

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

POMPE À CHALEUR : CHOIX ET CONCEPTION

AUTOMNE 2024



**La géothermie très basse énergie sur nappe et sur sondes
en région bruxelloise**

Mathieu AGNIEL



- ▶ Comprendre les principes de la géothermie très basse énergie
- ▶ Identifier les solutions techniques permettant de capter cette énergie
- ▶ Avoir un aperçu du parc d'installations existantes en RBC
- ▶ Appréhender la pertinence des solutions de géothermie en fonction de la typologie du projet
- ▶ Appréhender les facettes d'un projet de géothermie très basse énergie dans le contexte de la région bruxelloise
- ▶ Appréhender les méthodes de dimensionnement
- ▶ Découvrir l'outil BrugeoTool pour la préfaçabilité (et le prédimensionnement d'une installation via Smartgeotherm)



LA GEOTHERMIE

LES SOLUTIONS

SYNTHESE COMPARATIVE / CHOIX

LE PROJET DE GEOTHERMIE EN RBC

DIMENSIONNEMENT

BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



LA GEOTHERMIE

LES SOLUTIONS

SYNTHESE COMPARATIVE / CHOIX

LE PROJET DE GEOTHERMIE EN RBC

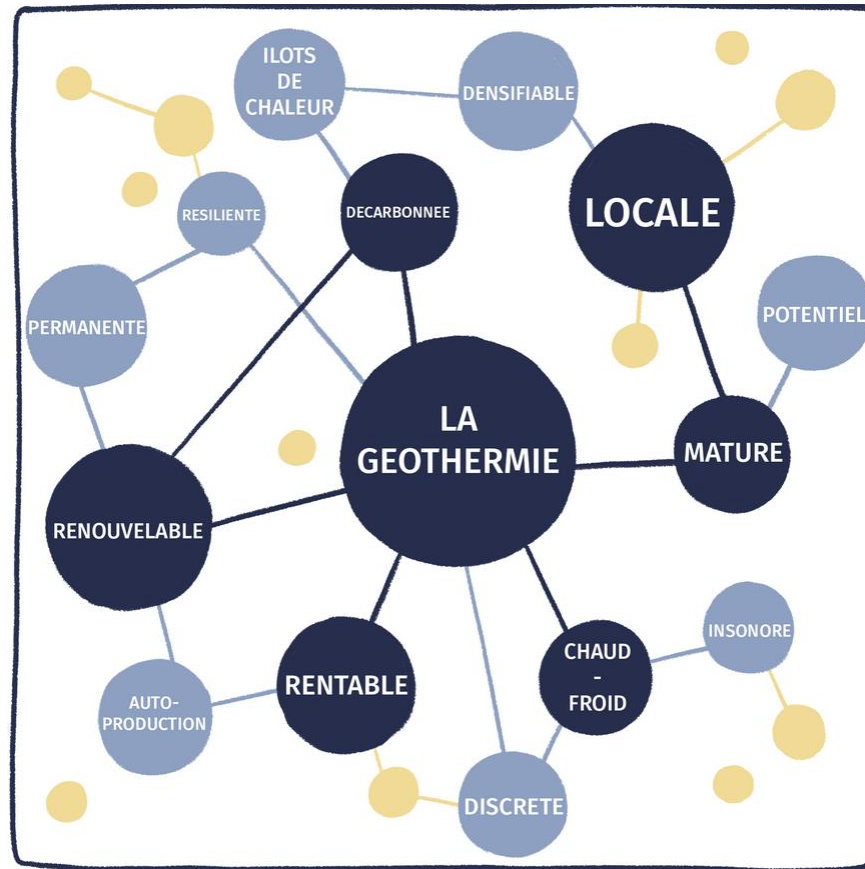
DIMENSIONNEMENT

BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



Quels sont les avantages d'un système géothermique ?

- De nombreux avantages
- Mais aussi des impacts à maîtriser.



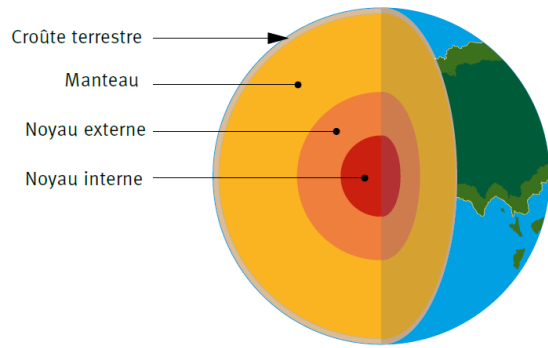
Source: Phreatis



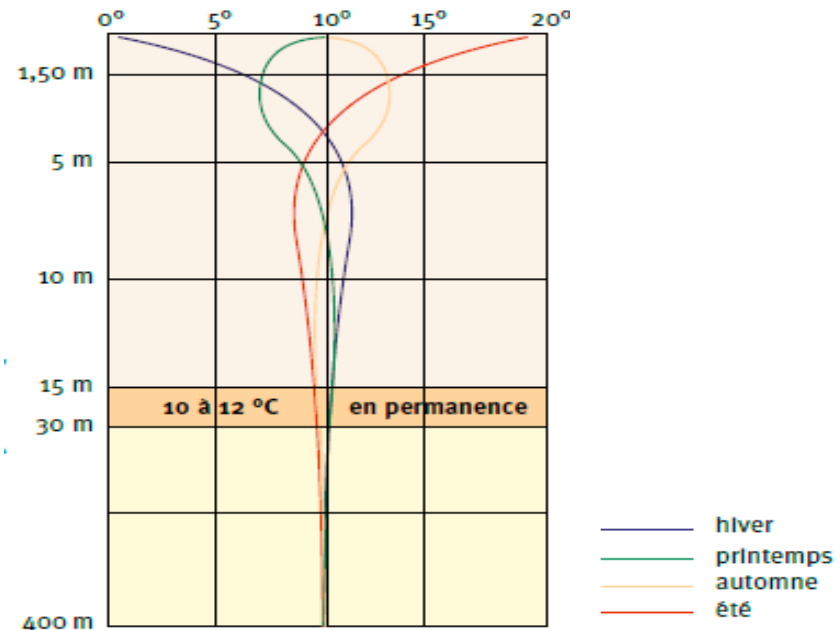
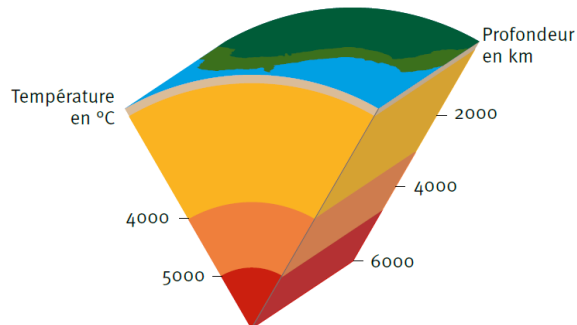
La température du sous-sol

- Température du sous-sol stable à partir 15 m de profondeur
- Gradient géothermal de l'ordre de 3°C/100 m en RBC

A. LA TERRE



B. TEMPERATURE SOUS LA SURFACE DE LA TERRE

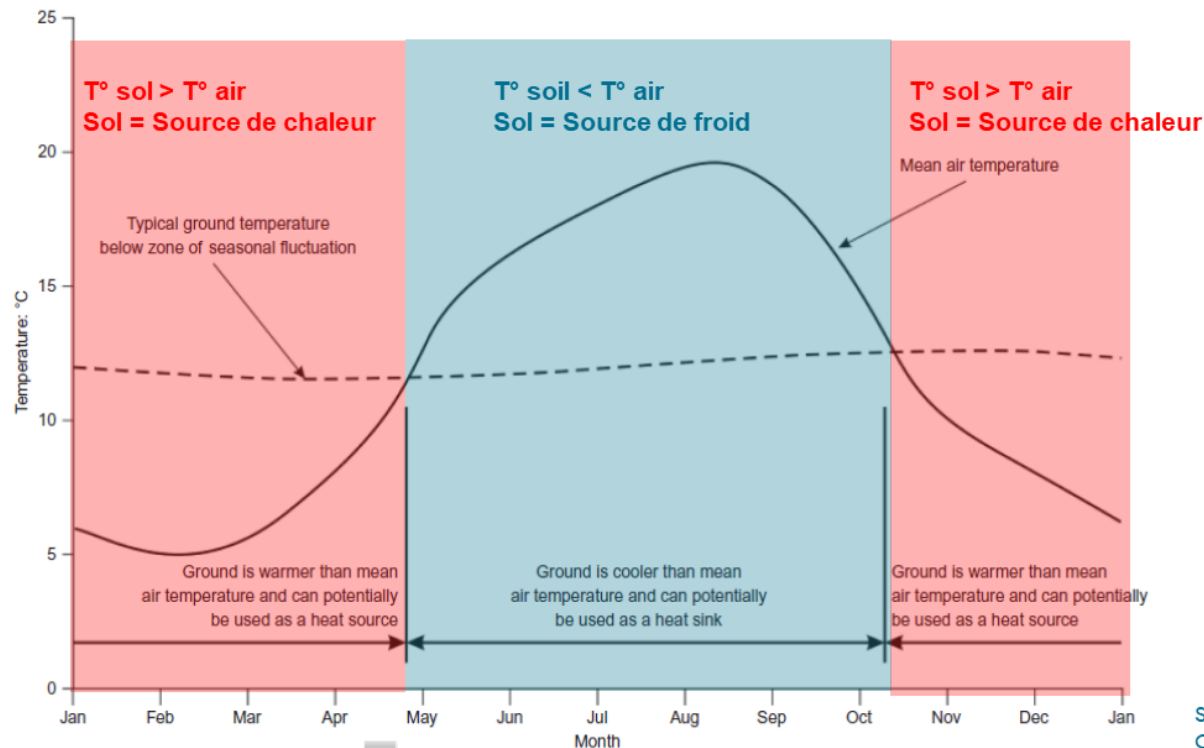


Source: CSTC-NIT 259



La température du sous-sol

- ▶ En hiver : T° du sous-sol $>$ T° atmosphérique
- ▶ En été : T° du sous-sol $<$ T° atmosphérique
- ▶ Le proche sous-sol (50-200 m) constitue un réservoir thermique stable aux alentours de 10-15°C exploitable pour la production de chaud et de froid à des rendements maximisés et maîtrisés



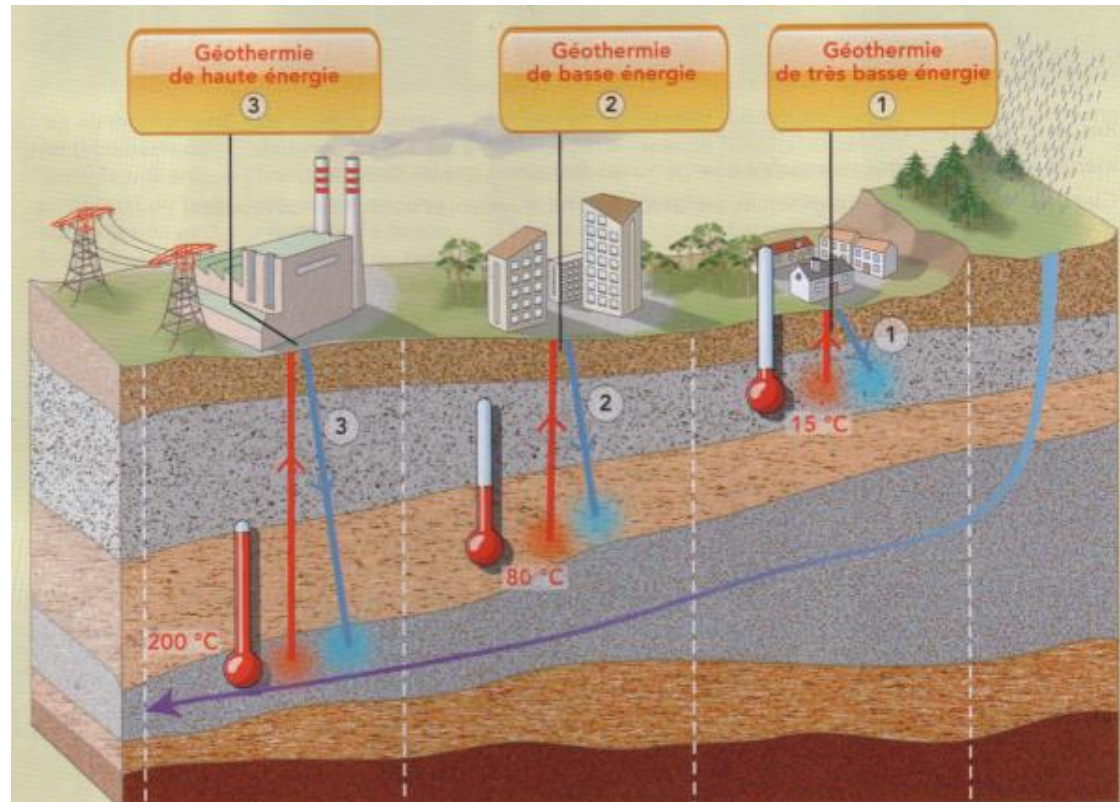
Source: Preene and Powrie,
Geotechnique 2009



Différents systèmes pour différentes applications

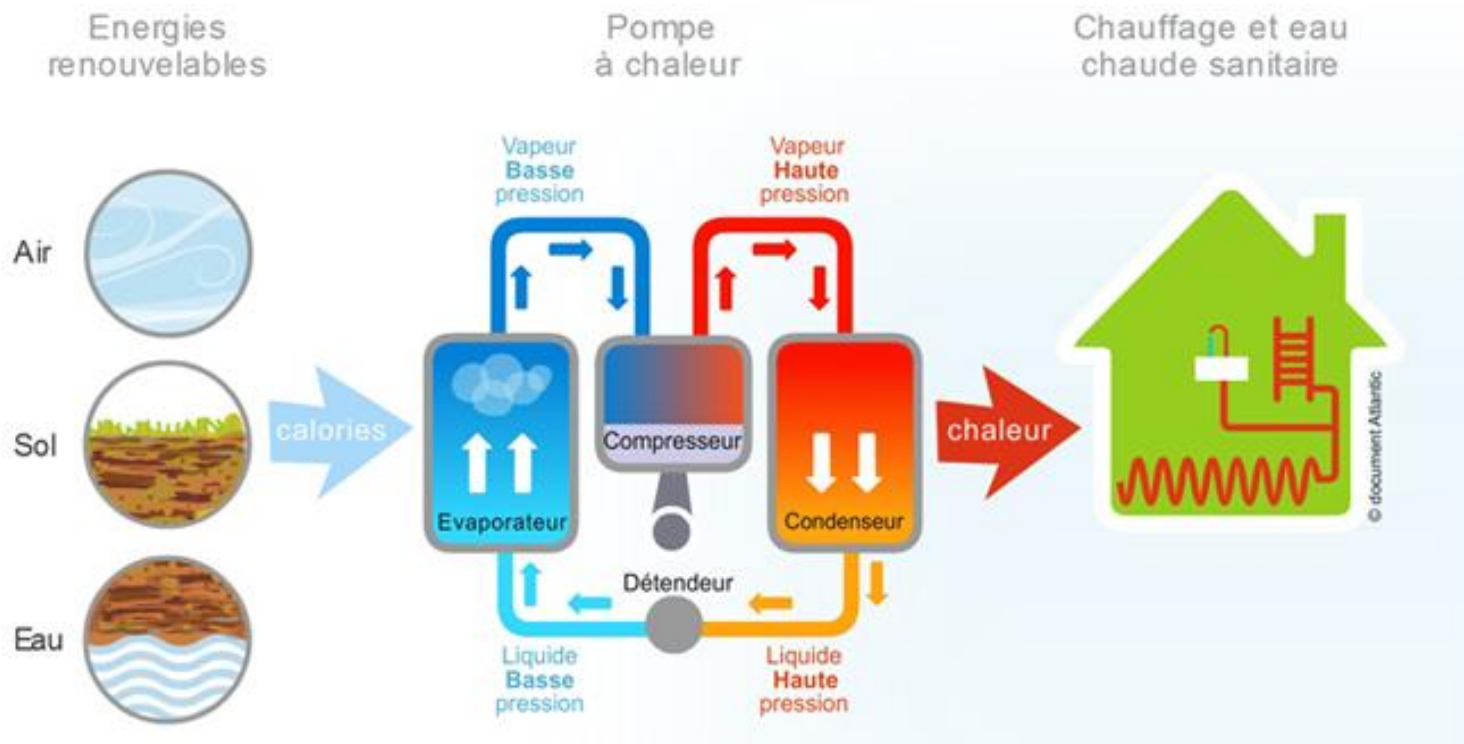
- ▶ Géothermie de surface / très basse énergie (10- 300 m)
 - $T^{\circ} < 20^{\circ}\text{C}$
 - chauffage & refroidissement
 - assistée par PAC
- ▶ Géothermie profonde / basse à haute énergie (> 300 m)
 - $T^{\circ} > 20^{\circ}\text{C}$
 - chauffage urbain
 - production électrique

Source: BRGM



Le fonctionnement d'une pompe à chaleur

- Diverses « sources froides » : air, sol, eau
- 4 étapes : Evaporateur -> Compresseur -> Condenseur -> Détendeur



Source: www.ef4.be



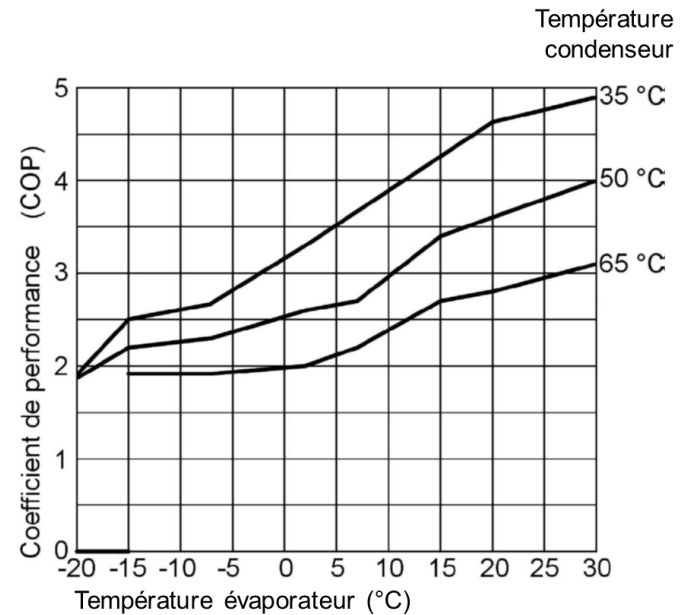
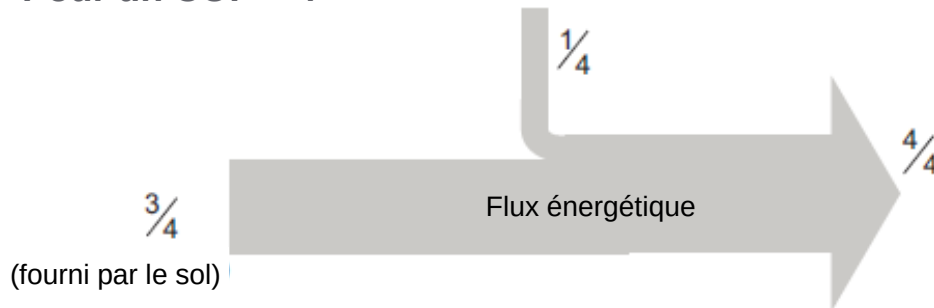
Le coefficient de performance

- ▶ sCOP : coefficient de performance saisonnier en production de chaleur
- ▶ SEER : coefficient de performance saisonnier en production de froid
- ▶ Valeurs typiques de sCOP :
 - PAC air/eau (aérothermique) = +/- 2,5
 - PAC eau/eau (sonde) = +/- 4
 - PAC eau/eau (nappe) > 4

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

Pour un COP = 4

Source extérieure de puissance (électricité)



Source: www.ef4.be



LA GEOTHERMIE

LES SOLUTIONS

SYNTHESE COMPARATIVE / CHOIX

LE PROJET DE GEOTHERMIE EN RBC

DIMENSIONNEMENT

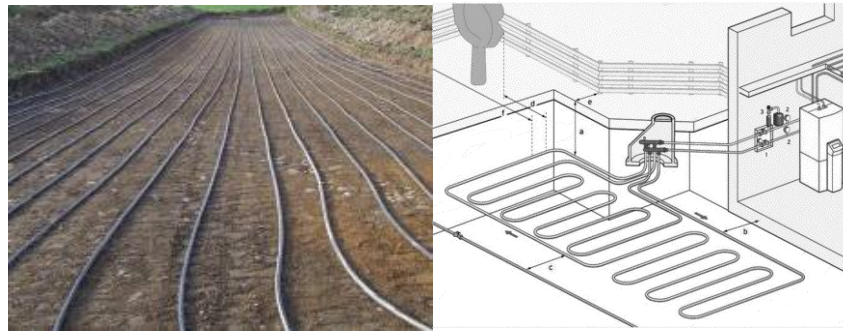
BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



GÉOTHERMIE DE SURFACE (ÉCHANGEURS SUPERFICIELS)

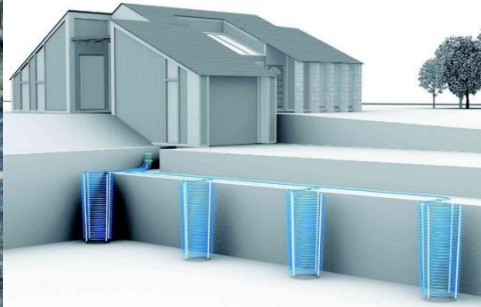
Systèmes fermés – Géothermie superficielle ($P = 1 - 50 \text{ kW}$)

- ▶ Fluide caloporteur circule dans un circuit fermé et permet de capter la chaleur du sol
- ▶ Géothermie sur échangeurs horizontaux (prof. 1 m)
 - $P \approx 10\text{-}25 \text{ W/m}$



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

- ▶ Géothermie compacte (prof. 3-5 m)
 - Corbeilles géothermiques ($P \approx 1 \text{ kW} / \text{corbeille}$)
 - Murs géothermiques



Source : Vaillant

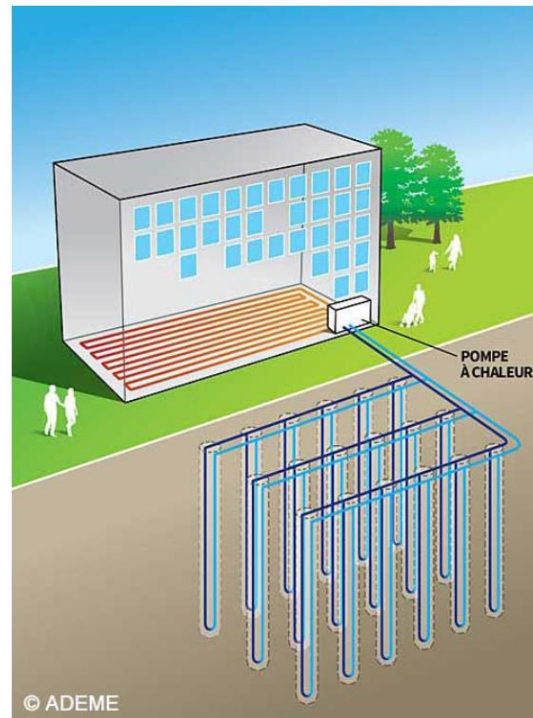


Source : Caleosol



Systèmes fermés – Géothermie sur sondes (P = 5 - 500 kW)

- ▶ Fluide caloporteur circule dans un circuit fermé et permet de capter la chaleur du sous-sol
- ▶ Une ou plusieurs sondes de 50 à 250 m de prof
- ▶ Inter distance = 5 à 10 m
- ▶ P jusqu'à 50 W/ml (si besoins chaud/froid bien balancés)
- ▶ Stockage inter saisonnier possible = BTES

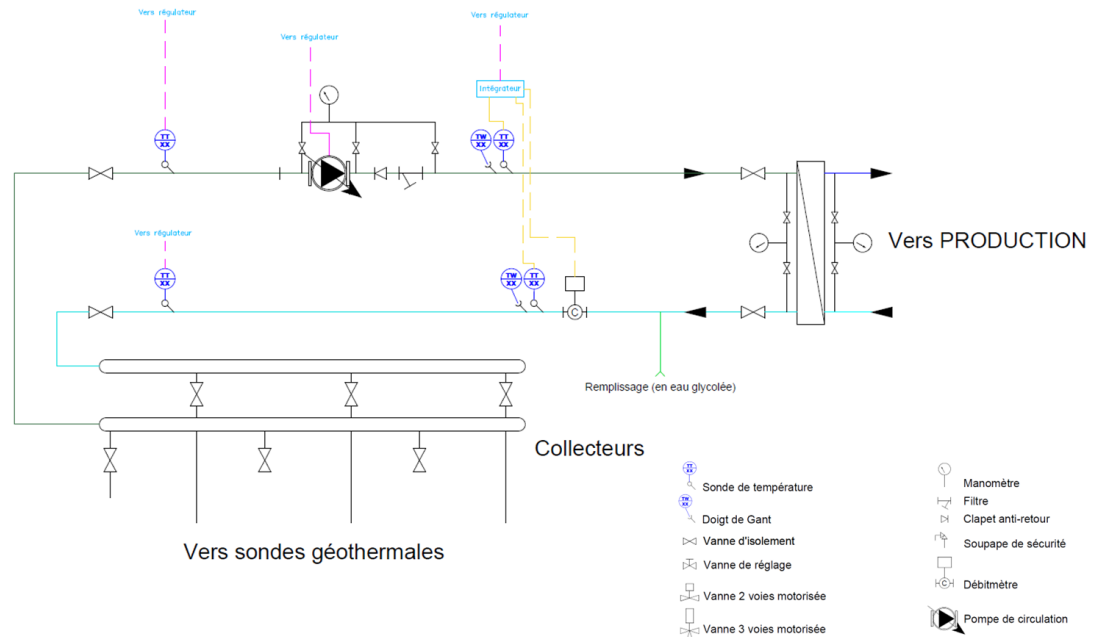
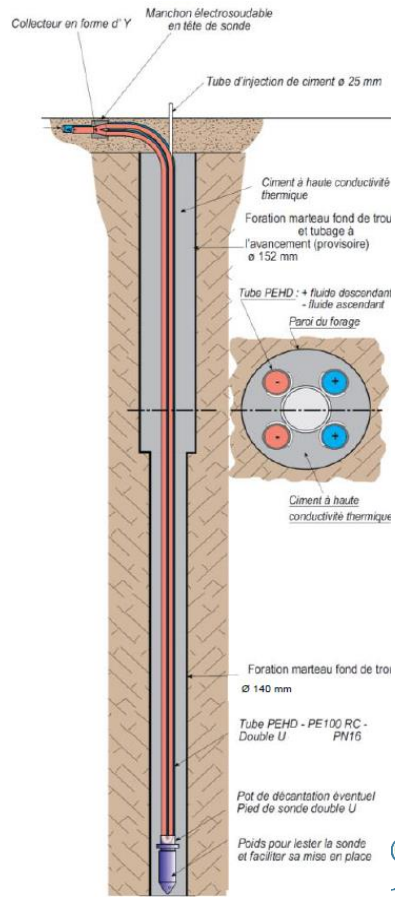


Source : ADEME



Systèmes fermés – Géothermie sur sondes (P = 5 - 500 kW)

- Diamètre classique = 125-150 mm
- Différentes géométries de sonde (simple U, double U, coaxial, ...)
- Etanchéité et conduction thermique assurées par un colli géothermique (grout)
- Raccordement vers un collecteur principal qui alimente le circuit secondaire



Systèmes fermés – Géothermie sur sondes (P = 5 - 500 kW)



Forage & installation sonde PEHD



Réseau hydraulique horizontal



Collecteur / 14 sondes parallèles



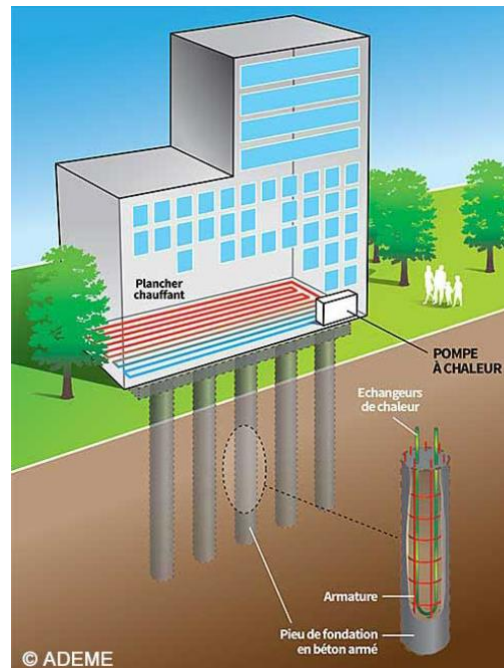
2 Pompes à chaleur sol/eau 75 kW

Source : ADEME



Systèmes fermés – Pieux énergétiques (P = 5 – 150 kW)

- ▶ Fluide caloporteur circule dans un circuit fermé et permet de capter la chaleur du sous-sol
- ▶ Profondeur de 10 – 30 m de prof
- ▶ P jusqu'à 50 W/ml (si besoins chaud/froid bien balancés)
- ▶ Echangeurs directement introduits dans les pieux de fondations.
- ▶ Le dimensionnement structurel des pieux de fondations doit tenir compte des contraintes thermiques



Source : ADEME



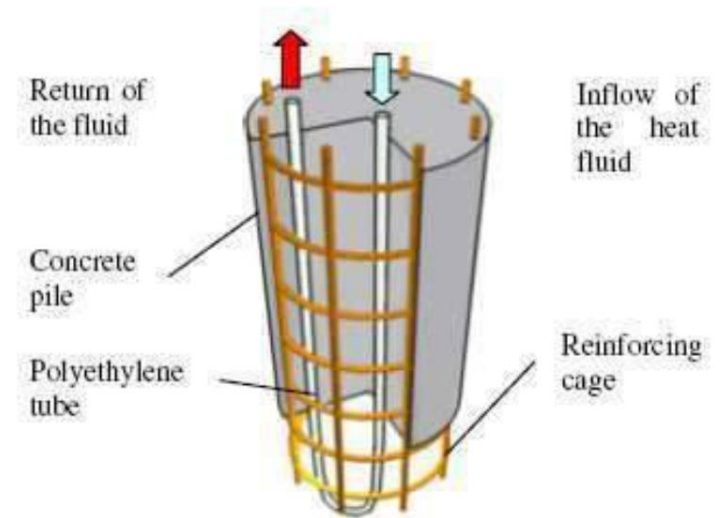
Systèmes fermés – Pieux énergétiques (P = 5 – 150 kW)



Pieux 3 U



Pieux 6 U



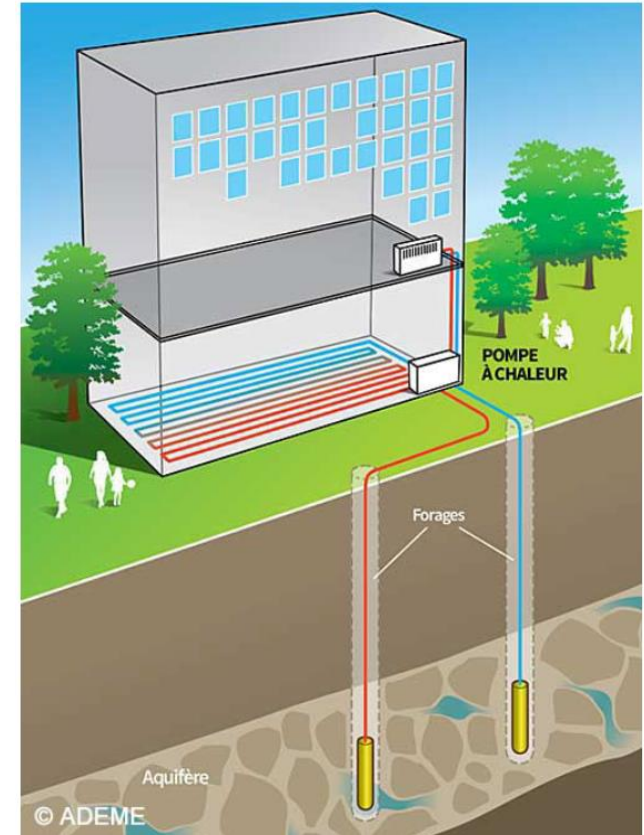
Source : ADEME



Systèmes ouverts – Géothermie sur nappe (P = 100 – 1000+ kW)

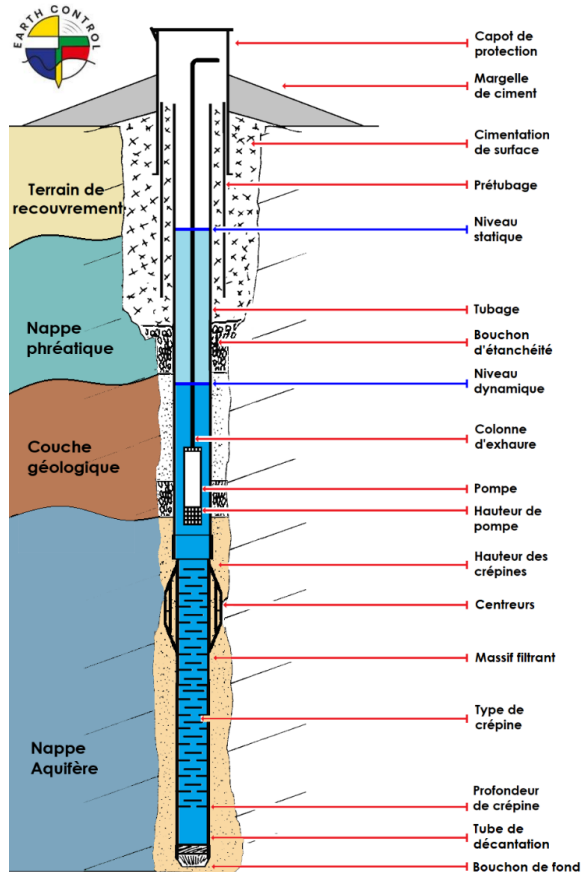
- ▶ Utilisent la chaleur naturelle de l'eau des nappes aquifères (12 - 15°C)
- ▶ Généralement constitués de **doublets** : puits pour la production de chaud et puits pour production de froid (fonctionnement ATES = stockage intersaisonnier)
- ▶ Profondeur de forage jusqu'à 200 m en RBC
- ▶ En RBC, Interdistance entre :
 - puits du même cluster ≥ 10 m
 - cluster de puits chaud et cluster froid ≥ 50 m
- ▶ Environ 7 kW pour 1 m³/h d'eau pompée/réinjectée

Source : ADEME

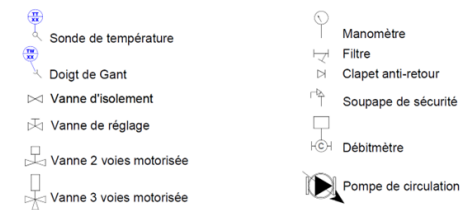
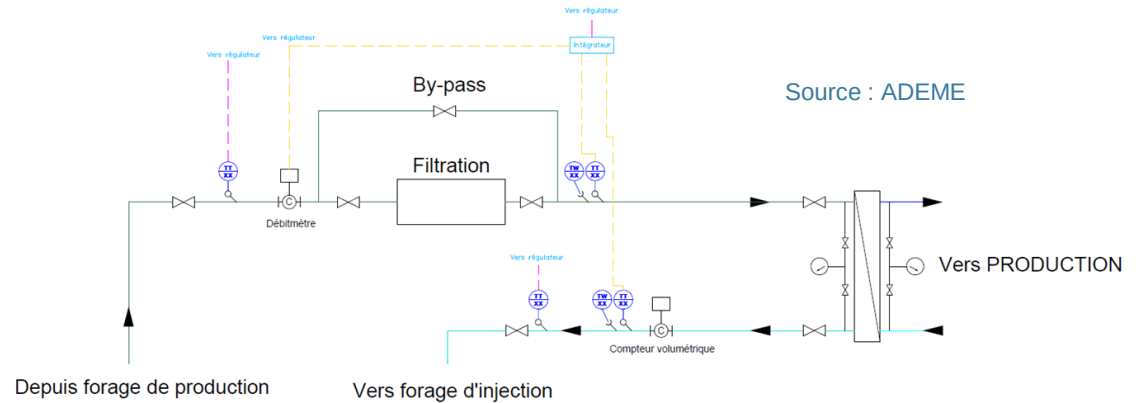


Systèmes ouverts – Géothermie sur nappe (P = 100 – 1000+ kW)

- Diamètre classique = 160-220 mm
- Placement d'un tubage « crépiné » au droit de la zone aquifère productive et d'une colonne de pompage et réinjection
- Filtration en amont de l'échangeur principal



Coupe d'un forage et désignations



Systèmes ouverts – Géothermie sur nappe (P = 100 – 1000+ kW)



Forage du puits de production



Puits de production /
Tampon carrossable ou surélevé



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

Source : ADEME et BRUXELLES ENVIRONNEMENT



Systèmes ouverts – Géothermie sur nappe (P = 100 – 1000+ kW)



Filtre cyclonique et tamis (50 m³/h)



Echangeur à plaques géothermique



Pompe à chaleur eau/eau de 250 kW

Source : ADEME et BRUXELLES ENVIRONNEMENT



La géothermie profonde n'est pas une option en RBC

- ▶ Technologie uniquement exploitable via un système ouvert
- ▶ Roches profondes du socle Paléozoïque trop peu perméables en l'état des connaissances actuelles pour y déployer un système ouvert

Installations existantes en BE

- ▶ Saint Ghislain (WAL)
 - 1 Forage à 2400m,
 - Débit de 100m³/h,
 - Température 72°C
 - Puissance de la centrale 15 MW
 - Energie annuelle: 16700 MWh
- ▶ Balmatt (VL)
 - 2 forages à 3610 m et 4340 m
 - Température 125°C
 - Puissance actuelle: 10 MWth ou 1 Mwe
- ▶ Janssen Pharmaceutica (VL)

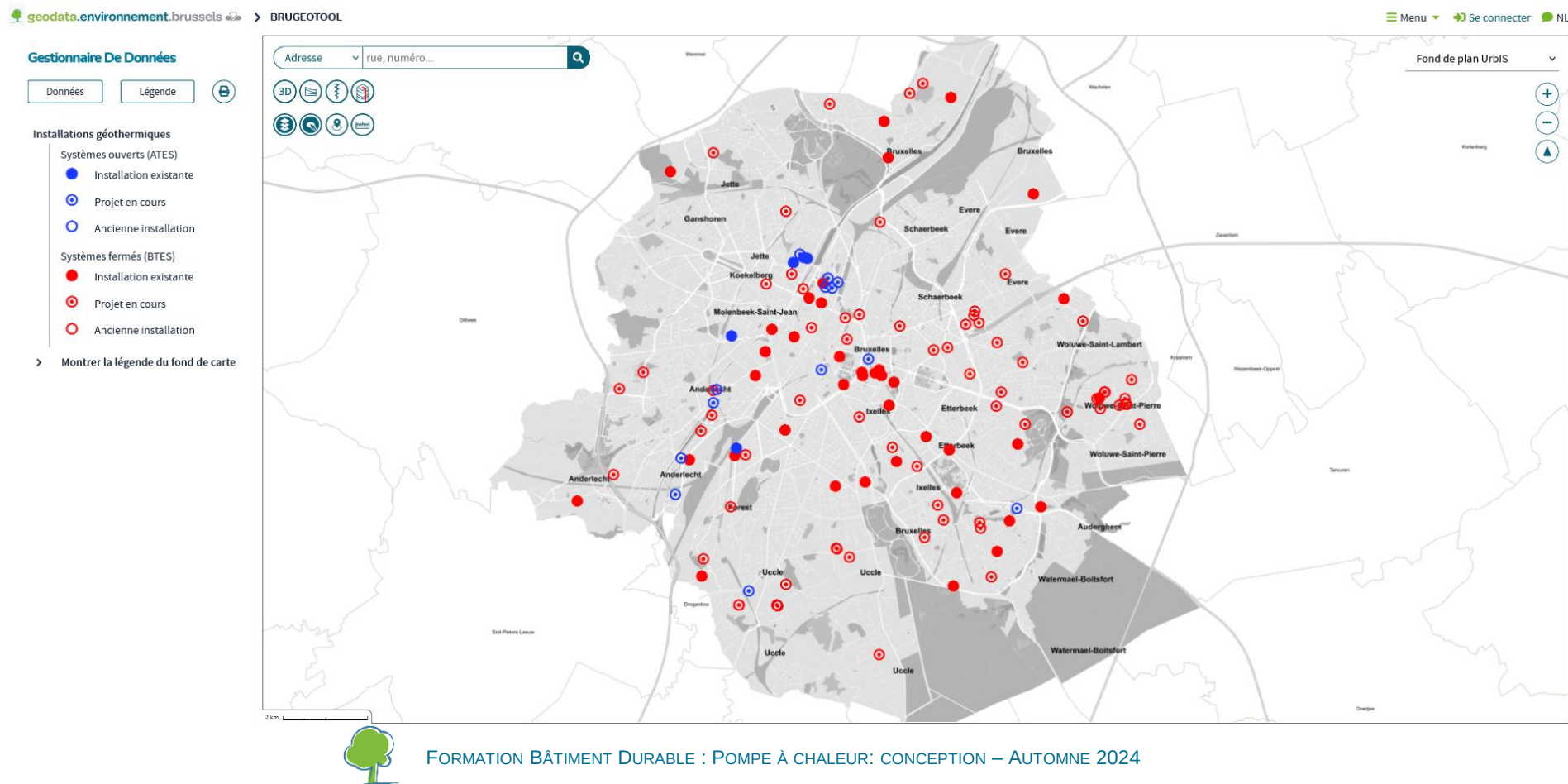


Source : Vito



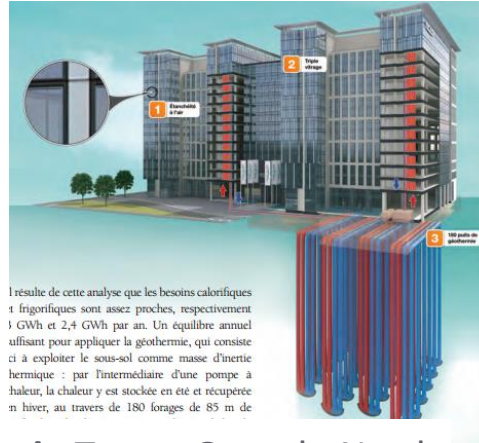
Parc d'installations géothermiques bruxelloises au 09/02/2024

- ▶ **18** systèmes ouverts : 4 autorisés + 14 en instruction PE (+ d'autres en avant-projet)
- ▶ **108** systèmes fermés : 40 autorisés + 68 en instruction PE (+ d'autres en avant-projet)





Hôpital Chirec Delta
Closed-loop
176 GHE – Depth 90 m



Engie Tower Gare du Nord
Closed-loop
180 GHE – Depth 85 m



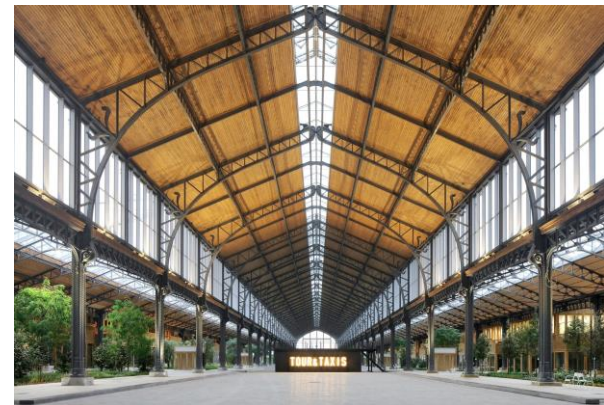
Bât Wilfried Martens Rue Belliard
Closed-loop
33 GHE – Depth 240 m



Bruxelles Environnement T&T
Open-loop
4 pair of wells – Depth 80 m



Herman Terlinck T&T
Open-loop
4 pair of wells – Depth 80 m



Gare maritime T&T
Open-loop
5 pair of wells – Depth 150 m



LA GEOTHERMIE

LES SOLUTIONS

SYNTHESE COMPARATIVE / CHOIX

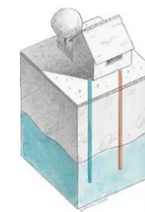
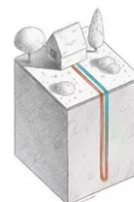
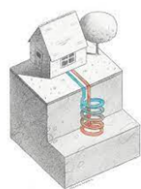
LE PROJET DE GEOTHERMIE EN RBC

DIMENSIONNEMENT

BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



Avantages et inconvénient des solutions



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

☹️ sCOP ≈ 3,25

😊 sCOP ≈ 4

😊 sCOP > 4

Investissement

1,5 – 3,5 k€/kW*

1,5 – 3,5 k€/kW*

1,5 – 3,5 k€/kW*

Faisabilité technique & facilité de maintenance

😊 Étude sol
« Simple »

😊 Étude hydrogéol.
« sommaire »

☹️ Étude hydrogéol.
« détaillée »

Facilité maintenance

😊 Maintenance
simple

😊 Maintenance
simple

☹️ Facility management
nécessaire / monitoring puits

Foncier nécessaire

20 m² / corbeille

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

Dépend contexte
hydrogéologique

En bref

**Puissances limitées à petits
projets < 50 kW.
Performance > aérothermie
Faisabilité aisée.
Facile à maintenir.**

**Puissances limitées à
projets < 500 kW.
Performances élevées.
Faisabilité aisée.
Facile à maintenir.**

**Puissance élevée
Des performances maximisées,
State of the art.
Nécessite étude de faisabilité
détaillée et maintenance ad-hoc.
Adaptée à gros consommateurs.**

* 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



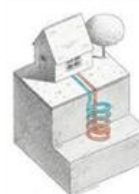
Bilan environnemental et économique

Ex1 : 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



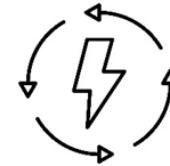
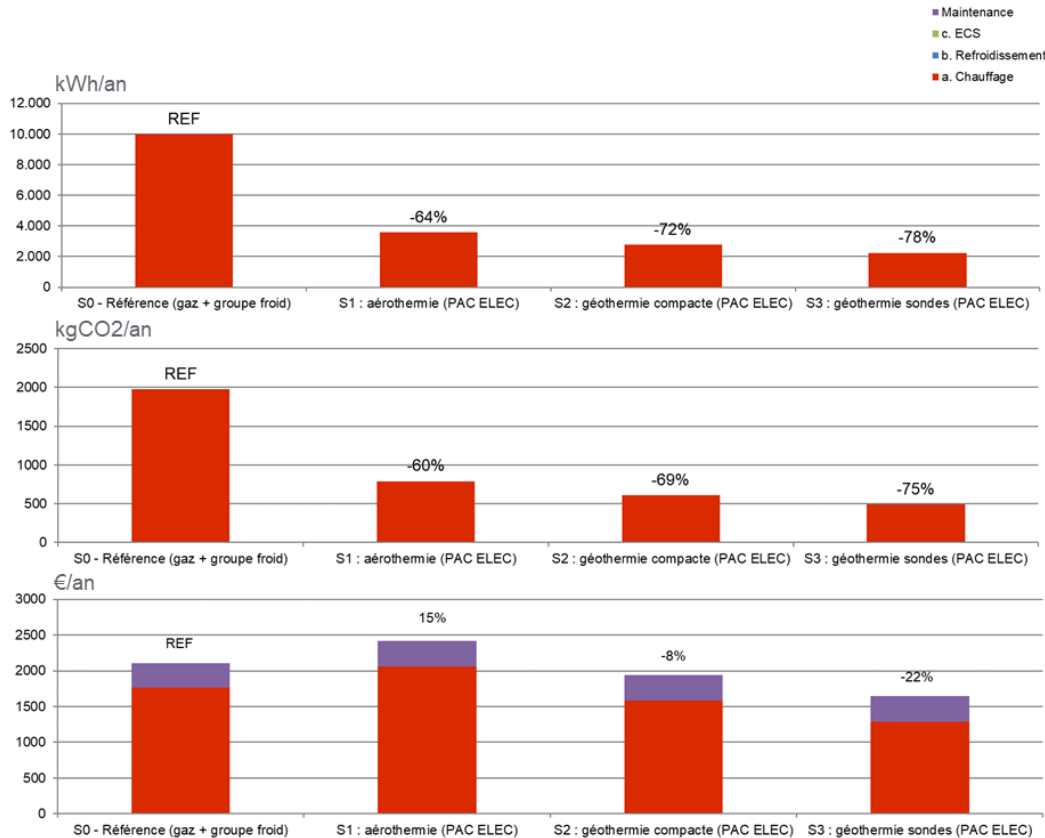
CET EXERCICE A POUR BUT DE DEGAGER DES ORDRES DE GRANDEUR !

- **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), ...

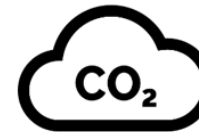


Bilan environnemental et économique

Ex1 : Maison unifamiliale rénovée 200 m² / PAC = 10 kW



Conso
Energie finale



CO₂



Couts de
fonctionnement

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

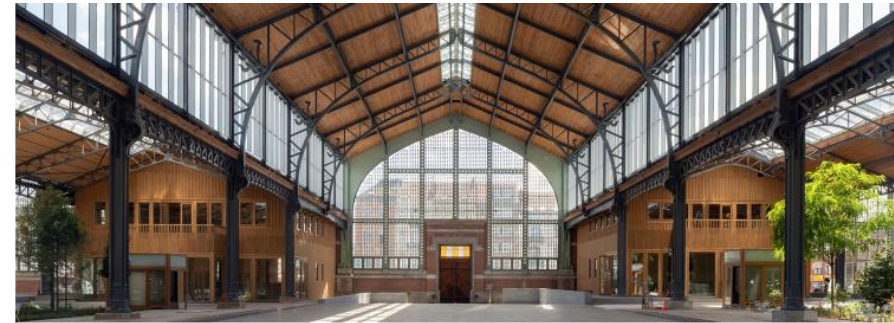
- **Valeurs dépendantes de** : balance chaud/froid, puissance, profondeur captages géothermiques, coût énergie (ref. nov 2022),...
- **Source des hypothèses** : CREG, Bruxelles Environnement, Deplace/Cenergie (facilitateurs), ADEME (FR), AFPG (FR), ...



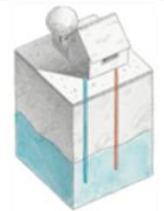
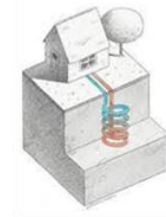
Bilan environnemental et économique

Ex2 : 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%



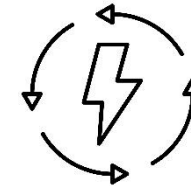
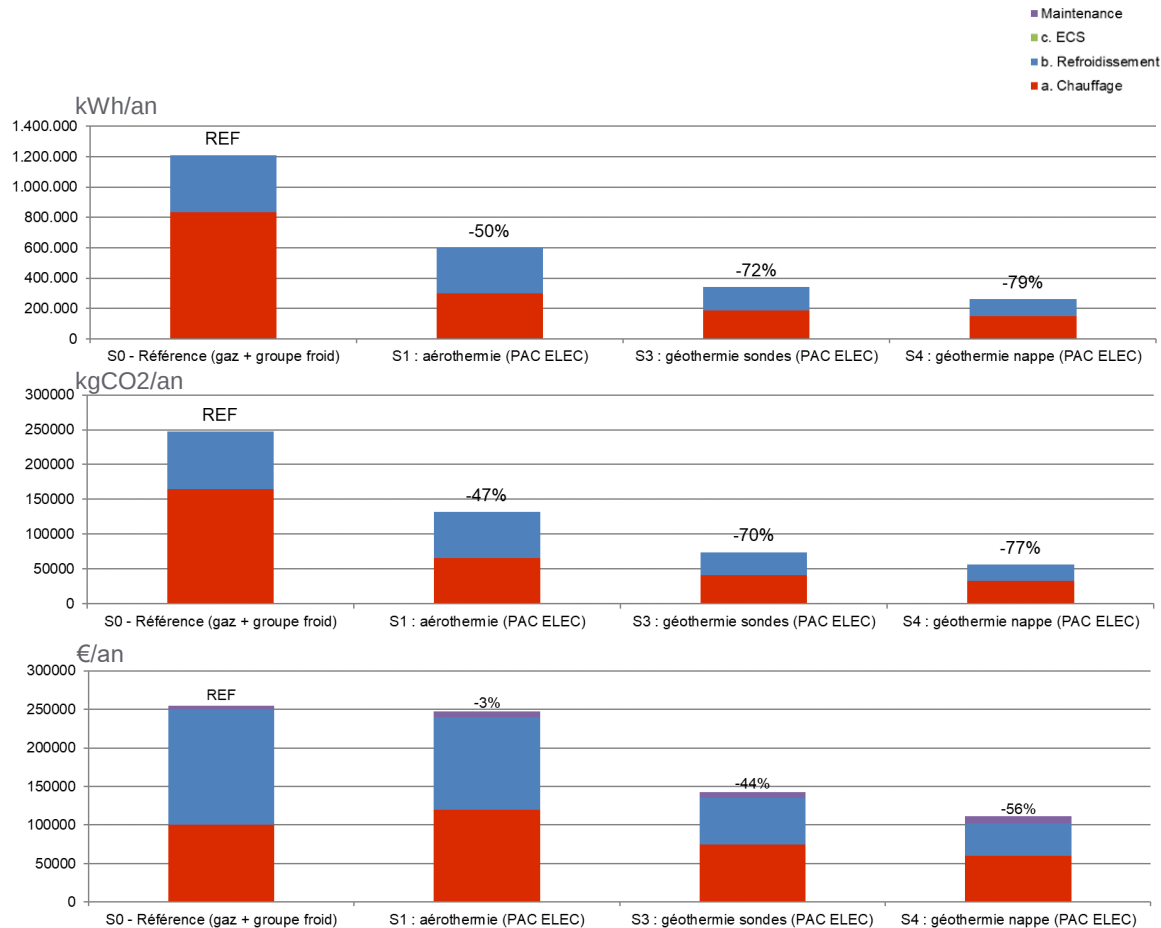
CET EXERCICE A POUR BUT DE DEGAGER DES ORDRES DE GRANDEUR !

- **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), AFIG (FR), ...

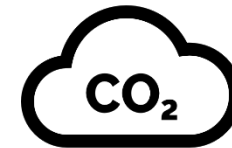


Bilan environnemental et économique

Ex2 : Bâtiment tertiaire neuf 50000 m² / PAC 400 kW



**Conso
Energie finale**



CO₂



**Coûts de
fonctionnement**



LA GEOTHERMIE

LES SOLUTIONS

SYNTHESE COMPARATIVE / CHOIX

LE PROJET DE GEOTHERMIE EN RBC

DIMENSIONNEMENT

BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



Phasage géothermie sur sondes

Pré faisabilité

Etude
opportunité

2 semaines

Règlementaire
Potentiel
Budget, planning

Etude de Pré faisabilité

4 semaines

Pré dimension.

20 jours

Permis
Environnement
Classe 1C (TRT +
Installation)

GO ? NO GO ?

Faisabilité

Etude de faisabilité

2 semaines

Exploration
Sonde test +
TRT

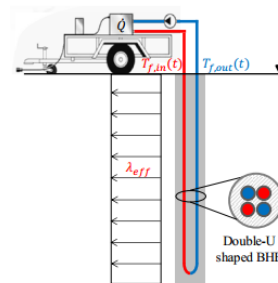
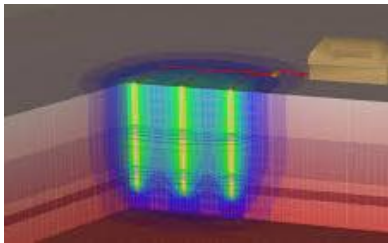
4 semaines

Dimensionn.

Octroi PE

Exécution

- + forage (1 sonde = +/-1 jour)
- + tranchées
- + raccordement
- + remise en état
- + mise en service



Phasage géothermie sur nappe

Pré faisabilité

Etude
opportunité

Etude de Pré faisabilité

Faisabilité

Etude de faisabilité

Exécution

2 semaines

4 semaines

20 jours

1 – 2 mois

4 semaines

45 + 160 jrs

Règlementaire
Potentiel
Budget, planning

Pré dimension.

Permis
Environnement
Classe 1C
(Puits tests)

Exploration
(Puits tests &
pompages essai
& tests
réinjection)

Dimensionn.

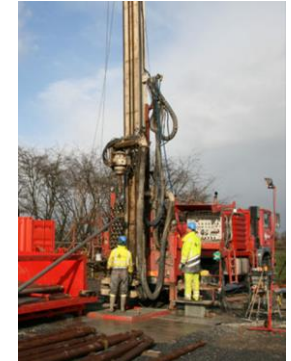
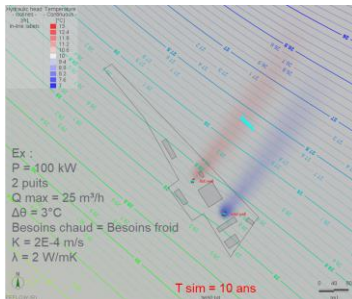
Permis
Environnement
Classe 1B
(Installation)

- + forage
- + équipement puits
- + tranchées
- + raccordement
- + remise en état
- + mise en service

GO ? NO GO ?

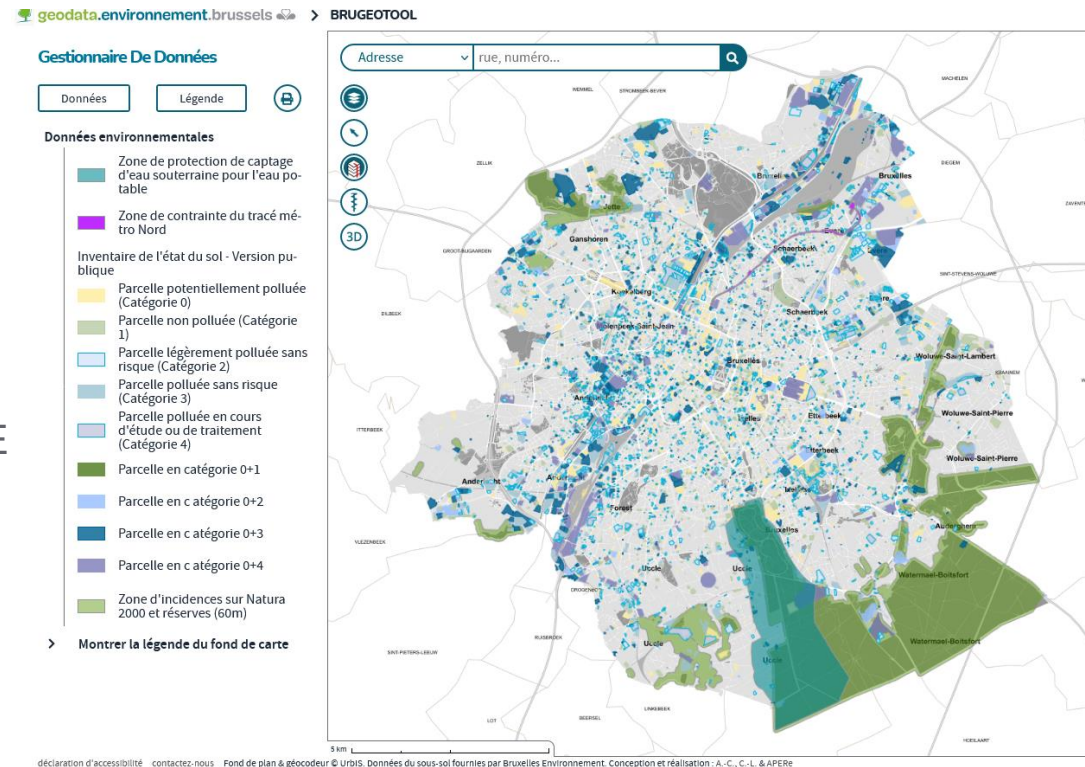
Octroi PE

Octroi PE



Contraintes réglementaires

- ▶ Zones d'exclusion
 - **X** Zone de protection captage
 - **X** Zone d'exclusion métro Nord
- ▶ Contraintes non bloquantes
 - **!** Pollutions de sol = conditions PE
 - **!** Natura 2000 = conditions PE
- ▶ Prescriptions types
 - Ex : T° réinjection
 - 0 – 25°C (système fermé)
 - 4 – 25°C (système ouvert)
- ▶ Prescriptions particulières
 - Ex : limitation de profondeur de forage



Subsides RENOLUTION

- ▶ Pour bâtiments résidentiels
 - 5800 à 6500 € / logement individuel (CAT I à III)
- ▶ Pour bâtiments non résidentiels
 - 35% de la facture

Sur la (ou les) facture(s), les postes éligibles pour déterminer le montant maximum de la prime sont (liste exhaustive) :

- la fourniture, la main-d'œuvre et l'installation exclusive de la pompe à chaleur, en ce compris le démontage et l'évacuation de l'ancienne installation, les forages et excavations, les canalisations nécessaires pour capter la chaleur dans le sol ou dans l'eau, les adaptations du réseau hydraulique ou du puisage permettant de garantir le bon fonctionnement de la PAC ;
- la fourniture et la main-d'œuvre relative à la pose des organes de régulation,
- la fourniture et le placement de compteur électrique de passage et de compteur de chaleur ;
- l'aménagement de locaux permettant d'abriter l'installation ;
- si vous demandez le Bonus sortie du mazout : dans le cas d'un poêle au mazout ou charbon existant, les coûts relatifs à l'installation d'un circuit de chauffage pour la nouvelle installation ; dans le cas d'une chaudière au mazout existante, les coûts relatifs à la vidange, au nettoyage de la citerne ; à l'enlèvement ou à l'inertage (à la mousse ou au sable) de la citerne.



<https://renolution.brussels/fr/aidesfinancieres/j4-chauffage-et-chauffe-eau-chauffage-pompe-chaleur>



LA GEOTHERMIE

LES SOLUTIONS

SYNTHESE COMPARATIVE / CHOIX

LE PROJET DE GEOTHERMIE EN RBC

DIMENSIONNEMENT

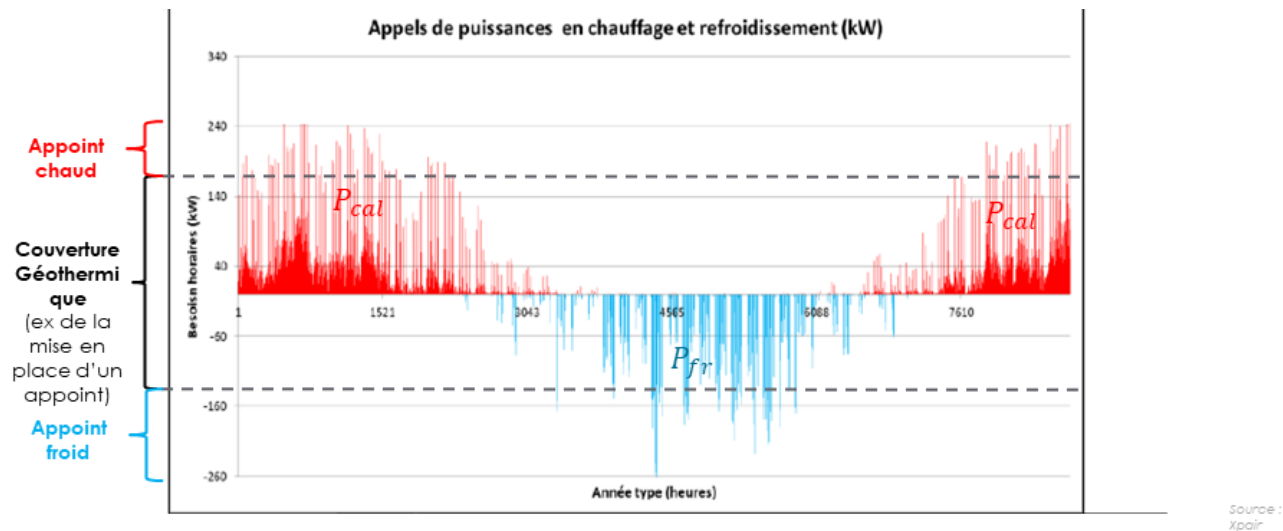
BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



37 DIMENSIONNEMENT / TOUT TYPE DE PROJET

Définition des besoins thermiques et de la couverture géothermique

- ▶ Petits Projets < 50 kW : Evaluation du bilan annuel chaud/froid/ECS (kWh/an)
- ▶ Gros Projets > 50 kW :
 - Définition des profils thermiques horaires (kW) par, le cas échéant, une simulation Thermique Dynamique (STD)



- ▶ Besoins à soutirés à la ressource géothermique

PRODUCTION DE CHALEUR

$$P_{ground}(kW) = P_{cal} \times \left(1 - \frac{1}{COP}\right)$$

coefficient de performance $COP =$

$$\frac{P_{cal}}{P_{electrique}}$$

PRODUCTION DE FROID

$$P_{ground}(kW) = P_{fr} \times \left(1 + \frac{1}{EER}\right)$$

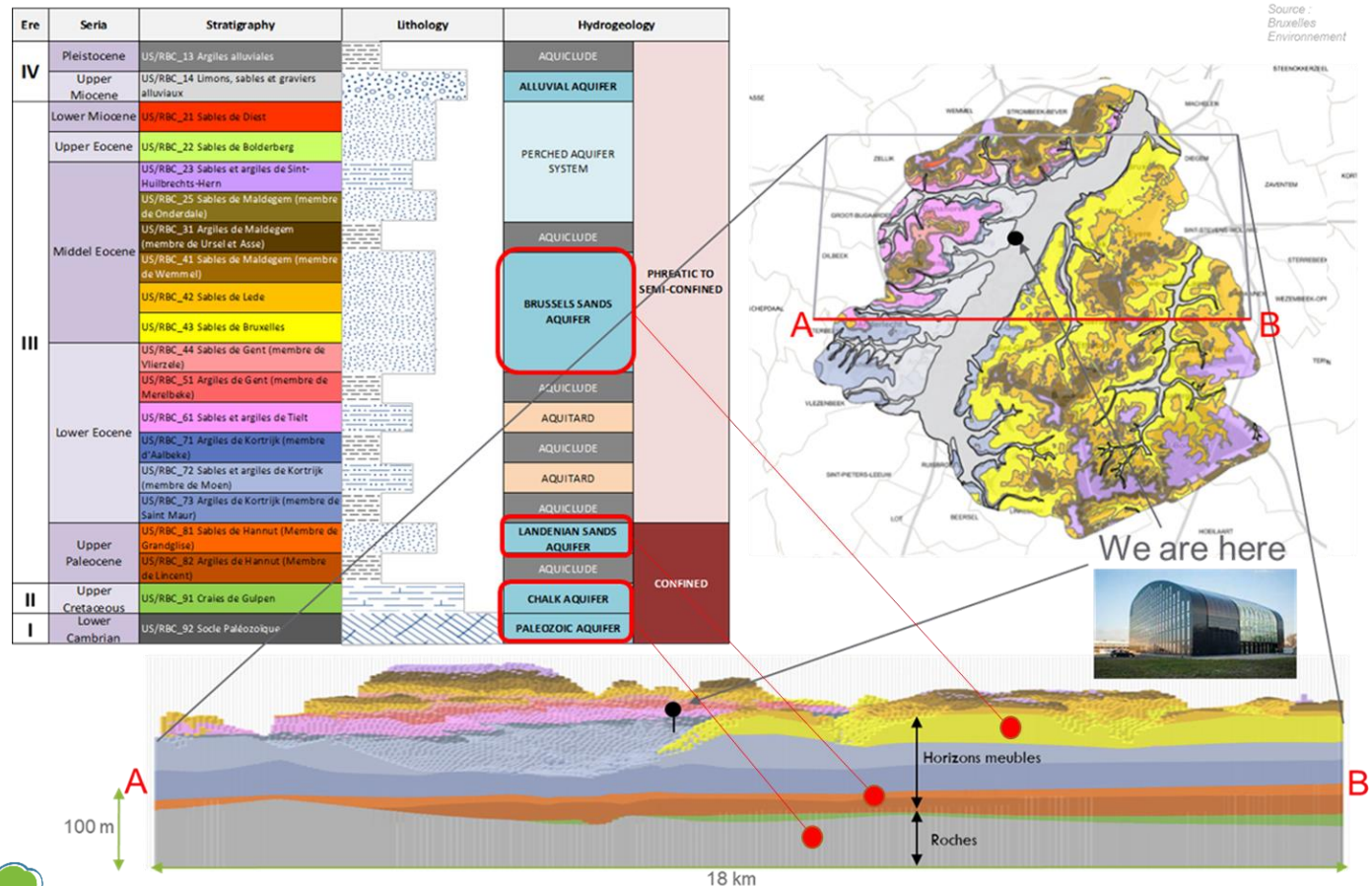
coefficient d'efficacité frigorifique $EER =$

$$\frac{P_{fr}}{P_{electrique}}$$



Définition du contexte (hydro)géologique

- Bruxelles se divise en une partie superficielle de terrains meubles et une partie profonde rocheuse
- On identifie 3 principaux aquifères exploitables pour la géothermie en syst. ouvert



Etude (hydro)géologique sommaire

- Définition des propriétés du sous-sol (coupe géologique, conductivités thermiques, capacités calorifiques,...)
- Définition des contraintes de forage (risques environnementaux / sols pollués, artésianisme, connexion nappes,...)

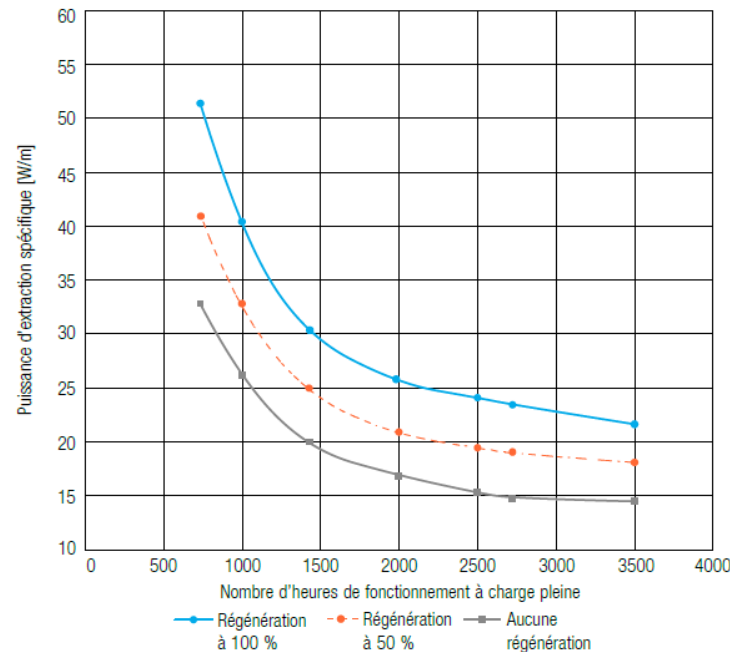
	Roche	Conductivité thermique (λ) [W/(m·K)]		Capacité thermique volumique (ρc_p) [MJ/(m³·K)]	Masse volumique (ρ) [x 10³ kg/m³]		
		Valeur effective	Valeur conseillée				
Non consolidée	Argile/limon, sec	0,40 - 1,00	0,50	1,50 - 1,60	1,80 - 2,00		
	Argile/limon, saturé d'eau	1,10 - 3,10	1,80	2,00 - 280	2,00 - 2,20		
	Sable, sec	0,30 - 0,90	0,40	1,30 - 1,60	1,80 - 2,20		
	Sable, humide	1,00 - 1,90	1,40	1,60 - 2,20	1,90 - 2,20		
	Sable, saturé d'eau	2,00 - 3,00	2,40	2,20 - 2,80	1,90 - 2,30		
	Silice/pierre, sec	0,40 - 0,90	0,40	1,30 - 1,60	1,80 - 2,20		
	Silice/pierre, saturé d'eau	1,60 - 2,50	1,80	2,20 - 2,60	1,90 - 2,30		
	Glaise argileuse/argile	1,10 - 2,90	2,40	1,50 - 2,50	1,80 - 2,30		
	Tourbe, lignite douce	0,20 - 0,70	0,40	0,50 - 3,80	0,50 - 1,10		
Roches sédimentaires	Argile/roche limoneuse	1,10 - 3,40	2,20	2,10 - 2,40	2,40 - 2,60		
	Grès	1,90 - 4,60	2,80	1,80 - 2,60	2,20 - 2,70		
	Conglomérat/brèche	1,30 - 5,10	2,30	1,80 - 2,60	3,30 - 2,70		
	Tuffeau	1,80 - 2,90	2,30	2,20 - 2,30	2,30 - 2,60		
	Calcaire	2,00 - 3,90	2,70	2,10 - 2,40	2,40 - 2,70		
	Dolomite	3,00 - 5,00	3,50	2,10 - 2,40	2,40 - 2,70		
	Roche sulfurée (anhydrite)	1,50 - 7,70	4,10	2,00	2,80 - 3,00		
	Roche sulfurée (plâtre)	1,30 - 2,80	1,60	2,00	2,20 - 2,40		
	Roche évaporite (rocher, sel, carbonate de potassium)	3,60 - 6,10	5,40	1,20	2,10 - 2,20		
	Anthracite	0,30 - 0,60	0,40	1,30 - 1,80	1,30 - 1,60		
Roches magmatiques	Tuf	1,10	1,10	/	/		
	Ebonite, totalement à moyennement acide	Rhyolite, trachyte, p. ex. Latite, dacite, p. ex.	3,10 - 3,40 2,00 - 2,90	3,30 2,60	2,10 2,90	2,60 2,90 - 3,00	
	Ebonite, alcalin à ultra-alcalin	Andésite, basalte, p. ex.	1,30 - 2,30	1,70	2,30 - 2,60	2,60 - 3,20	
	Plutonite, totalement à moyennement acide	Granite Syénite	2,10 - 4,10 1,70 - 3,50	3,20 2,60	2,10 - 3,00 2,40	2,40 - 3,00 2,50 - 3,00	
	Plutonite, alcalin à ultra-alcalin	Diorite Gabbro	2,00 - 2,90 1,70 - 2,90	2,50 2,00	2,90 2,60	2,90 - 3,00 2,80 - 3,10	
	Métamorphique légère	Schiste argileux Chert	1,50 - 2,60 4,50 - 5,00	2,10 4,50	2,20 - 2,50 2,20	2,40 - 2,70 2,50 - 2,70	
	Roches métamorphiques	Marbre	2,10 - 3,10	2,50	2,00	2,50 - 2,80	
		Quartzite	5,00 - 6,00	5,50	2,10	2,50 - 2,70	
		Moyennement à très métamorphique	Schiste	1,50 - 3,10	2,20	2,20 - 2,40	2,40 - 2,70
		Gneiss	1,90 - 4,00	2,90	1,80 - 2,40	2,40 - 2,70	
Amphibolite		2,10 - 3,60	2,90	2,00 - 2,30	2,60 - 2,90		



Artésianisme
rue Théo Lambert, Anderlecht (2015)

Petits projets ($P < 50$ kW) : Norme Hollandaise ISSO73

- Méthode basée sur des facteurs de correction (Source: ISSO 73)
- Estimation préliminaire de la longueur de sonde:
 - $L_{\text{sonde}} = P_{\text{ground}} / P_{\text{spécifique}}$
 - $P_{\text{spécifique}} = f(\text{Régénération, heure fonctionnement})$



Petits projets ($P < 50$ kW) : Norme Hollandaise ISSO73

- ▶ Facteurs correctifs: $L_{\text{sonde,final}} = L_{\text{sonde}} \times C1 \times C2 \times C3 \times Cn$
 - Type de sol (conductivité thermique médiocre, moyenne, bonne)
 - Matériau de remplissage (sable, bentonite moyenne, bentonite faible)
 - Température minimum du fluide (de -5°C à $+5^{\circ}\text{C}$)
 - Type de sonde (simple U, double U, coaxial)
 - Configuration du champ de sonde
 - Inter-distance entre sondes (de 3 à 10 m)
- ▶ Outil de dimensionnement en ligne (Smartgeotherm) basé sur cette méthode (Voir fin de cette présentation)
- ▶ Document complet: *ISSO73 – ISSO-publicatie 73 - Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars - ISBN: 978-90-5044-308-1*

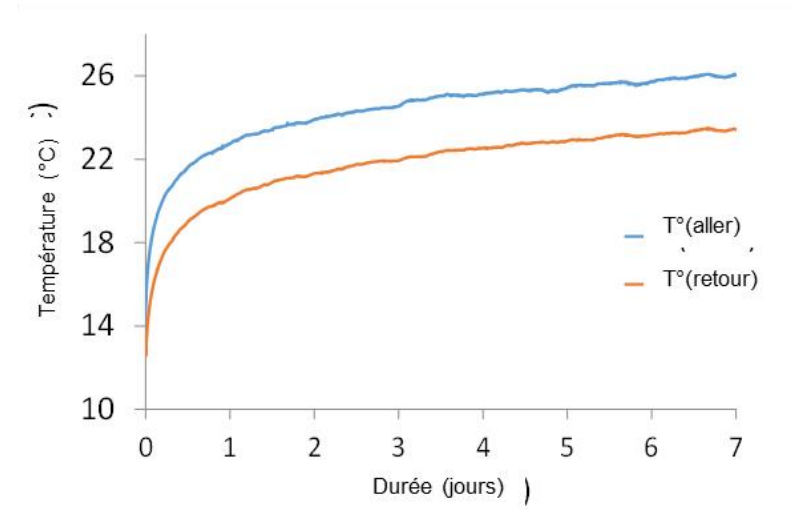


Gros projets ($P > 50$ kW) : Test de réponse thermique

- Pour des projets d'une puissance > 50 kW, un Test de réponse thermique (TRT) est conseillé
 - Forage d'une sonde test et réalisation d'un TRT de 48 à 72 h
 - Mesures : T° naturelle du sous-sol / conductivités thermiques / capacités calorifiques in situ / résistance de la sonde

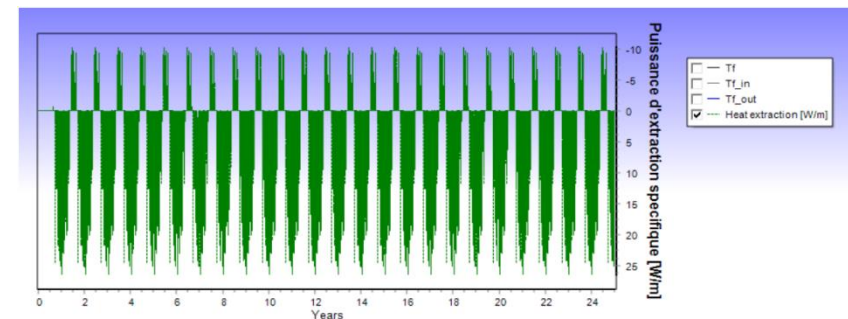
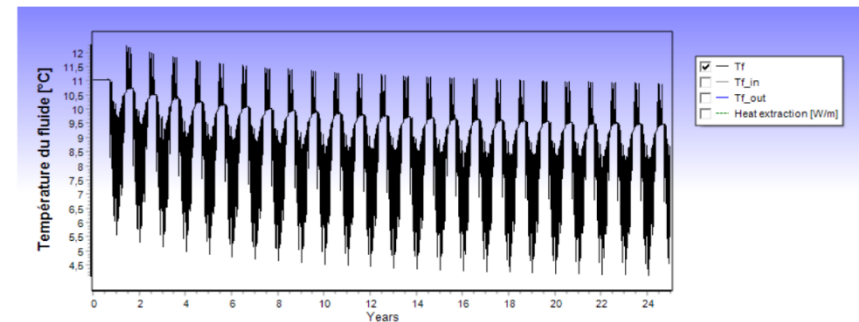
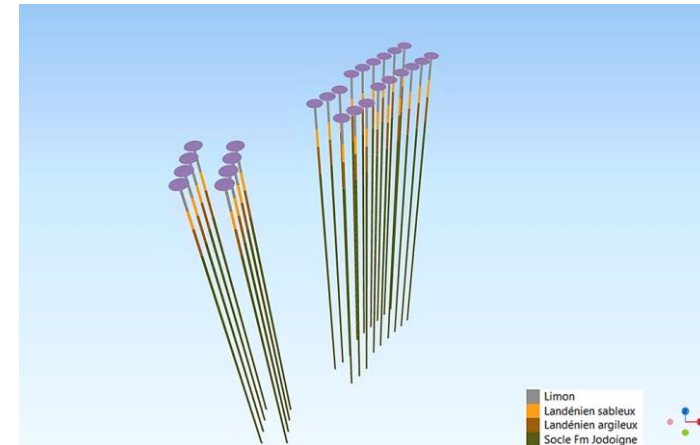


Source Geoazimuth



Gros projets ($P > 50$ kW) : Modélisation du champ de sonde (thermique)

- ▶ Objectif :
 - Pérennisation du système (maîtrise de la dérive thermique et du recyclage thermique)
 - Respect des range de T° imposés
- ▶ Données d'entrée :
 - Appels de puissances horaires
 - Design du champ de sonde
 - Propriétés géothermiques du sous-sol
- ▶ Données de sortie :
 - T° d'entrée et sortie des sondes
 - Puissance linéique



Etude (hydro)géologique détaillée

- Définition des propriétés hydrogéologiques du sous-sol : Un aquifère productif et compatible avec un usage géothermique est-il présent ?

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
	Lower Miocene	US/RBC_21 Sables de Diest		
	Upper Eocene	US/RBC_22 Sables de Bolderberg		PERCHED AQUIFER SYSTEM
III	Middel Eocene	US/RBC_23 Sables et argiles de Sint-Huibrechts-Hern		
		US/RBC_25 Sables de Maldegem (membre de Onderdale)		
		US/RBC_31 Argiles de Maldegem (membre de Uirsel et Asse)		AQUICLUDE
		US/RBC_41 Sables de Maldegem (membre de Wemmel)		
		US/RBC_42 Sables de Lede		
	Lower Eocene	US/RBC_43 Sables de Bruxelles		BRUSSELS SANDS AQUIFER
		US/RBC_44 Sables de Gent (membre de Vlierzele)		
		US/RBC_51 Argiles de Gent (membre de Merselbeke)		AQUICLUDE
		US/RBC_61 Sables et argiles de Tielt		AQUITARD
		US/RBC_71 Argiles de Kortrijk (membre d'Aalbeke)		AQUICLUDE
II	Upper Paleocene	US/RBC_72 Sables et argiles de Kortrijk (membre de Moen)		AQUITARD
		US/RBC_73 Argiles de Kortrijk (membre de Saint Maur)		AQUICLUDE
		US/RBC_81 Sables de Hannut (Membre de Grandglise)		LANDENIAN SANDS AQUIFER
I	Lower Cambrian	US/RBC_82 Argiles de Hannut (Membre de Lincient)		AQUICLUDE
		US/RBC_91 Craies de Gulpen		CHALK AQUIFER
		US/RBC_92 Socle Paléozoïque		PALEOZOIC AQUIFER

Source :
Bruxelles
Environnement

AQUIFERE DES SABLES DU BRUXELLIEN

Potential : 70 – 350 kW / doublet

Limites potentiel :

-> disponibilité limitée à l'Est de la RBC, sur les plateaux

-> risques de colmatage élevés

Indice de qualité de la ressource : 0 à 2/3

AQUIFERE DES SABLES DU LANDENIEN

Potential : 70 – 100 kW / doublet

Limites potentiel :

-> débits limités

Indice de qualité de la ressource : 2/3 (valeur sûre)

AQUIFERE DES CRAIES DU CRETACE ET DU SOCLE PALEOZOIQUE

Potential : 0 – 700 kW / doublet

Limites potentiel :

-> débits potentiellement très élevés mais incertains

Indice de qualité de la ressource : 0 à 3/3

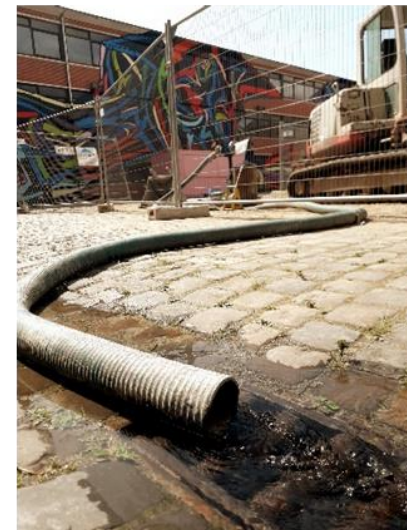
- Définition des modalités exploratoires (puits tests et essais dans le cadre de l'étude de faisabilité)



Puits tests et essais

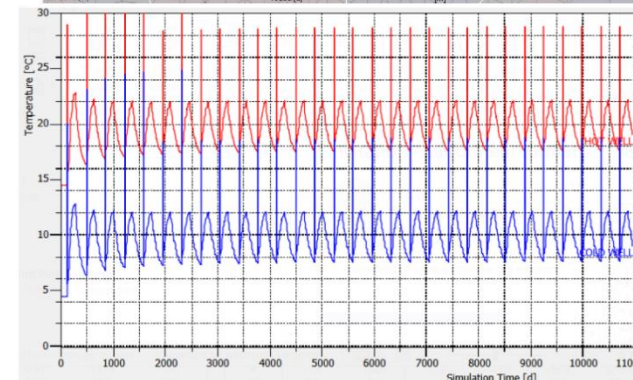
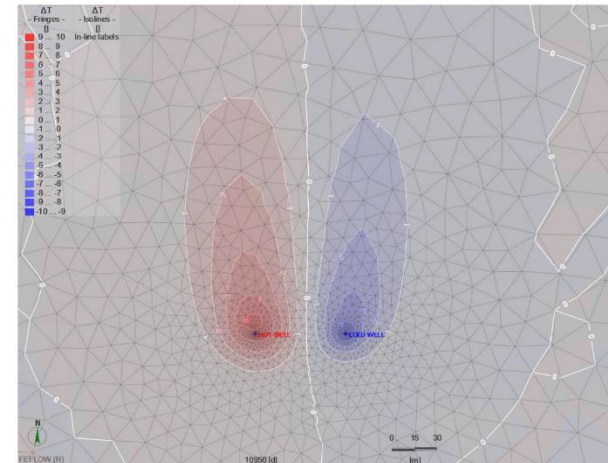
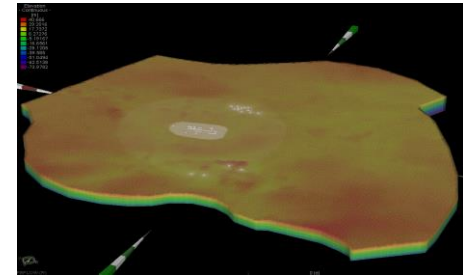
► Quantification des propriétés hydrodynamiques et hydrochimiques

- Essais de pompage par paliers
- Essais de pompage longue durée
- Essais de réinjection
- Analyse physico-chimique
- Diagraphie micromoulinet
- ...



Modélisation numérique (thermique et hydraulique)

- Objectif :
 - Pérennisation du système (maîtrise de la dérive thermique et du recyclage thermique)
 - Respect des range de T° imposés
 - Impacts piézométriques et thermiques
 - Conflits d'usage sur les captages et systèmes géothermiques voisins
- Données d'entrée :
 - Appels de puissances horaires
 - Design des puits
 - Propriétés hydrogéologiques et thermiques du sous-sol
- Données de sortie :
 - T° et Pression au droit des puits d'exploitation chaud et froid
 - T° et Pression spatialisées (3D)



LA GEOTHERMIE

LES SOLUTIONS

SYNTHESE COMPARATIVE / CHOIX

LE PROJET DE GEOTHERMIE EN RBC

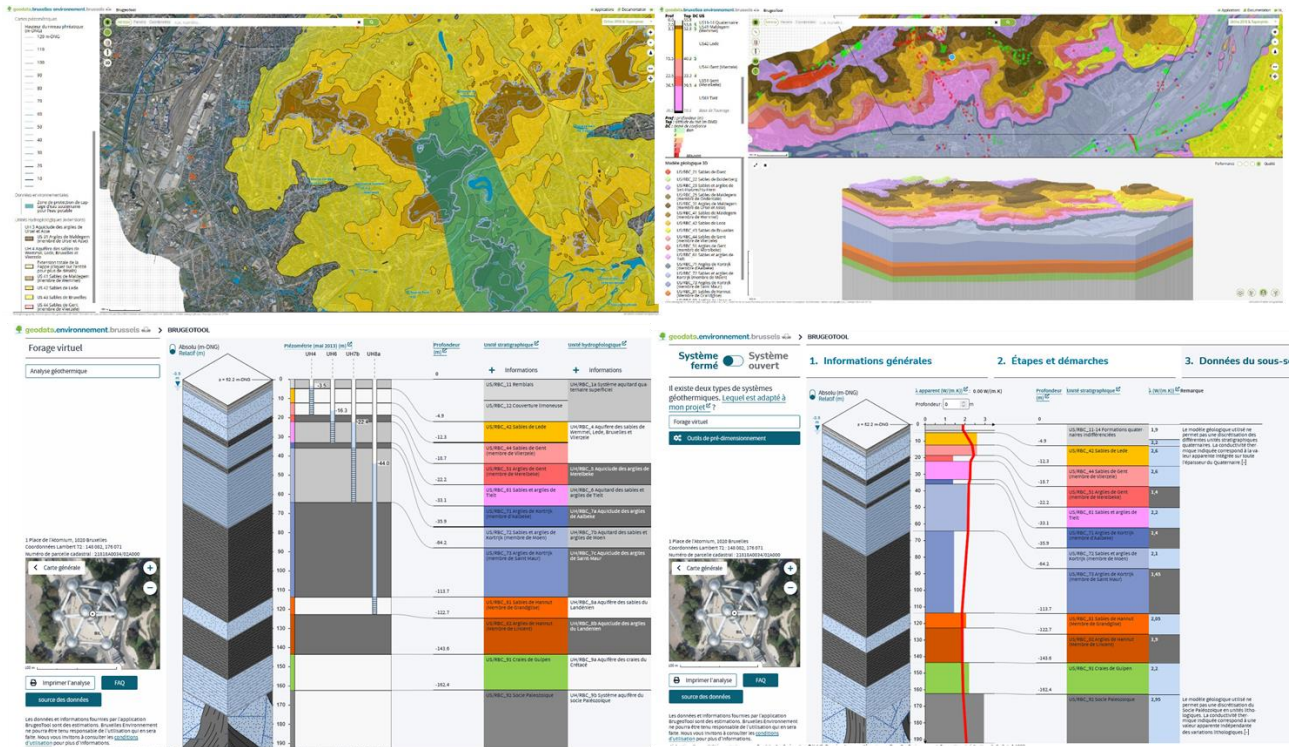
DIMENSIONNEMENT

BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



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

- Accès aux données du sous-sol sous diverses formes (1D, 2D, 3D)
- Aide à la préfaçabilité géothermique (règlementaire, analyse potentiel)
- Prédimensionnement via SmartGeotherm ($P < 100$ kW, selon norme Hollandaise)



LIEN INTERNET





Normes

- ▶ **NBN EN 15450:2008** - Systèmes de chauffage dans les bâtiments. Conception des systèmes de chauffage par pompe à chaleur
- ▶ **ISSO 73** - Ontwerp and uitvoering van vertical bodemwaarmtewisselaars
- ▶ **VDI 4640 – Part 2** - Thermal use of the underground – Ground source heat pump systems
- ▶ **SIA 386-6-2010** - Sondes géothermiques



BrugeoTool

- ▶ [Lien Internet](#)



Sites internet

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



Ouvrages

- ▶ Buildwise – Note technique d'information (NIT) 259 - Géothermie peu profonde, Conception et mise en œuvre de systèmes avec échangeurs en forme de U



Mathieu AGNIEL

Hydrogéologue - BrugeoTool Manager
Bruxelles Environnement

☎ + 32 488 23 04 98

✉ magniel@environnement.brussels



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

