

WS13 - Workshop : Géothermie

Opportunités et contraintes en Région Bruxelles-Capitale

Gilles MAES - Planification / Gestionnaire de projets (BE)

Camille BAUDINET - Géologue / Gestionnaire de permis géothermie (BE)

Mathieu AGNIEL - Hydrogéologue / Expert géothermie (BE)

RENOLUTION : ACTION!

RENOLUTION : ACTIE!

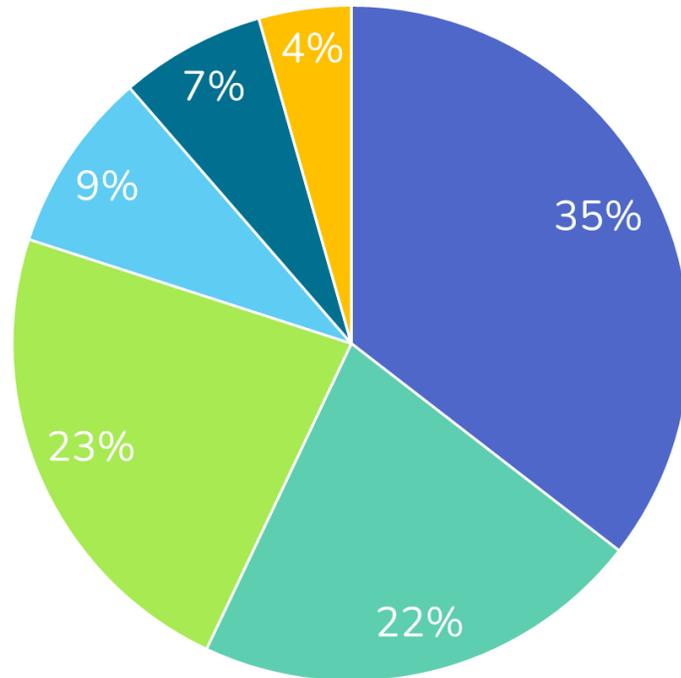
08/12/2023



État des lieux des installations HVAC en Région Bruxelles-Capitale



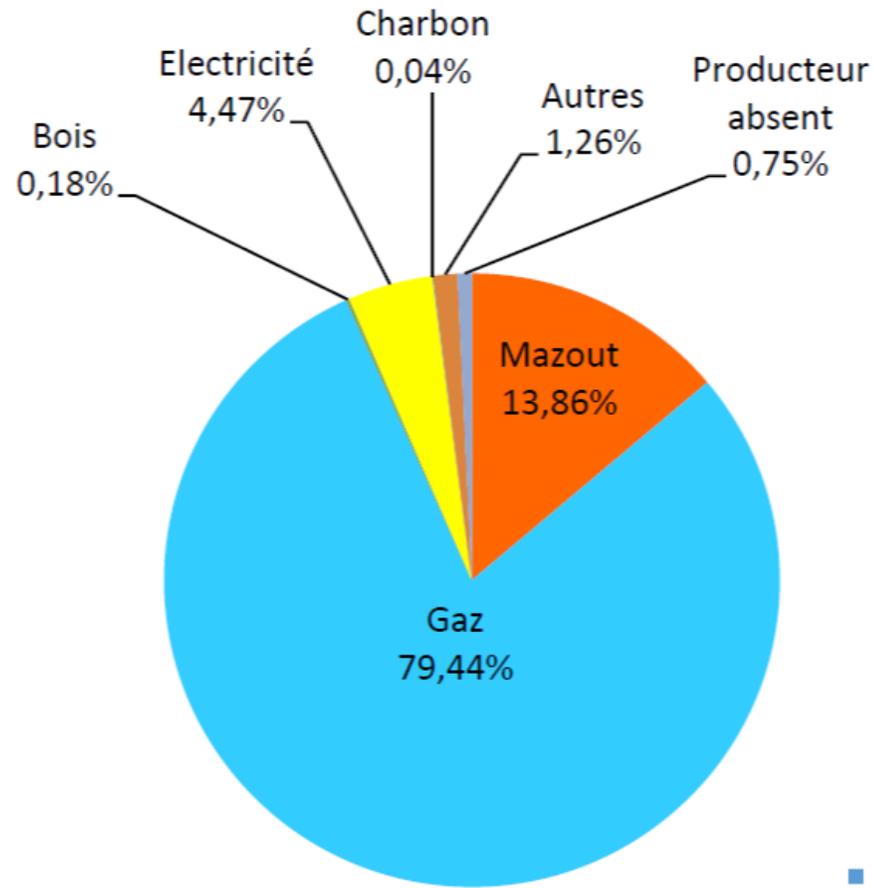
EMISSIONS DIRECTES DE GAZ À EFFET DE SERRE DE LA RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE PAR SECTEUR - 2021



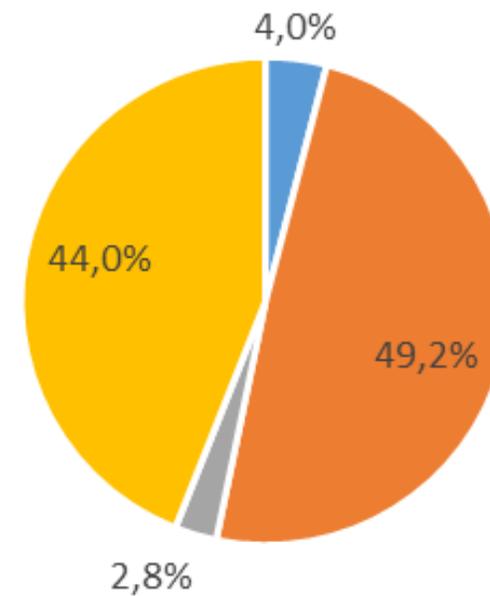
- Résidentiel
- Commerces et services
- Transport routier
- Installations industrielles pour la production d'électricité et de chaleur
- Gaz fluorés
- Autres sources d'émissions



Vecteurs dans les certificats PEB résidentiels et dans le bilan énergétique de la Région pour le tertiaire - 2021



Résidentiel



Tertiaire

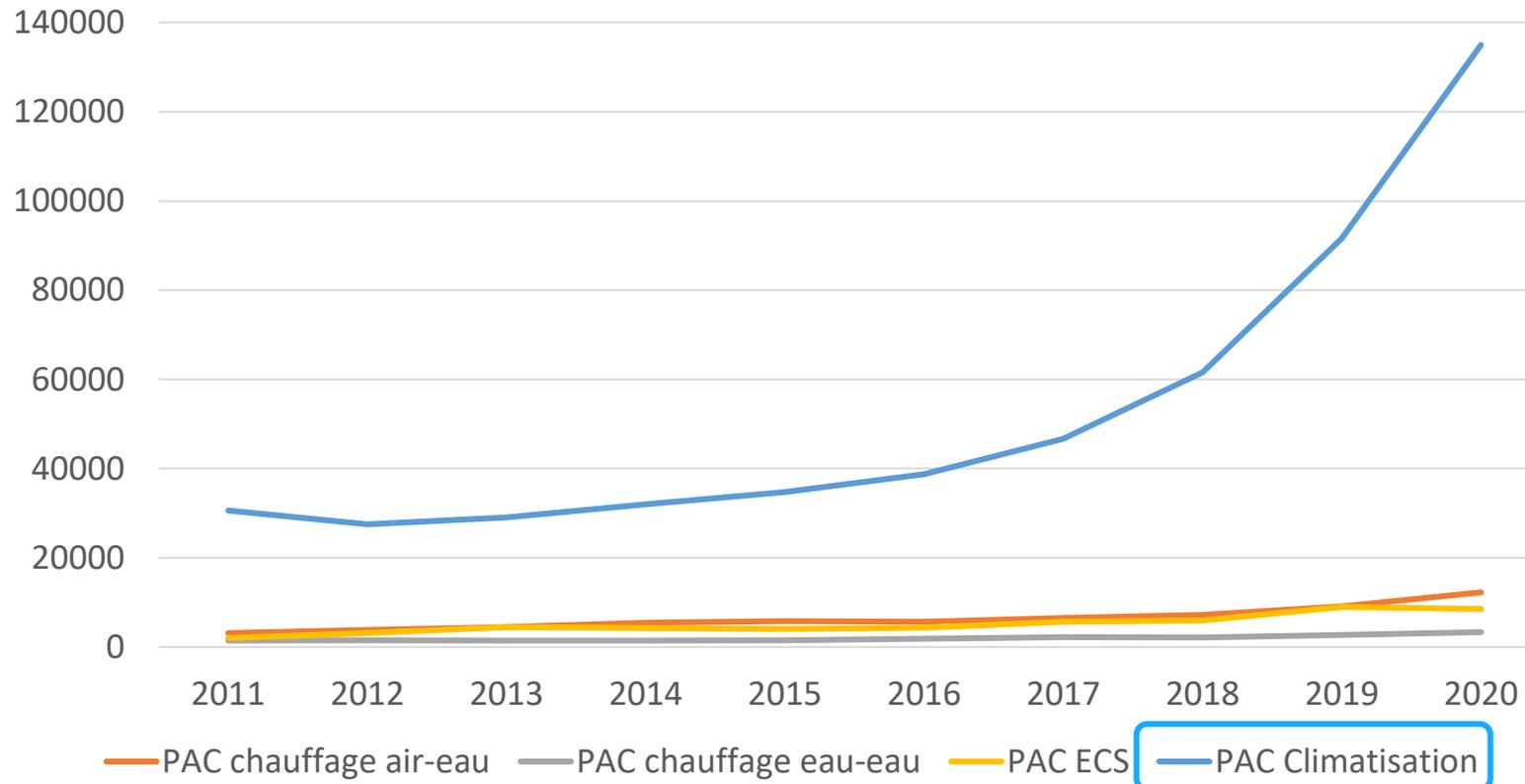
■ mazout ■ gaz naturel ■ chaleur/vapeur ■ électricité

Le gaz naturel est le vecteur majoritaire



Les pompes à chaleur sont peu présentes
mais le marché belge est en forte évolution.

Beaucoup de plaintes au niveau du bruit des climatiseurs
et PAC aérothermiques



PLAN AIR CLIMAT ENERGIE 2023 DE LA RBC



RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DIRECTES DE GES REDUIRE L'IMPACT CLIMATIQUE DES SYSTEMES HVAC



OBJECTIF



NEUTRALITE CARBONE A L'HORIZON 2050

Mettre en place un calendrier pour la sortie progressive des combustibles fossiles
Evaluer le potentiel de décarbonation de l'approvisionnement en chaleur et en froid en 2050 et développer une vision zonée

MESURES



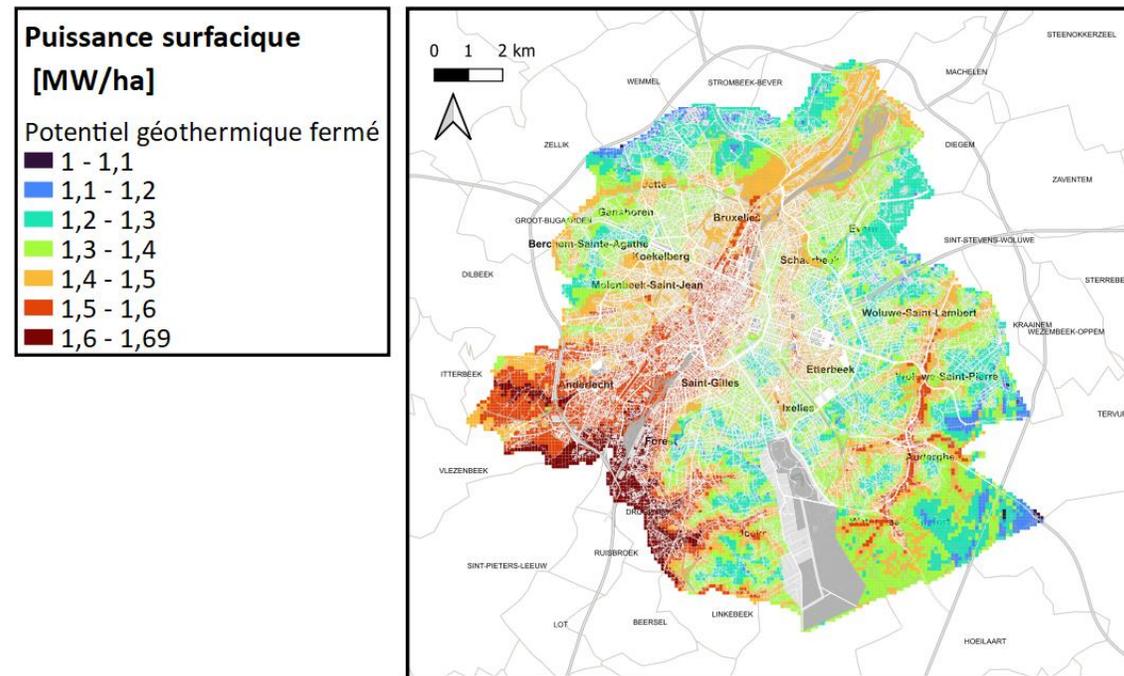
- Sortie progressive de l'utilisation du mazout, menant à l'interdiction générale à l'horizon 2040
- Interdiction de l'utilisation de combustibles fossiles pour les nouvelles demandes de permis
- Suppression des primes Renolution relatives aux chaudières au gaz en 2023
- Fin du soutien à la cogénération à partir de combustibles fossiles dès 2025
- Task force Energie 2050 (BE / Brugel/ Sibelga) chargée de mener des réflexions à LT sur la décarbonation de l'approvisionnement en C&F
- Etude « Décarbonation » :
 - Evaluation du potentiel de décarbonation de C&F (technologies, coût, modélisation de scénarii et étude coûts-bénéfices)
 - Vision zonée de l'approvisionnement en C&F



ETUDE « DÉCARBONATION »

Quelle place pour la géothermie?

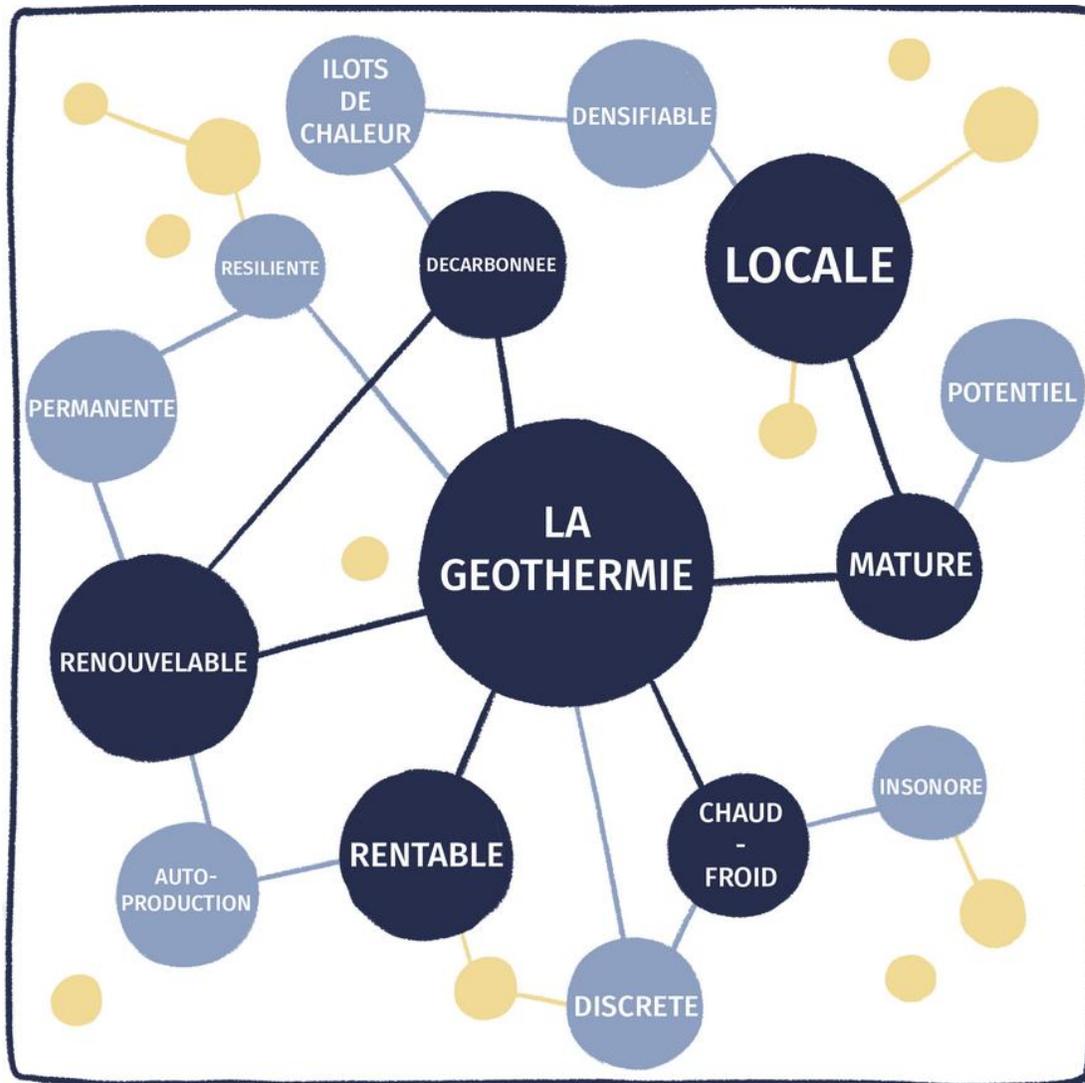
- Pour décarboner l'approvisionnement en chaud et en froid à l'horizon 2050, **toutes** les technologies et solutions seront nécessaires
- Les technologies de pompes à chaleur joueront un rôle important
- La géothermie possède le potentiel théorique le plus important en RBC, ce potentiel dépasse la demande en chaud et en froid de 2021





La géothermie dans le contexte de la Région de Bruxelles-Capitale

AVANTAGES



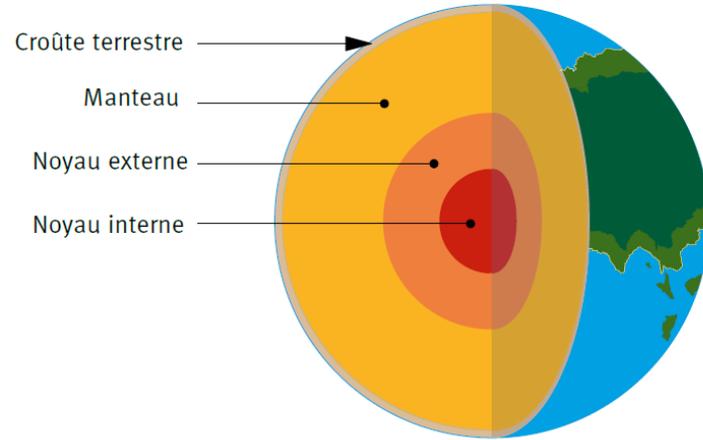
... et quelques impacts à maîtriser !

LA GEOTHERMIE

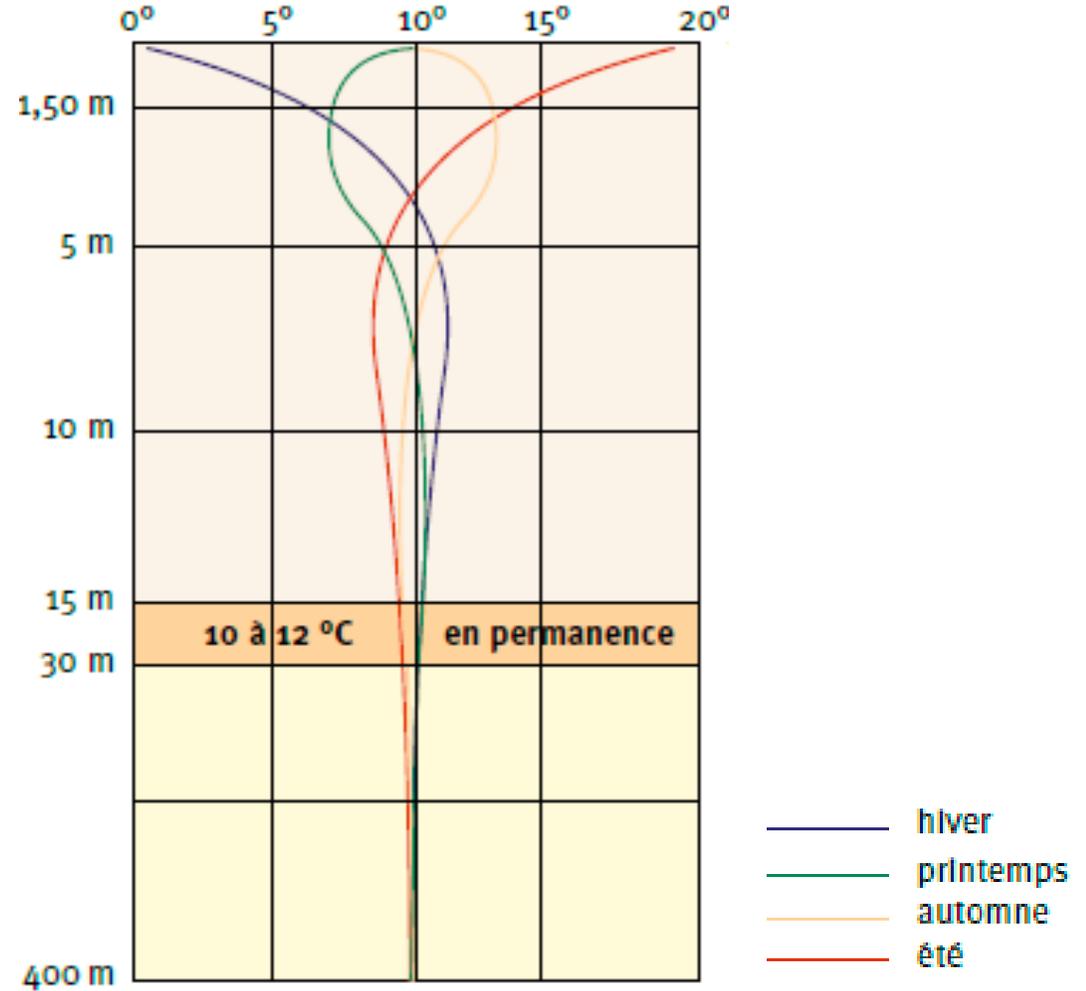
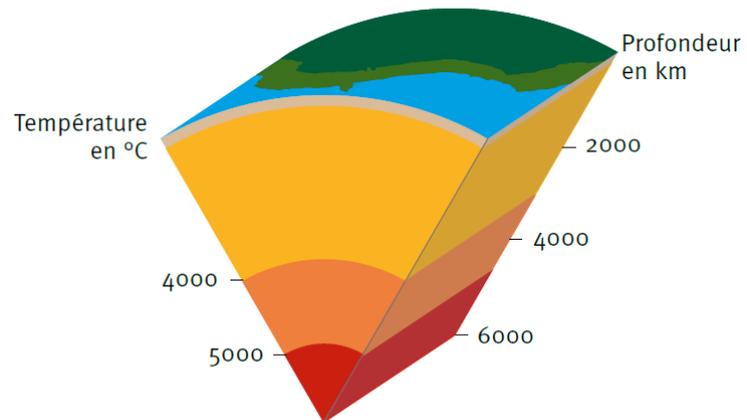
Gradient géothermique



A. LA TERRE



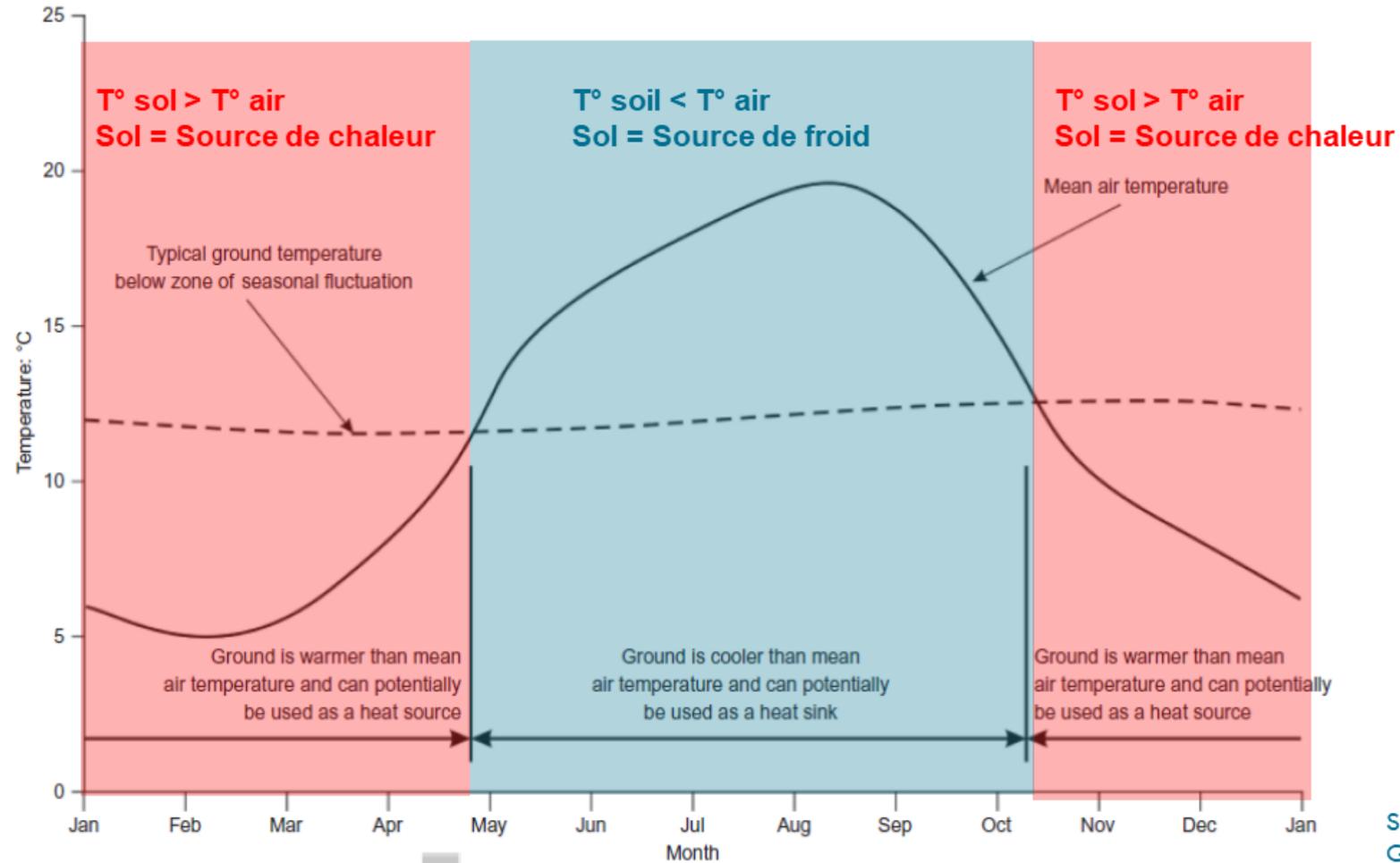
B. TEMPERATURE SOUS LA SURFACE DE LA TERRE



Gradient géothermique (normal)
= 3°C / 100 m

LA GEOTHERMIE

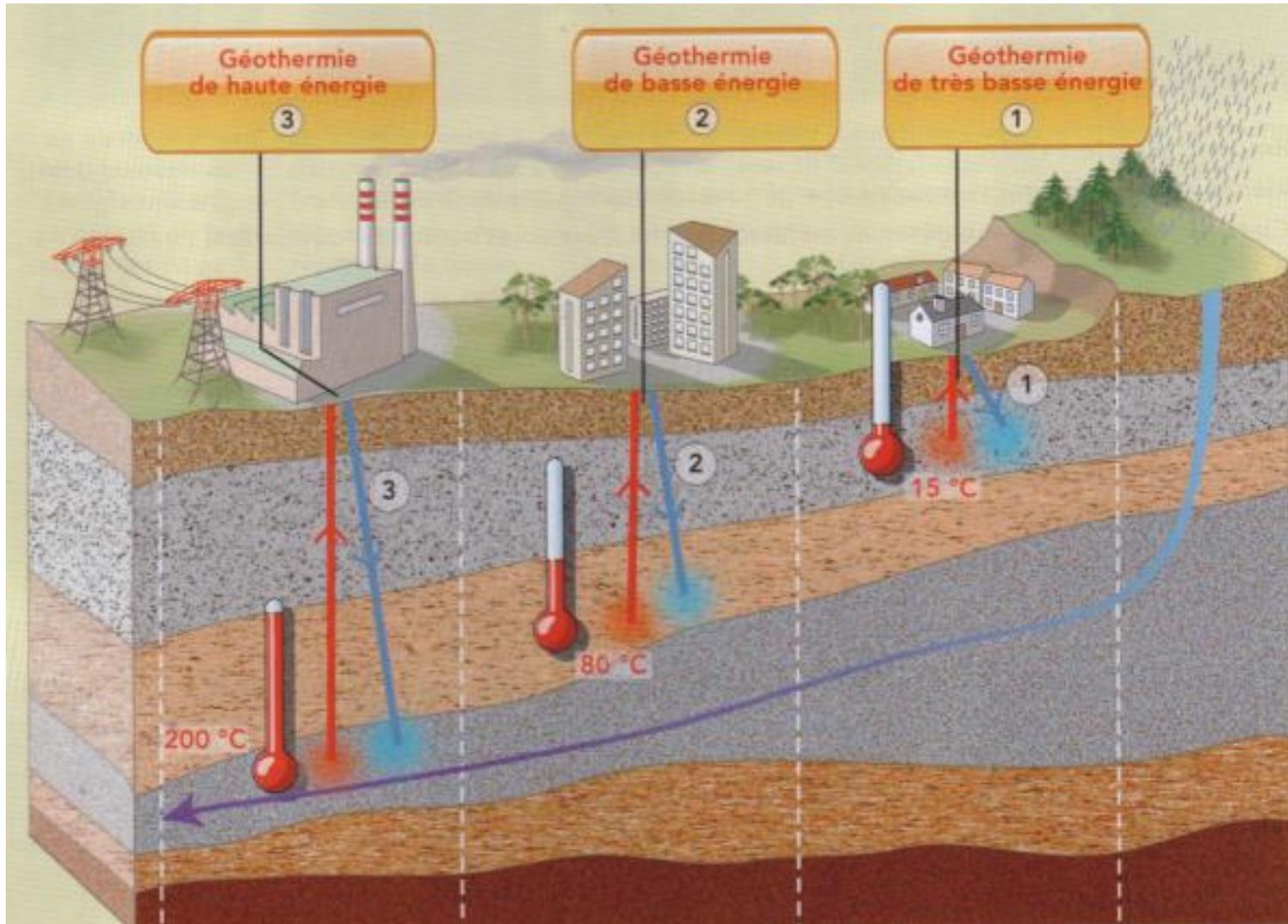
Evolution saisonnière des températures



Source: Preene and Powrie, Geotechnique 2009

LES SOLUTIONS

Géothermie de surface & profonde



1. Géothermie de surface / très basse énergie (10- 200 m)

- < 15°C
- chauffage & refroidissement
- assistée par PAC

2. Géothermie profonde / basse énergie (< 3000 m)

- < 80°C
- chauffage urbain

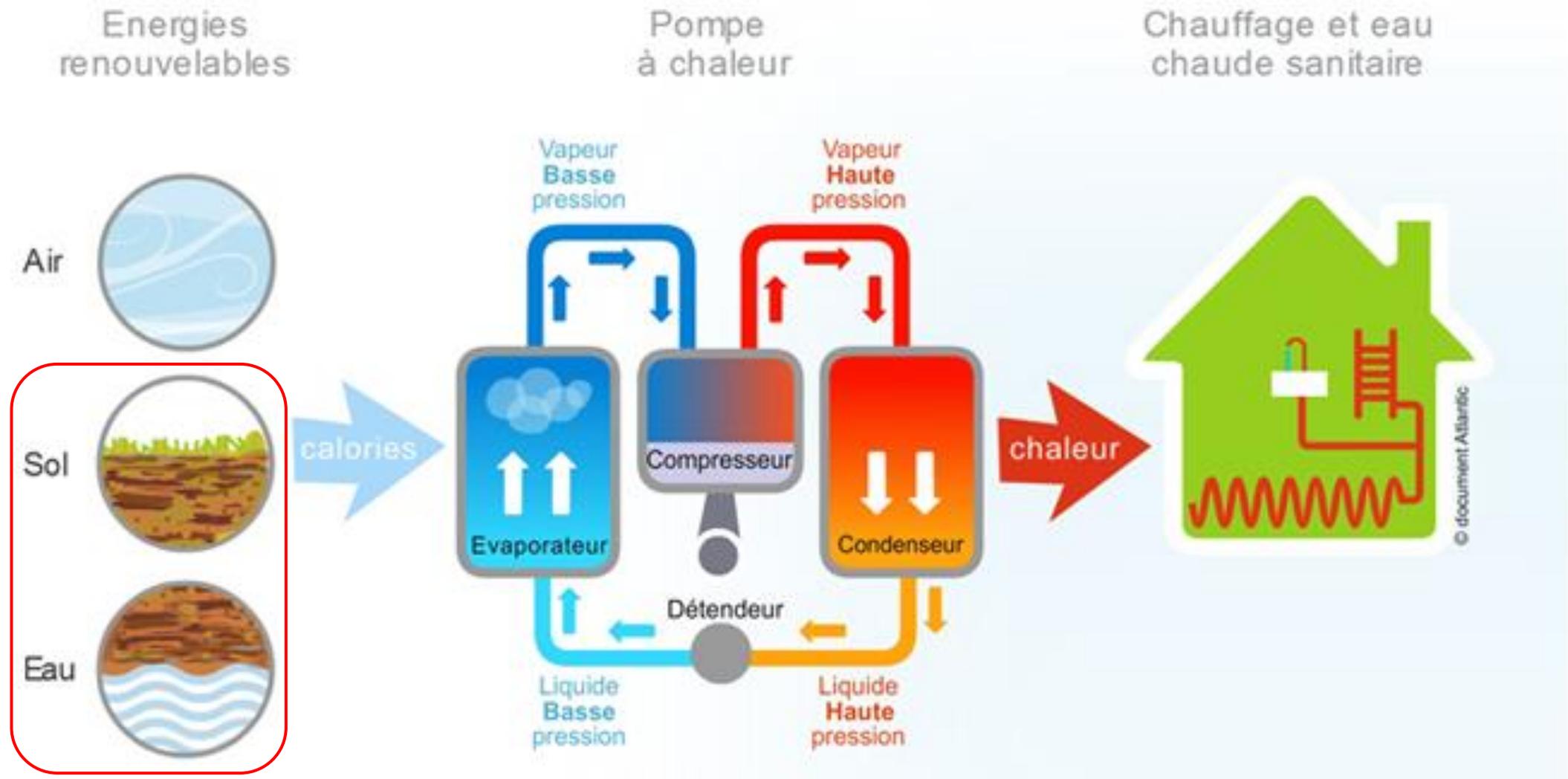
3. Géothermie profonde / haute énergie (> 3000 m)

- > 80°C
- chauffage urbain
- production électrique

LA POMPE A CHALEUR GEOTHERMIQUE



Principe



LA POMPE A CHALEUR GEOTHERMIQUE

Coefficient de performance saisonnier

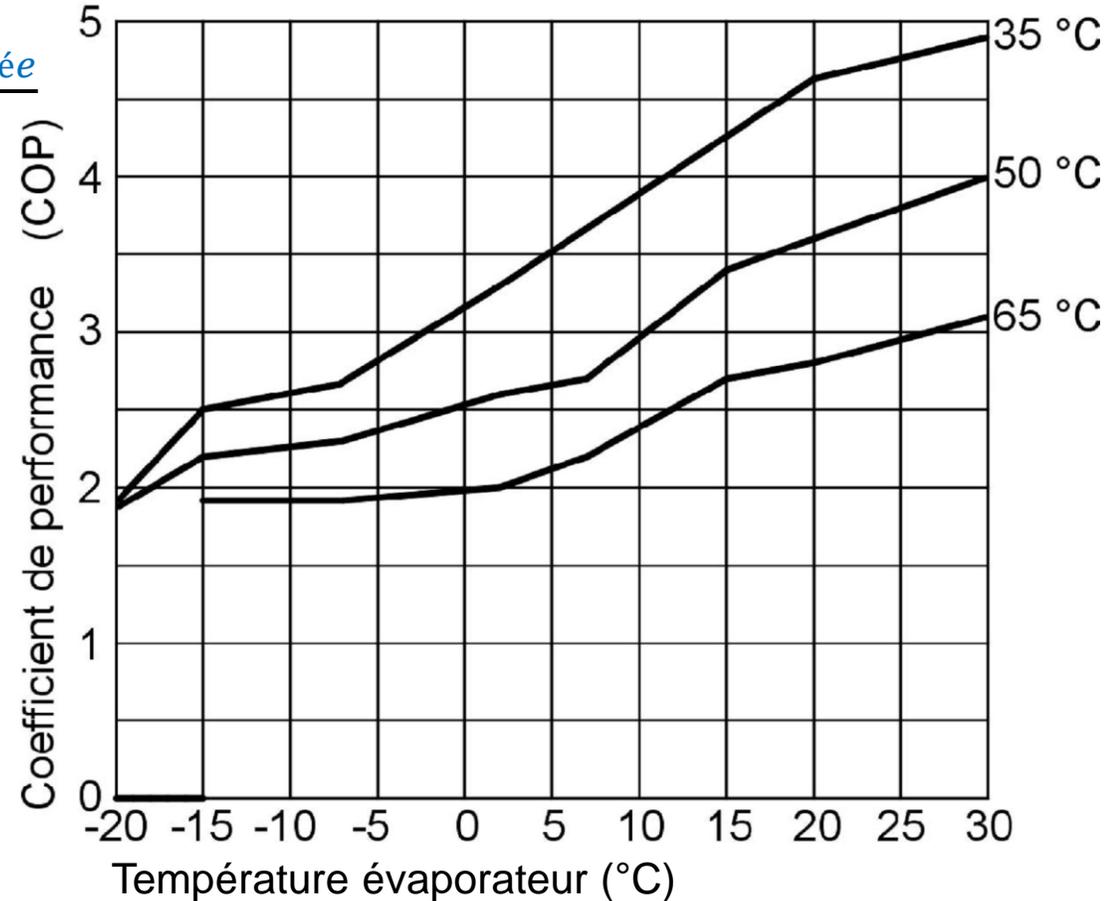
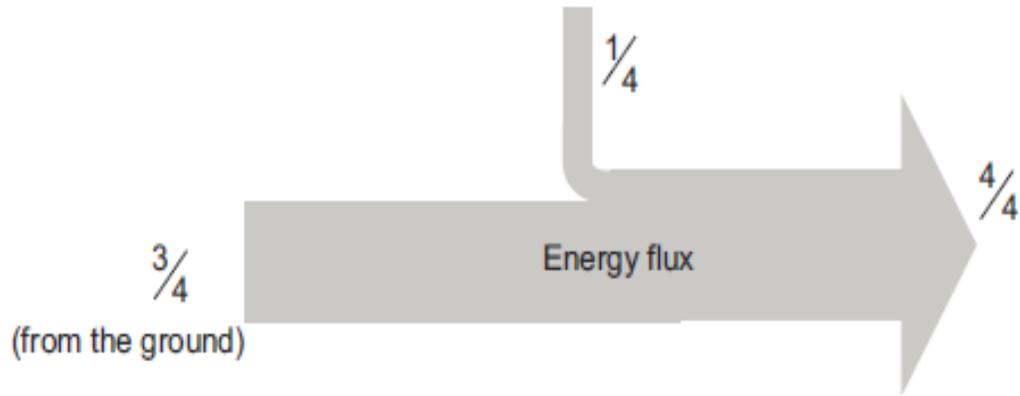


Température condenseur

$$sCOP = \frac{P_{\text{calorifique restituée}}}{P_{\text{électrique}}} \quad sEER = \frac{P_{\text{frigorigique restituée}}}{P_{\text{électrique}}}$$

Ex : sCOP = 4

External power (electricity)



Coefficient saisonnier sCOP

Valeurs typiques :

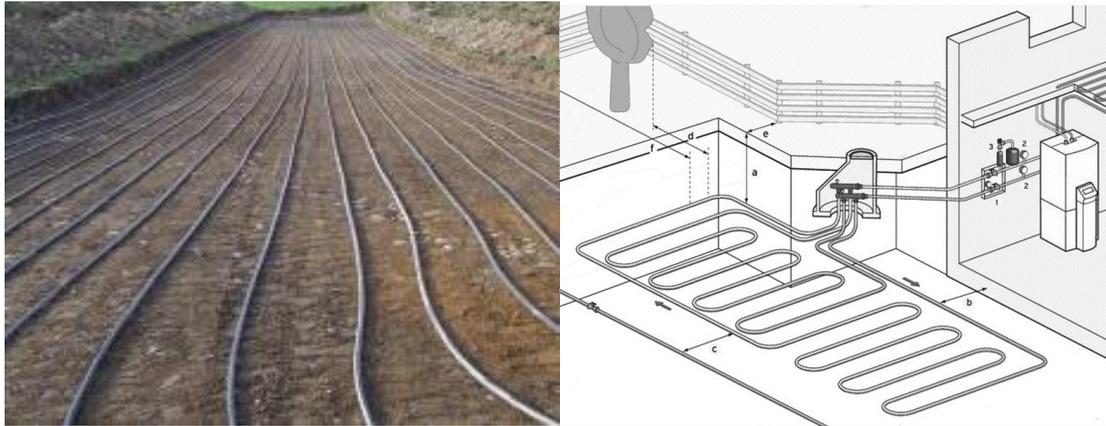
- PAC air/eau (aérothermique) = +/- 2,5
- PAC eau/eau (sonde) = +/- 4
- PAC eau/eau (nappe) = +/- 4,5

LES SOLUTIONS

Géothermie de surface (échangeurs superficiels)



Géothermie sur
échangeurs horizontaux
(prof. 1 m)



Source / Bron : <http://www.af-sa.ch/>

Géothermie **compacte** sur
corbeilles
(prof. 3 - 5 m)



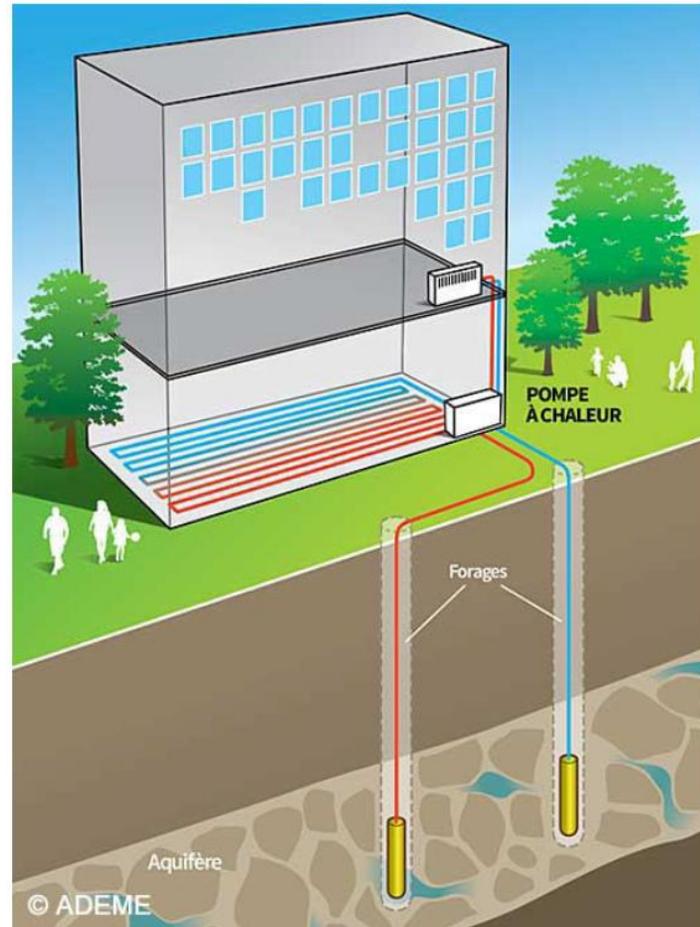
Source / Bron : Vaillant

LES SOLUTIONS

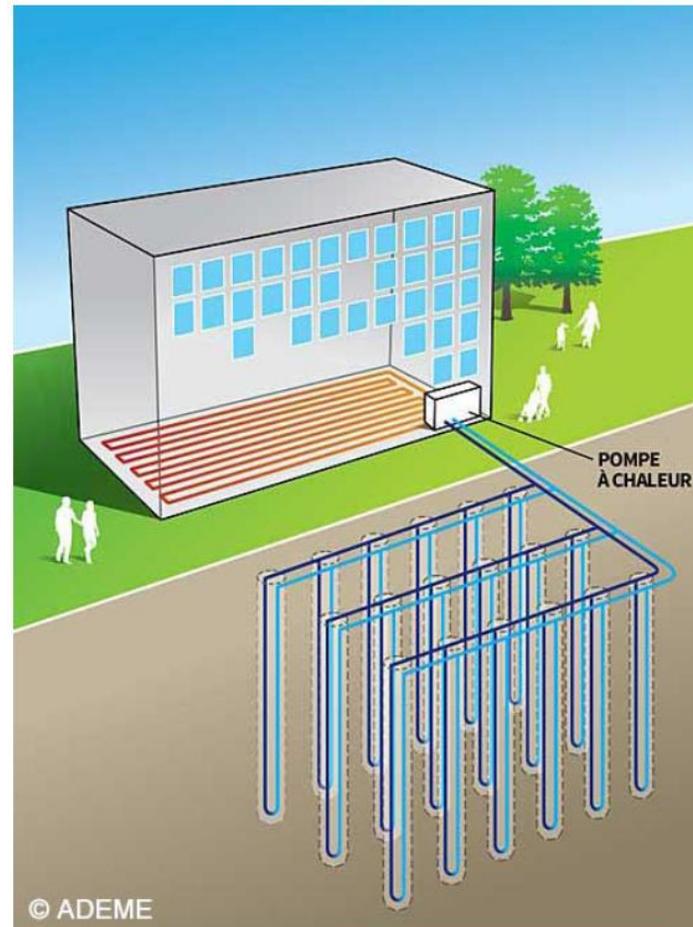
Géothermie de surface (échangeurs verticaux)



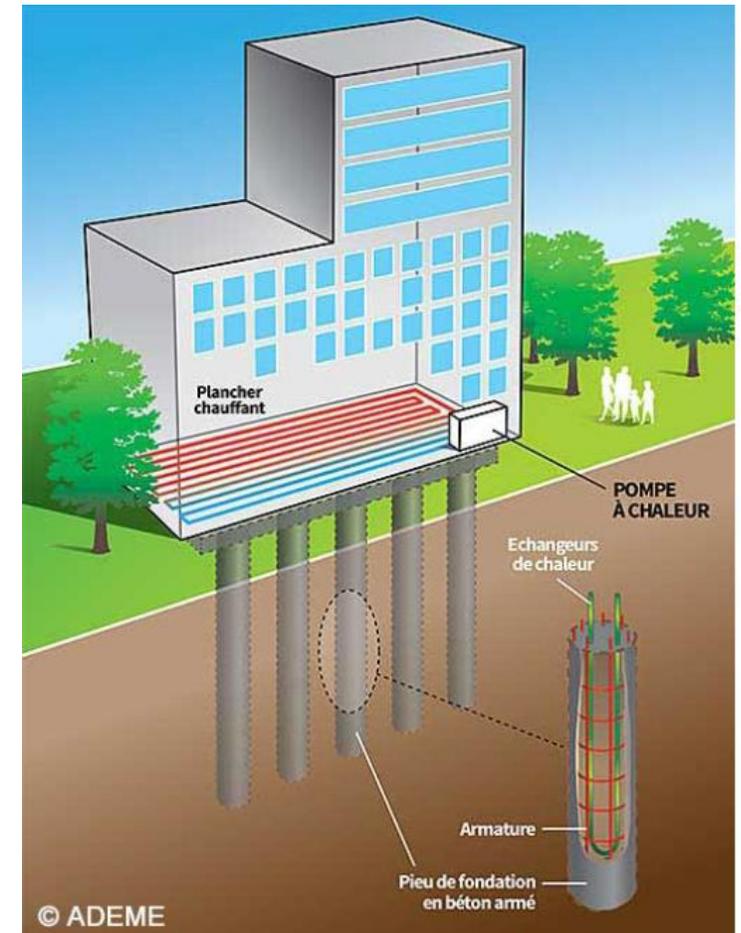
Géothermie sur **nappe**
(prof.10 - 200 m)



Géothermie sur **sondes**
(prof.100 - 200 m)



Géothermie sur **géostructures**
(prof.10 - 30 m)

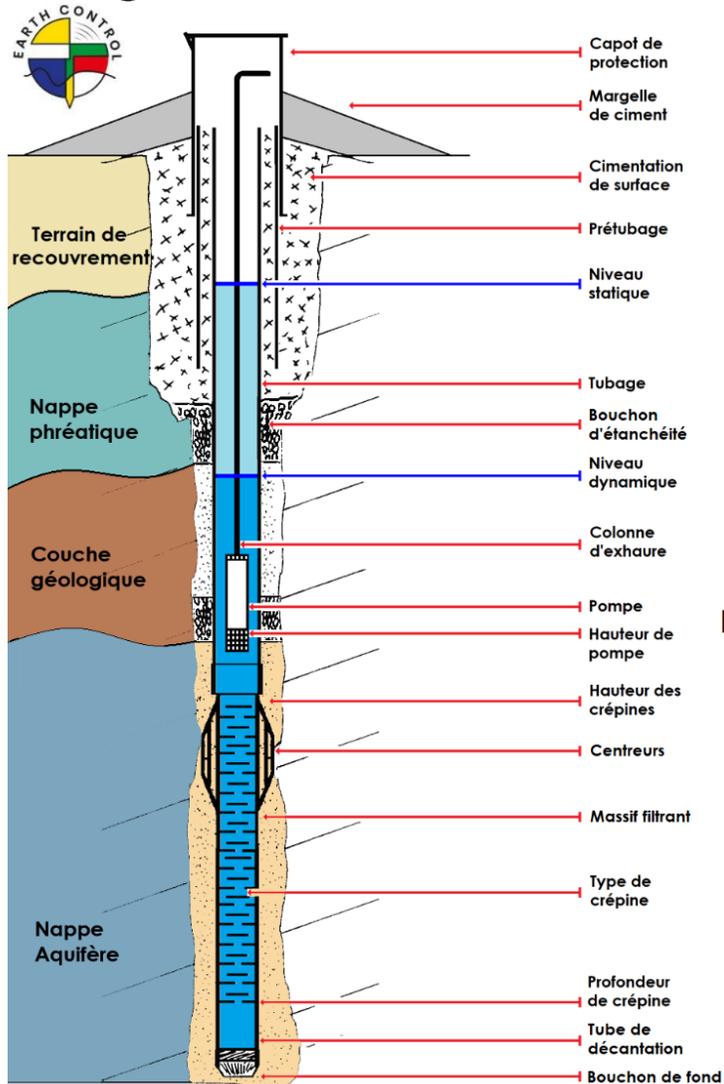


LES SOLUTIONS

Géothermie de surface sur nappe

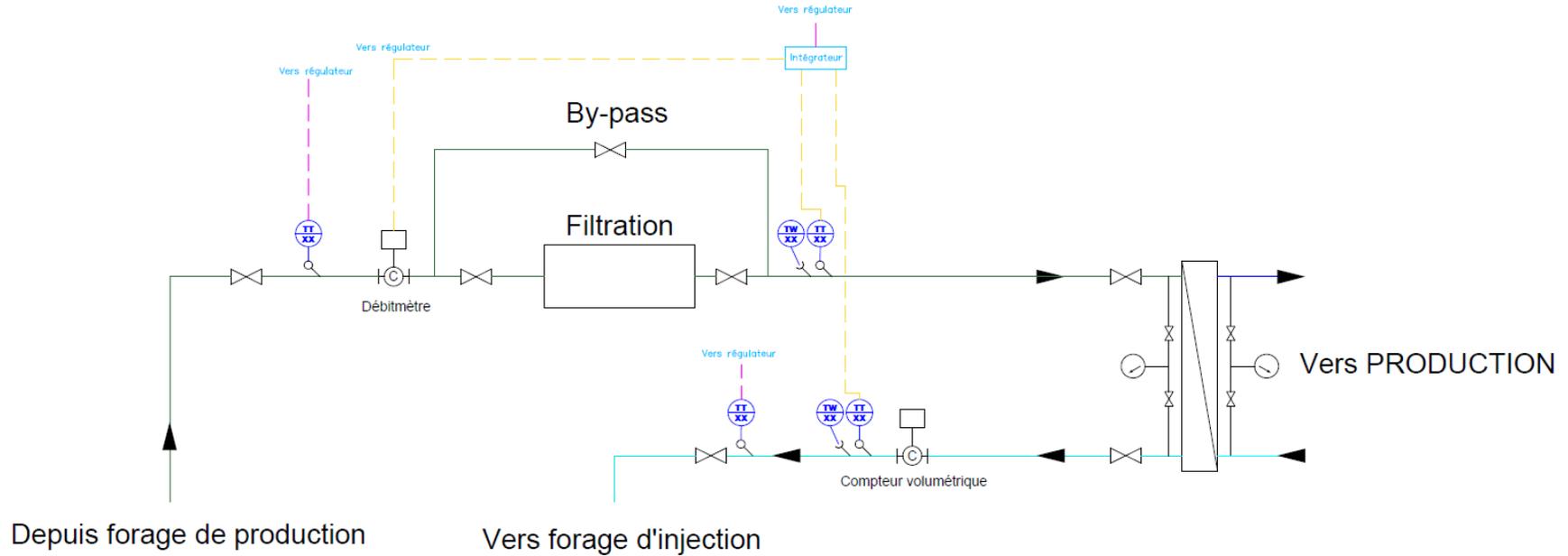


Forage



Coupe d'un forage et désignations

Schéma hydraulique du circuit primaire



- Sonde de température
- Doigt de Gant
- Vanne d'isolement
- Vanne de réglage
- Vanne 2 voies motorisée
- Vanne 3 voies motorisée
- Manomètre
- Filtre
- Clapet anti-retour
- Soupape de sécurité
- Débitmètre
- Pompe de circulation

LES SOLUTIONS

Géothermie de surface sur **nappe**



Forage du puits de production



**Puits de production /
Tampon carrossable ou surélevé**



**Puits de production /
Bride étanche d'une tête de forage**

LES SOLUTIONS

Géothermie de surface sur **nappe**



Filtre cyclonique et tamis (50 m³/h)



Echangeur à plaques géothermique



Pompe à chaleur eau/eau de 250 kW

LES SOLUTIONS

Géothermie de surface sur sondes



Forage

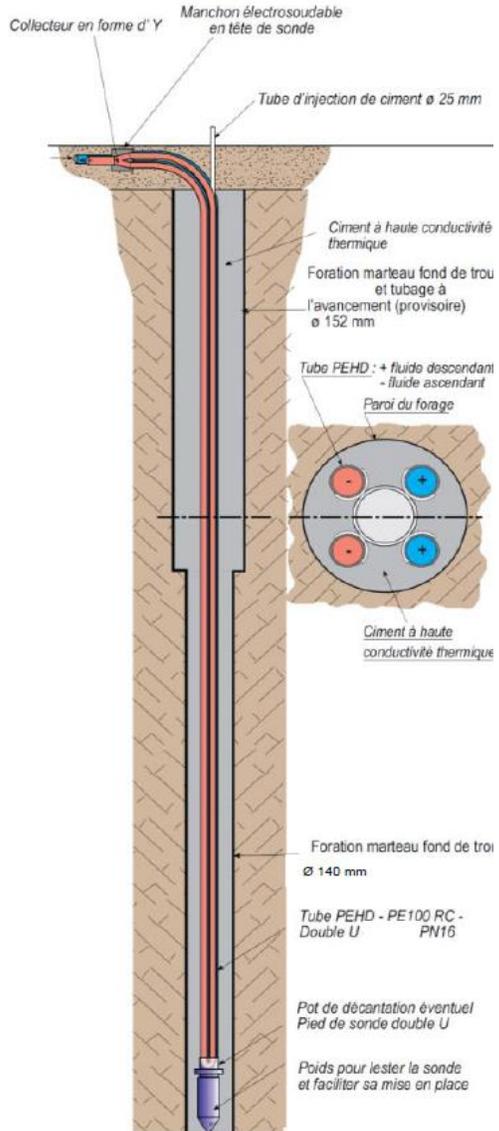
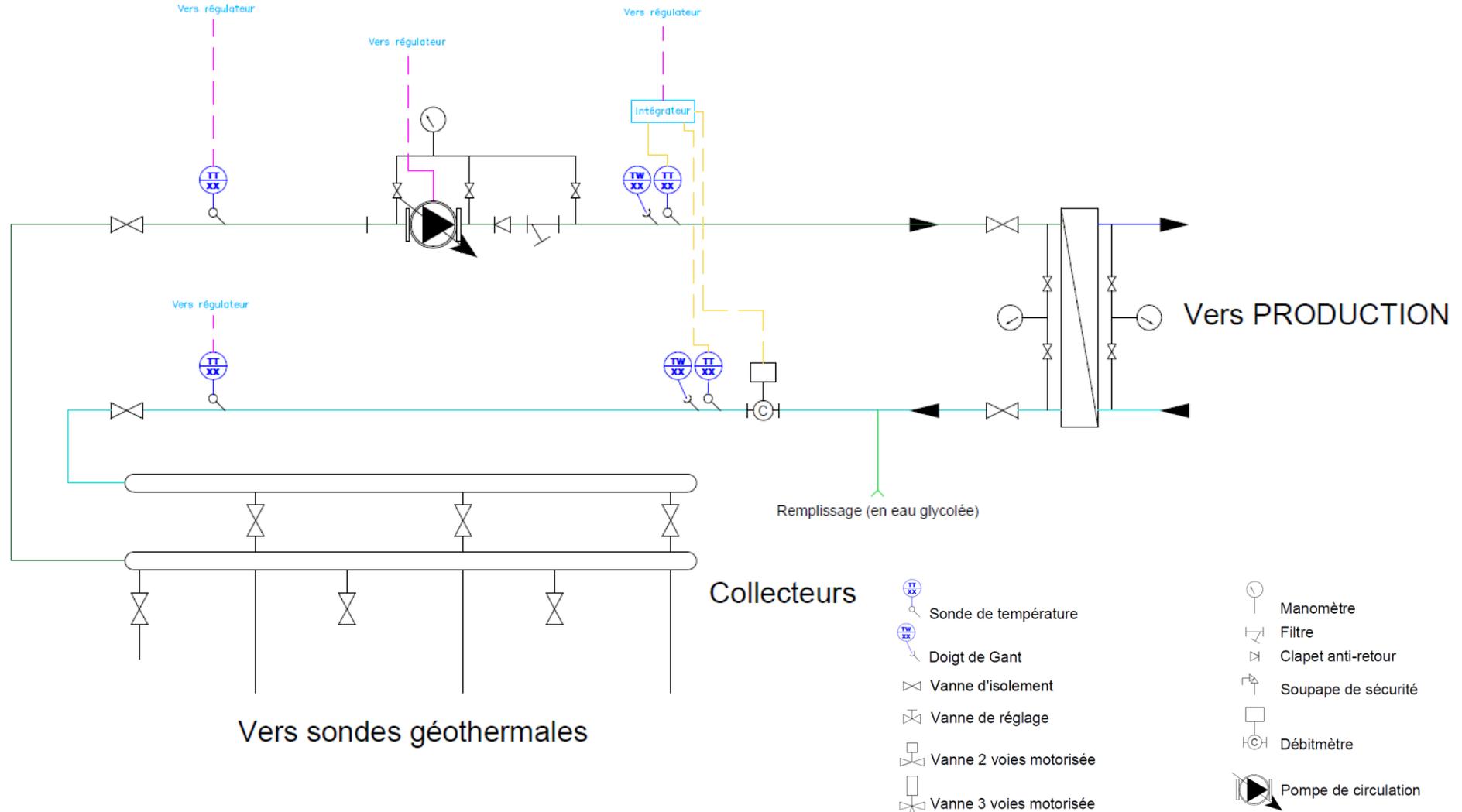


Schéma hydraulique du circuit primaire



LES SOLUTIONS

Géothermie de surface sur sondes



Forage & installation sonde PEHD



Réseau hydraulique horizontal



Collecteur / 14 sondes parallèles



2 Pompes à chaleur sol/eau 75 kW

LES SOLUTIONS

Géothermie de surface sur **géostructures**



Pieux 3 U



Pieux 6 U



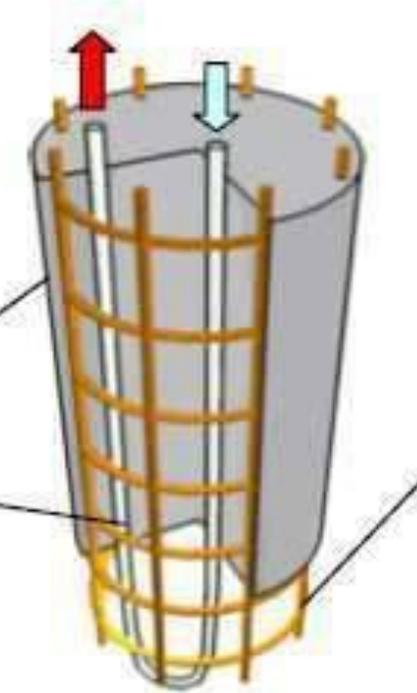
Return of the fluid

Inflow of the heat fluid

Concrete pile

Polyethylene tube

Reinforcing cage

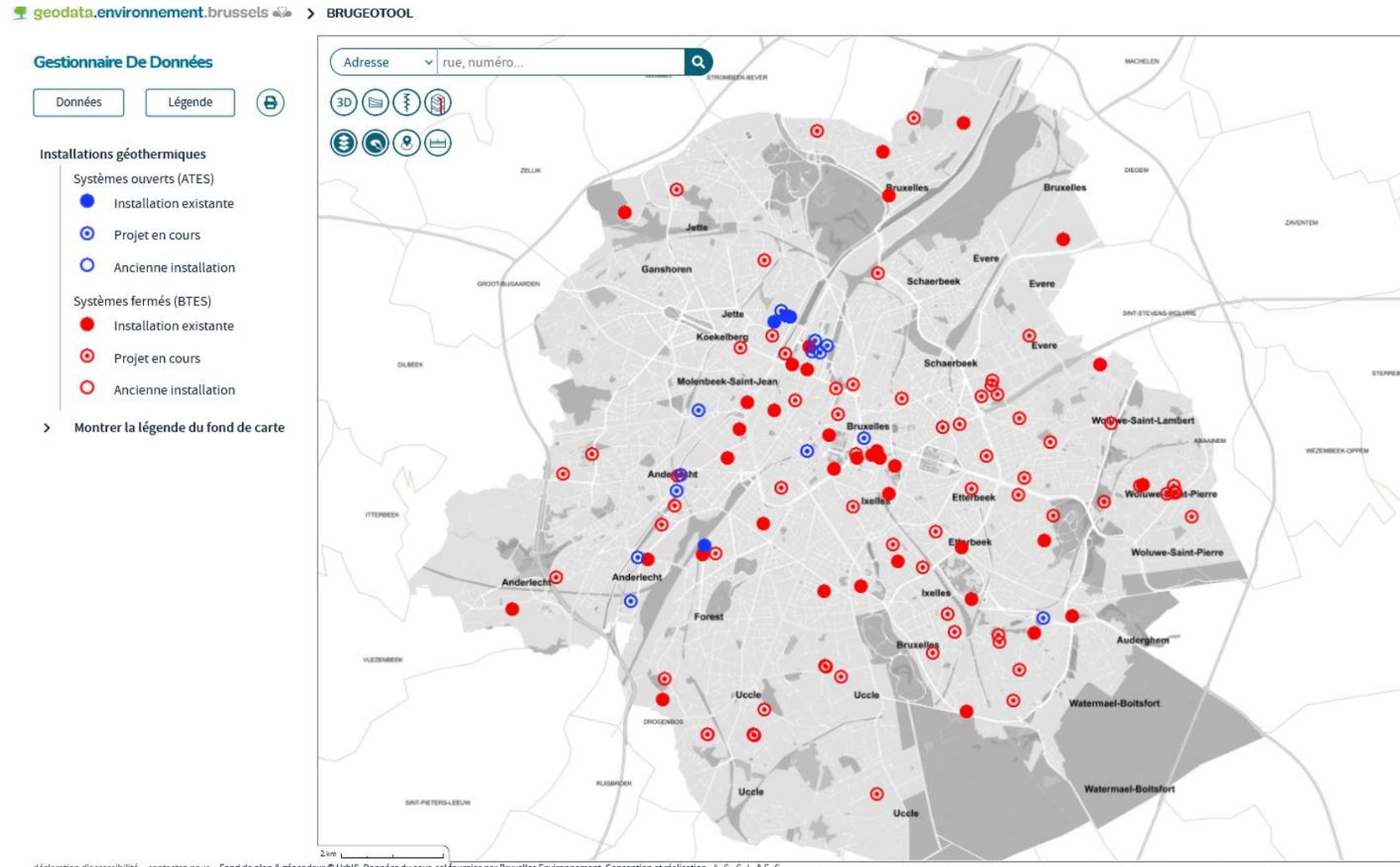


MAPPING DES INSTALLATIONS BRUXELLOISES



Parc d'installations géothermiques bruxellois au 01/11/2023

- **17** systèmes ouverts : 4 autorisés + 13 en instruction PE (+ d'autres en avant-projet)
- **103** systèmes fermés : 36 autorisés + 67 en instruction PE (+ d'autres en avant-projet)



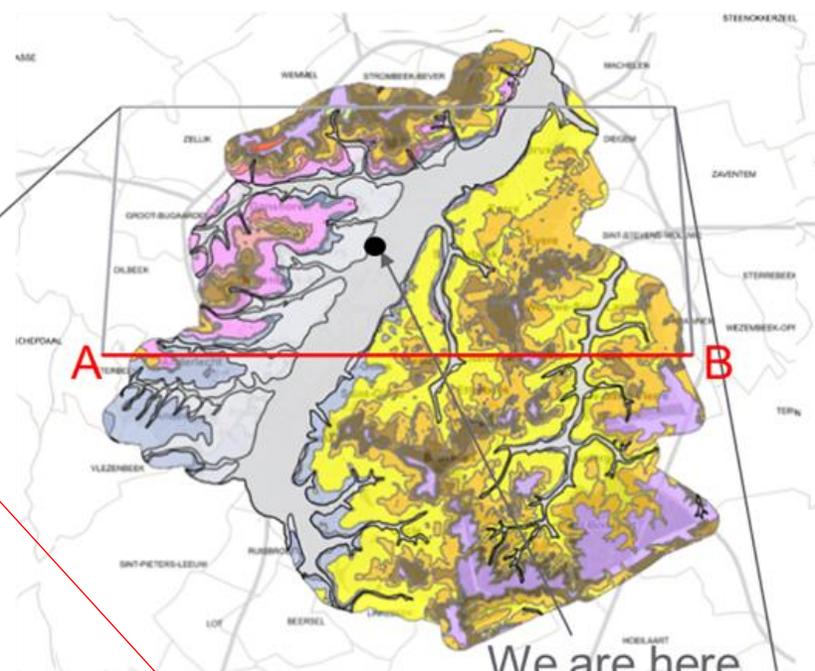
LE SOUS-SOL BRUXELLOIS

Géologie & Hydrogéologie

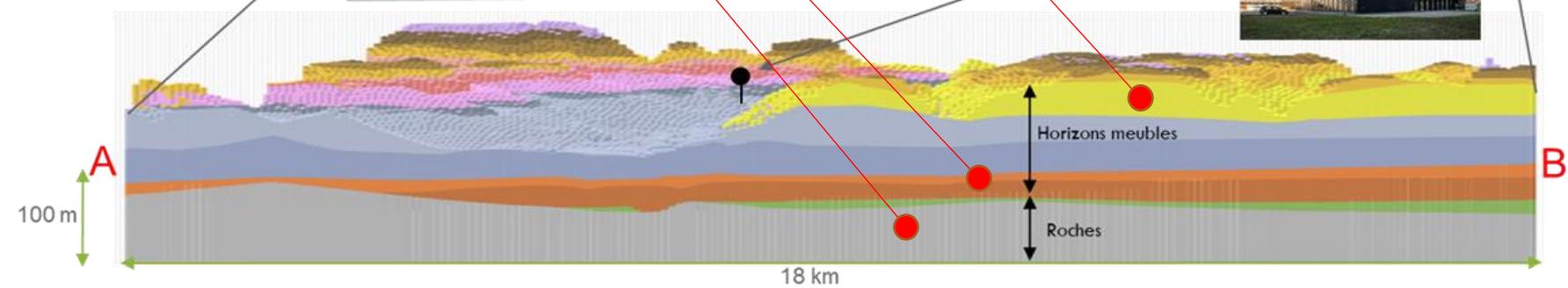


Ere	Seria	Stratigraphy	Lithology	Hydrogeology
IV	Pleistocene	US/RBC_13 Argiles alluviales		AQUICLUDE
	Upper Miocene	US/RBC_14 Limons, sables et graviers alluviaux		ALLUVIAL AQUIFER
III	Lower Miocene	US/RBC_21 Sables de Diest		PERCHED AQUIFER SYSTEM
	Upper Eocene	US/RBC_22 Sables de Bolderberg		
	Middel Eocene	US/RBC_23 Sables et argiles de Sint-Huilbrechts-Hern		PHREATIC TO SEMI-CONFINED
		US/RBC_25 Sables de Maldegem (membre de Onderdale)		
		US/RBC_31 Argiles de Maldegem (membre de Ursel et Asse)		
		US/RBC_41 Sables de Maldegem (membre de Wemmel)		
		US/RBC_42 Sables de Lede		
		US/RBC_43 Sables de Bruxelles		
	Lower Eocene	US/RBC_44 Sables de Gent (membre de Vlierzele)		CONFINED
		US/RBC_51 Argiles de Gent (membre de Merelbeke)		
US/RBC_61 Sables et argiles de Tielt				
US/RBC_71 Argiles de Kortrijk (membre d'Aalbeke)				
US/RBC_72 Sables et argiles de Kortrijk (membre de Moen)				
US/RBC_73 Argiles de Kortrijk (membre de Saint Maur)				
US/RBC_81 Sables de Hannut (Membre de Grandglise)				
US/RBC_82 Argiles de Hannut (Membre de Lincet)				
II	Upper Paleocene	US/RBC_81 Sables de Hannut (Membre de Grandglise) US/RBC_82 Argiles de Hannut (Membre de Lincet)	CONFINED	
	Upper Cretaceous	US/RBC_91 Craies de Gulpen		
I	Lower Cambrian	US/RBC_92 Socle Paléozoïque	PALEOZOIC AQUIFER	

Source :
Bruxelles
Environnement



We are here

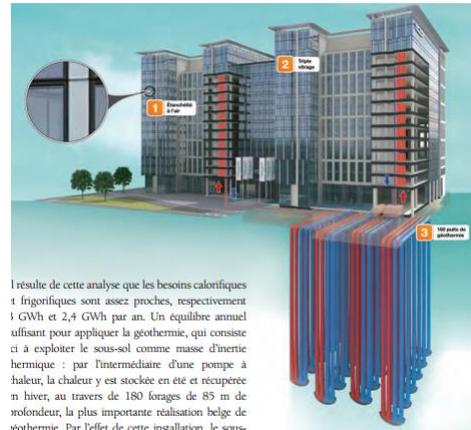


EXEMPLES

Grandes installations existantes



Hôpital Chirec - Delta
Géothermie sur sondes
176 sondes – Prof. 90 m



Le résultat de cette analyse est que les besoins calorifiques des bâtiments sont assez proches, respectivement 1,1 GWh et 2,4 GWh par an. Un équilibre annuel permet d'appliquer la géothermie, qui consiste ici à exploiter le sous-sol comme masse d'inertie thermique : par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur, la chaleur est stockée en été et récupérée en hiver, au travers de 180 forages de 85 m de profondeur, la plus importante réalisation belge de géothermie. Par l'effet de cette installation, le sous-

Tour Engie - Gare du Nord
Géothermie sur sondes
180 sondes – Prof. 85 m



Wilfried Martens - Rue Belliard
Géothermie sur sondes
33 sondes – Prof. 240 m



Bruxelles Environnement - T&T
Géothermie sur nappe
4 doublets – Prof. 80 m



Herman Terlinck - T&T
Géothermie sur nappe
4 doublets – Prof. 80 m



Gare Maritime - T&T
Géothermie sur nappe
5 doublets – Prof. 150 m

REGLEMENTATION BRUXELLOISE

Permis d'environnement



Classes de permis d'environnement selon le type de captage d'eau souterraine					
n° rubrique (liste des installations classées)	Types de captage d'eau souterraine	Classe de permis d'environnement *			
		IC	ID	2	IB
62.3	Captages permanents d'eau souterraine (autres que rabattements, pompages d'essai ou géothermie)				
	- débit $\leq 500 \text{ m}^3/\text{an}$	X			
	- $500 \text{ m}^3/\text{an} < \text{débit} \leq 30.000 \text{ m}^3/\text{an}$			X	
	- $30.000 \text{ m}^3/\text{an} < \text{débit} \leq 20.000 \text{ m}^3/\text{jour}$				X
62.1	Rabattements de nappe d'eau souterraine (captages temporaires réalisés dans le cadre de travaux publics ou privés de construction ou de génie civil)				
	- hors site Natura 2000	X			
	- en site Natura 2000		X		
62.2	Pompages d'essai (captages temporaires réalisés en vue de déterminer les caractéristiques de la nappe aquifère sollicitée)				
	- hors site Natura 2000	X			
	- en site Natura 2000		X		
62.4	Installations géothermiques				
	- Systèmes fermés (sondes géothermiques)	X			
	- Systèmes ouverts				X
62.5	Recharge artificielle Installations ou dispositifs $\leq 20.000 \text{ m}^3/\text{jour}$				X

* au sens de l'ordonnance du 5 juin 1997 relative au permis d'environnement
6 classes d'installations classées sont définies selon l'importance de l'impact sur l'environnement et le voisinage, avec par ordre croissant d'importance : 3, IC, ID, 2, IB, IA.

geodata.environnement.brussels > BRUGETOOL

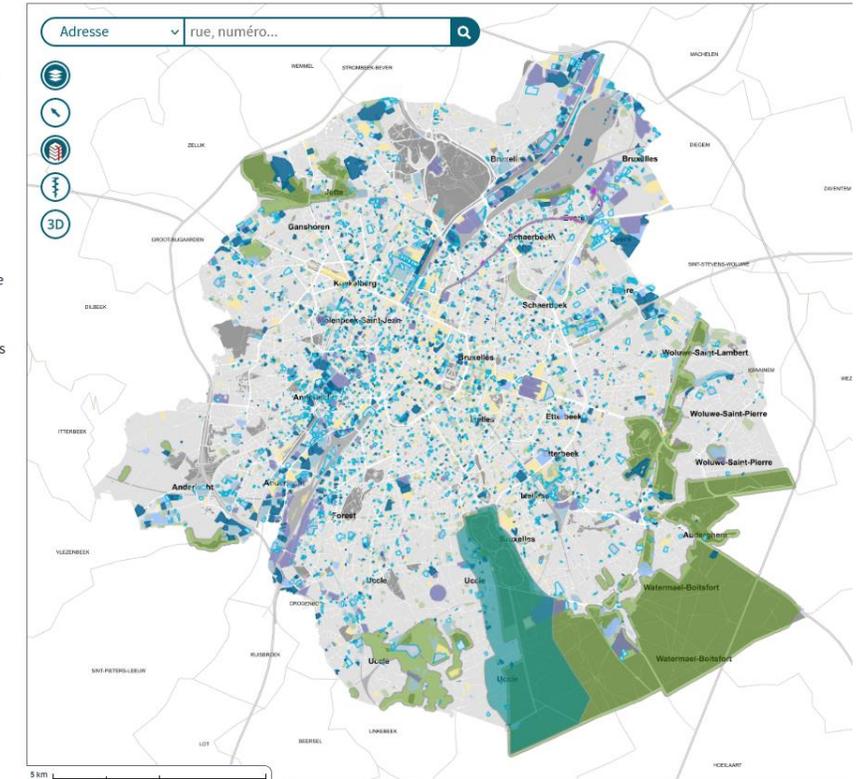
Gestionnaire De Données

Données Légende

Données environnementales

- Zone de protection de captage d'eau souterraine pour l'eau potable
- Zone de contrainte du tracé métro Nord
- Inventaire de l'état du sol - Version publique
 - Parcelle potentiellement polluée (Catégorie 0)
 - Parcelle non polluée (Catégorie 1)
 - Parcelle légèrement polluée sans risque (Catégorie 2)
 - Parcelle polluée sans risque (Catégorie 3)
 - Parcelle polluée en cours d'étude ou de traitement (Catégorie 4)
- Parcelle en catégorie 0+1
- Parcelle en catégorie 0+2
- Parcelle en catégorie 0+3
- Parcelle en catégorie 0+4
- Zone d'incidences sur Natura 2000 et réserves (60m)

Montrer la légende du fond de carte

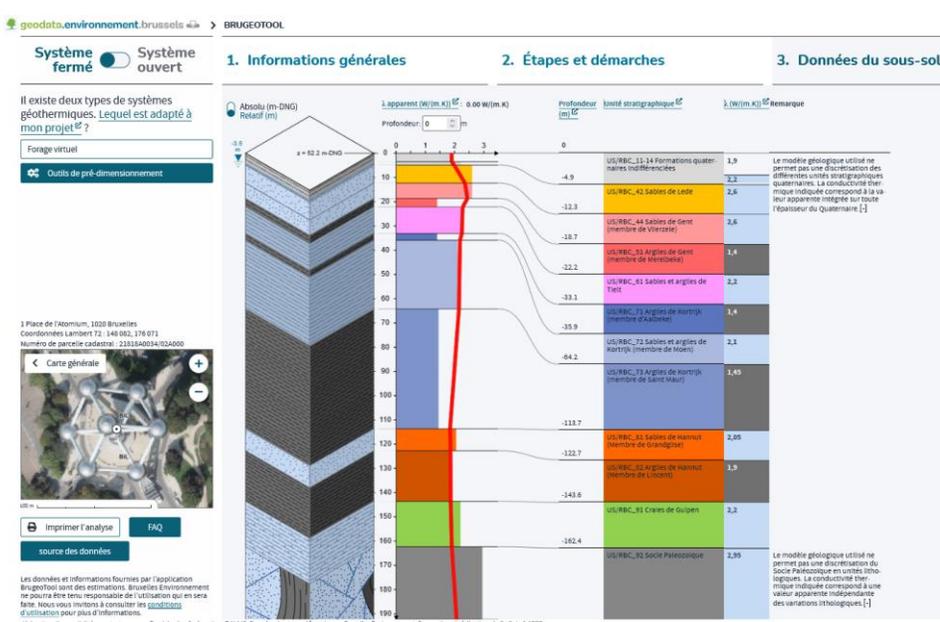
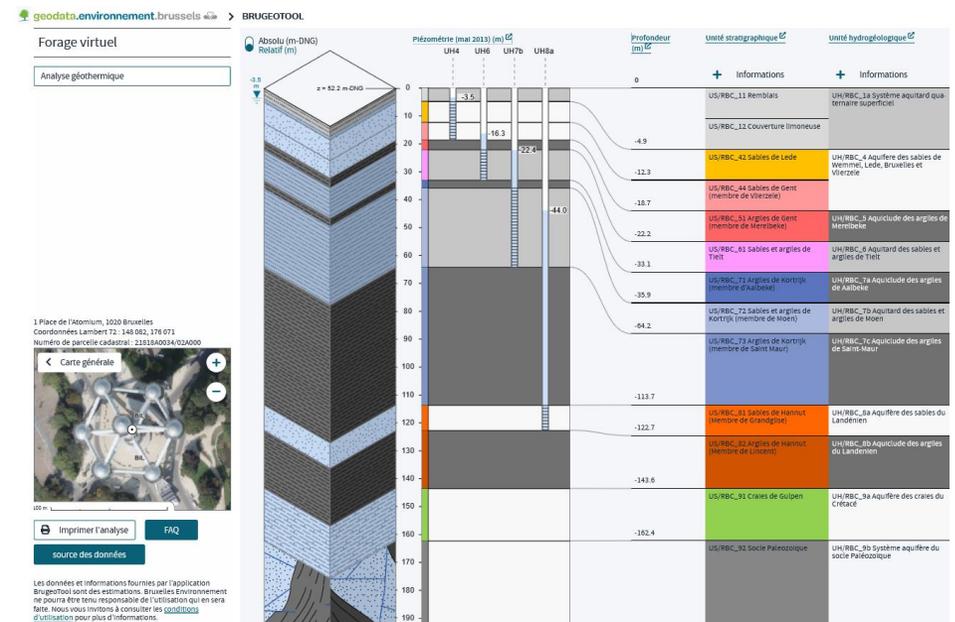
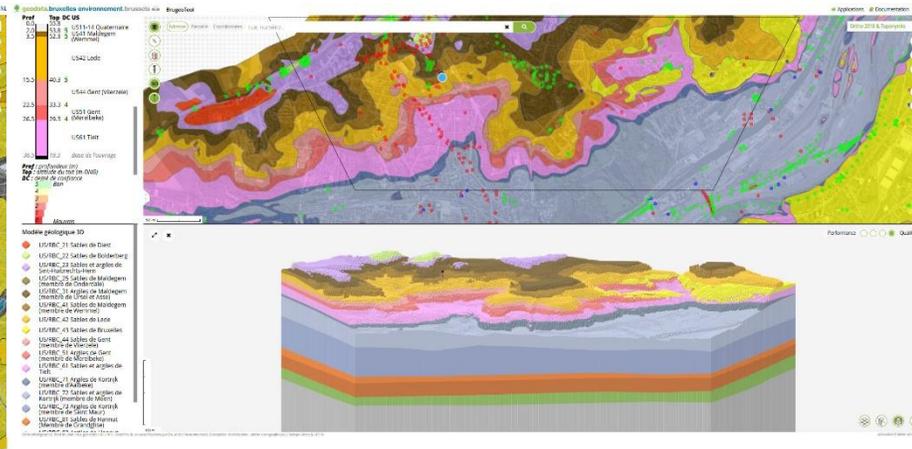
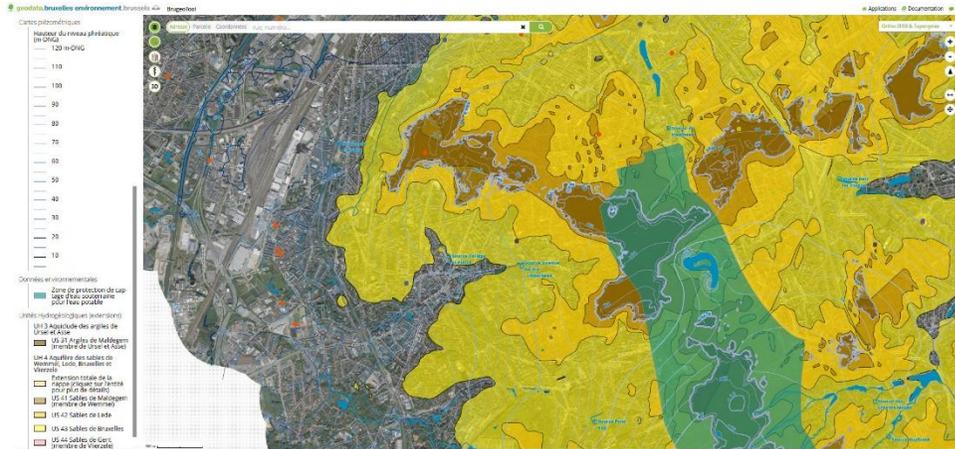


déclaration d'accessibilité contactez-nous Fond de plan & géocodeur © Urbis. Données du sous-sol fournies par Bruxelles Environnement. Conception et réalisation : A.-C., C.-L. & APERE

- Zone de protection captage = interdiction
- Zone d'exclusion métro Nord = interdiction
- Pollutions de sol = conditions PE
- Natura 2000 = conditions PE
- Prescriptions imposées
Ex : T° réinjection
0 – 25°C (système fermé)
4 – 25°C (système ouvert)

BRUGEOTOOL

L'application "sous-sol et géothermie" de la région de Bruxelles-Capitale



-> Accès à BrugeoTool!

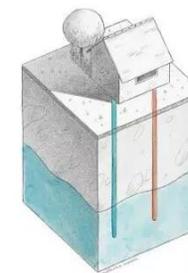
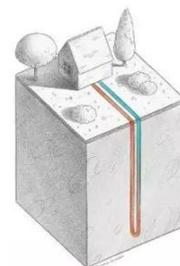
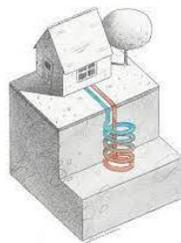
WEB ACCESS



Atelier : synthèse comparative des solutions de géothermie

SYNTHESE COMPARATIVE

Choix de la solution



Puissance

Range 1 – 50 kW
1 kW / corbeille

Range 5 – 500 kW
5 à 8 kW / sonde 150 m

Range 100 – 1000+ kW
50 à 1000 kW / doublet

Efficacité énergétique / coût exploitation

COP ≈ 3

COP ≈ 4

COP > 4

Investissement

2 - 3 k€/kW

2 - 3 k€/kW

2 - 3 k€/kW

Faisabilité technique



Étude sol
& thermique « Simple »



Étude hydrogéol.
& thermique « Simple »



Étude hydrogéol.
& thermique « détaillée »

Contraintes de maintenance



Facility management
nécessaire / monitoring puits

Foncier nécessaire

20 m² / corbeille

100 m² / sonde
(ajustable jusqu'à 25 m²)

Dépend contexte
hydrogéologique

Contraintes réglementaires



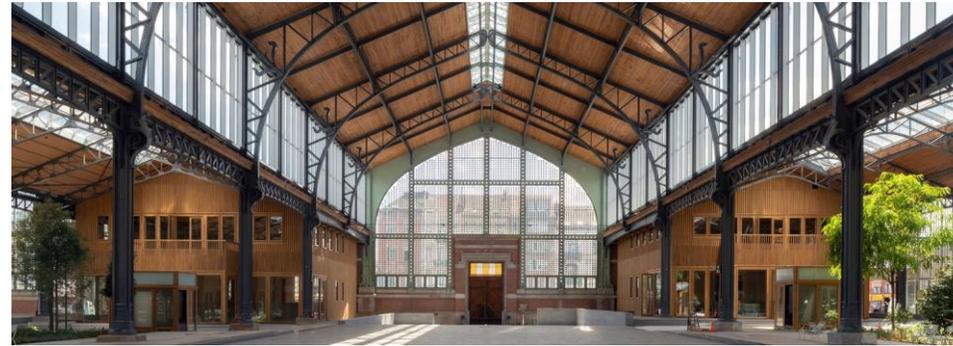
* Les chiffres repris sont des ordres de grandeurs utiles en 1ere approche. Ils doivent être vérifiés en fonction des contraintes du projet au travers d'une étude de (pré)faisabilité ad-hoc

SYNTHESE COMPARATIVE

Bilan environnemental et économique

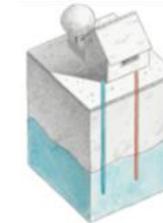
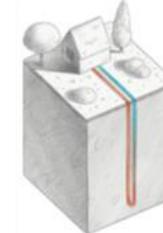
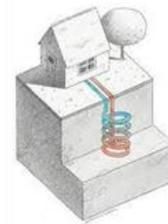


Ex1 : Bâtiment tertiaire neuf 50000 m² / PAC 400 kW



a. Chauffage	b. Refroid.	unit
750.000	750.000	[kWh/an]
15,00	15,00	[kWh/m ² /an]

Scénarii ->	S0 ref : Gaz + groupe froid	S1 : aérothermie	S2 : géothermie corbeilles	S3 : géothermie sondes	S4 : géothermie nappe
Chaud	GAZ Chaudière	PAC air/eau	PAC air/eau	PAC sol/eau	PAC eau/eau
Froid	Groupe de froid	PAC air/eau	PAC air/eau	PAC sol/eau + geocooling 20%	PAC eau/eau + geocooling 30%



CET EXERCICE A POUR BUT DE DEGAGER DES ORDRES DE GRANDEUR !

- **Valeurs dépendantes de** : balance chaud/froid, puissance, profondeur captages géothermiques, coût énergie (ref. nov 2022),...
- **Source des hypothèses** : CREG, Bruxelles Environnement, Deplace/Cenergie (facilitateurs), ADEME (FR), AFPG (FR), ...

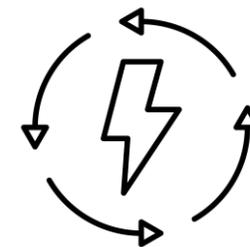
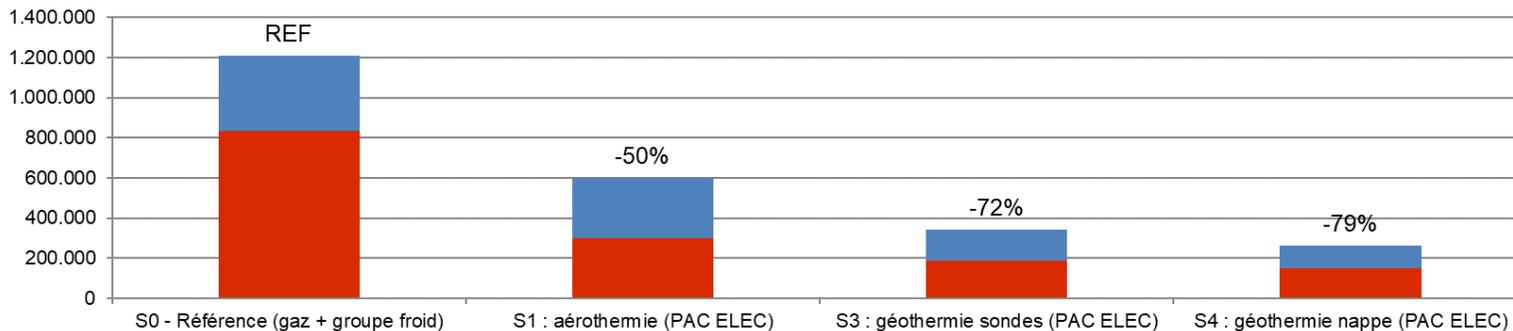
* Les chiffres repris sont des ordres de grandeurs utiles en 1ere approche. Ils doivent être vérifiés en fonction des contraintes du projet au travers d'une étude de (pré)faisabilité ad-hoc

SYNTHESE COMPARATIVE

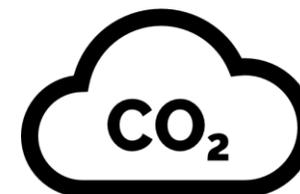
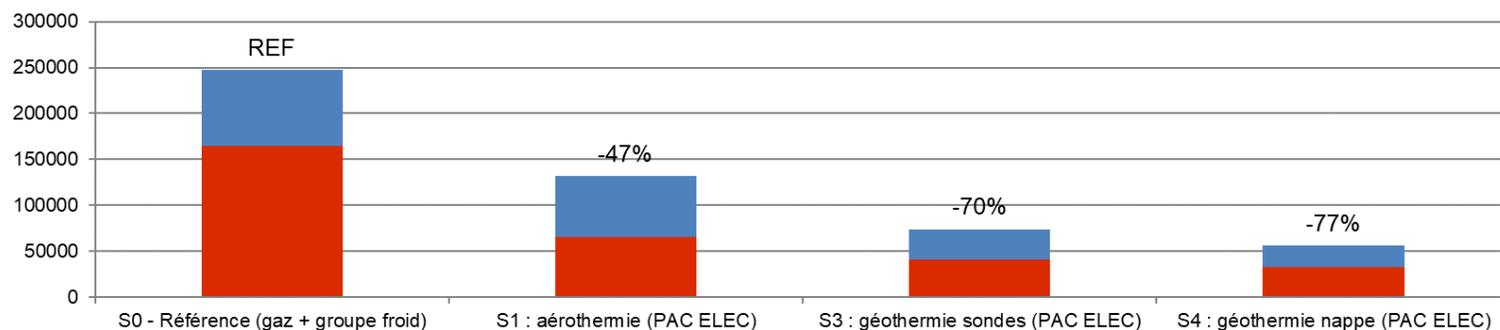
Bilan environnemental et économique



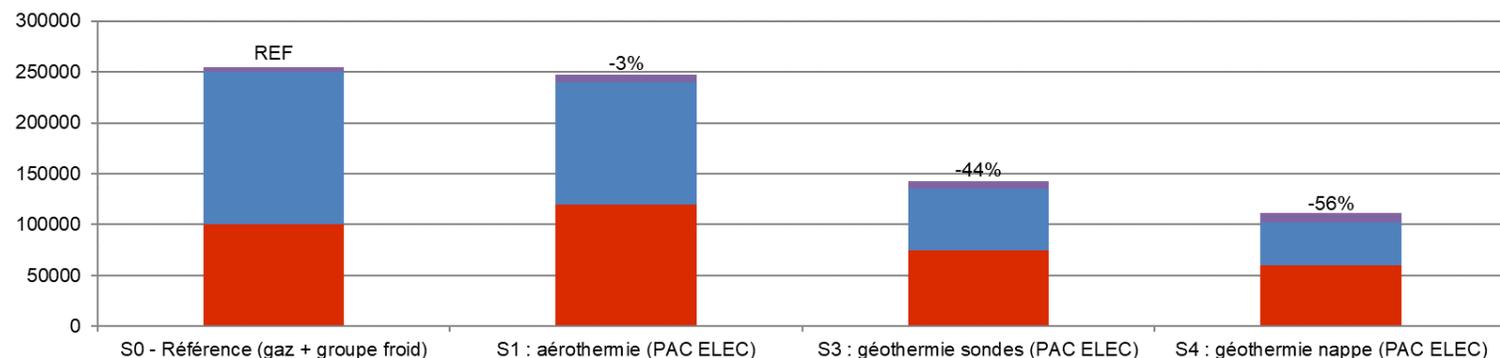
- Maintenance
- c. ECS
- b. Refroidissement
- a. Chauffage



**Conso
Energie finale**



CO₂



**Coûts de
fonctionnement**



SYNTHESE COMPARATIVE

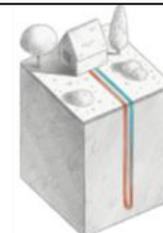
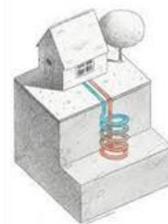
Bilan environnemental et économique

Ex2 : Maison unifamiliale rénovée 200 m² / PAC = 10 kW



a. Chauffage	b. Refroid.	unit
9.000	0	[kWh/an]
45,00	45,00	[kWh/m ² /an]

Scénarii ->	S0 ref : Gaz + groupe froid	S1 : aérothermie	S2 : géothermie corbeilles	S3 : géothermie sondes	S4 : géothermie nappe
Chaud	GAZ Chaudière	PAC air/eau	PAC sol/eau	PAC sol/eau	PAC eau/eau
Froid	Groupe de froid	PAC air/eau	PAC sol/eau	PAC sol/eau	PAC eau/eau



CET EXERCICE A POUR BUT DE DEGAGER DES ORDRES DE GRANDEUR !

- **Valeurs dépendantes de** : balance chaud/froid, puissance, profondeur captages géothermiques, coût énergie (ref. nov 2022),...
- **Source des hypothèses** : CREG, Bruxelles Environnement, Deplace/Cenergie (facilitateurs), ADEME (FR), AFPG (FR), ...

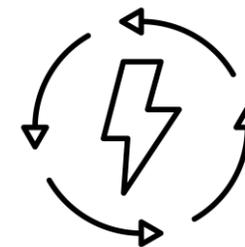
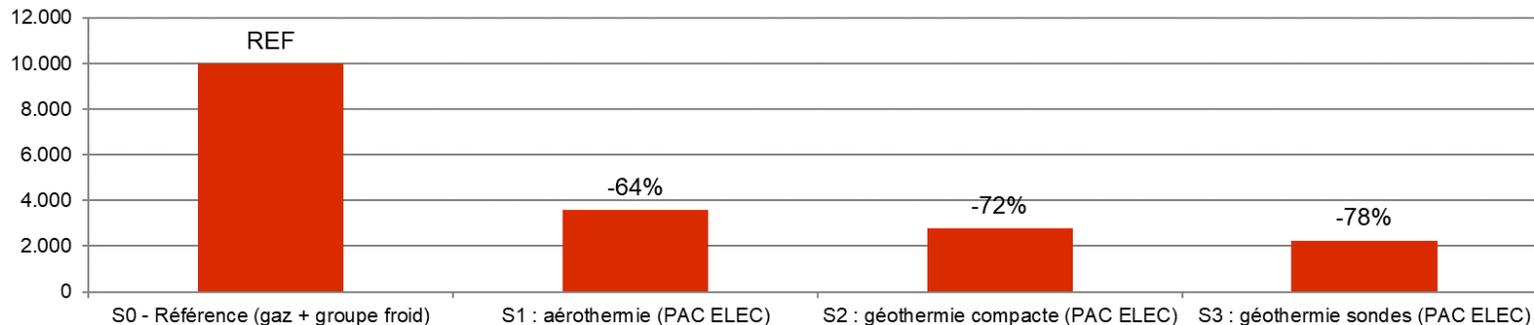
* Les chiffres repris sont des ordres de grandeurs utiles en 1ere approche. Ils doivent être vérifiés en fonction des contraintes du projet au travers d'une étude de (pré)faisabilité ad-hoc

SYNTHESE COMPARATIVE

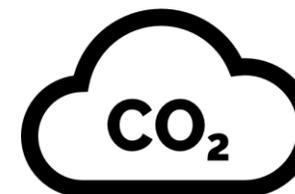
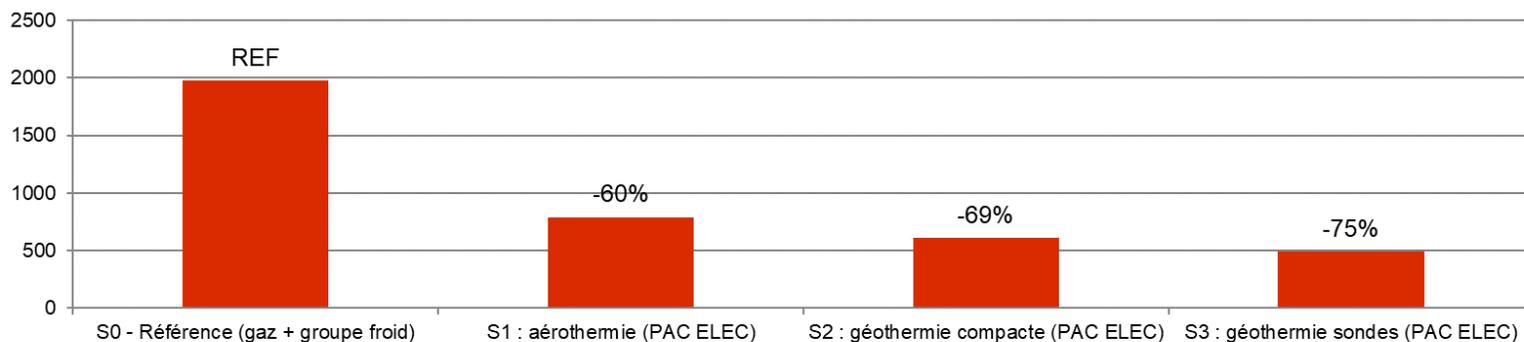
Bilan environnemental et économique



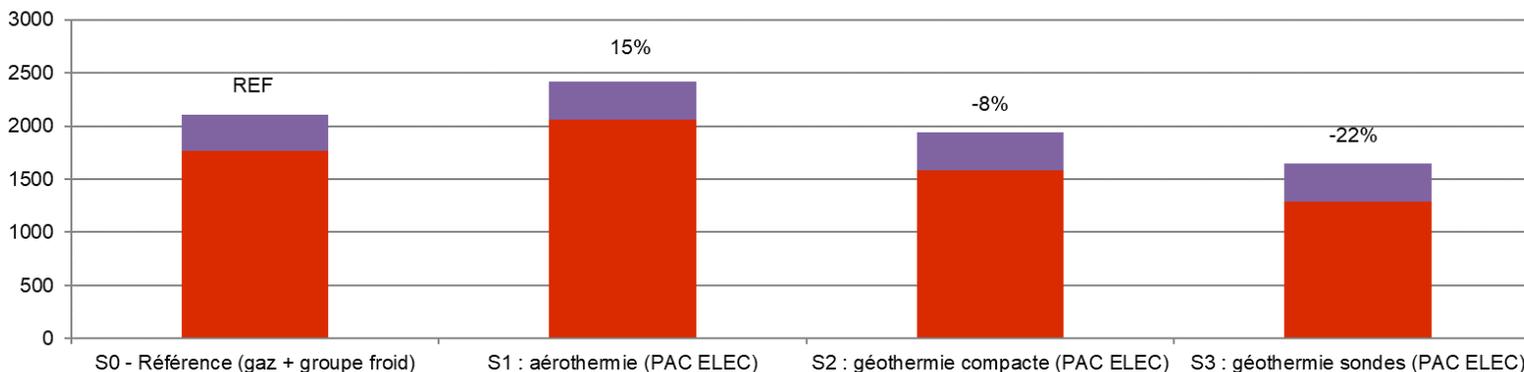
- Maintenance
- c. ECS
- b. Refroidissement
- a. Chauffage



**Conso
Energie finale**



CO2



**Coûts de
fonctionnement**



Conclusion



Formation

- [Bâtiment durable « Pompe à chaleur : choix et conception » \(2 journées\)](#)

BrugeoTool

- [Lien Internet](#)

Sites internet

- <https://environnement.brussels/thematiques/geologie-et-hydrogeologie/geothermie>
- www.geothermie.brussels
- www.smartgeotherm.be
- www.energieplus-lesite.be

Ouvrage

- [CSTC – Note technique d’information \(NIT\) 259 - Géothermie peu profonde, Conception et mise en œuvre de systèmes avec échangeurs en forme de UFormation](#)



Merci ! Hartelijk dank!

Plus d'informations sur renolution.brussels / Ga voor meer informatie naar renolution.brussels

Contact du pilote du WS / Pilot contact WS :

Gilles MAES

Camille BAUDINET

Mathieu AGNIEL

- gmaes@environnement.brussels

- cbaudinet@environnement.brussels

- magniel@environnement.brussels

