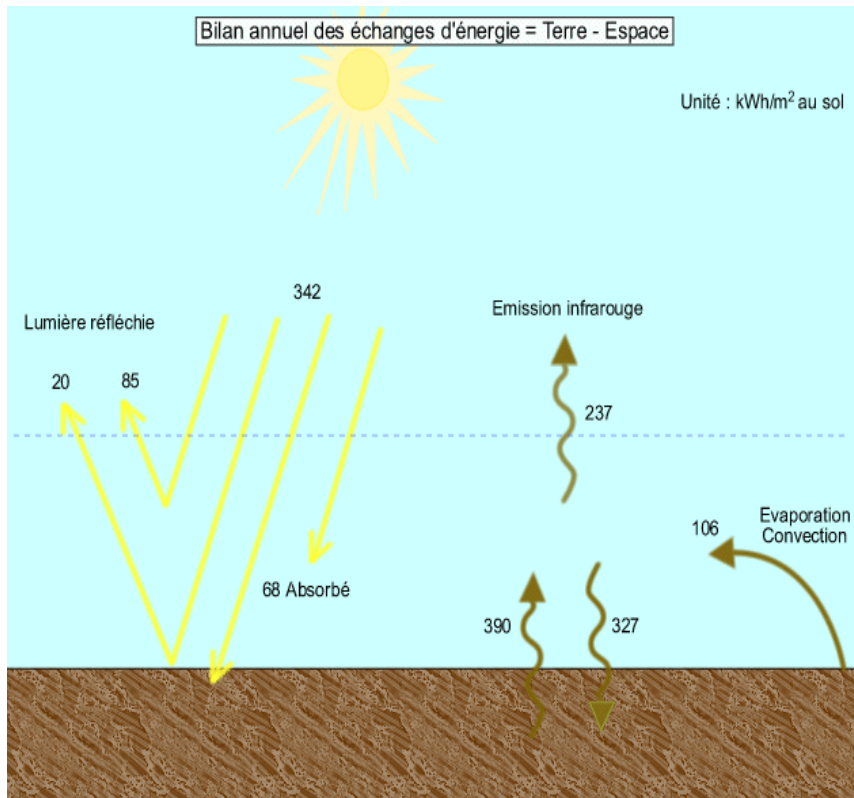
L'énergie solaire

Deux grandes sources d'énergies renouvelables
deux réacteurs nucléaires

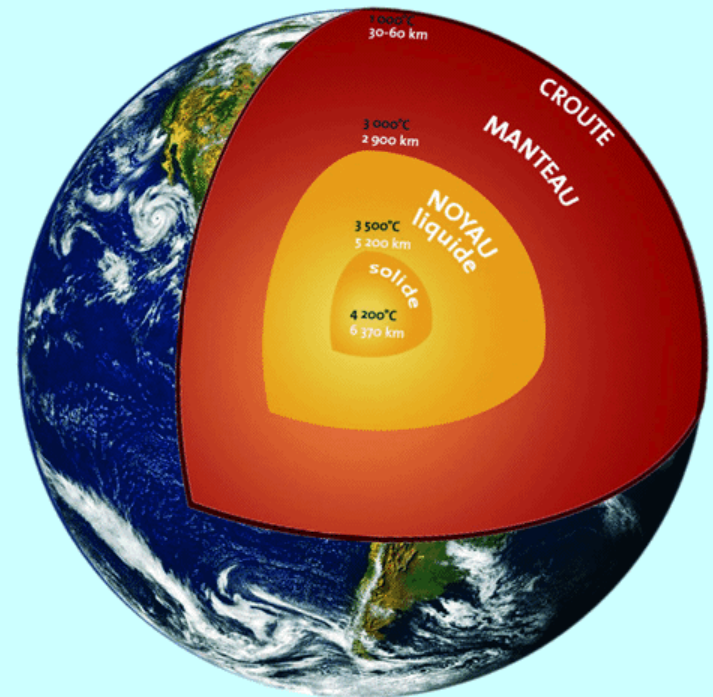
Soleil = fusion, Noyau terrestre = fission

Bilan annuel des échanges d'énergie = Terre - Espace

Unité : kWh/m² au sol



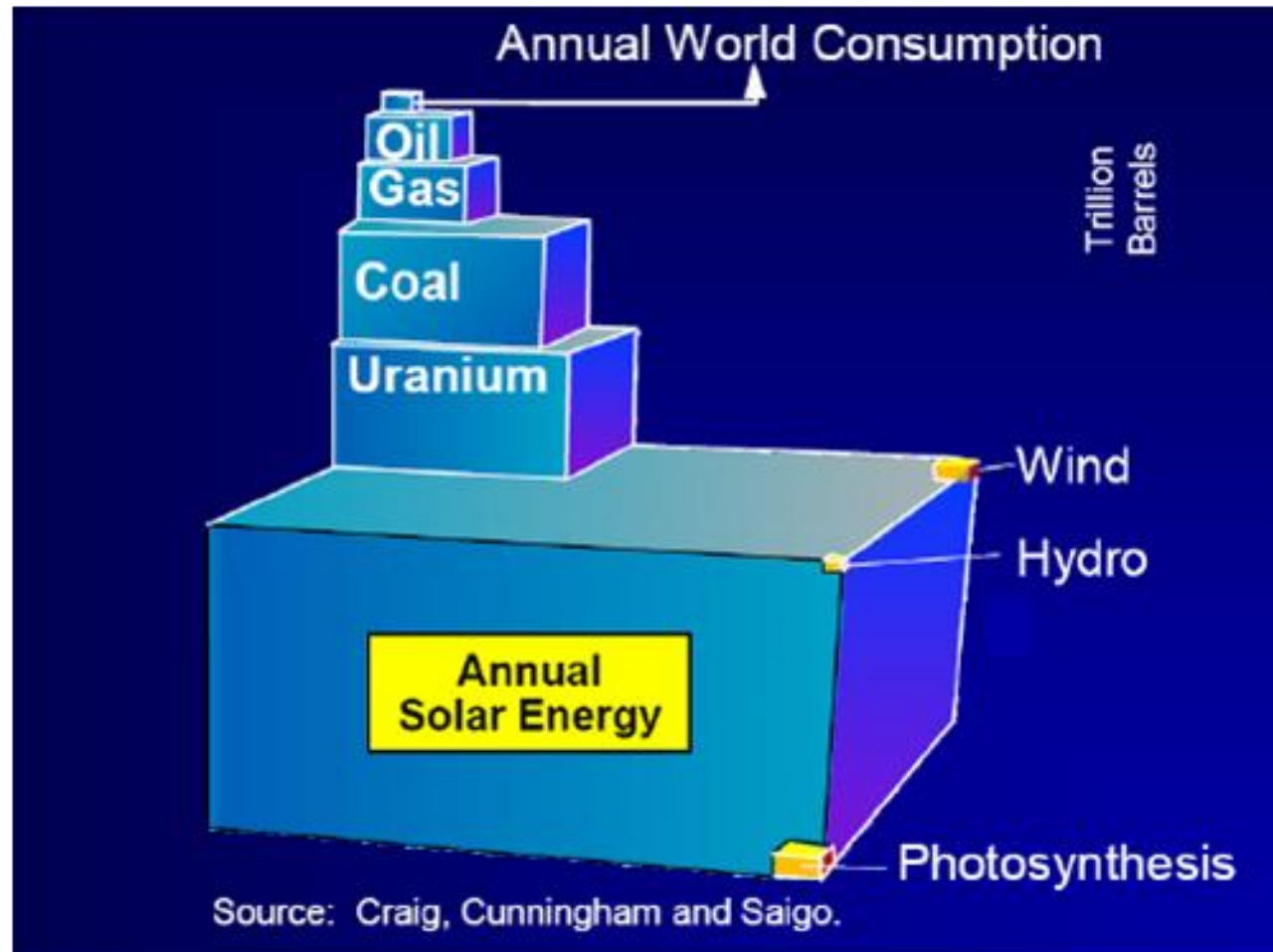
Le globe terrestre : depuis le cœur jusqu'aux volcans



source : BRGM-im@gé

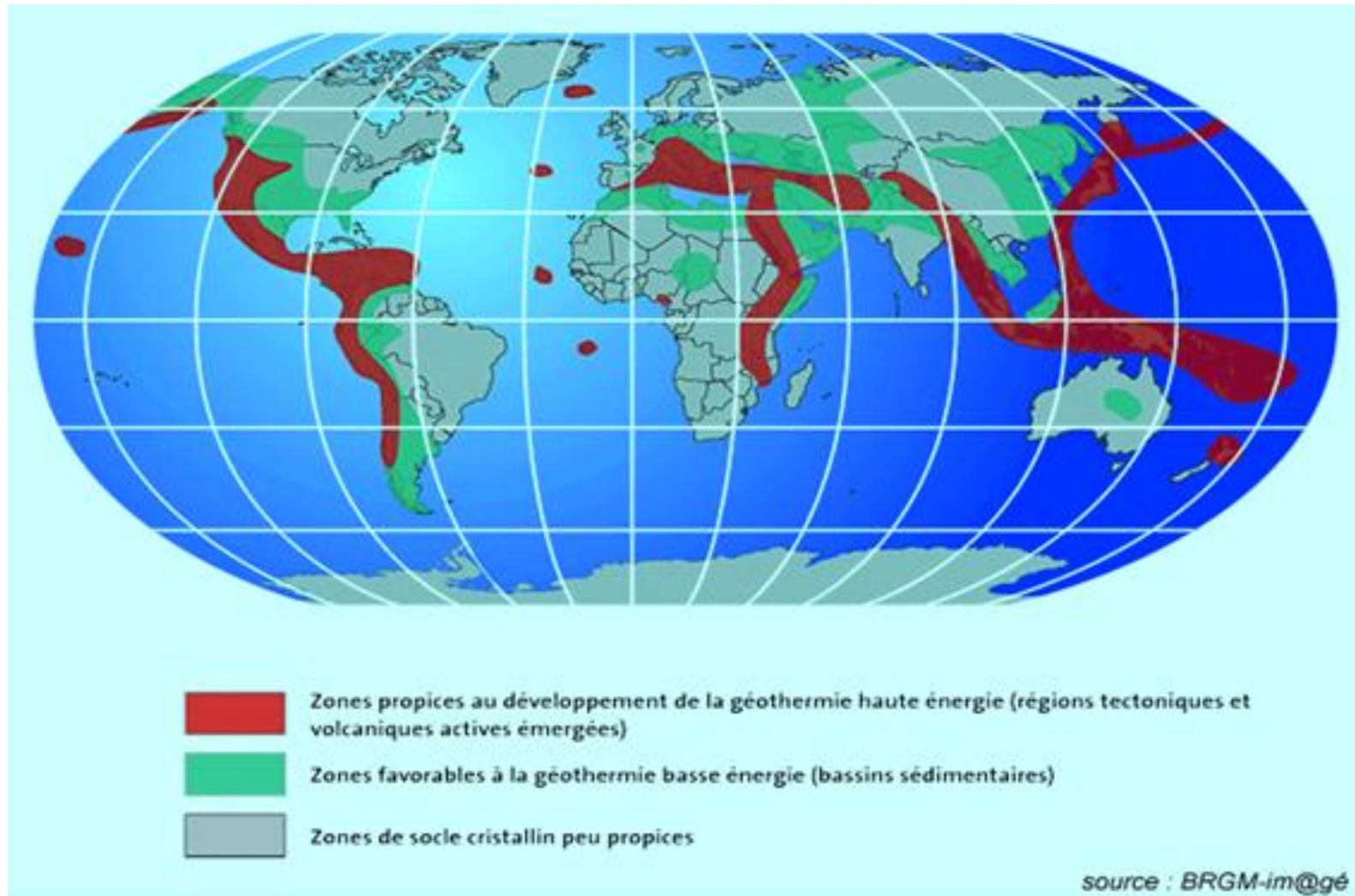
. L'énergie solaire

L'énergie solaire annuelle



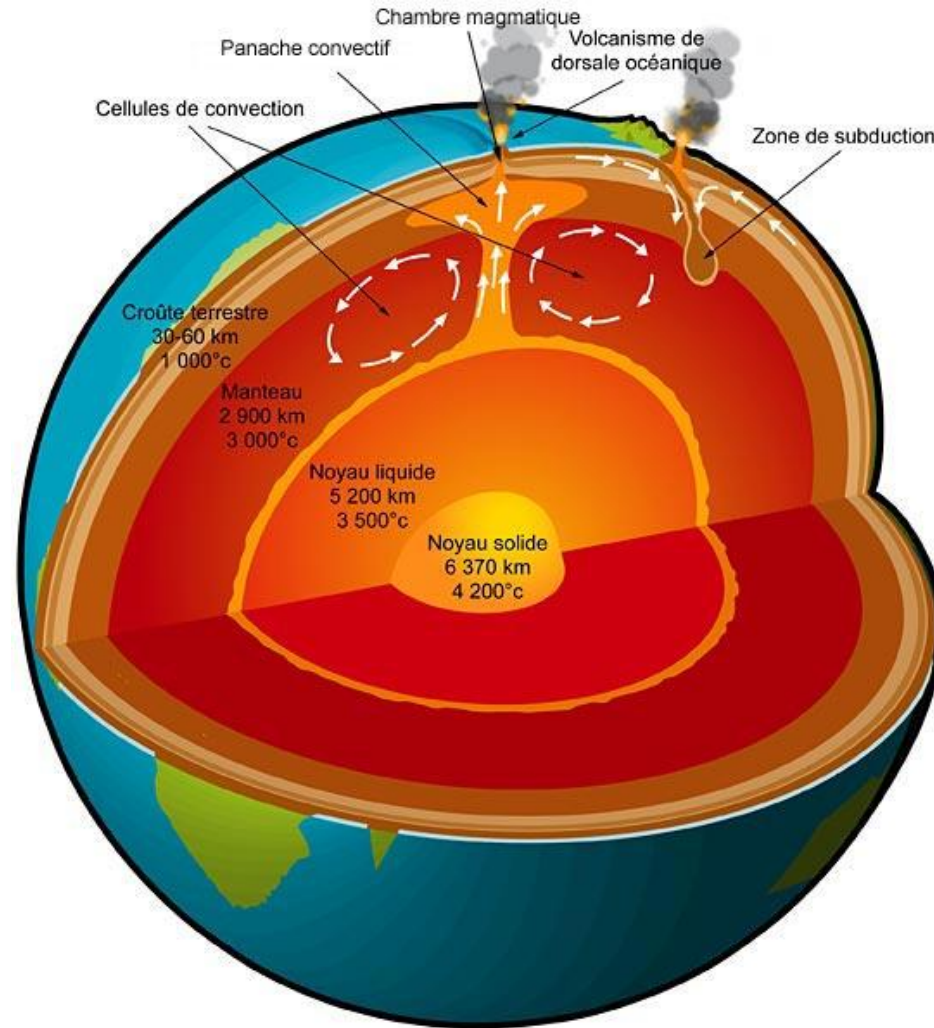
La géothermie

Géothermie, les ressources mondiales



La géothermie

Terre et géothermie

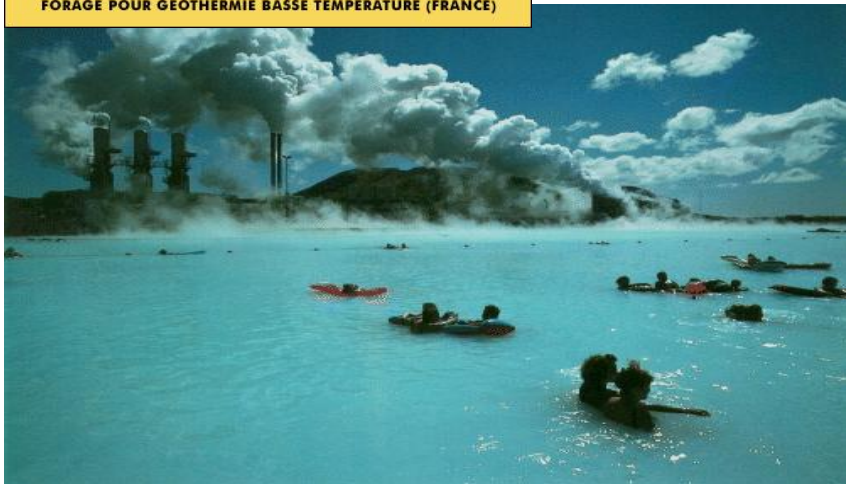


Energie géothermique :

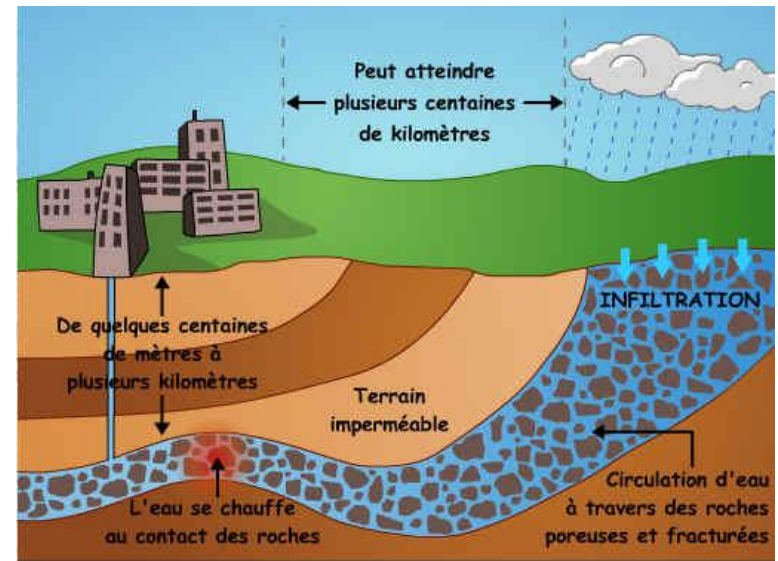
La **géothermie** consiste à capter la **chaleur** contenue dans la **croûte terrestre** pour produire du **chauffage** ou de **l'électricité**.



FORAGE POUR GÉOTHERMIE BASSE TEMPÉRATURE (FRANCE)



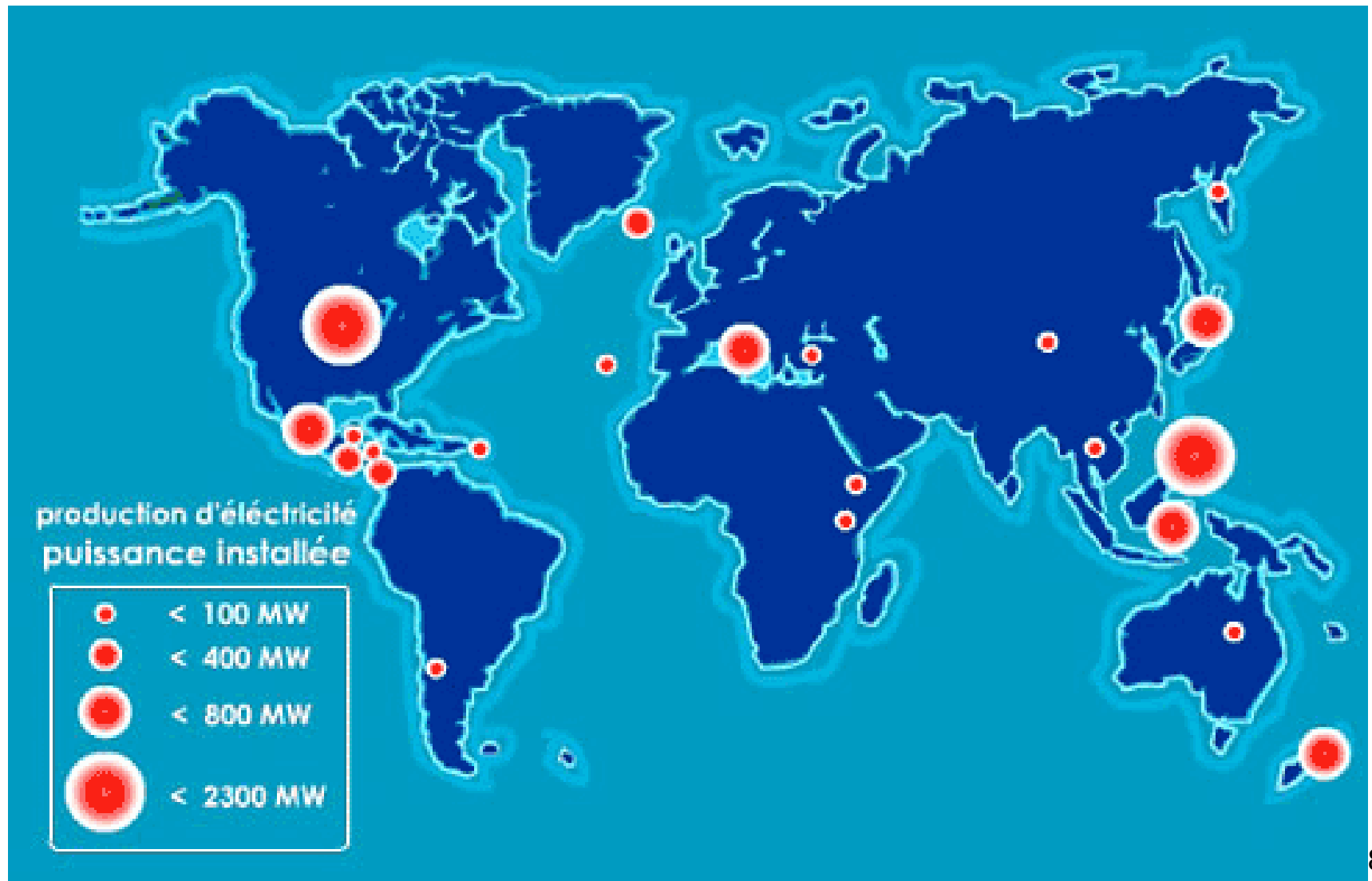
Centrale géothermique en Islande



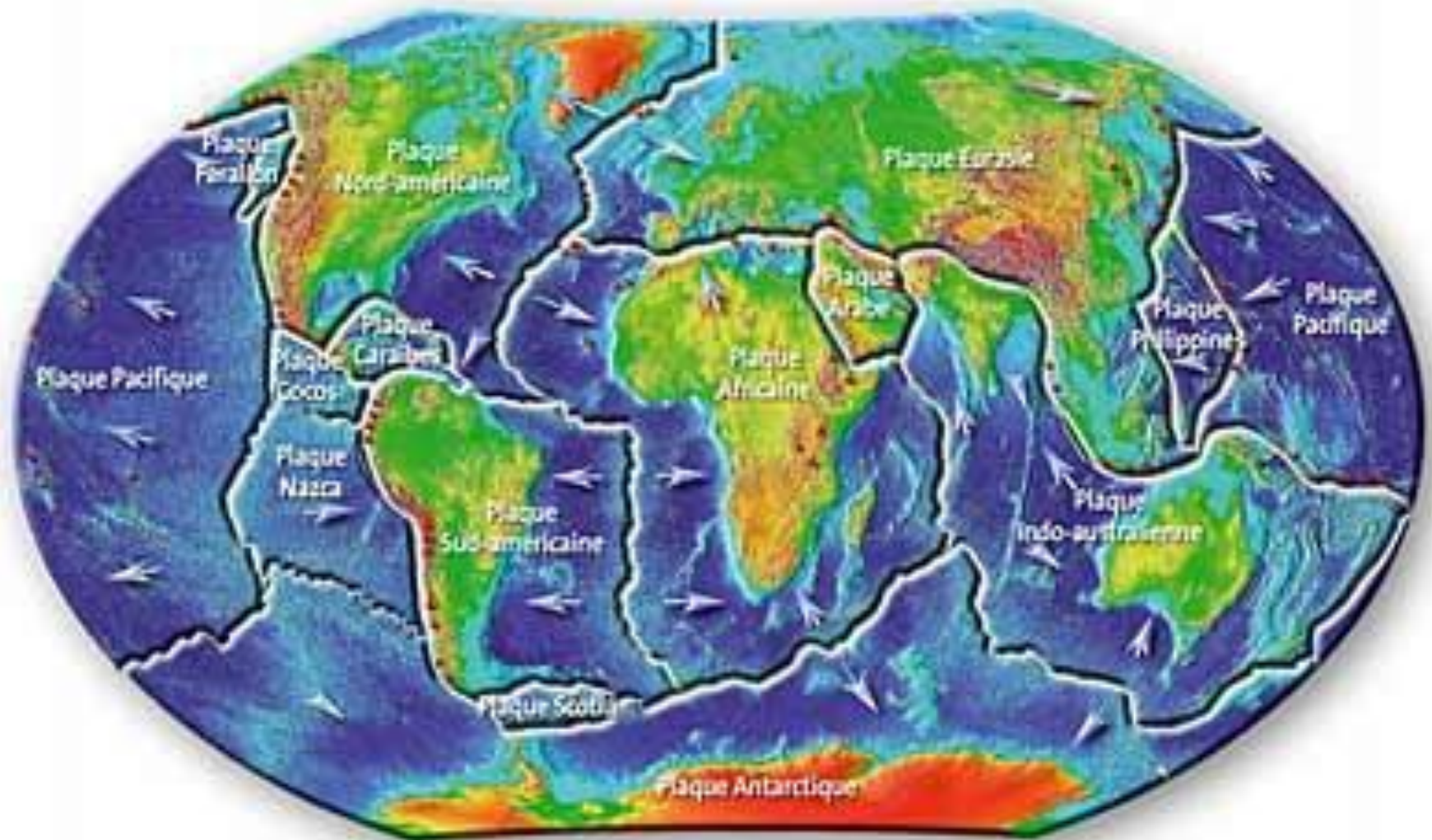
Applications suivant la profondeur :

- Production d'électricité (en France centrale géothermique de Bouillante en Guadeloupe qui permet l'alimentation de 9% de besoins de l'île)
- Réseaux de chauffage urbain
- Chauffage et climatisation individuelle

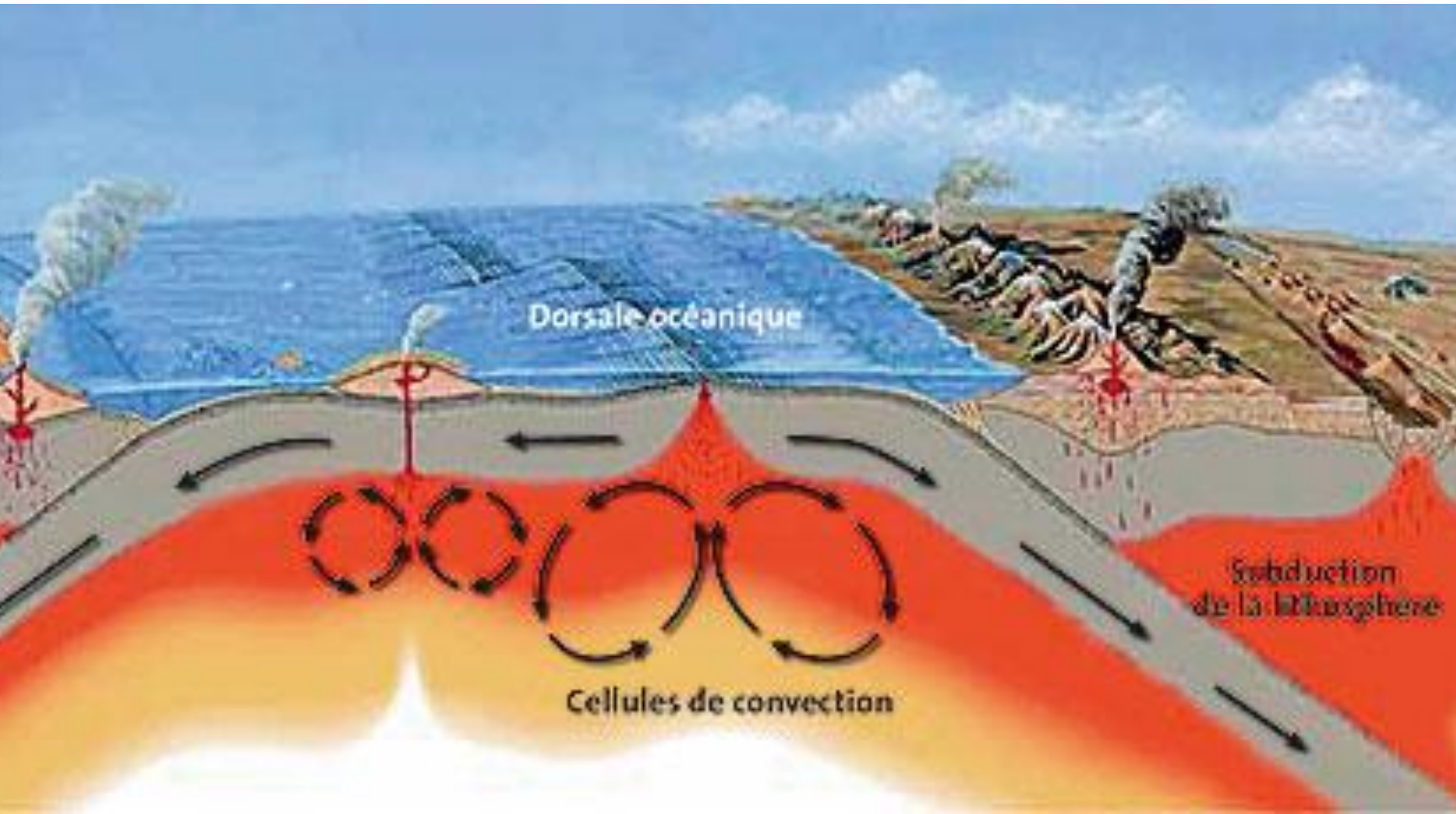
Électricité géothermique



Plaques tectoniques



Mouvement des Plaques



Production de Chaleur



Chaudes Aigues sources chaudes



Vue de la Grande Source Thermale de 45 degrés qui donne à elle seule 4,500 lt. en 24 heures et alimente d'abord une fontaine dont l'eau est employée à toutes sortes d'usages domestiques. C'est avec cette eau que les habitants de la ville chauffent en hiver leurs habitations, qu'ils trempent leur soupe qu'ils préparent leurs aliments sans user de combustibles. Sur des moelles agglomérées, les enfants profitent de cet avantage. Au pied de chacune de ces fontaines est pratiqué un petit canal en maçonnerie communiquant avec un bocal intérieur muni d'une dalle mobile : l'eau entrant par le canal se repend dans le bocal, chauffe le pain, et va ensuite ailleurs. Chacun peut ainsi avoir le degré de chaleur.

Le Castel Potierique
1916 Chaudes Aigues — Source du Parc
Fontaine de Chaudes Aigues

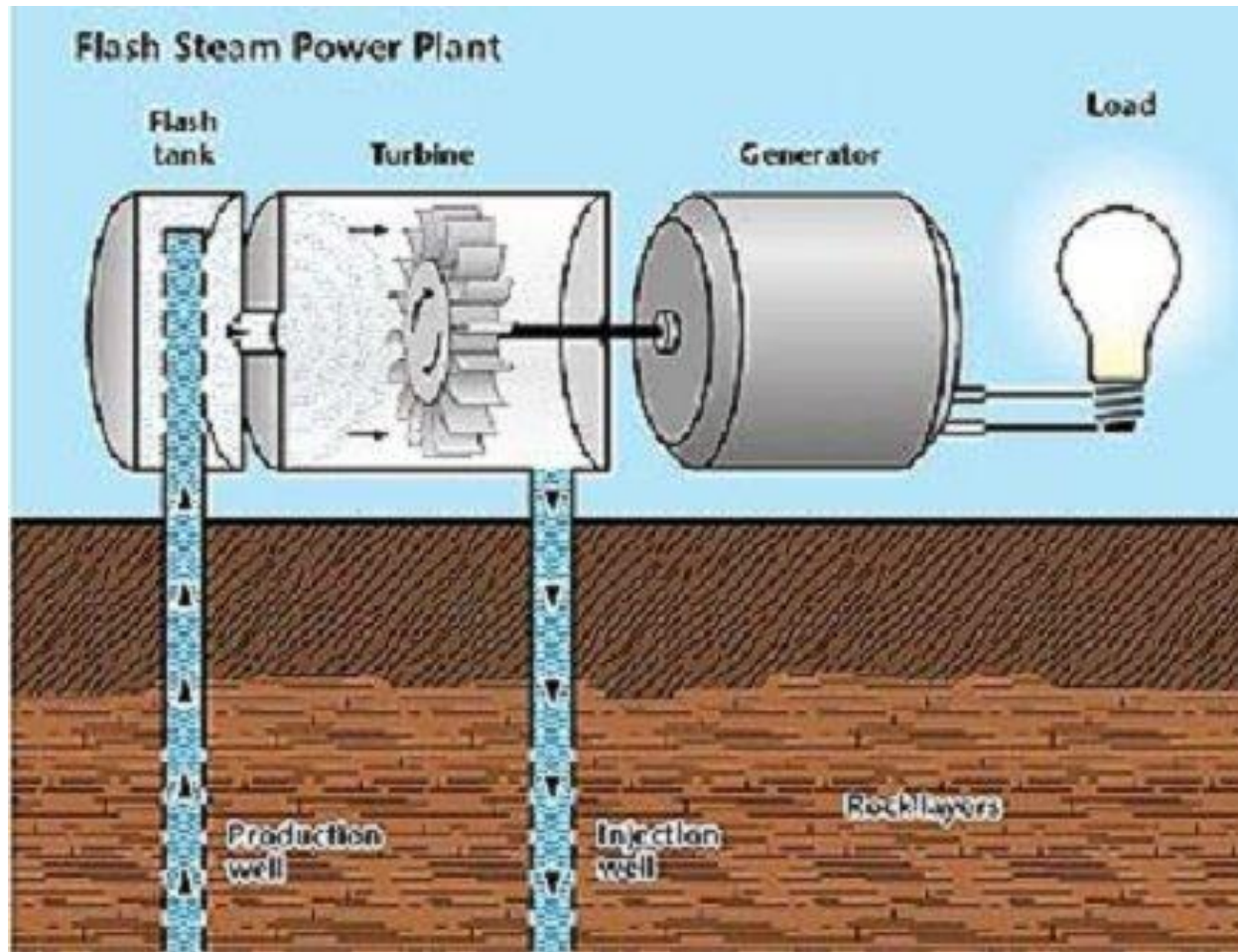
Première géothermie électrique

Larderello 1904

Le Prince de Conti allumant des ampoules électriques

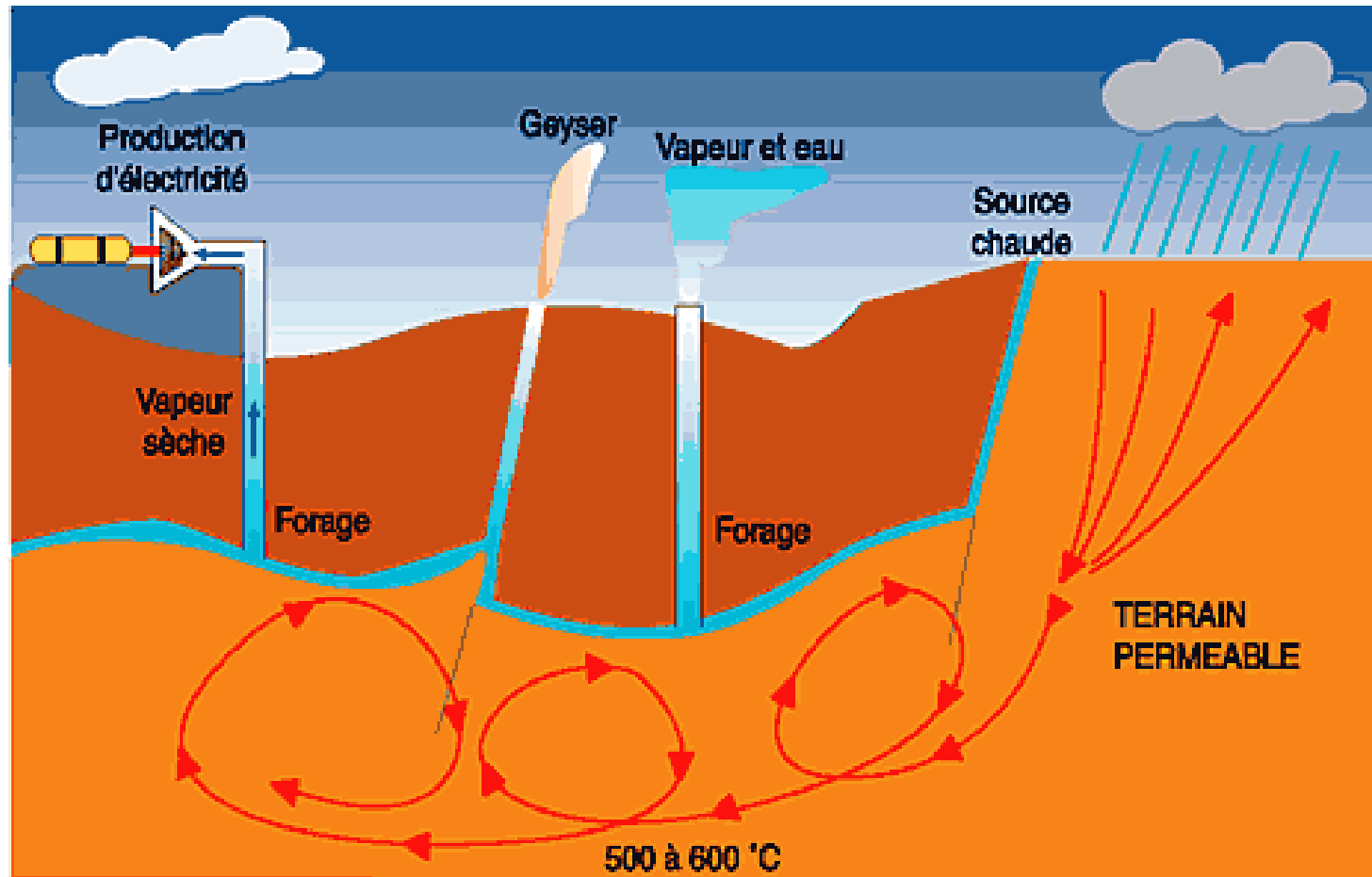


Flash Steam Power Plant

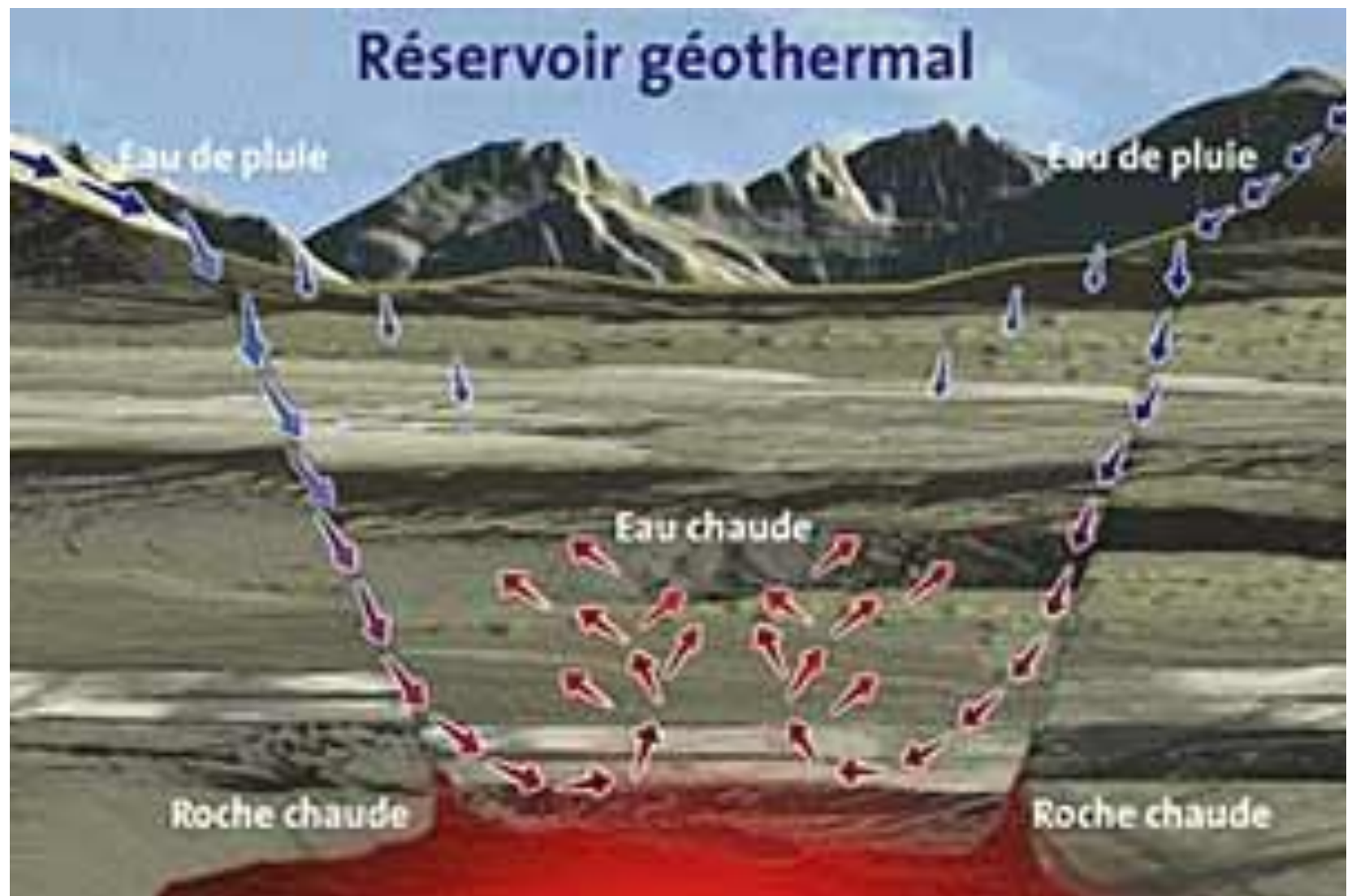


La géothermie

GÉOTHERMIE HAUTE ÉNERGIE



Réservoir géothermique



Production d'électricité dans le monde en TWh/an

	1996	2003	2004	2005	2006	TCAM	TC 05-06
Géothermie	42,1	54,1	56,3	58,5	59,3	3,5 %	1,4 %
Eolien	9,8	64,1	84,3	98,2	122,3	28,7 %	24,5 %
Biomasse Déchets	132,8	203,7	216,7	226,3	240,4	6,2 %	6,2 %
Solaire	0,8	2,8	3,3	4,6	5,9	22,0 %	28,3 %
Hydro	2586,2	2724,5	2891,8	3016,5	3137,3	2,0 %	4,0 %
EnR marines	0,6	0,57	0,55	0,56	0,55	- 0,9 %	- 2,7 %
Nucléaire	2455,1	2687,2	2790,8	2823,3	2840,9	1,5 %	0,6 %
Fossiles	8477,8	11017,6	11488,7	12043,6	12522,2	4,0 %	4,0 %
Total EnR	2745,9	3008,0	3209,6	3367,0	3525,5	2,5 %	4,7 %
Total	13705,1	167545,7	17532,4	18273,7	18928,9	3,3 %	3,6 %
Part EnR	20,0 %	18,0 %	18,3 %	18,4 %	18,6 %		

La géothermie

Les geysers



Geyser



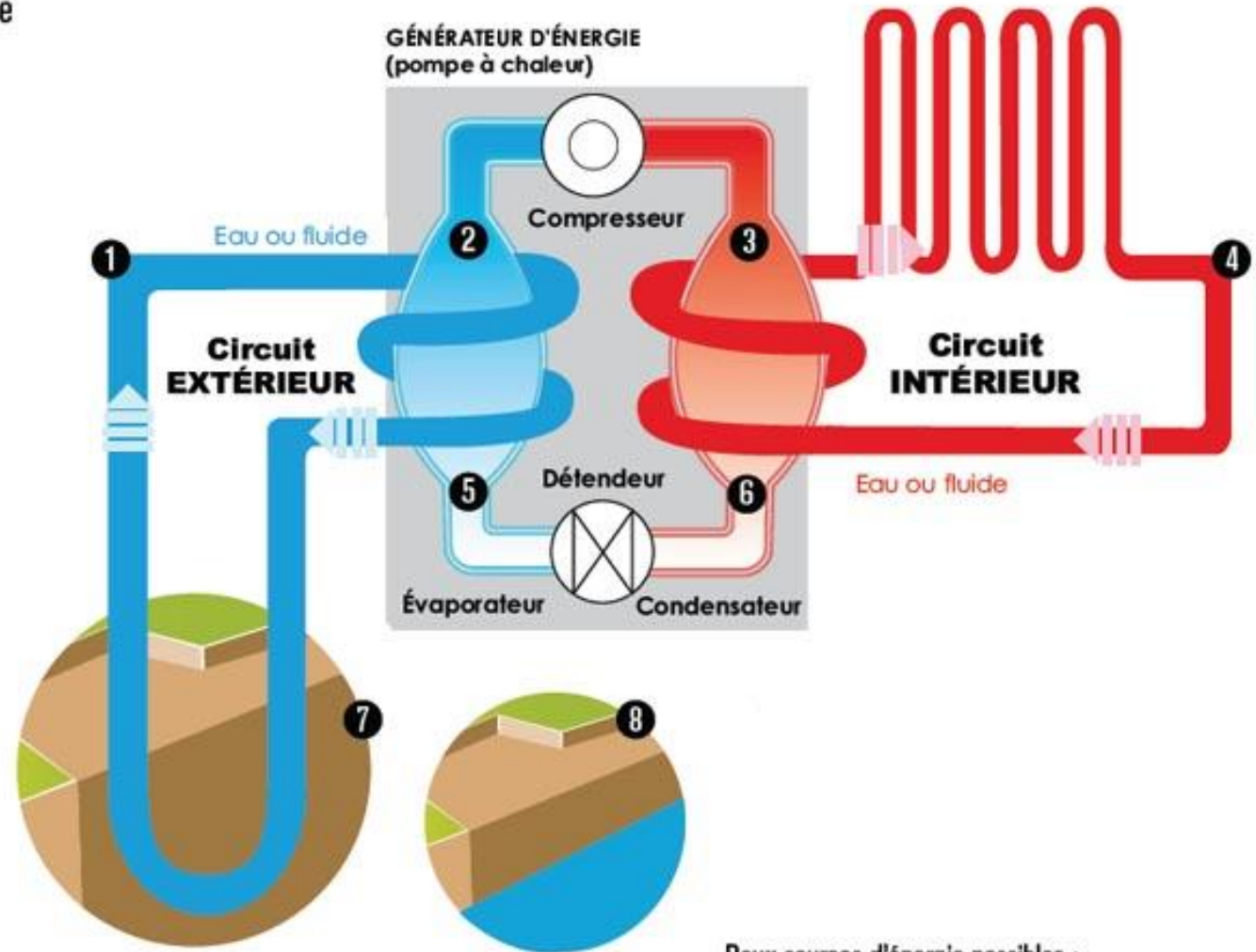
Géothermie Islande



Générateur d'énergie

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)

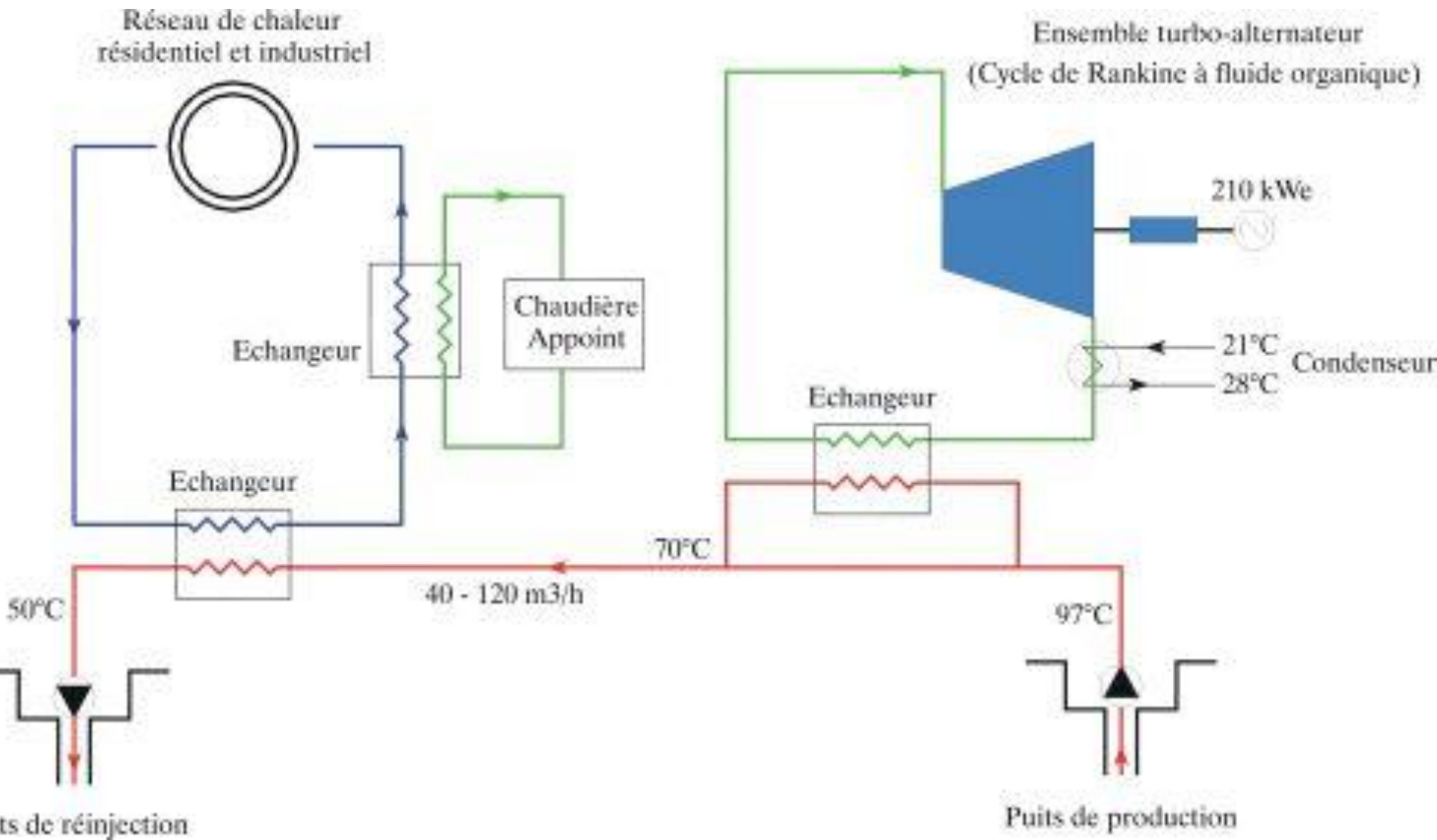


Deux sources d'énergie possibles :
- la terre (captage horizontal et vertical)
- l'eau (captage sur nappe)

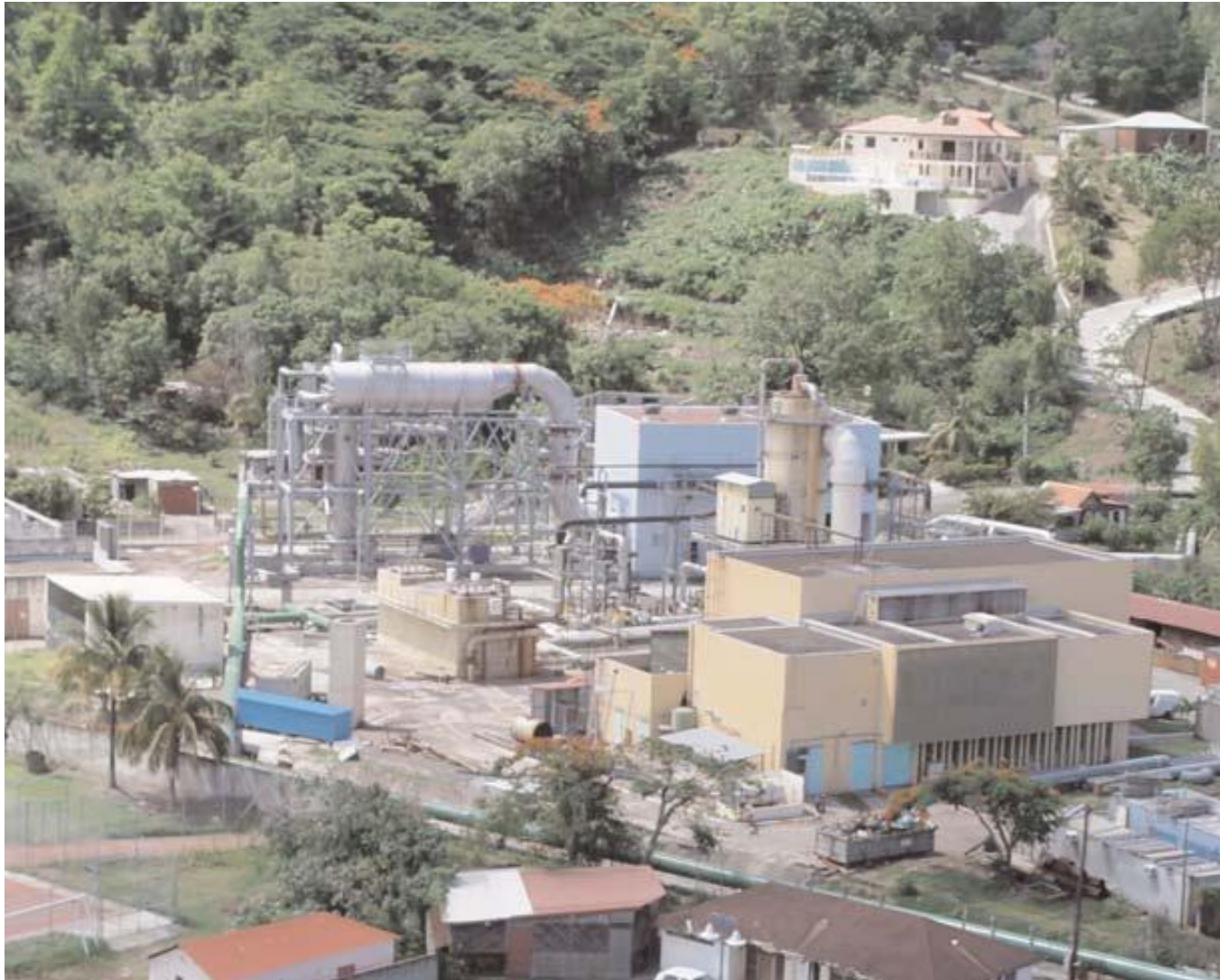
Imperial Valley Californie



Électricité cogénération géothermique

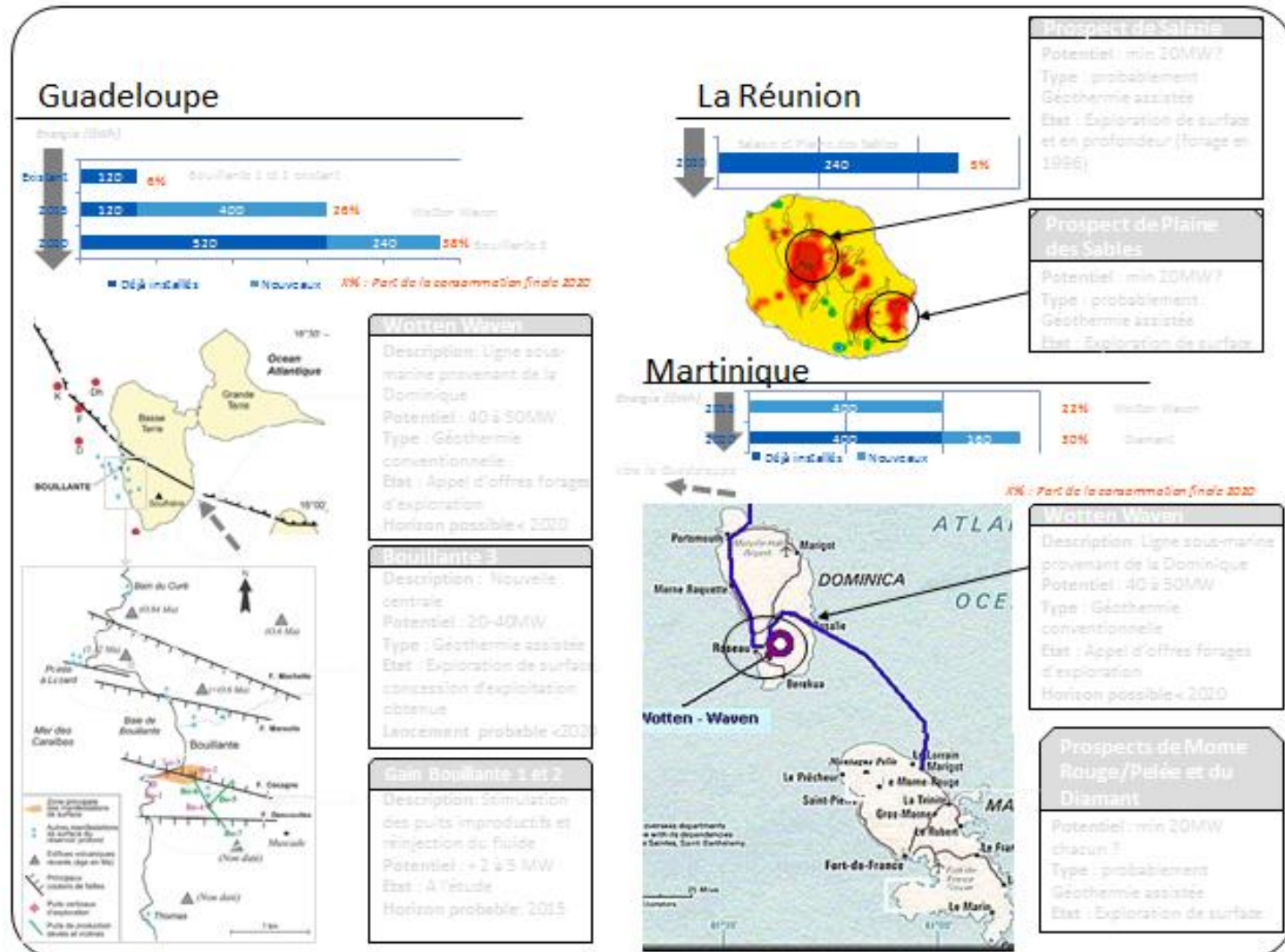


Géothermie Bouillante en Guadeloupe



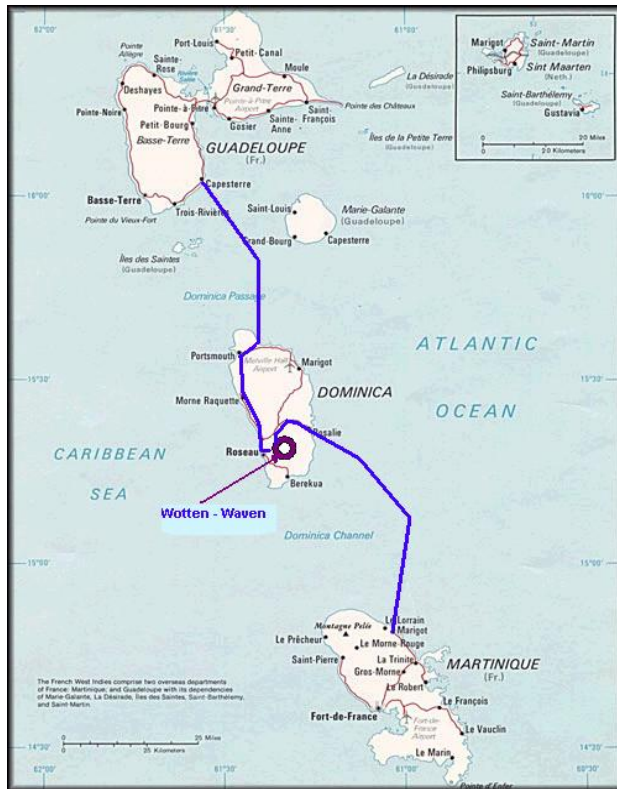
La géothermie

Gisements et projets



La géothermie

Géo Caraïbes - Interconnexion et géothermie



2005 Etude préliminaire (AFD/ADEME)

2007 Multi-partenariat pour développer le projet

- Étude surface (1,1 M€)
ADEME / Interreg / BRGM / Régions
- Campagne de forages (3.5 M€)
FFEM / Commission Européenne
- Assistance Maitrise Ouvrage (0,5M€) *AFD*

2009 Projet Géocaraïbes

- Centrale géothermique à la Dominique et interconnexion avec la Guadeloupe et la Martinique
- 250 M€ - 350 M€

Perspectives

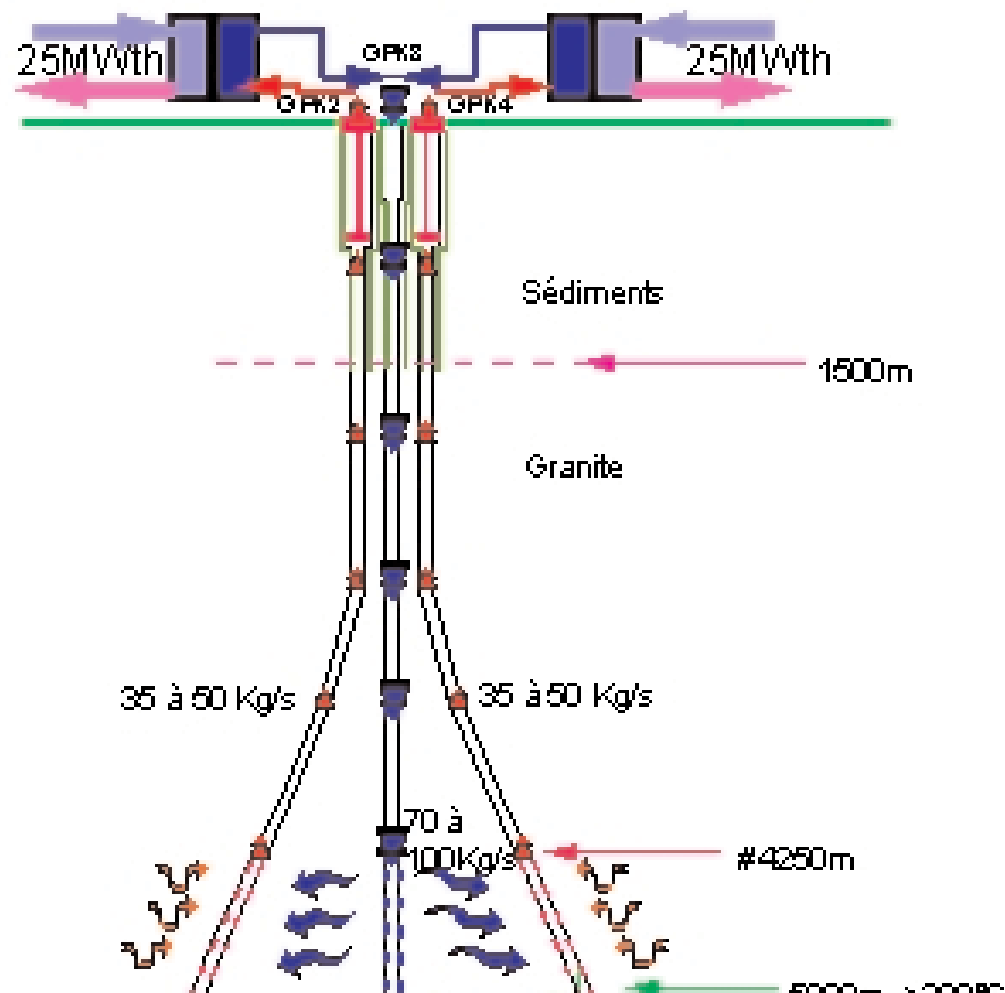
Projets Géothermie en Indonésie et Afrique de l'Est (Rift), Kenya

La géothermie

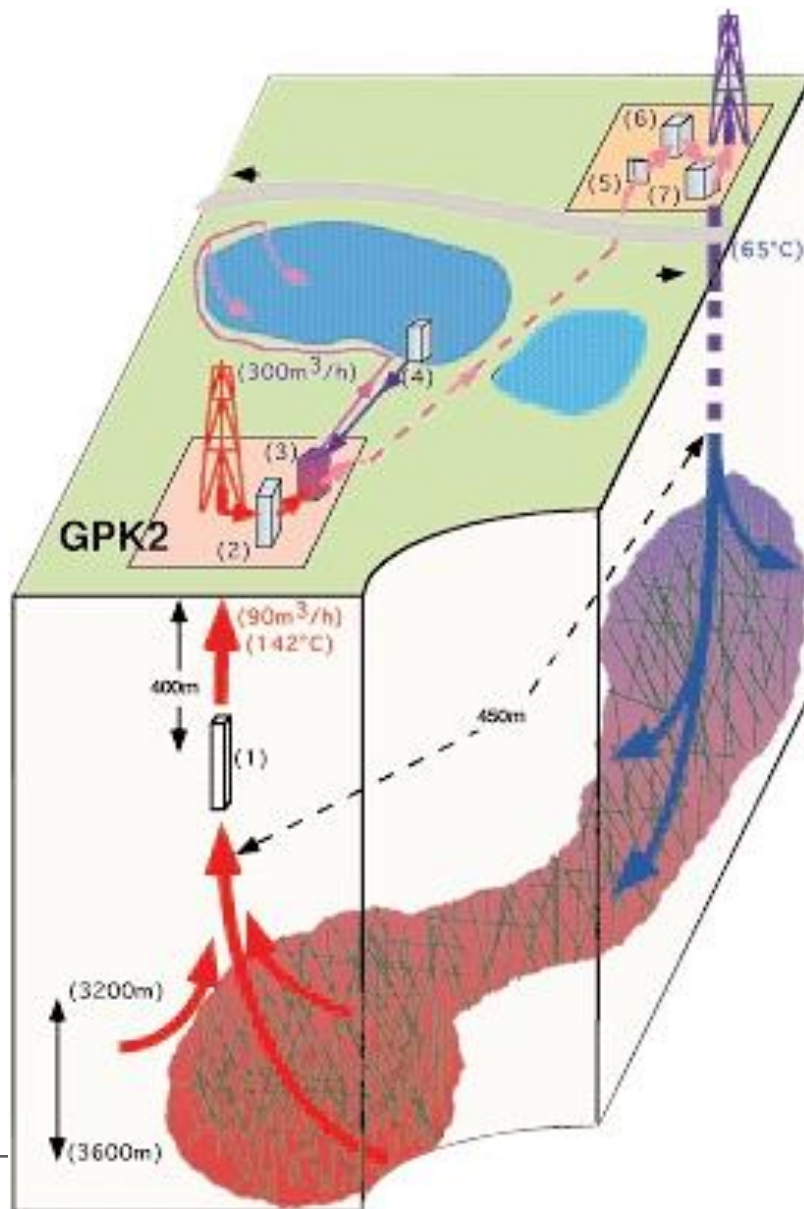
Soultz sous forêt: Forage



Soultz sous forêt: Schéma du triplet



Soultz sous forêt: Schéma d'ensemble



Géothermie

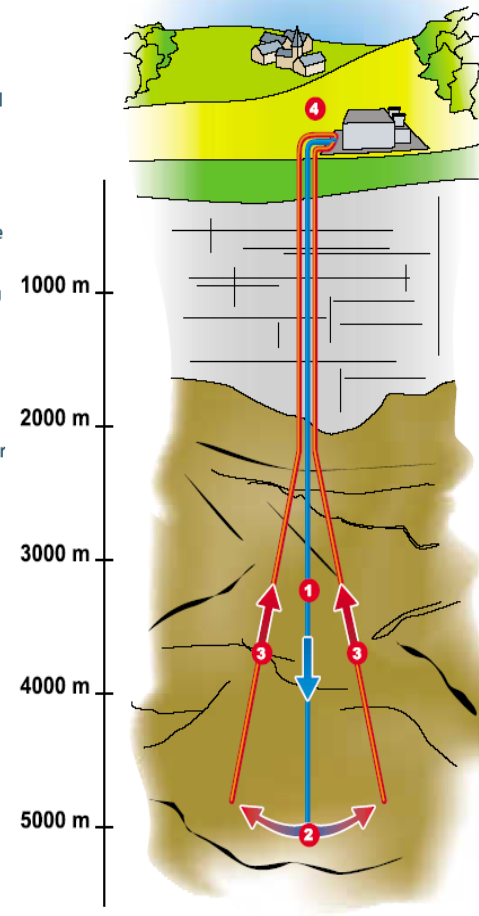
Un granite peut-il produire de l'électricité ?



1 km³ de roches refroidis de 20 ° C =
13 MW pendant 20 ans

Le pilote scientifique de Soutz-sous-Forêts

- 1 Injection d'eau froide à 5 000 m de profondeur par le puits central
- 2 Circulation d'eau dans les fractures et réchauffement au contact de la roche chaude (200°C)
- 3 Extraction de l'eau réchauffée du sous-sol par deux puits de production
- 4 En surface, transformation par l'intermédiaire d'un échangeur thermique

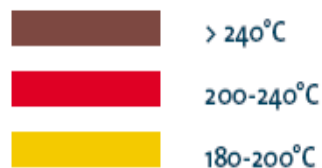


© Brgm

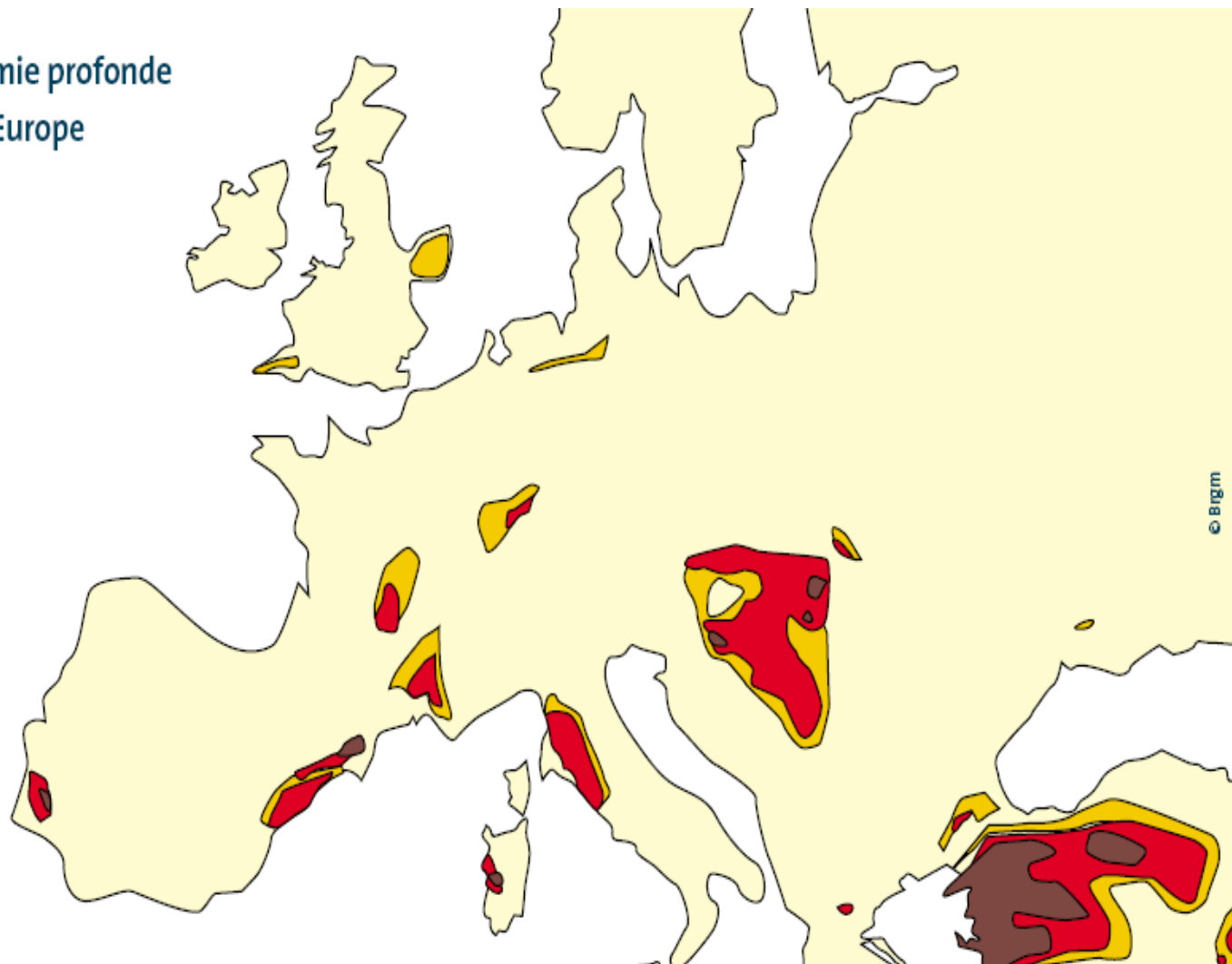
Les zones propices à l'exploitation de la géothermie des roches chaudes sèches

Carte des potentialités de géothermie profonde pour la production d'électricité en Europe

Température de la roche à 5000 m de profondeur

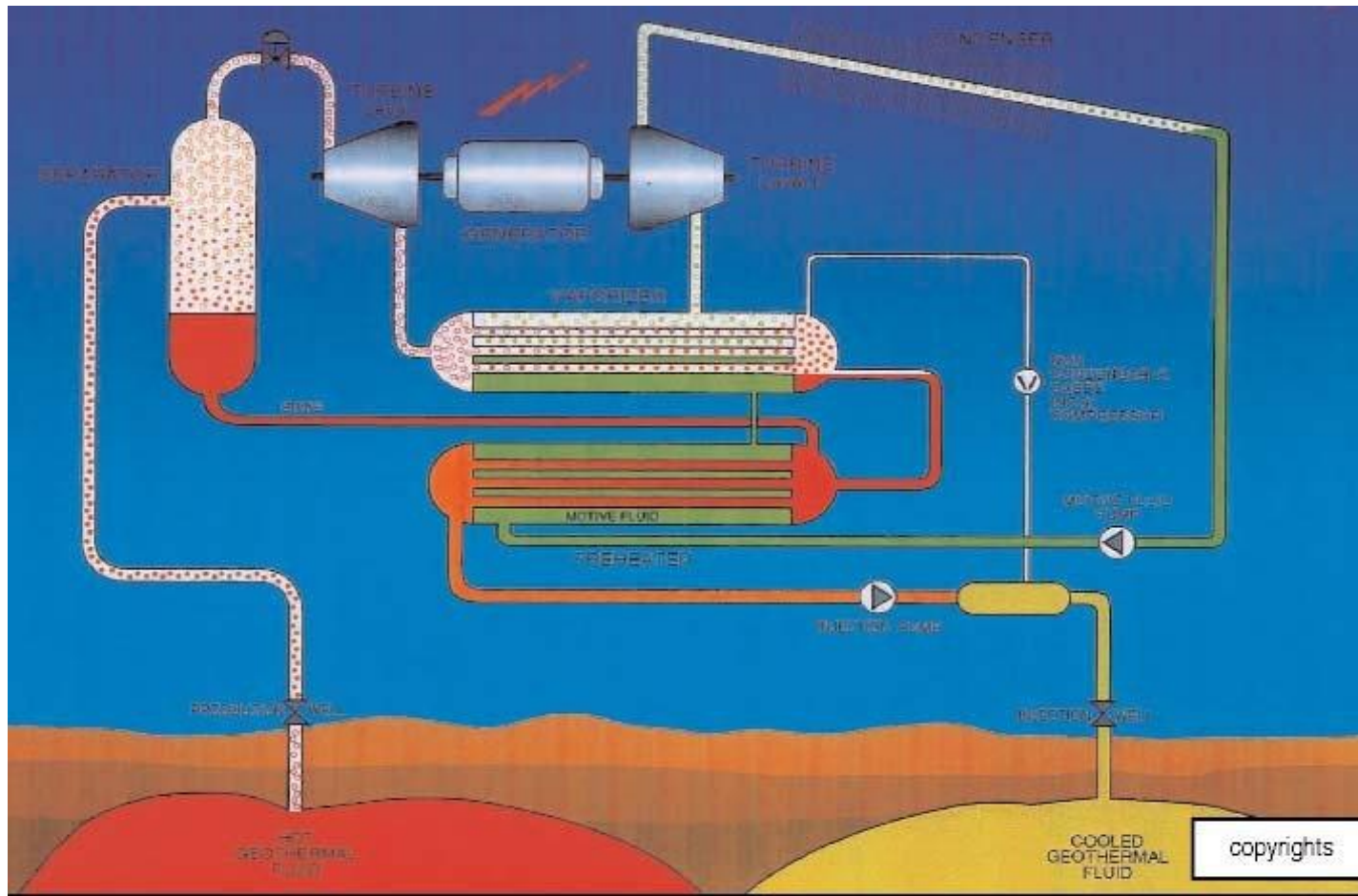


Zones à exploiter en priorité



La géothermie

Cycle organique de Rankine



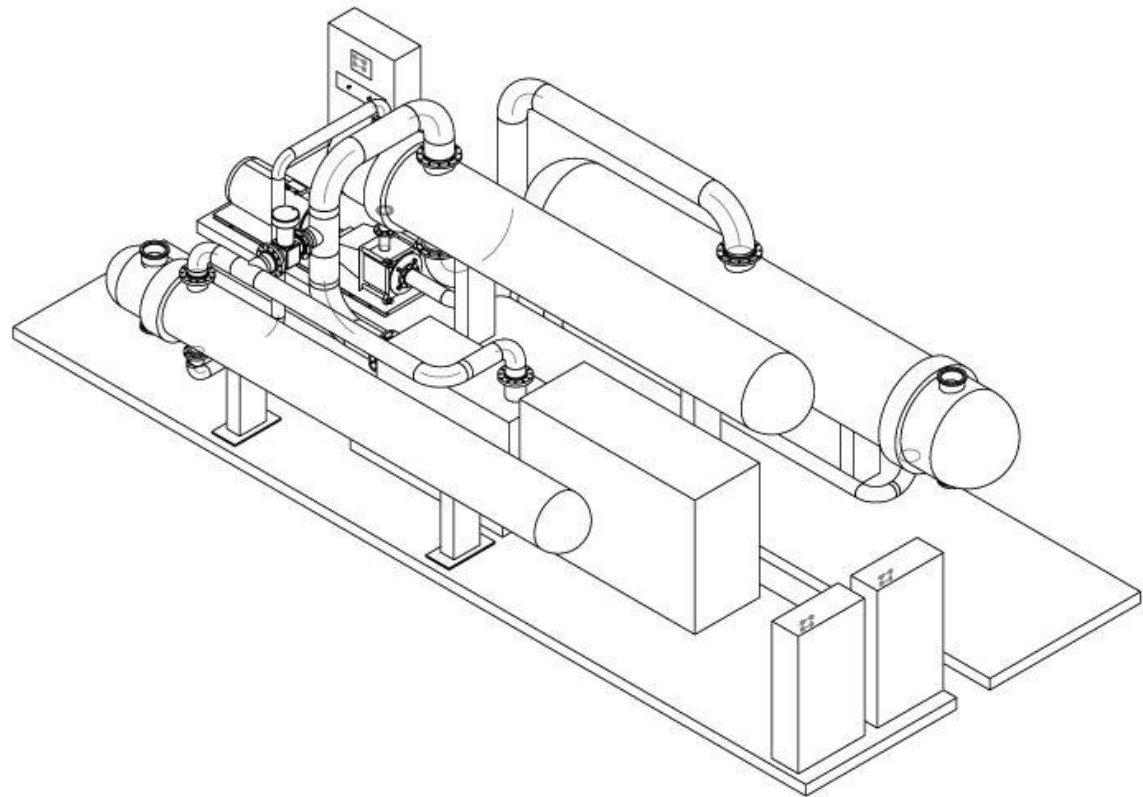
Enertime Module ORCHID

Notre module ORCHID

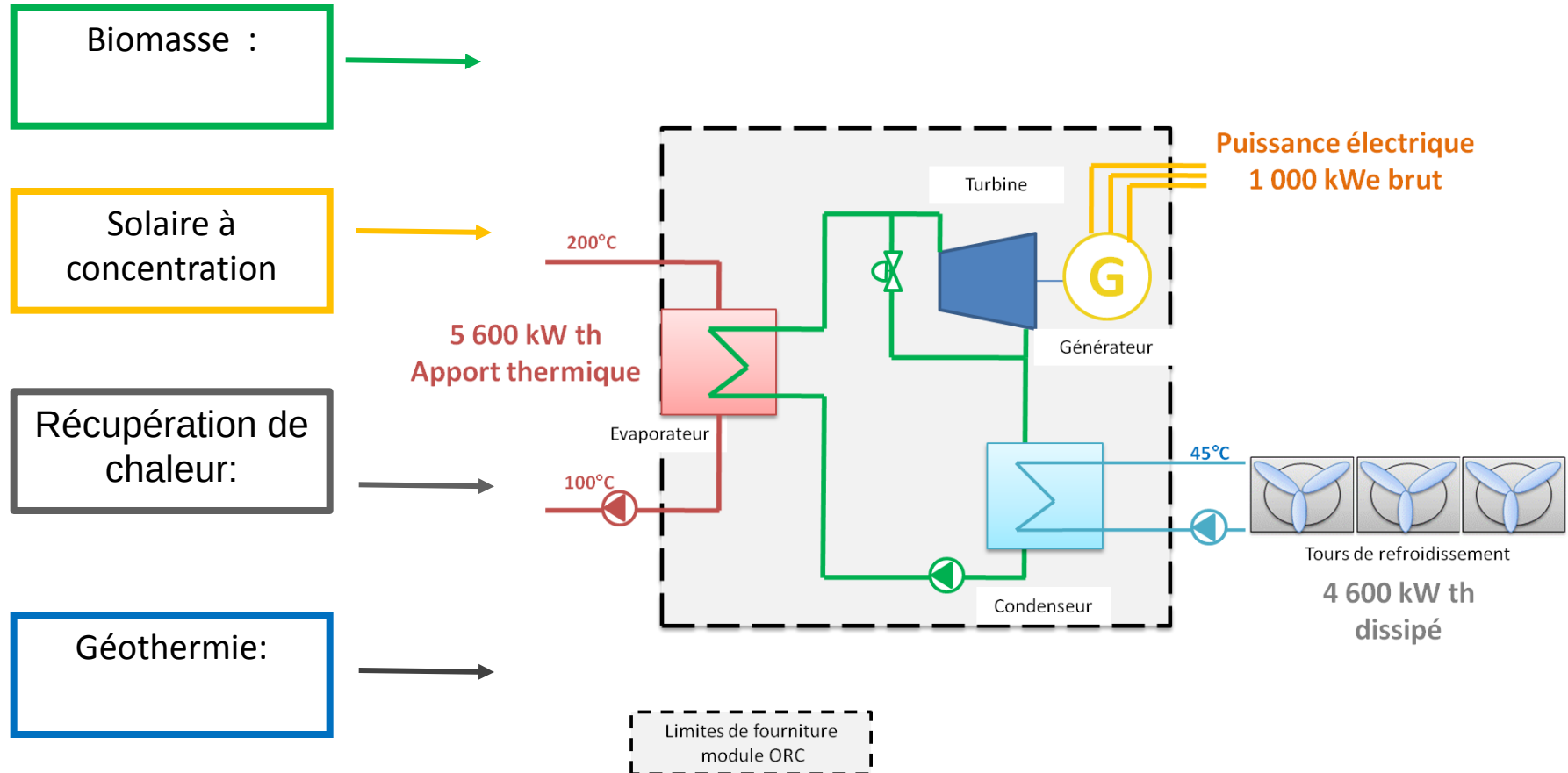
- Puissance 1 MWe brut
- Consommation à pleine charge : 5,6 MWth
- Température chaude: 200° C
- Rendement : 17% brut
- Fluide : non toxique, non inflammable
- Disponibilité: >8000h/an
- Dimension 2x40' container sur skid

Développement

- Brevet: en cours de dépôt
- Lancement de la fabrication de la Turbine propriétaire en septembre 2011
- Essai du Prototype à mi-2012 dans une application récupération de chaleur
- Mise au point du module réseau isolé à mi-2013



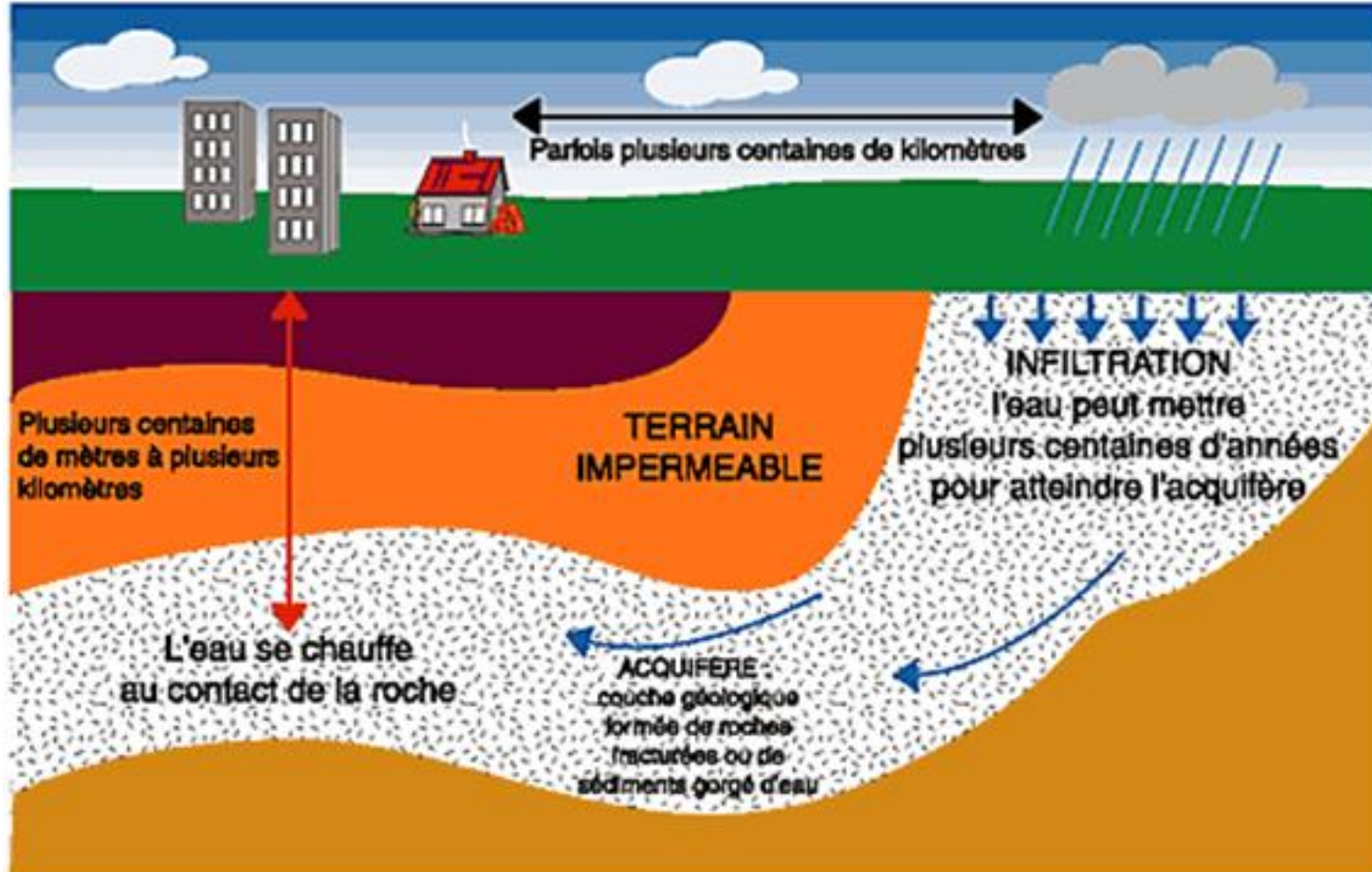
Enertime Module ORCHID et ENR



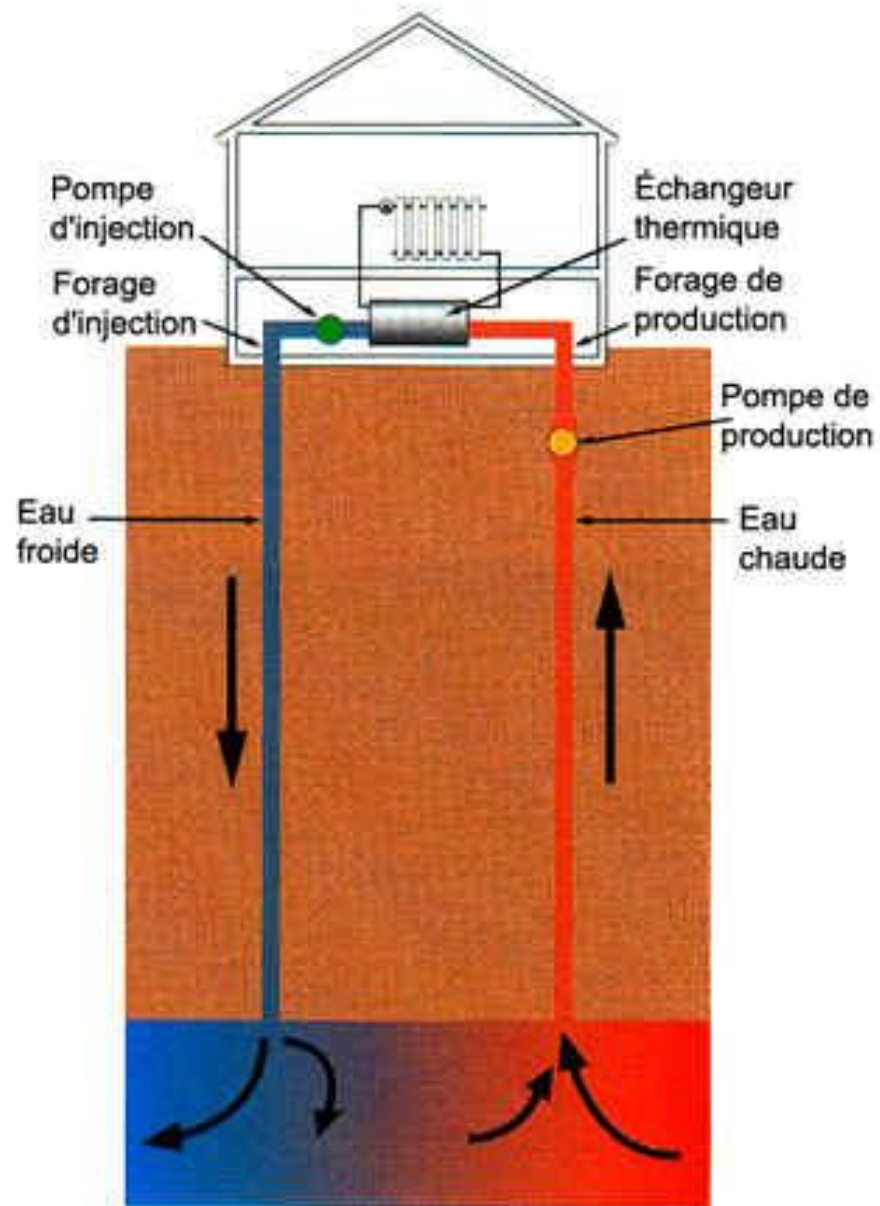
Principe cycle ORC - © ENERTIME

La géothermie

Géothermie basse énergie



Principe du doublet géothermique



Géothermie haute enthalpie : la concurrence

► Islande

- **Pôle GEYSIR GREEN ENERGY**, associant principalement une ingénierie, une banque islandaise/norvégienne GLITNIR Bank, une société d'investissement FL Group, et la compagnie d'électricité municipale de Reykjavik.
- **Verkis**, présent sur Bouillante et la Dominique
- Les Islandais sont très présents à l'International

► Etats-Unis

- **Ormat (EU/Israël)**, leader mondial en fourniture de centrales ORC (plus de 80% du marché). Offre de préfinancement des investissements. Ormat n'avait pas été retenu lors de l'AO de Soultz pour la fourniture de la centrale complète.
- **Geothermex**, très présent en Californie (gros gisement) ainsi que dans les Caraïbes

► Italie

- **ENEL Greenpower**, exploite le champ en Italie du Nord (> 800 MW). Présents à l'International. ENEL avait réalisé les 3 forages profonds de Soultz.
- **Geoconsult**, créé par des anciens d'Enel, spécialisé en AMO. Présents sur le gisement de La Dominique

► Allemagne

- **Bestec**, AMO opérant principalement dans le Palatinat (Landau, Insheim). Se place à l'International (Australie), des vellétés pour venir en Alsace avec investisseurs islandais
- **SWM** (Stadtwercke München), principal opérateur dans le bassin molassique en Bavière (Unterharring, Sauerlach, Riem, ...)

► Australie

- **Geodynamics**, société par actions, tente de valoriser par stimulation type EGS un champ géothermique dans le Copper Basin.

► Nouvelle-Zélande **PB Power**, très présents à l'International (Kenya, ...)

► Japon Fourniture de centrale clé en main

Géothermie haute enthalpie : les acteurs français (1/3)

‣ DGEC

- **Rôle :** Le ministère ambitionne de coordonner les actions engagées dans le domaine de la géothermie en France. L'interlocuteur en charge de ce dossier est Christian Oeser, rattaché à Adeline Fabre, directrice de Cabinet de Pierre-Franck Chevet.

‣ ADEME

- **Rôle :** L'ADEME est le gestionnaire du fonds chaleur et souhaite aussi, par son action, favoriser l'émergence d'une filière géothermique française.

‣ SAF Environnement

- **Rôle :** filiale de la CDC, elle gère pour le compte de l'Ademe, le fonds de garanties du risque géothermie en court et long terme. Etude extension DOM/Intern^{al}

‣ BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières)

- **Rôle :** Le BRGM est l'établissement public de référence dans le domaine des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol. Ses actions s'articulent autour de 4 missions : recherche scientifique, appui aux politiques publiques, coopération internationale, sécurité minière.

Géothermie haute enthalpie : les acteurs français (2/3)

► CFG Services

- > **Rôle** : Société spécialisée en Maîtrise d'œuvre forage et intervention sur les puits. Une branche est dédiée à l'exploitation de la centrale de Bouillante. Plus grand opérateur dans le bassin parisien. Un projet de contrat de partenariat technique ESG/CFG est en cours de finalisation. CFG est associé au projet Roquette comme MOE Forage.
- > **Actionnariat** : S.A.S. au capital de 1 M€ et détenue à 100 % par SAGEOS. Créée en décembre 2002 suite à une opération de scission de CFG (créée en 1985 et absorbée par confusion de patrimoine en mai 2003 par SAGEOS).
- > **Effectifs** : 42 personnes dont 32 ingénieurs et techniciens, 5 ont des fonctions commerciales, 4 des fonctions administratives, et 31 des fonctions de production (pour mémoire, les effectifs du groupe BRGM totalisent 900 personnes.)

► COFOR

- > **Rôle** : Plus grande entreprise française de forage. Expertise développée dans le bassin parisien et à Soultz. Capable de forer au-delà de 3 km. COFOR a foré les premiers puits à Soultz (avant ENEL). COFOR est l'entreprise de forage retenue sur Roquette.
- > **Actionnariat** : 70% Entrepose et 30% NGE, capital de 2,55 M€
- > **Effectifs** : 125 personnes

Géothermie haute enthalpie : les acteurs français (3/3)

- ▶ **ALSTOM** Rôle : fournisseur de turbines à vapeur ou de centrales clé en main (Mexique). S'intéresse au cycle ORC. Equipe basée en Suisse à Baden près de Zurich.
- ▶ **CRYOSTAR**
 - > Rôle : filiale du groupe Linde (Allemagne), 420 personnes travaillent au siège à Héringue (Alsace). Spécialisés en process gaz. Cryostar a fourni la turbine sur Soultz. ESG est sous-traitant exclusif de Cryostar pour l'AMO boucle de production pour les AO principalement en Allemagne.
- ▶ **SCHLUMBERGER**
 - > Rôle : spécialisé en services pour accompagnement de forage (diagraphie, stimulations, pompe de production, ...) A crée depuis 2 ans un département géothermie.
- ▶ **CGG** Rôle : spécialisé en géophysique, expertise en exploration de réservoir
- ▶ **ENERTIME**

Acteurs scientifiques et académiques

IFP (Institut français du Pétrole) : est présent en géothermie (IFP Environnement)

Ecole des Mines et Ecole de Géologie de Nancy : acteurs importants sur Soultz, bonne compétence en sous-sol notamment en modélisation

EOST/IPG : acteur majeur à Soultz, compétence internationalement reconnue en sismique

Histoire d'ÉS SA dans la géothermie profonde

- **1992** : ÉS est le premier partenaire du projet Soultz
- **1995** : Création du GEIE de Soultz avec Pfalzwerke
- **2000** : Arrivée d'EDF dans le GEIE
- **2005** : Première circulation entre les 3 puits
- **2006** : Début de la construction de la centrale
- **2008** : Création d'ES-Géothermie
- **2010** : Tests d'injection au réseau électrique
- **2011** : Vente des premiers kWh à ES Energies



Contexte Soultz S/foret et Electricité de Strasbourg Géothermie

- ▶ **Publication du tarif 23 juillet 2010 :**
 - 200€/MWh (+80€/MWh selon efficacité éner.) en métropole
 - 130€/MWh (+30€/MWh selon efficacité éner.) dans les DOM
- ▶ **Existence du Fonds Chaleur : montant des aides calculé pour permettre à la chaleur renouvelable d'être vendue à un prix inférieur d'au moins 5 % à celui de la chaleur produite à partir d'énergie conventionnelle (gaz)**
- ▶ **GEIE Soultz : une expérience unique et capitalisable**
- ▶ **De nombreux projets en portefeuille pour ES géothermie ...**
 - > principalement en Alsace
 - > mais aussi des prospects en France
 - > et ailleurs
- ▶ **Une crédibilité reconnue auprès des décideurs : ADEME, MEDDTL, BRGM, ...**
- ▶ **Des liens académiques forts avec les équipes pionnières en géophysiques**

ESG : Principales réalisations

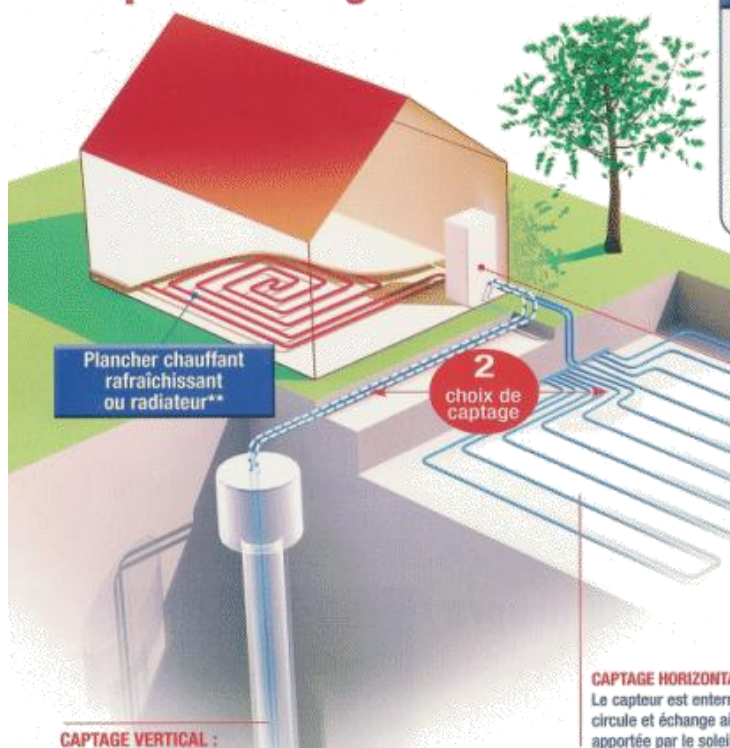
- Assistance à la centrale de Soultz-sous-Forêts
- AMO projet Roquette (pilotage opérationnel)
- AMO Communauté de communes Ile Napoléon (600 m – 45° C – 3 MWth)
- AMO Etude de potentiel géothermique profond en Vendée (Conseil G^{al})
- MOE tests circulation à CC Sauer-Pechelbronn (1000m – 75° C)
- Etude de faisabilité Bioscope, Illkirch, Obernai, Cristal-Union et Wissembourg
- Expertise boucle primaire (appel d'offres avec Cryostar)
- Dépôt PER Wissembourg, Lauterbourg et Illkirch-Erstein
- Développement projet industriel de pompe à arbre long
- MOE champs de sondes : 1^{er} permis minier de Kriegsheim (26 sondes à 150m)
- Rédaction du volet géothermie dans le SRER piloté par la DREAL
- IEED, Labex, Equipex avec l'EOST

ESG : Les perspectives

- **Réalisation du projet ECOGI pour alimenter Roquette Frères**
- **Réalisation d'autres centrales en Alsace : cogénération avec alimentation de serres**
- **Démarche AQ : Maîtrise des process – savoir-faire - formation des jeunes**
- **Développement d'outils de prospection avec des partenaires**
- **Développement d'un partenariat opérationnel avec CFG Services**
- **Conception et construction d'équipements spécifiques pour les centrales (PAL,...)**
- **Appui technique du groupe EDF**
- **Appui technique pour des projets à l'export**

La géothermie Basse Enthalpie

La géothermie : capter l'énergie de la terre



Plancher chauffant
rafraîchissant
ou radiateur**

2
choix de
captage

CAPTAGE VERTICAL :

Une sonde thermique est enterrée profondément (de 40 à 100 m). L'énergie contenue dans le sol réchauffe ou rafraîchit l'eau glycolée qui transportera les calories jusqu'à la Pompe à Chaleur.

POURQUOI

CHOISIR LE CAPTAGE VERTICAL ?

Solution avec grande stabilité de température en toute saison par rapport à un captage horizontal.

AVANTAGES

- Pas d'unité extérieure
- Modèles haute température
- Stabilité de la température de captage : s'adapte à toute zone climatique
- Production d'eau chaude sanitaire*
- Discrétion : PAC silencieuse
- Fiabilité : efficacité testée en Suède

CAPTAGE HORIZONTAL :

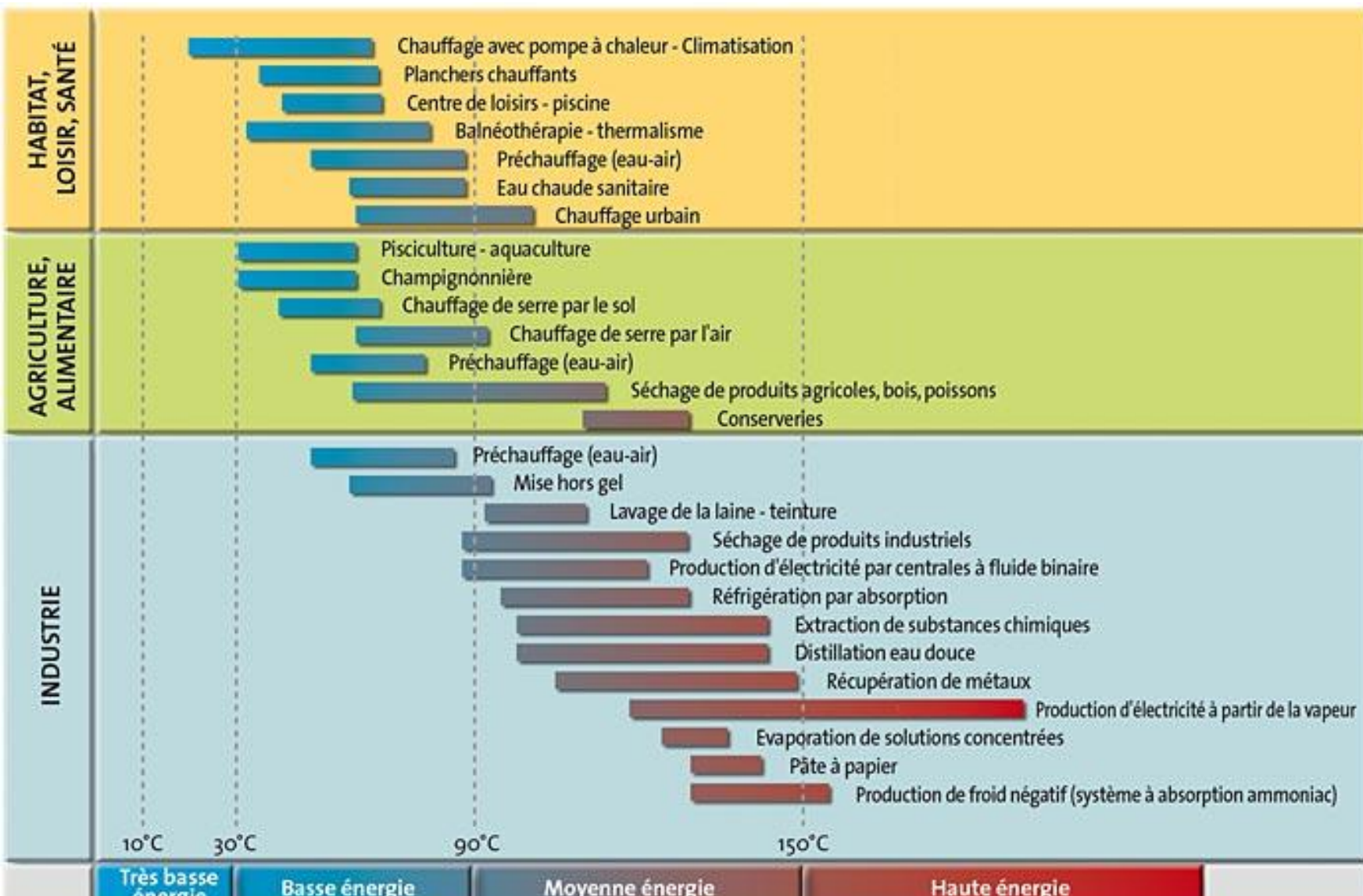
Le capteur est enterré à 80 cm sous terre. De l'eau glycolée circule et échange ainsi de la chaleur avec le sol grâce à l'énergie apportée par le soleil, le vent et les infiltrations d'eau de pluie.

POURQUOI

CHOISIR LE CAPTAGE HORIZONTAL ?

Par rapport au captage vertical, sa mise en œuvre est économique et simultanée au terrassement.

Tableau des Usages



Pompes à Chaleur géothermales



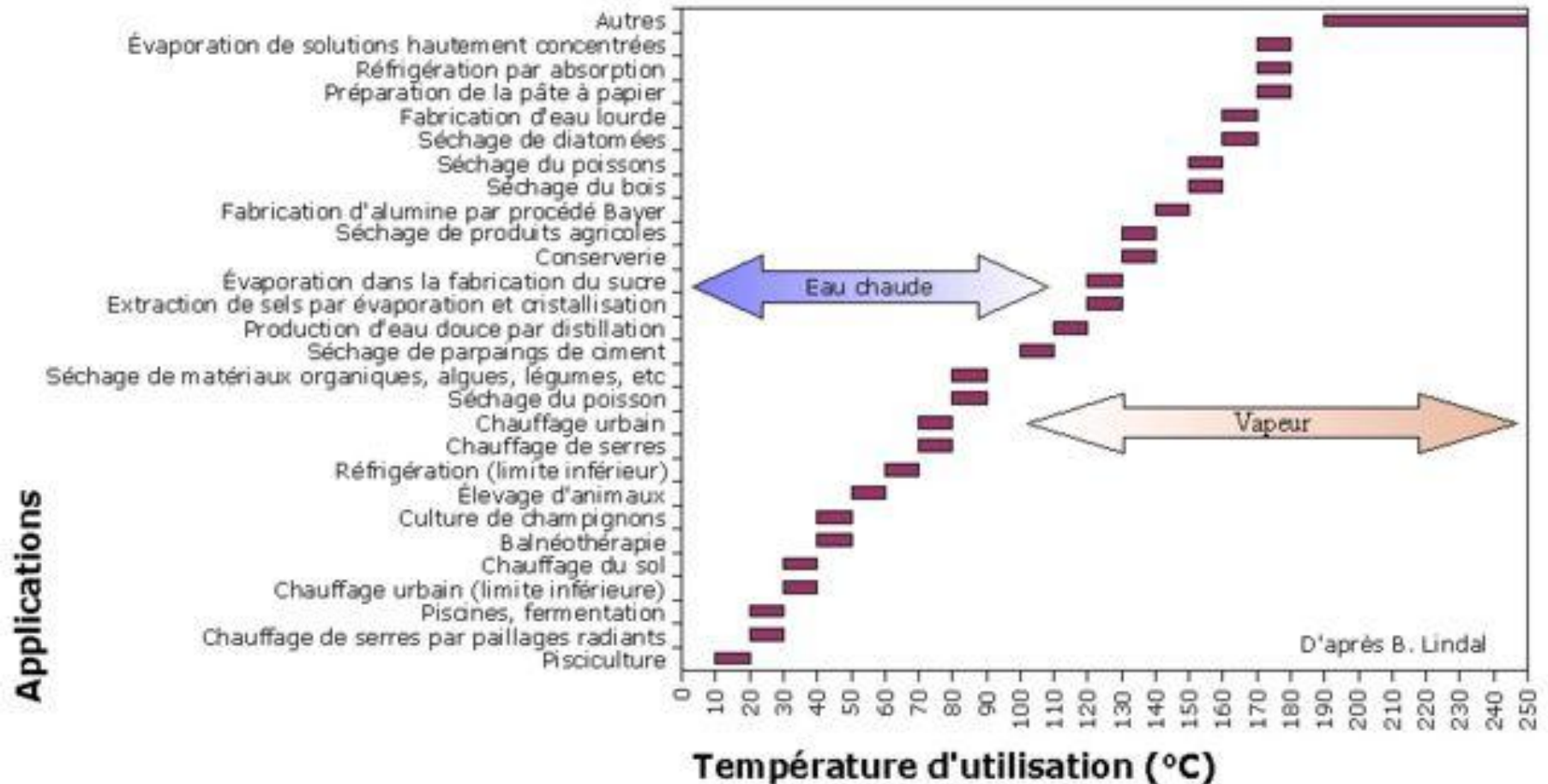
57



57

Tableau de B Lindal

Géothermie - Applications industrielles

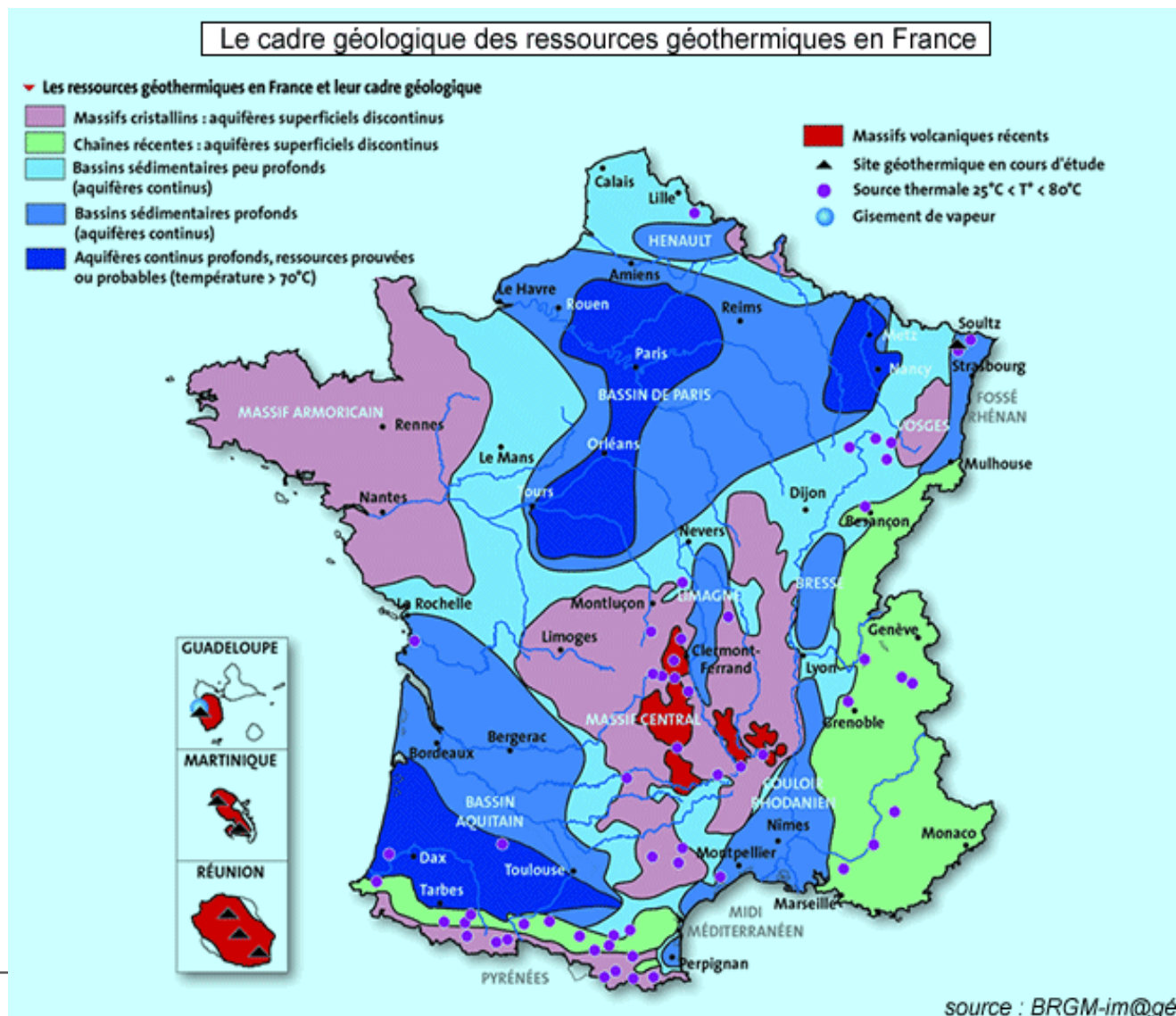


- ▶ **Géothermie**
- ▶ **Chaleur et électricité**

Géothermie chaleur

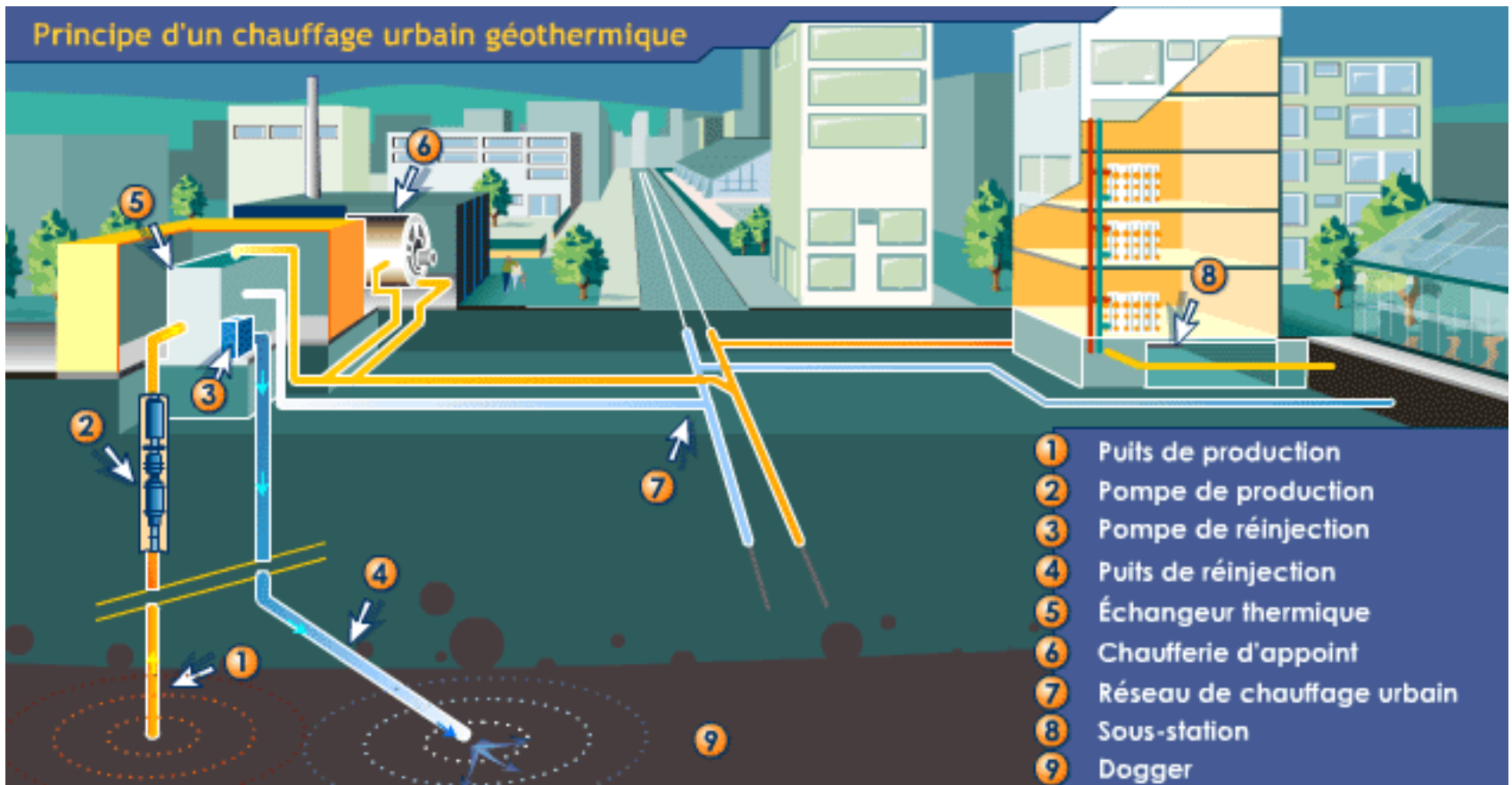


Géothermie : ressources françaises



Géothermie

Schéma d'une exploitation du Dogger en Ile de France



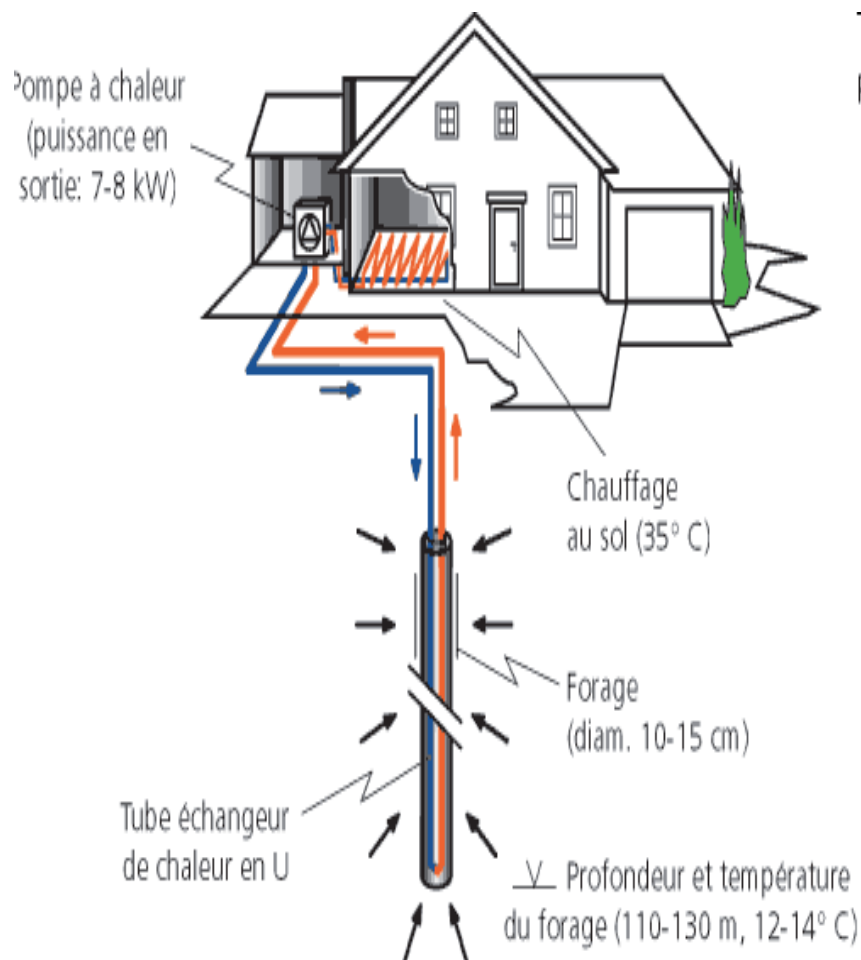
La Géothermie Basse énergie en surface avec Pompe à Chaleur

► Le principe est simple :

► On utilise un réseau de tubes, enterrés sous la surface du sol, dans lesquels circule un liquide spécial, appelé "fluide caloporteur". Celui-ci capte l'énergie sous forme de calories et la véhicule vers l'intérieur de la maison, jusqu'à la pompe à chaleur (PAC). Cet appareil répartit la chaleur dans la maison grâce à des planchers chauffants et renvoie ensuite le liquide vers les capteurs souterrains .



Géothermie verticale avec Pompe à Chaleur



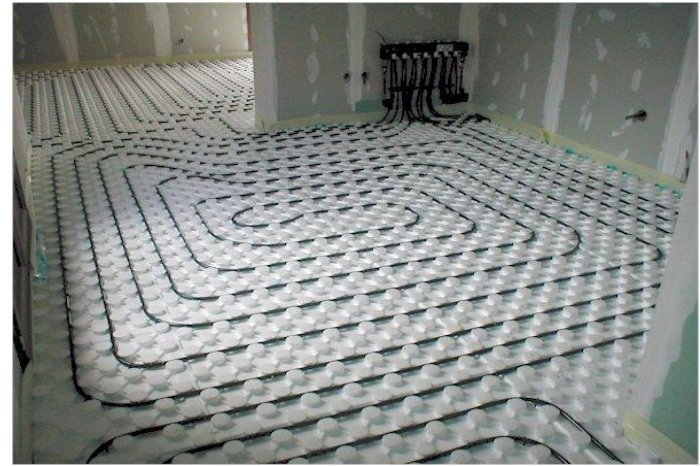
- La deuxième :
- La géothermie verticale consiste à descendre puis à sceller des capteurs sur plusieurs dizaines de mètres dans un forage en forme de U (env.100m). la profondeur et le nombre de forage peut varier en fonction de la surface à chauffer.

Fonctionnement de la Pompe à Chaleur

- Une pompe à chaleur est un dispositif permettant de transférer la chaleur de l'environnement extérieur et de l'utiliser pour le chauffage domestique. Chaque jour la terre stocke l'énergie du soleil et donc grâce à la géothermie les PAC récupèrent cette énergie gratuite et inépuisable afin de chauffer nos maisons.
- C'est le même principe que le réfrigérateur mais inversé.

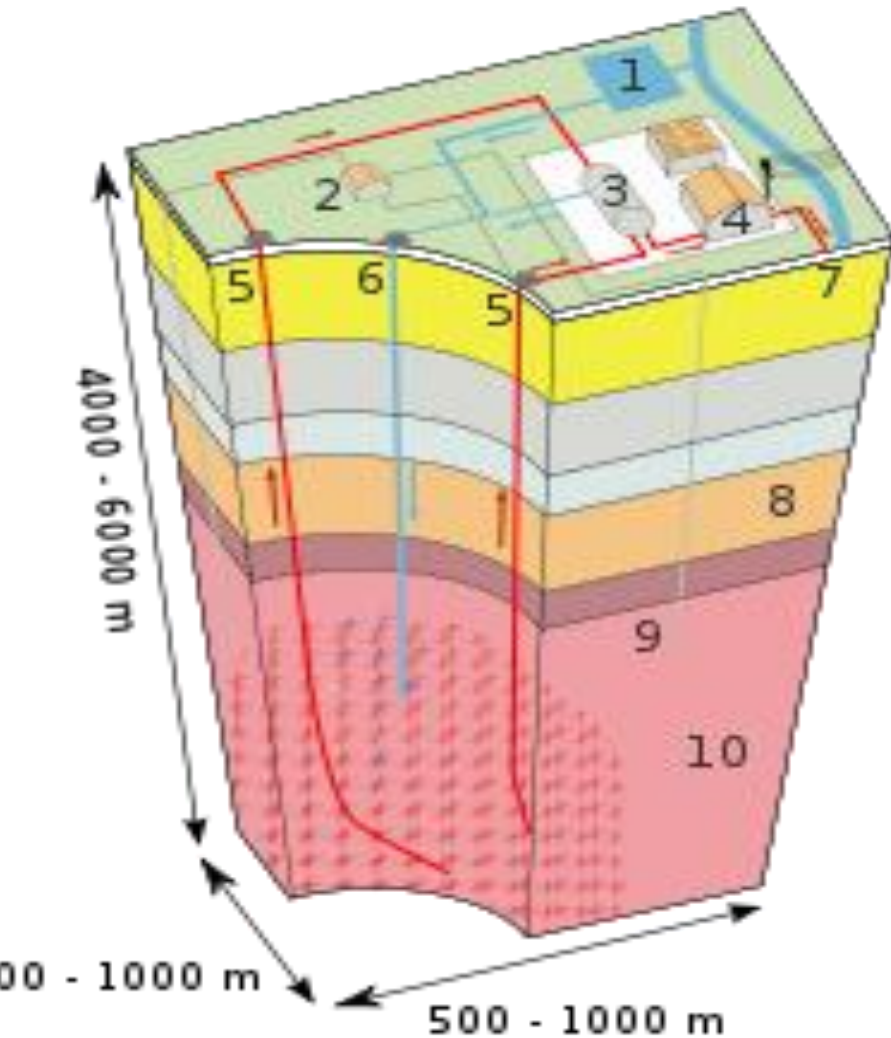


Plancher chauffant



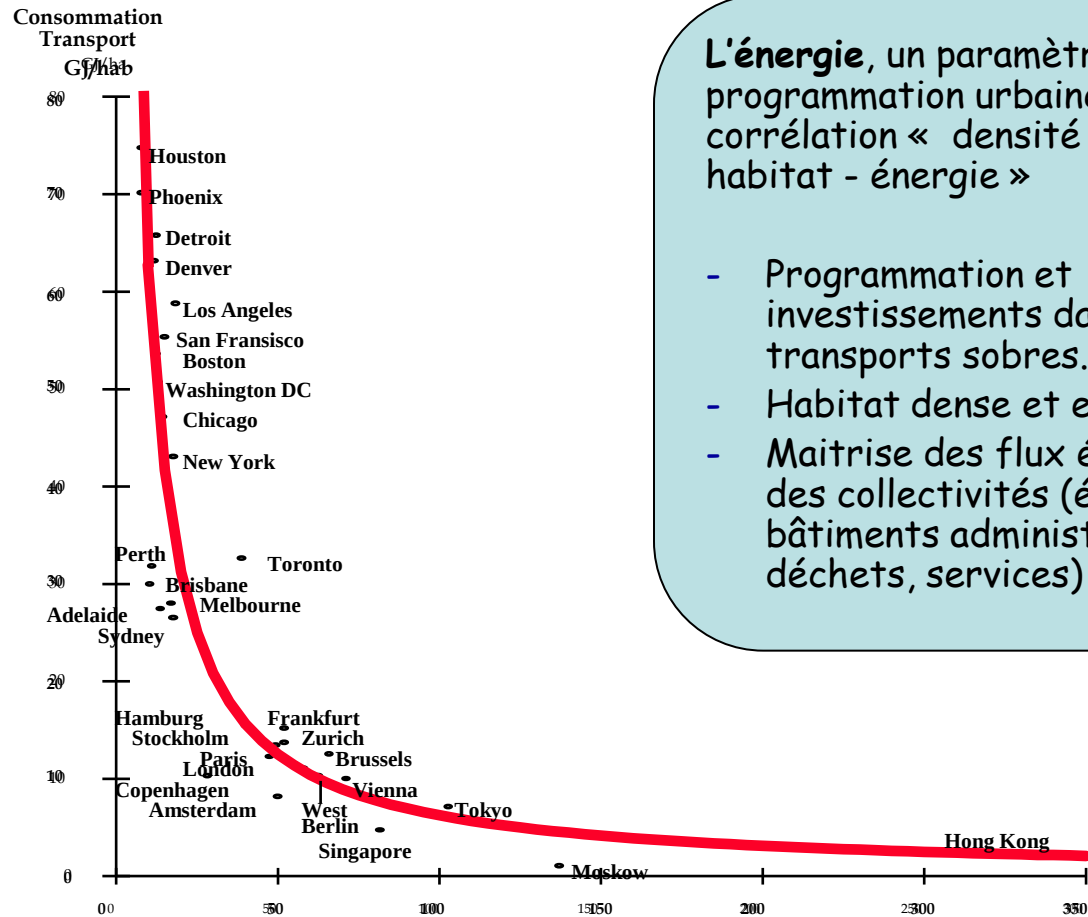
► le plancher chauffant se contente de basses températures d'eau (en moyenne 35°C). Le sol est parcouru par des tubes souples traversés par l'eau chaude. Les calories sont cédées à la dalle qui joue alors le rôle de masse inerte. La sensation de chaleur que procure ce système de chauffage est dû en partie à la température de l'air qui s'échauffe au contact du sol chaud.

Enhanced geothermal system



- 1:Reservoir
- 2:pompes
- 3:échangeur de chaleur
- 4:Turbine
- 5:Puits de Production
- 6: Puits réinjection
- 7:Hot water to district heating
- 8:Porous sediments
- 9:Observation well
- 10:Crystalline bedrock

Ville et efficacité énergétique



L'énergie, un paramètre clef de la programmation urbaine :
corrélation « densité - mobilité - habitat - énergie »

- Programmation et investissements dans les transports sobres.
- Habitat dense et efficace
- Maîtrise des flux énergétiques des collectivités (éclairage, bâtiments administratifs, déchets, services)

(Newman & Kenworthy) densité moyenne consommations énergétiques - Source CERNA

Obstacles à surmonter

Création de valeur

Taille critique

Les leviers de l'effet de taille

Peser sur les constructeurs par le volume

- dans le PV, marché global: une base de plusieurs centaines de MW, un flux de 200 MW/an
- dans l'éolien terrestre et maritime, marché structuré par régions (Europe-Afrique, Amérique, Chine...): plusieurs centaines de MW/an dans la région

Faciliter l'accès aux financements

- Avantage aux très grandes entreprises pour financer des projets capitalistiques

Démultiplier l'accès aux opportunités

94



Miser sur une R&D ambitieuse

La taille critique de l'unité de recherche dans le PV : 50 M€ d'équipement, plus de 100 chercheurs à temps plein

Capter l'effet d'expérience

- éolien terrestre ou PV : effet local - plusieurs projets dans la zone considérée
- éolien maritime : effet global : plusieurs projets dans le monde

Optimiser l'exploitation maintenance

- Taille critique: 1 GW installé toutes filières ENR confondues par zone

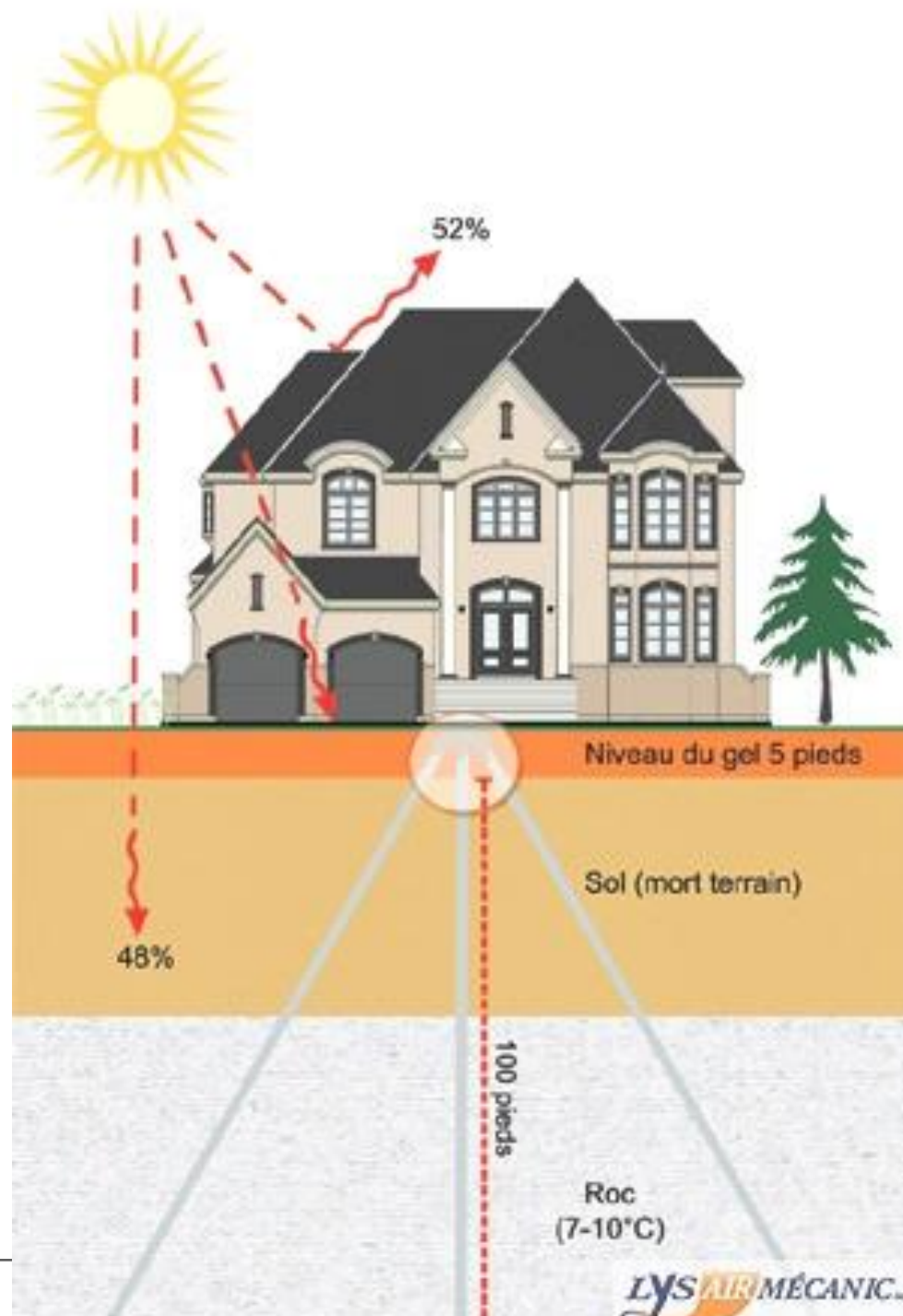
Chaleur Renouvelable 2020

- ▶ **Individuel: Bois + PAC + Solaire: 2,2 Mtep**
- ▶ **Cogénération biomasse (appel offre CRE élect.): 2,4 Mtep**
- ▶ **Fonds Chaleur: + 5,47 Mtep/an en 2020**
- ▶ **Secteurs concernés : Habitat collectif, Tertiaire, Industrie, Agriculture**
- ▶ **Répartition indicative par filière**

Biomasse	Géothermie et PAC	Solaire	Déchets et biogaz
69,5 %	10,5 %	2 %	18 %

Géothermie faible Profondeur







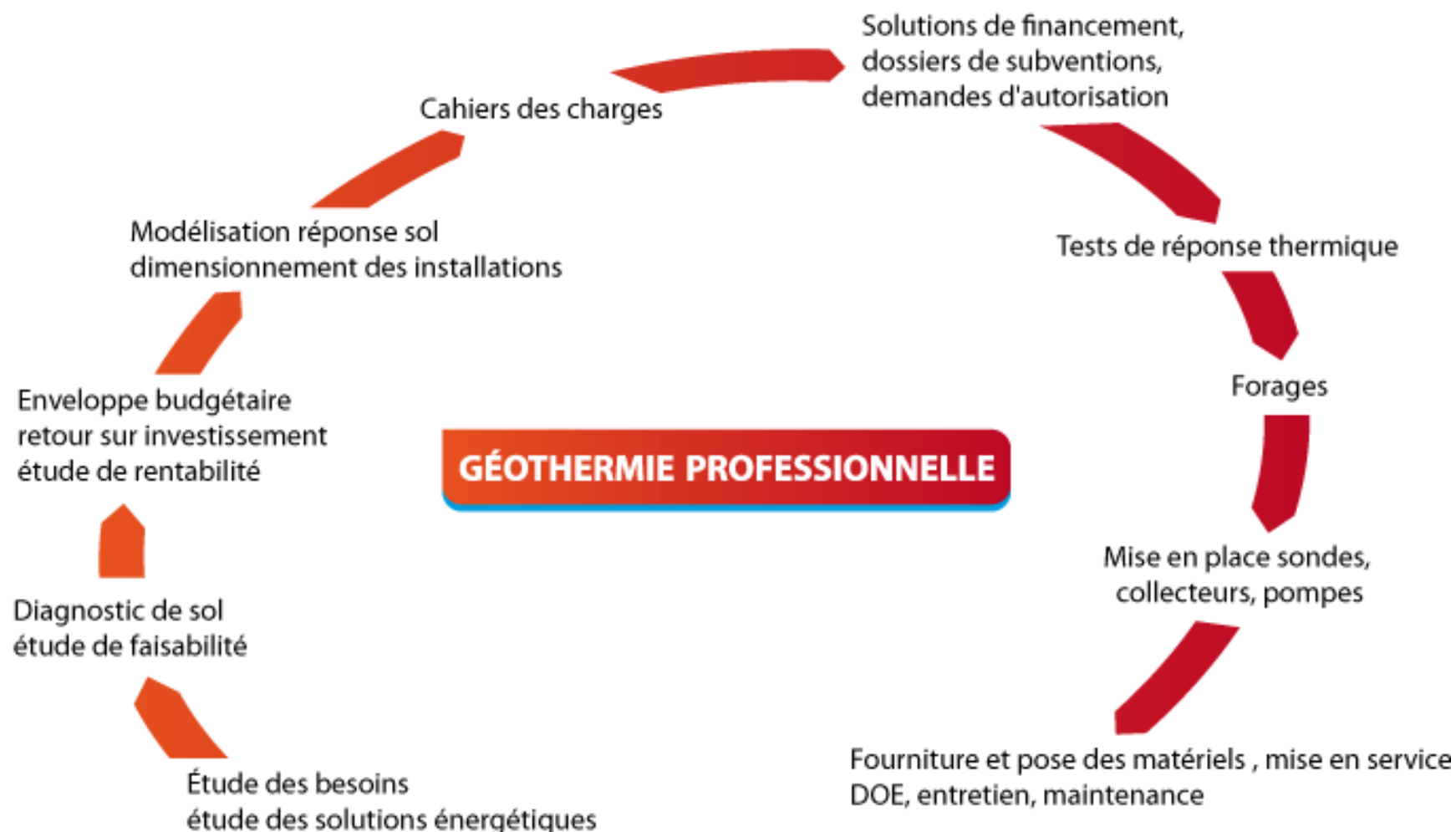
Pompes à Chaleur géothermales



74



74



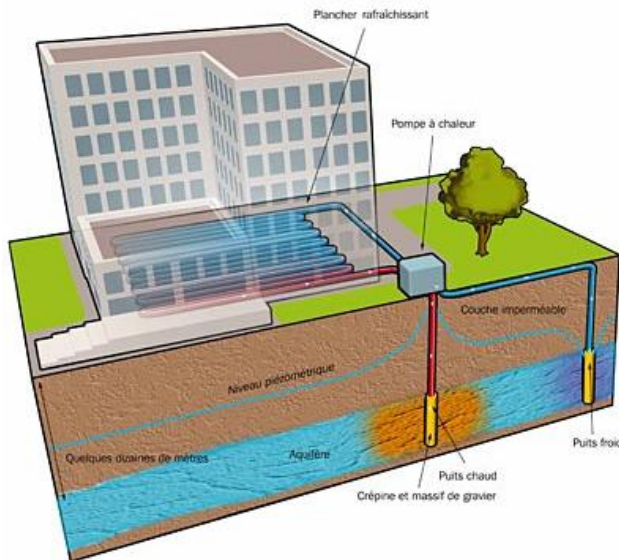
Géothermie Tubes



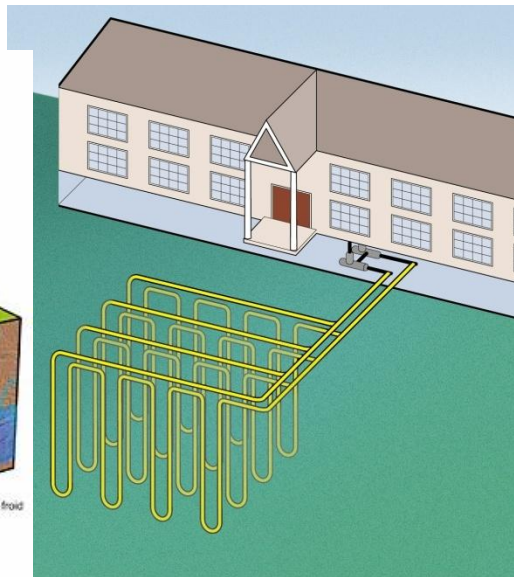


Géothermie

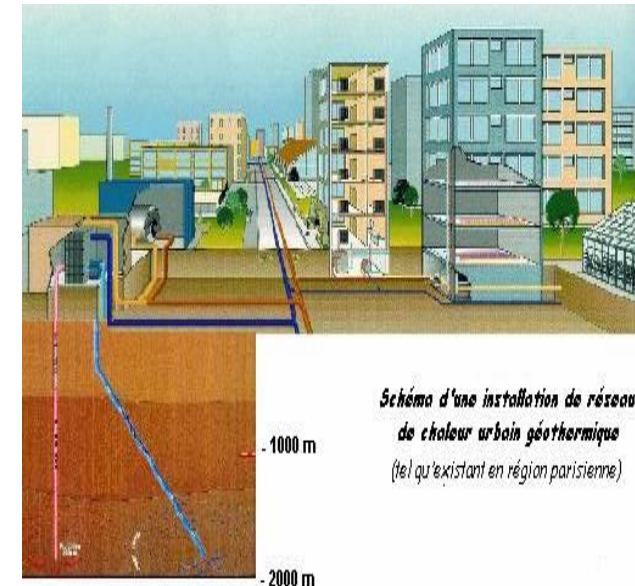
Les trois types d'opérations prises en compte



PAC sur aquifère superficiel



Champ de sondes



Géothermie sur aquifère profond
avec (ou sans) réseau de chaleur



Foreuse BRGM





Travaux géothermie Pompe à Chaleur



Géothermie Machine de Forage



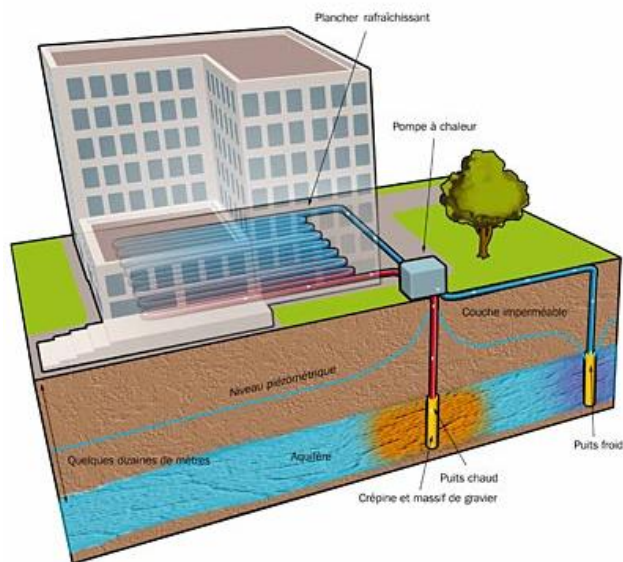
Géothermie PAC Sortie d'Eau



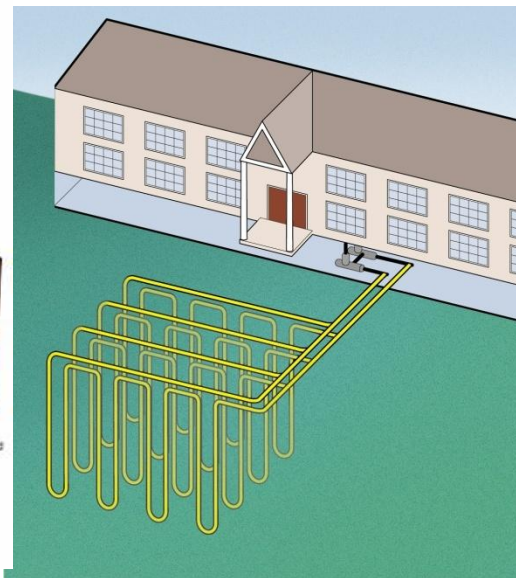


Géothermie

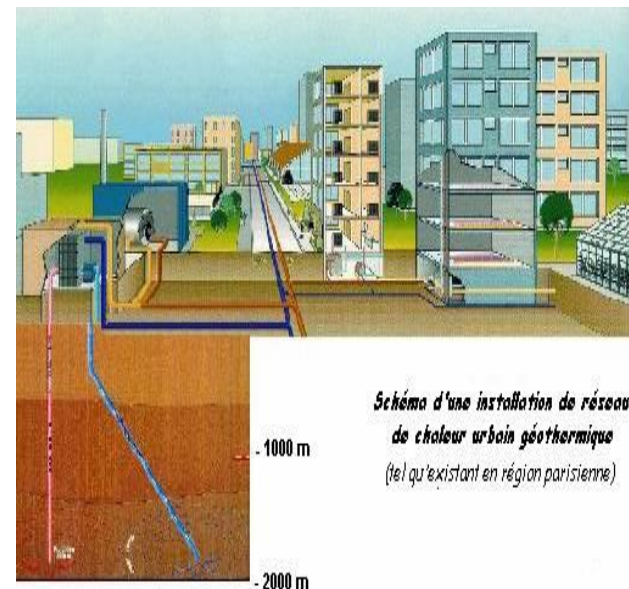
Les trois types d'opérations prises en compte



PAC sur aquifère superficiel



Champ de sondes



*Schéma d'une installation de réseau
de chaleur urbain géothermique
(tel qu'existant en région parisienne)*

Géothermie sur aquifère profond
avec (ou sans) réseau de chaleur

Réseaux de chaleur urbains

2 exemples de réseau de chaleur urbain :

- 6 MW bois à Besançon (25)
- 12 MW bois à Vénissieux (69)

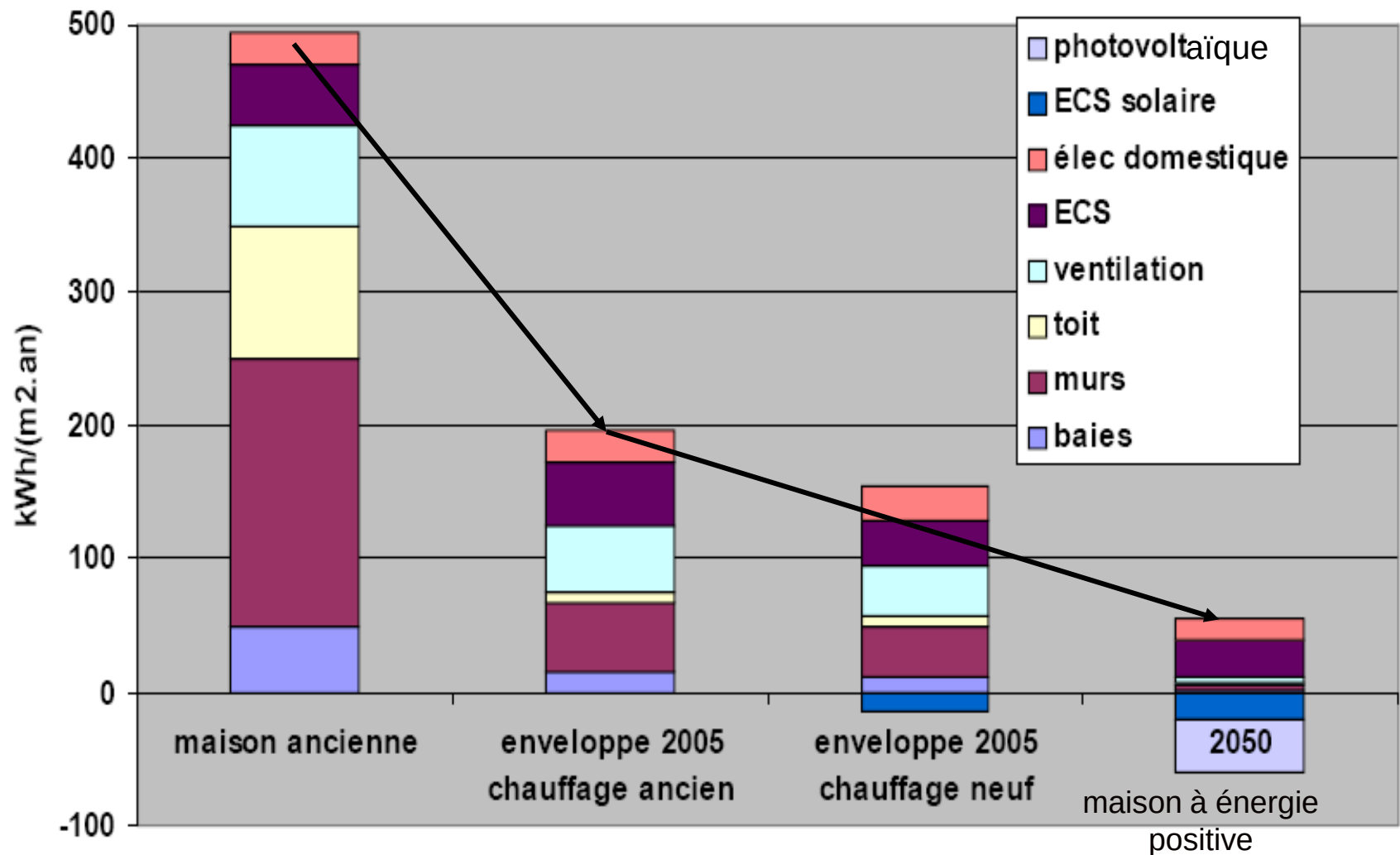


Besançon



Vénissieux

EnR et Réglementation thermique



Obstacles à surmonter

Le coût des énergies renouvelables:

- Le financement ?
Qui paye quoi? La CSPE ?
- Des Tarifs d'Achat ?
ou des Subventions ciblées ?
- Pour recherche et développement,
Politique industrielle, Filières, emplois.

Conclusions

- Conjugué aux efforts de maîtrise de l'énergie, le potentiel des énergies renouvelables est immense, mais pas encore techniquement et économiquement exploitable.
- **A Court terme** : solaire et géothermie pour les usages thermiques, éolien pour la production d'électricité, hydroélectricité, biocarburants dérivés de l'agriculture alimentaire dans les transports, biomasse.
- **A Moyen/long terme** : biocarburants ligno cellulosiques, production d'électricité par éolien en mer, autres énergies marines, géothermie profonde et photovoltaïque.
- **Besoins en R&D importants** : technologie de production et mode de gestion d'énergies intermittentes.

Il faudra du temps pour qu'elles prennent la place qui leur revient : baisse des coûts, offre professionnelle à construire et réglementation à adapter.

Merci de votre attention

Henri Boyé

hboyefree@free.fr

henri.boyefree@developpement-durable.gouv.fr