

OPLEIDING DUURZAME GEBOUWEN

WARMTEPOMP : KEUZE EN ONTWERP

LENTE 2024



**ZLE-geothermie (zeer lage energie) met sondes of met
grondwater in het Brussels Hoofdstedelijk Gewest**

Mathieu AGNIEL



- ▶ Begrijpen van de principes van ZLE-geothermie
- ▶ Identificeren van de technische oplossingen voor het onttrekken van deze energie
- ▶ Verkrijgen van een overzicht van de bestaande installaties in het BHG
- ▶ Begrijpen van de geschiktheid van geothermische oplossingen overeenkomstig het projecttype
- ▶ Begrijpen van de facetten van een ZLE-geothermieproject in de context van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest
- ▶ Begrijpen van de dimensioneringsmethodes
- ▶ Kennismaken met de BrugeoTool voor prehaalbaarheid (en de predimensionering van een installatie via Smartgeotherm)



GEOOTHERMIE

OPLOSSINGEN

VERGELIJKEND OVERZICHT / KEUZES

GEOOTHERMIEPROJECT IN HET BHG

DIMENSIONERING

BRUGEOTOOL/SMARTGEOOTHERM



GEOOTHERMIE

OPLOSSINGEN

VERGELIJKEND OVERZICHT / KEUZES

GEOOTHERMIEPROJECT IN HET BHG

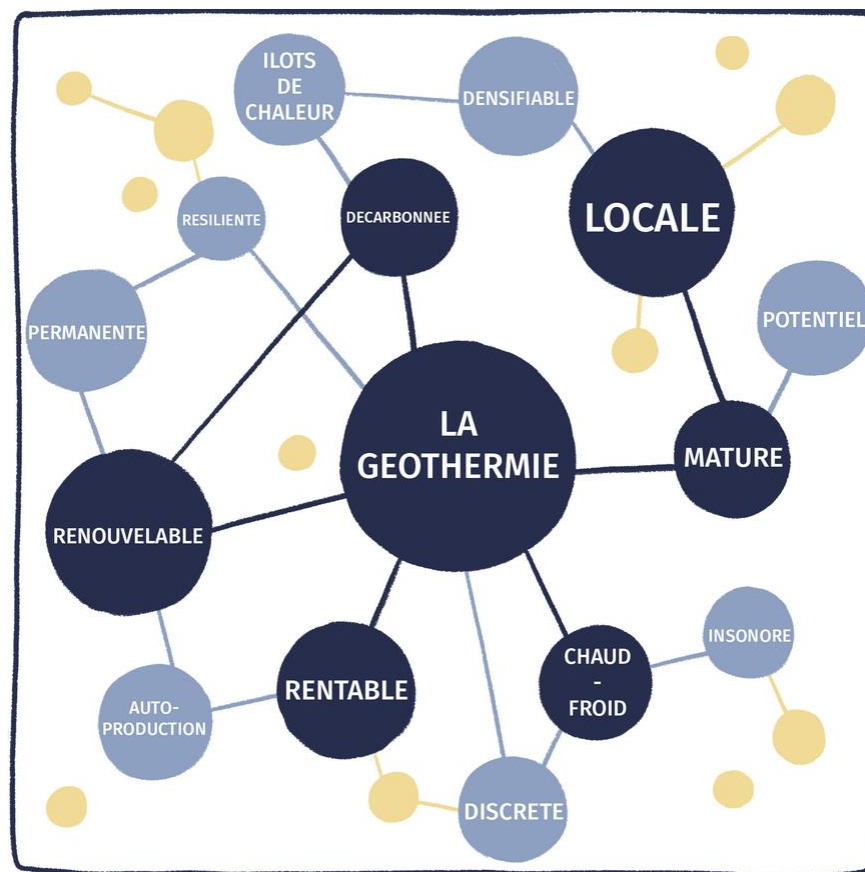
DIMENSIONERING

BRUGEOTOOL/SMARTGEOOTHERM



Wat zijn de voordelen van een geothermisch systeem?

- ▶ Er zijn tal van voordelen
- ▶ Maar ook te beheersen effecten

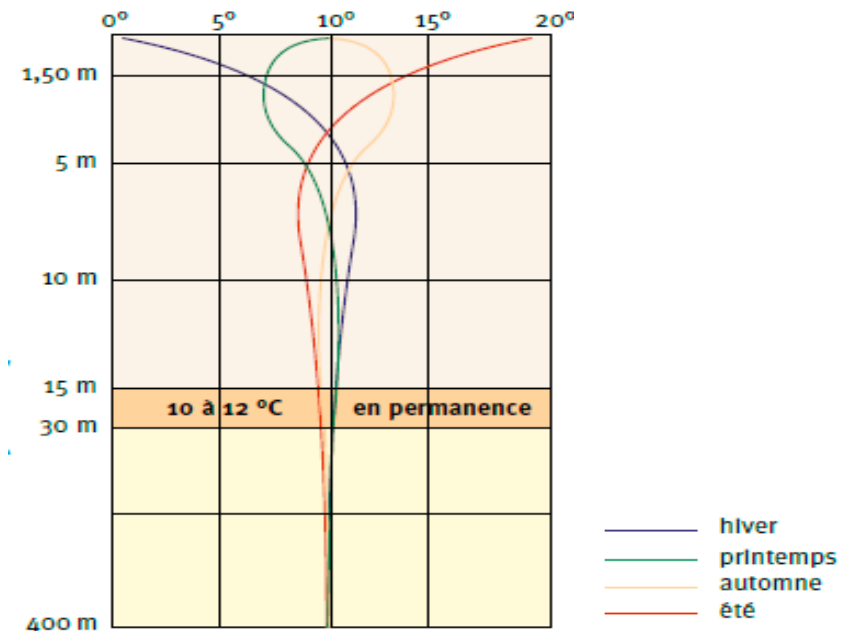
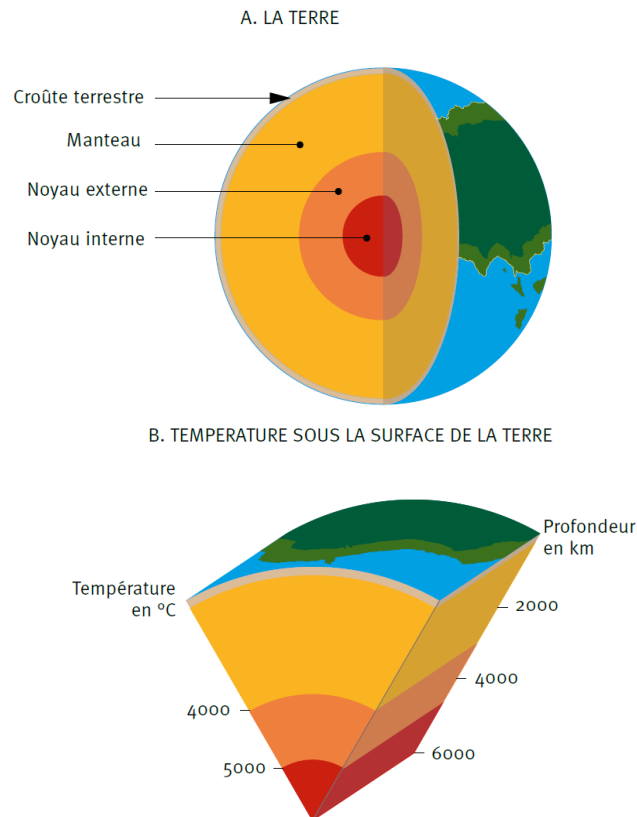


Bron: Phreatis



Bodemtemperatuur

- ▶ Stabiele bodemtemperatuur vanaf een diepte van 15 m
- ▶ Geothermische gradiënt in de orde van 3 °C/100 m in het BHG

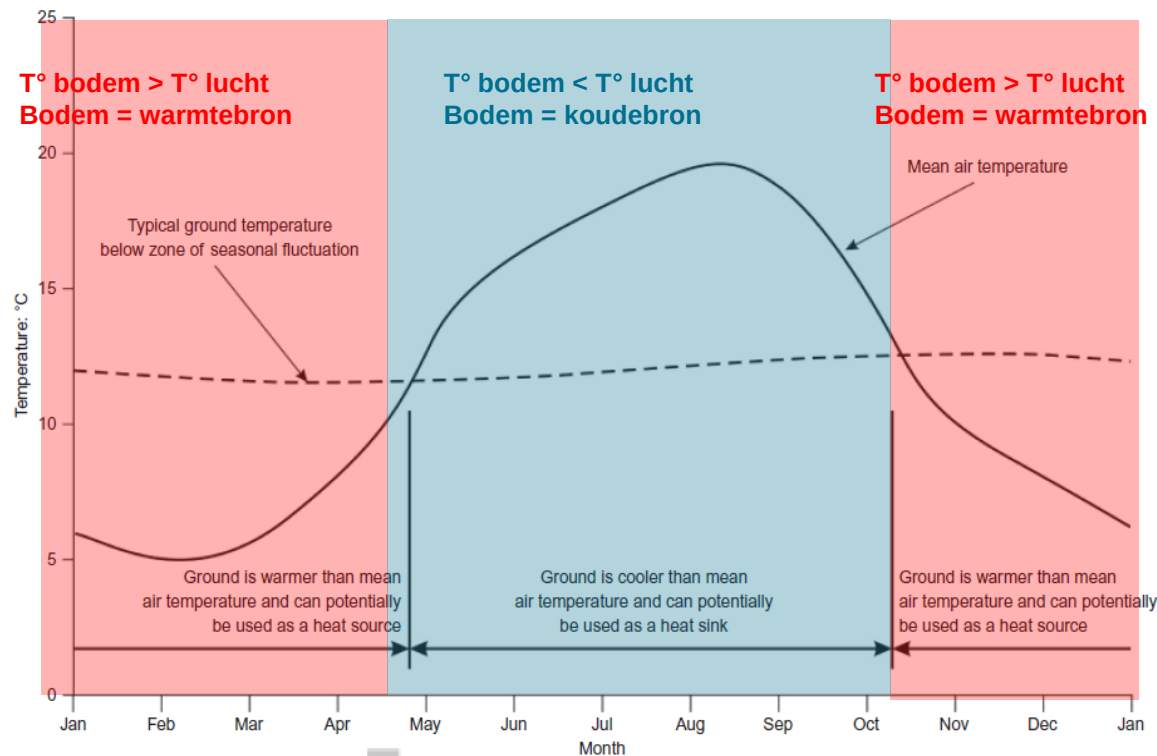


Bron: Buildwise, TV 259



Bodemtemperatuur

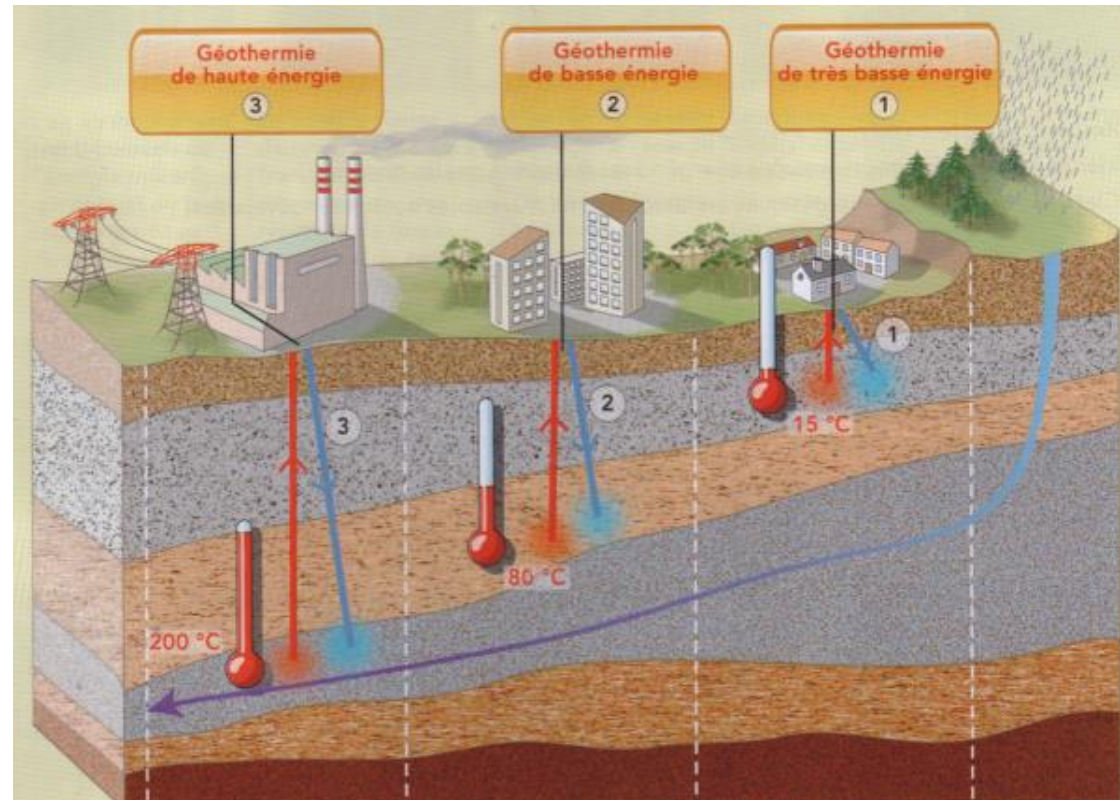
- ▶ In de winter: bodemtemperatuur > luchttemperatuur
- ▶ In de zomer: bodemtemperatuur < luchttemperatuur
- ▶ De ondiepe ondergrond (50-200 m) vormt een stabiel thermisch reservoir van zo'n 10-15 °C dat kan worden aangewend voor warmte- en koudeproductie met een optimaal en beheerst rendement.



Verskillende systemen voor verschillende toepassingen

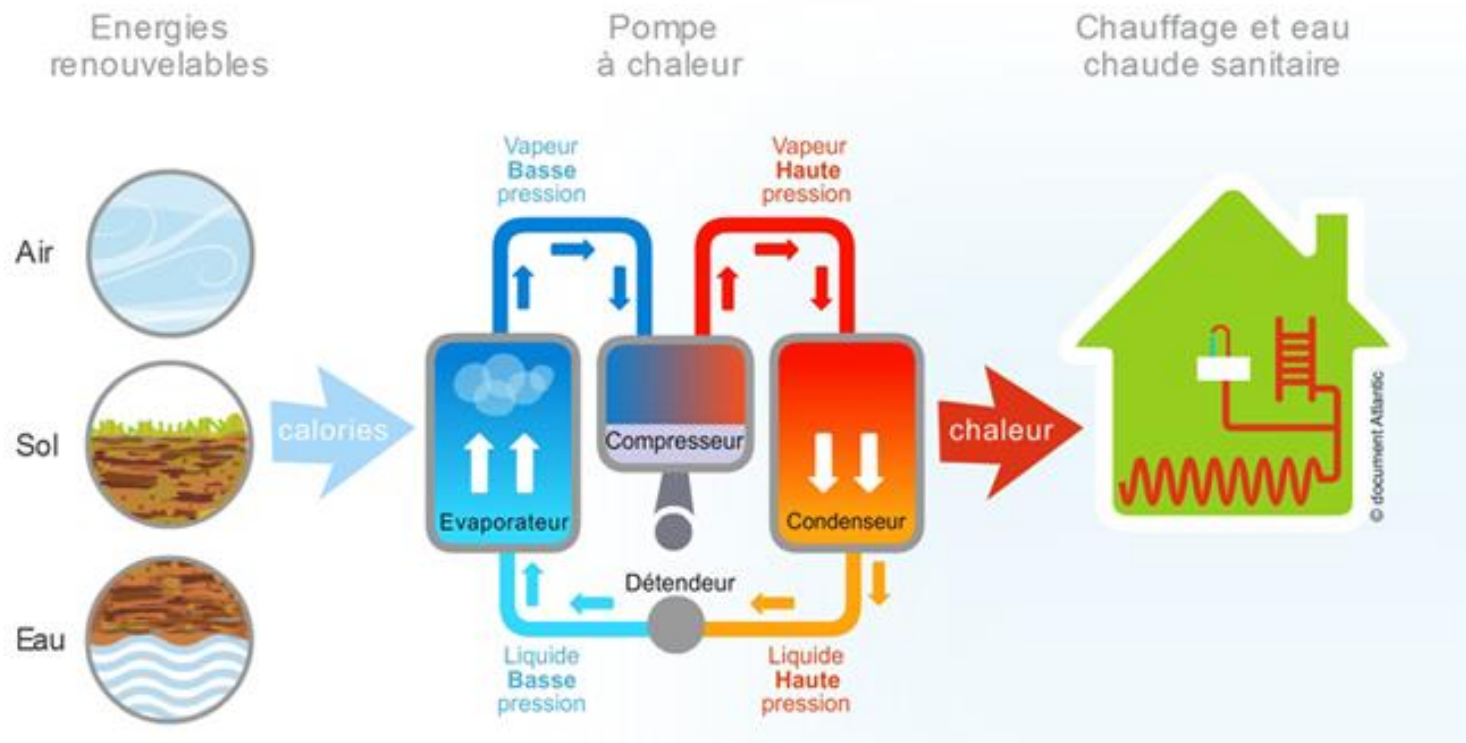
- ▶ Oppervlaktegeothermie / ZLE-geothermie (10 - 300 m)
 - $T^{\circ} < 20^{\circ} \text{C}$
 - verwarming & koeling
 - ondersteuning met WP
- ▶ Diepe geothermie / LE- tot HE-geothermie (> 300 m)
 - $T^{\circ} > 20^{\circ} \text{C}$
 - stadsverwarming
 - elektriciteitsproductie

Bron: BRGM



De werking van een warmtepomp

- ▶ Verschillende koudebronnen: lucht, bodem, water
- ▶ 4 stappen: Verdampers -> Compressor -> Condensor -> Reduceerventiel



Bron: www.ef4.be



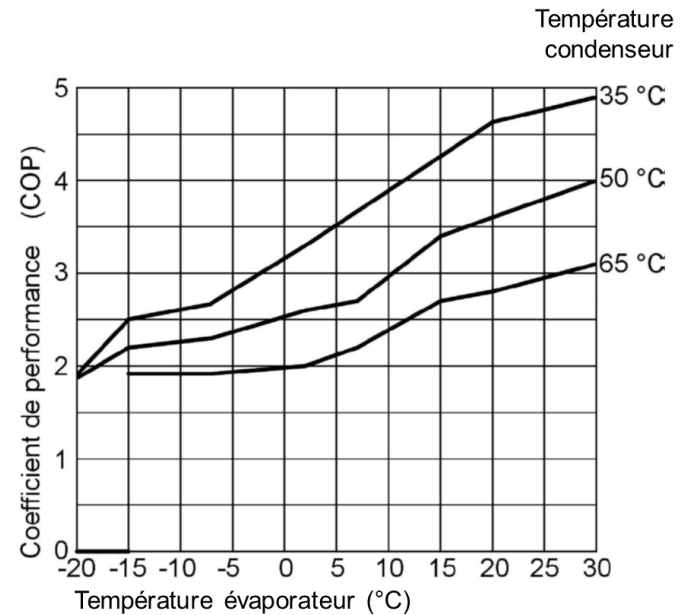
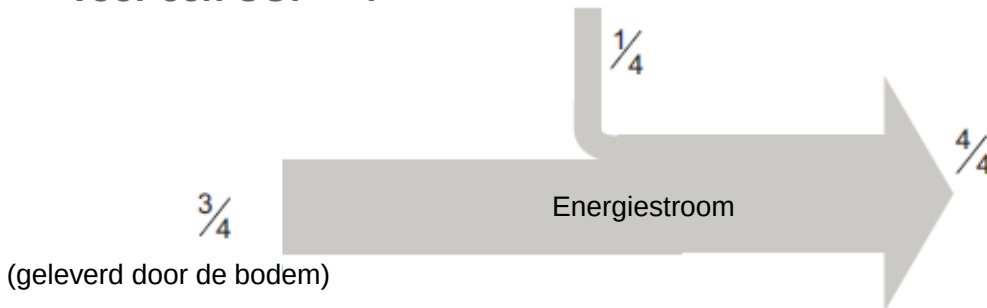
De prestatiecoëfficiënt

- ▶ SCOP: seizoensgebonden prestatiecoëfficiënt voor warmteproductie
- ▶ SEER: seizoensgebonden prestatiecoëfficiënt voor koudeproductie
- ▶ Typische SCOP-waarden:
 - Lucht/water-WP (aerothermisch) = +/- 2,5
 - Water/water-WP (sonde) = +/- 4
 - Water/water-WP (grondwater) > 4

$$SCOP = \frac{P_{\text{afgegeven warmte}}}{P_{\text{elektr.}}} \quad SEER = \frac{P_{\text{afgegeven koude}}}{P_{\text{elektr.}}}$$

Voor een COP = 4

Externe vermogensbron (elektriciteit)



Bron: www.ef4.be



GEOTHERMIE

OPLOSSINGEN

VERGELIJKEND OVERZICHT / KEUZES

GEOTHERMIEPROJECT IN HET BHG

DIMENSIONERING

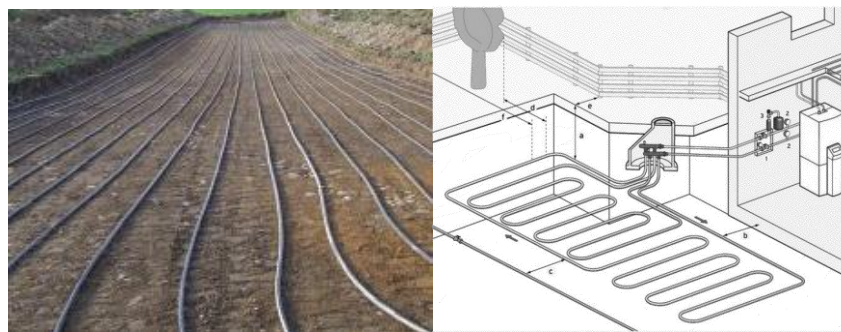
BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



OPPERVLAKTEGEOTHERMIE (OPPERVLAKTECOLLECTOREN)

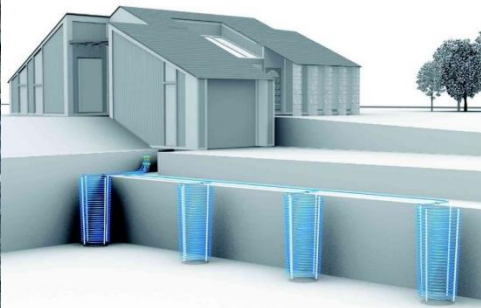
Gesloten systemen – oppervlaktegeothermie (P = 1 - 50 kW)

- ▶ Warmtegeleidend fluïdum circuleert in een gesloten systeem met het oog op de onttrekking van warmte uit de bodem
- ▶ Geothermie met horizontale collectoren (diepte van 1 m)
 - $P \approx 10\text{-}25 \text{ W/m}$



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

- ▶ Compact geothermisch systeem (diepte van 3-5 m)
 - Spiraalvormige collectoren ($P \approx 1 \text{ kW/collector}$)
 - Geothermische wanden



Bron: Vaillant

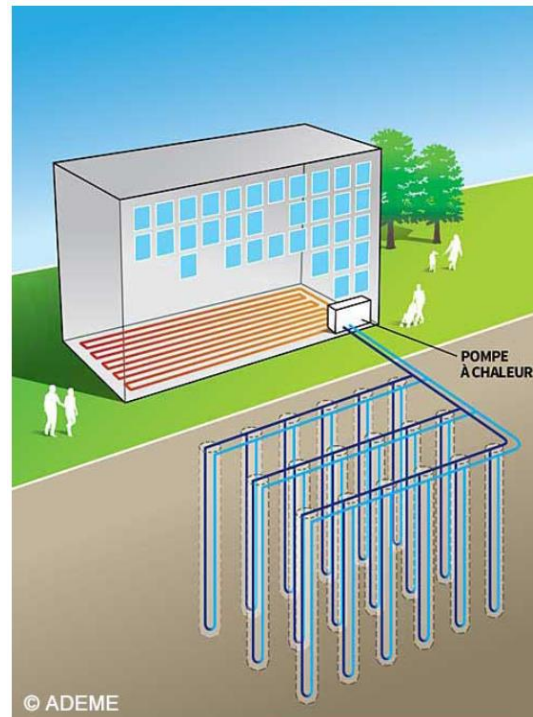


Bron: Caleosol



Gesloten systemen – geothermie met sondes (P = 5 - 500 kW)

- ▶ Warmtegeleidend fluïdum circuleert in een gesloten systeem met het oog op de onttrekking van warmte uit de bodem
- ▶ Een of meerdere sondes met diepte van 50 tot 250 m
- ▶ Onderlinge afstand = 5 tot 10 m
- ▶ P tot 50 W/ml (bij goed gebalanceerde warmte-/koudebehoeften)
- ▶ Seizoensgebonden geothermische opslag mogelijk = BTES



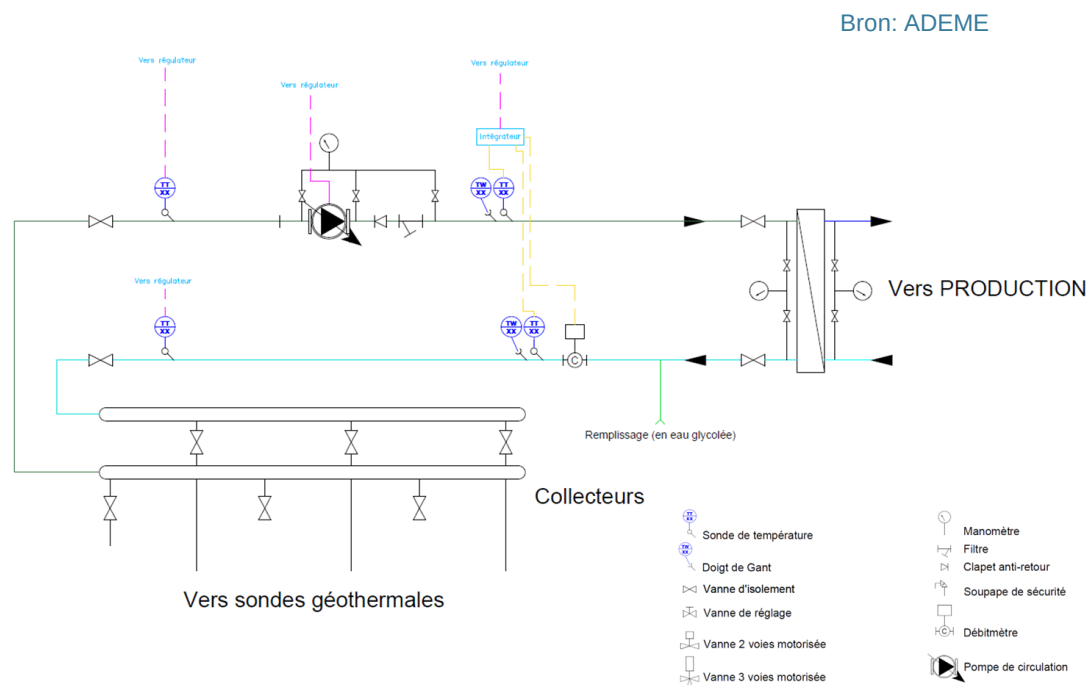
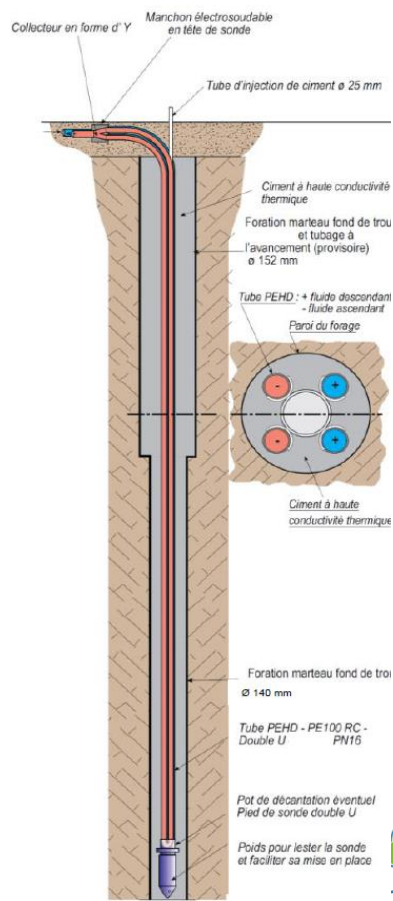
Bron: ADEME

© ADEME



Gesloten systemen – geothermie met sondes (P = 5 - 500 kW)

- ▶ Klassieke diameter = 125-150 mm
- ▶ Verschillende sondegeometrie (enkele U-sonde, dubbele U-sonde, coaxiale sonde, ...)
- ▶ Dichtheid en warmtegeleiding gegarandeerd door een geothermische sonde ?? (boorgat opgevuld met grout)
- ▶ Aansluiting op een hoofdcollector die instaat voor de voeding van de secundaire kring



Bron: ADEME

Gesloten systemen – geothermie met sondes (P = 5 - 500 kW)



Forage & installation sonde PEHD



Réseau hydraulique horizontal



Collecteur / 14 sondes parallèles



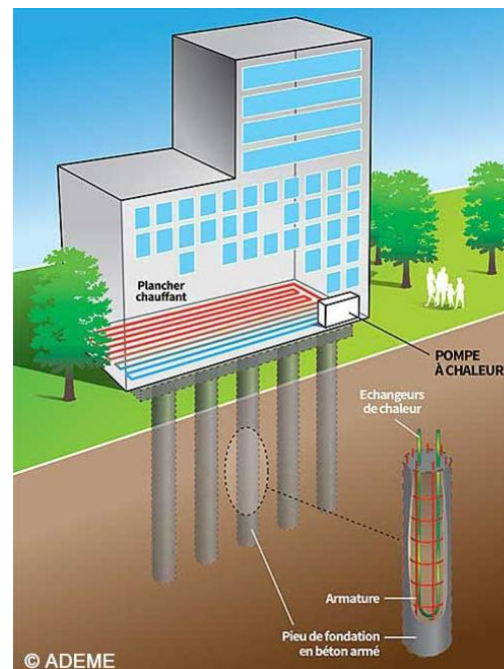
2 Pompes à chaleur sol/eau 75 kW

Bron: ADEME



Gesloten systemen – energiepalen (P = 5– 150 kW)

- ▶ Warmtegeleidend fluïdum circuleert in een gesloten systeem met het oog op de onttrekking van warmte uit de bodem
- ▶ Diepte van 10 – 30 m
- ▶ P tot 50 W/ml (bij goed gebalanceerde warmte-/koudebehoeften)
- ▶ Warmtewisselaars rechtstreeks geïntegreerd in funderingspalen.
- ▶ Bij de structurele dimensionering van funderingspalen moeten de thermische eisen in acht worden genomen



Bron: ADEME



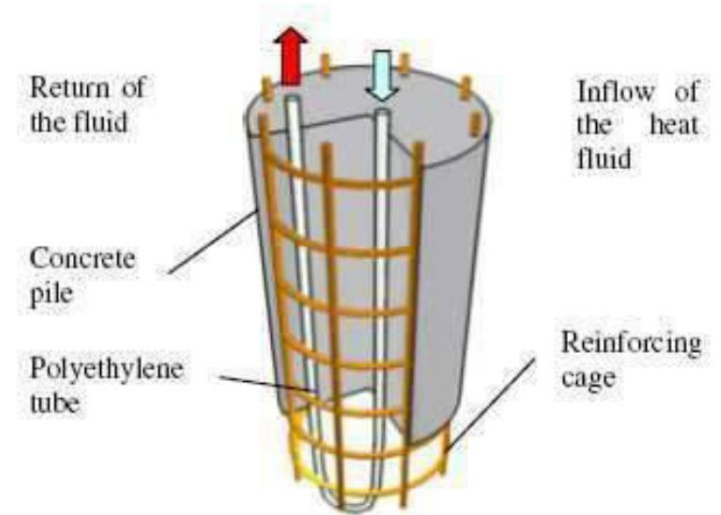
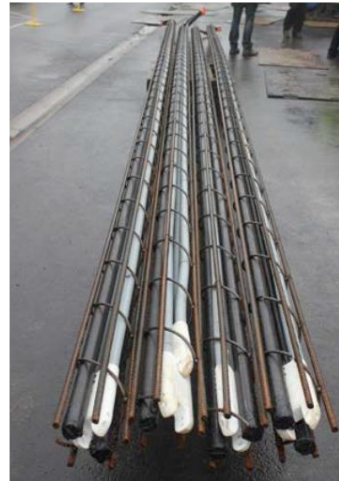
Gesloten systemen – energiepalen (P = 5– 150 kW)



Pieux 3 U



Pieux 6 U



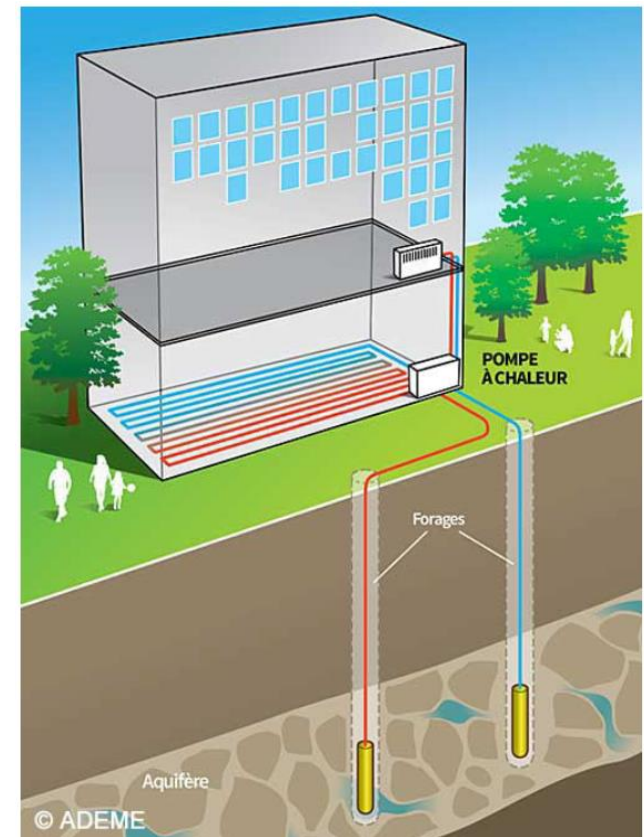
Bron: ADEME



Open systemen – geothermie met grondwater (P = 100 – 1000+ kW)

- ▶ Maken gebruik van de natuurlijke warmte van het grondwater in de watervoerende lagen of aquifers (12 - 15°C)
- ▶ Open geothermische systemen bestaan meestal uit **bronnenparen**: een bron voor warmteproductie en een bron voor koudeproductie (ATES-werking = seizoensgebonden geothermische opslag)
- ▶ Boordiepten tot 200 m in het BHG
- ▶ In het BHG onderlinge afstand tussen:
 - bronnen van dezelfde cluster ≥ 10 m
 - cluster van warmtebronnen en cluster van koudebronnen ≥ 50 m
- ▶ Ongeveer 7 kW voor 1 m³/u opgepompt/opnieuw geïnjecteerd water

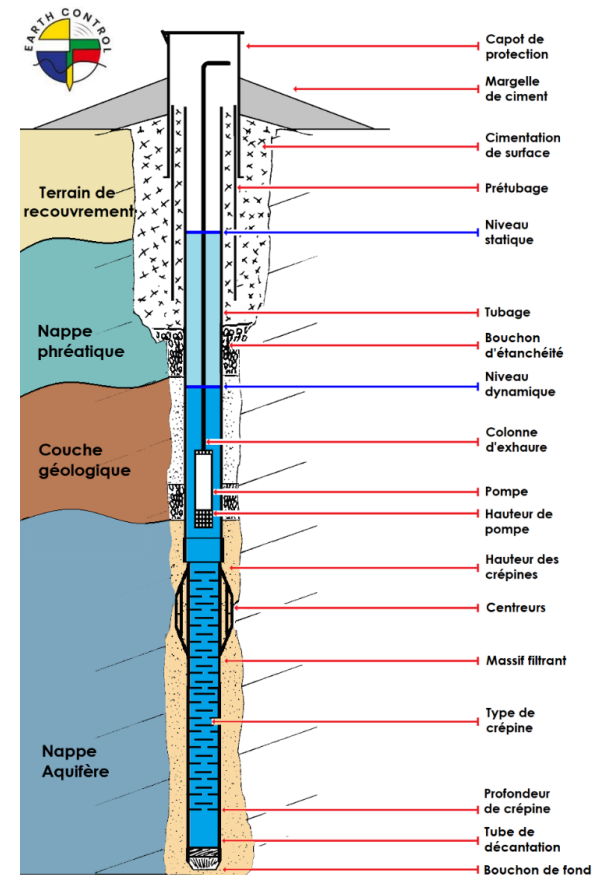
Bron: ADEME



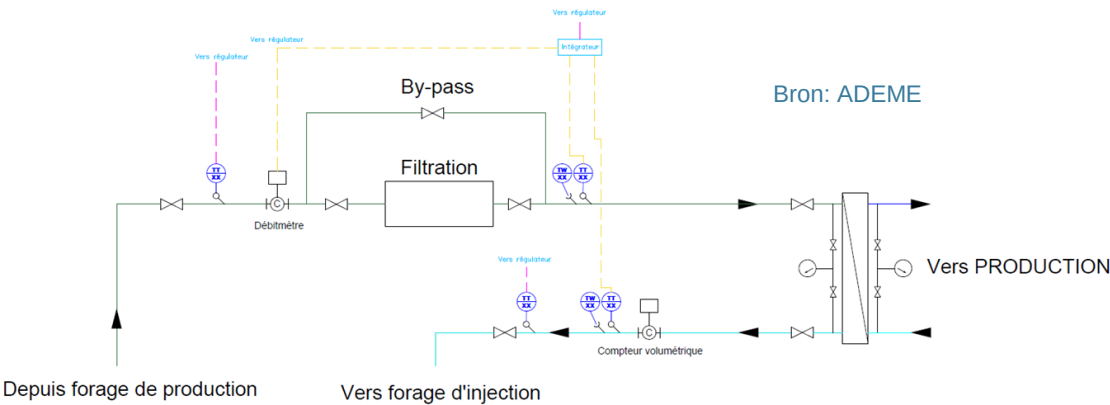
19 OPPERVLAKTEGEOTHERMIE (VERTICALE COLLECTOREN)

Open systemen – geothermie met grondwater (P = 100 – 1000+ kW)

- ▶ Klassieke diameter = 160-220 mm
- ▶ Plaatsing van ‘filterbuizen’ ter hoogte van de productieve aquiferzone en een pomp- en injectiekolom
- ▶ Filtratie vóór hoofdwarmtewisselaar

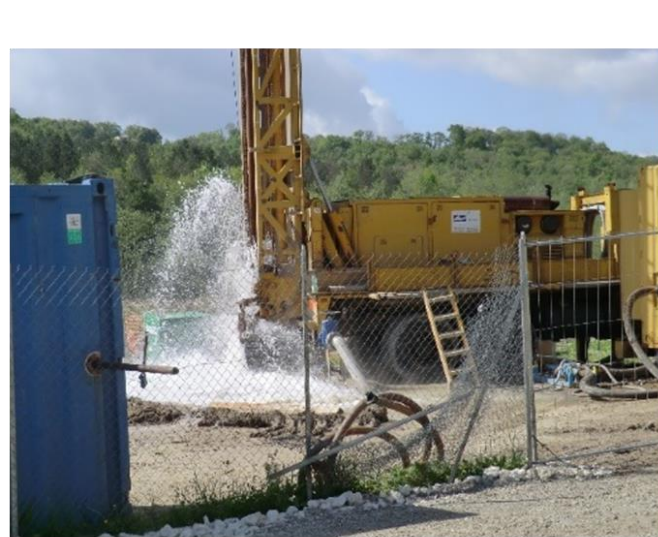


Coupe d'un forage et désignations



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

Open systemen – geothermie met grondwater (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

Bron: ADEME EN LEEFMILIEU BRUSSEL



Open systemen – geothermie met grondwater (P = 100 – 1000+ kW)



Filtre cyclonique et tamis (50 m³/h)



Echangeur à plaques géothermique



Pompe à chaleur eau/eau de 250 kW

Bron: ADEME EN LEEFMILIEU BRUSSEL



Diepe geothermie is geen optie in het BHG

- ▶ Technologie alleen te gebruiken in een open systeem
- ▶ Diep gesteente van Paleozoïsche sokkel met een te lage doorlatendheid voor open systemen op basis van actuele stand van de techniek.

Bestaande installaties in BE

- ▶ Saint-Ghislain (WAL)
 - 1 boring van 2.400 m,
 - Debiet van 100 m³/u,
 - Temperatuur van 72 °C
 - Vermogen van de centrale 15 MW
 - Energieproductie: 16.700 MWh
- ▶ Balmatt-site (VL)
 - 2 boringen van 3.610 m en 4.340 m
 - Temperatuur van 125 °C
 - Actueel vermogen: 10 MWth of 1 Mwe
- ▶ Janssen Pharmaceutica (VL)

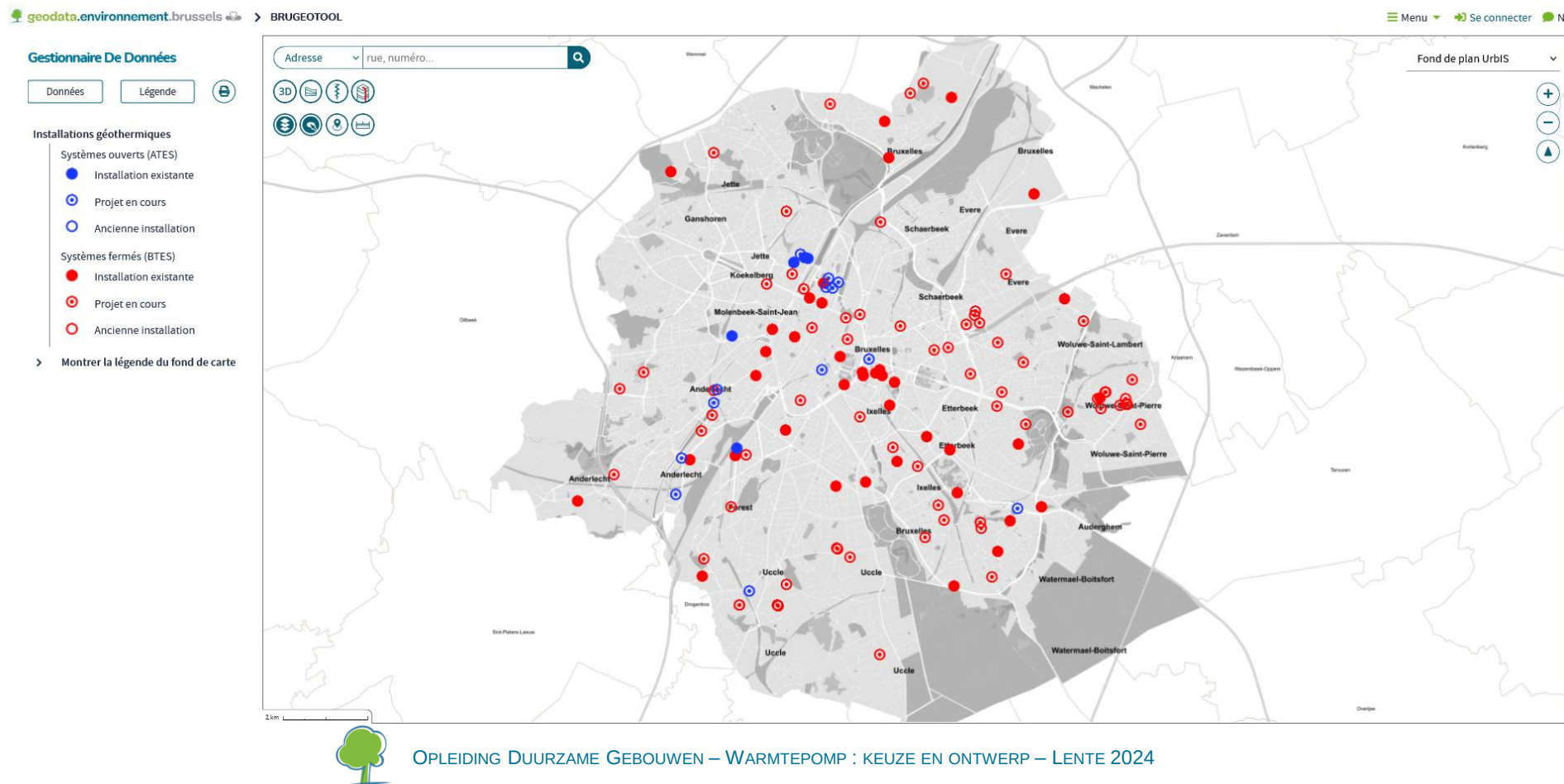


Bron: VITO



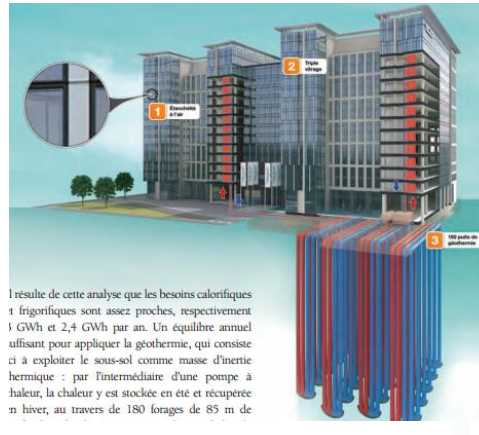
Park van geothermische installaties in Brussel op 9/02/2024

- ▶ **18** open systemen: 4 vergund + 14 in fase van MV-aanvraag (+ andere in voorontwerpfase)
- ▶ **108** gesloten systemen: 40 vergund + 68 in fase van MV-aanvraag (+ andere in voorontwerpfase)





CHIREC - Delta Ziekenhuis
Gesloten lus
176 sondes – diepte 90 m



Engie Tower - Noordstation
Gesloten lus
180 sondes – diepte 85 m



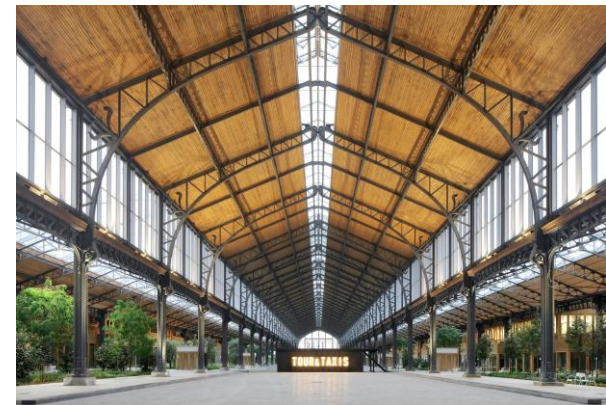
Wilfried Martens gebouw – Belliardstr.
Gesloten lus
33 sondes – diepte 240 m



Leefmilieu Brussel - T&T
Open lus
4 bronnenparen - diepte 80 m



Herman Teirlinckgebouw - T&T
Open lus
4 bronnenparen - diepte 80 m



Gare Maritime - T&T
Open lus
5 bronnenparen - diepte 150 m



GEOTHERMIE

OPLOSSINGEN

VERGELIJKEND OVERZICHT / KEUZES

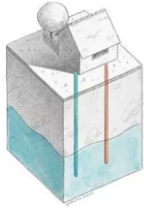
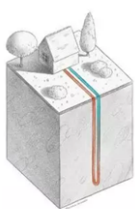
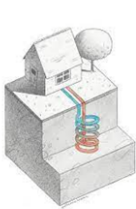
GEOTHERMIEPROJECT IN HET BHG

DIMENSIONERING

BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



Voor- en nadelen van de oplossingen



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



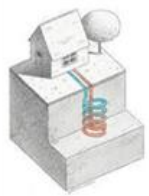
Ecologische en economische balans

Voorbeeld 1: Gerenoveerde eengezinswoning 200 m² / WP = 10 kW



a. Chauffage	b. Refroid.	unit
9.000	0	[kWh/an]
45,00	45,00	[kWh/m²/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



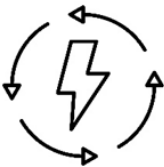
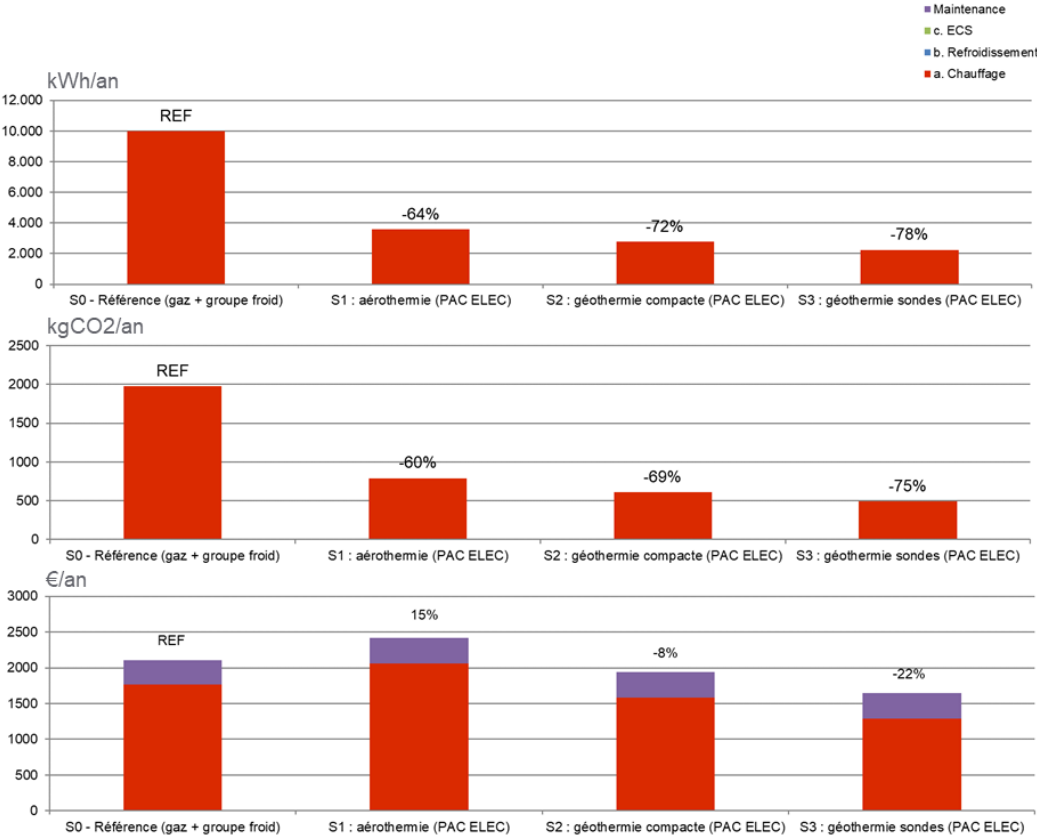
DEZE OEFENING BEOOGT DE IDENTIFICATIE VAN DE ORDES VAN GROOTTE!

- **Waarden afhankelijk van:** warmte-/koudebalans, vermogen, diepte van de geothermische winning, energiekost (ref. nov 2022), ...
- **Bron van de hypotheses:** CREG, Leefmilieu Brussel, Deplace/Cenergie (facilitatoren), ADEME (FR), AFPG (FR), ...

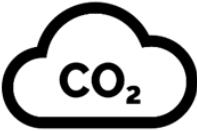


Ecologische en economische balans

Voorbeeld 1: Gerenoveerde eengezinswoning 200 m² / WP = 10 kW



Conso
Energie finale



CO2



Couts de
fonctionnement

DEZE OEFENING BEOOGT DE IDENTIFICATIE VAN DE ORDES VAN GROOTTE!

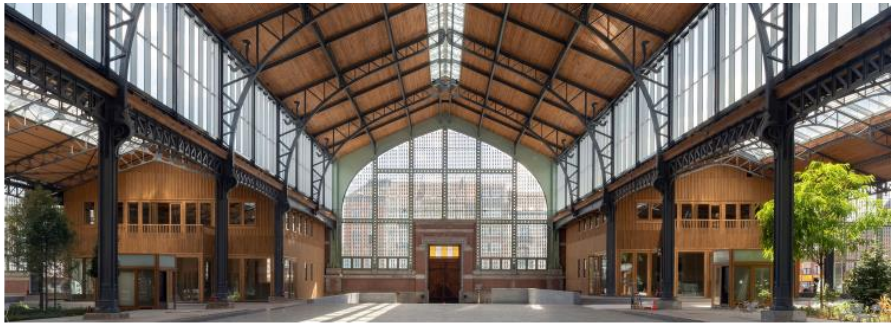
- **Waarden afhankelijk van:** warmte-/koudebalans, vermogen, diepte van de geothermische winning, energiekost (ref. nov 2022), ...
- **Bron van de hypotheses:** CREG, Leefmilieu Brussel, Deplace/Cenergie (facilitatoren), ADEME (FR), AFPG (FR), ...



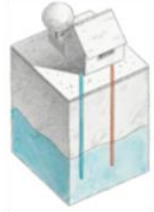
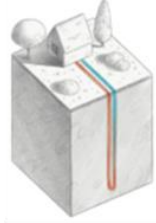
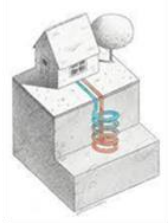
Ecologische en economische balans

Voorbeeld 2: Nieuw tertiair gebouw 50.000 m² / WP 400 kW

a. Chauffage	b. Refroid.	unit
750.000	750.000	[kWh/an]
15,00	15,00	[kWh/m²/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%



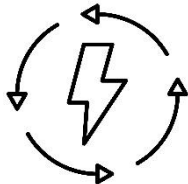
DEZE OEFENING BEOOGT DE IDENTIFICATIE VAN DE ORDES VAN GROOTTE!

- **Waarden afhankelijk van:** warmte-/koudebalans, vermogen, diepte van de geothermische winning, energiekost (ref. nov 2022), ...
- **Bron van de hypotheses:** CREG, Leefmilieu Brussel, Deplace/Cenergie (facilitatoren), ADEME (FR), AFPG (FR), ...

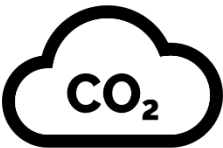


Ecologische en economische balans

Voorbeeld 2: Nieuw tertiair gebouw 50.000 m² / WP 400 kW



Verbruik
eindenergie



CO₂



Bedrijfskosten



GEOTHERMIE

OPLOSSINGEN

VERGELIJKEND OVERZICHT / KEUZES

GEOTHERMIEPROJECT IN HET BHG

DIMENSIONERING

BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



Fasering geothermie met sondes

Prehaalbaarheid

Opportunitets-
studie

2 weken

Regelgeving
Potentieel
Begroting,
planning

Prehaalbaarheidsstudie

4 weken

Predimensionering

20 dagen

Milieuvergunning
Klasse 1C (TRT +
installatie)

GO? NO GO?

Haalbaarheid

Haalbaarheidsstudie

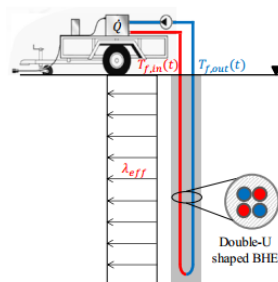
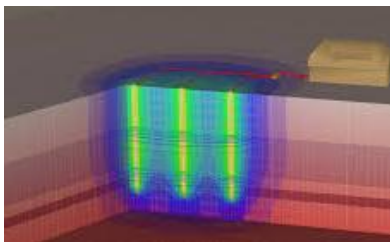
2 weken

Verkenning
Sondetest +
thermische-
responstest (TRT)

4 weken

Dimensionering

Aflevering MV



Uitvoering

- + boring (1 sonde = +/-1 dag)
- + sleuven
- + aansluiting
- + herstelling in oorspronkelijke staat
- + indienststelling

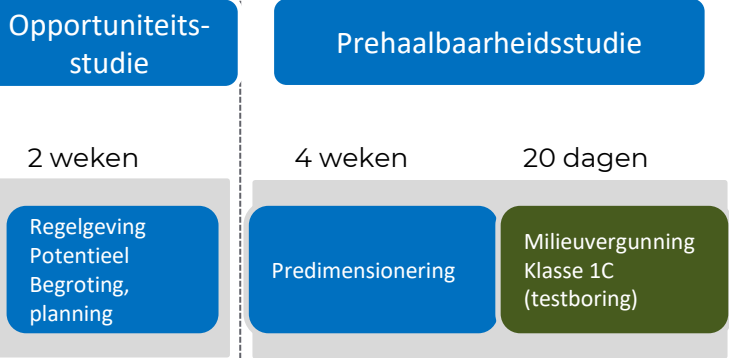


33

GEOTHERMIEPROJECT IN HET BHG

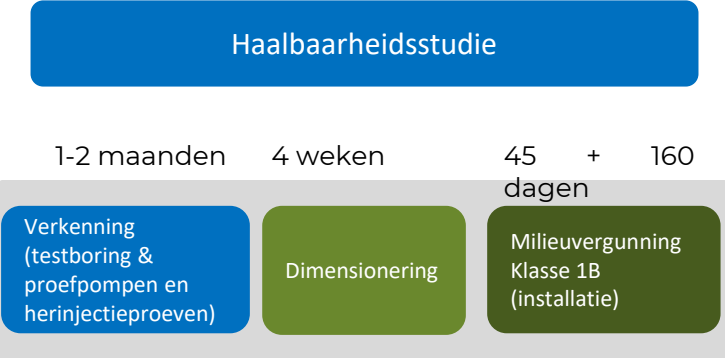
Fasering geothermie met grondwater

Prehaalbaarheid



GO? NO GO?

Haalbaarheid

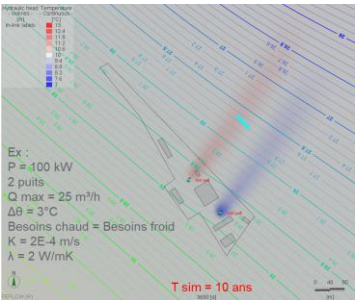


Aflevering MV

Uitvoering

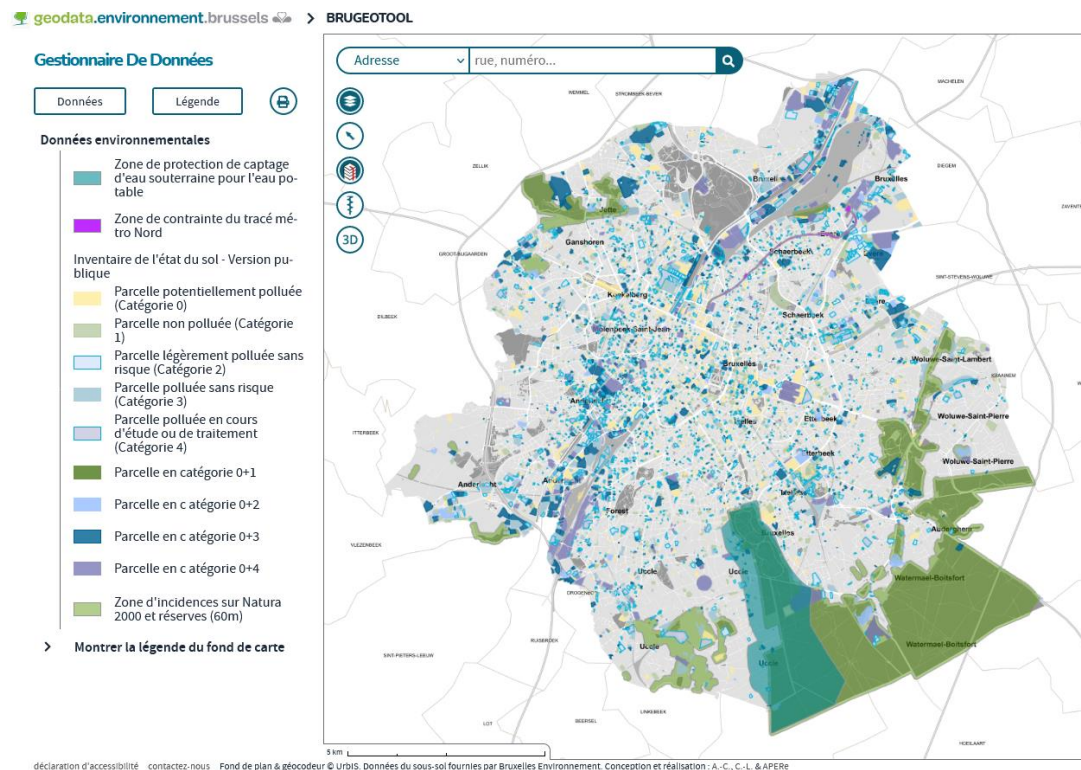
- + boring
- + putuitrusting
- + sleuven
- + aansluiting
- + herstelling in oorspronkelijke staat
- + indienststelling

Aflevering MV



Eisen wet- en regelgeving

- ▶ **Verboden zone**
 - **X** Beschermingszone voor de waterwinning
 - **X** Verboden zone Metro Noord
- ▶ **Niet-blokkerende eisen**
 - **!** Grondverontreiniging = voorwaarden MV
 - **!** Natura 2000 = voorwaarden MV
- ▶ **Typevoorschriften**
 - Bijv.: T° herinjectie
 - 0 - 25 °C (gesloten systeem)
 - 4 - 25 °C (open systeem)
- ▶ **Specifieke voorschriften**
 - Bijv.: beperking van boordiepte



RENOLUTION-premies

- ▶ Voor residentiële gebouwen
 - € 5.800 tot 6.500 / eengezinswoning (CAT I tot III)
- ▶ Voor niet-residentiële gebouwen
 - 35 % van de factuur)

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/nl/premies-stimuli/j4-verwarming-verwarming-met-warmtepomp>



GEOTHERMIE

OPLOSSINGEN

VERGELIJKEND OVERZICHT / KEUZES

GEOTHERMIEPROJECT IN HET BHG

DIMENSIONERING

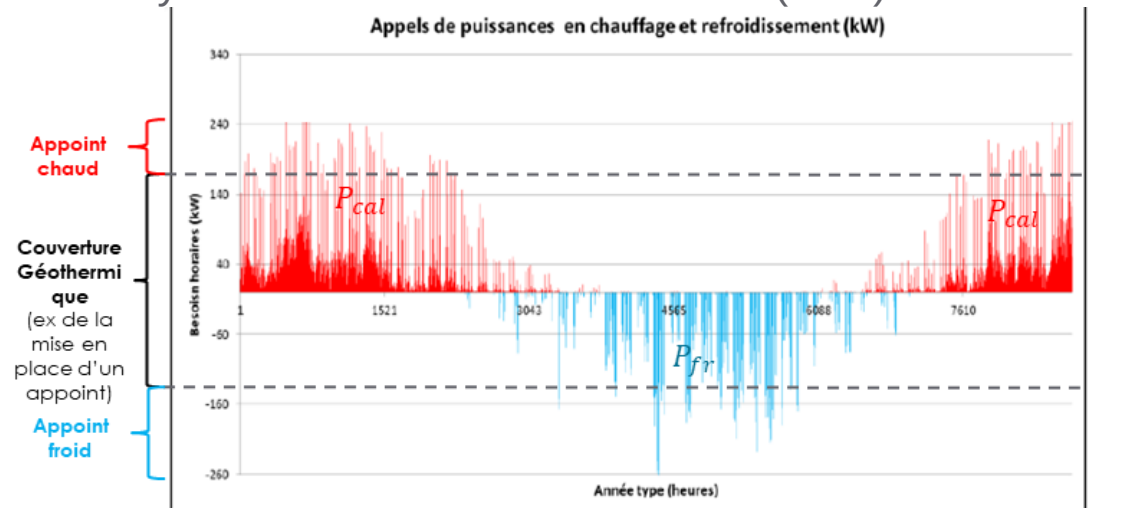
BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



37 DIMENSIONERING / ALLE PROJECTTYPES

Bepaling van thermische behoeften en geothermische dekking

- ▶ Kleine projecten < 50 kW: beoordeling van de jaarbalans voor warmte / koude / SWW (kWh/jaar)
- ▶ Grote projecten > 50 kW:
 - Bepaling de thermische profielen per uur (kW) door middel van - indien nodig - een dynamische thermische simulatie (DTS)



Source :
Xpair

- ▶ Behoeften - te onttrekken aan de geothermische bron

WARMTEPRODUCTIE

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

Prestatiecoëfficiënt $COP = \frac{P_{cal}}{P_{electrique}}$

KOUDEPRODUCTIE

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

Efficiëntiecoëfficiënt koeling $EER = \frac{P_{fr}}{P_{electrique}}$

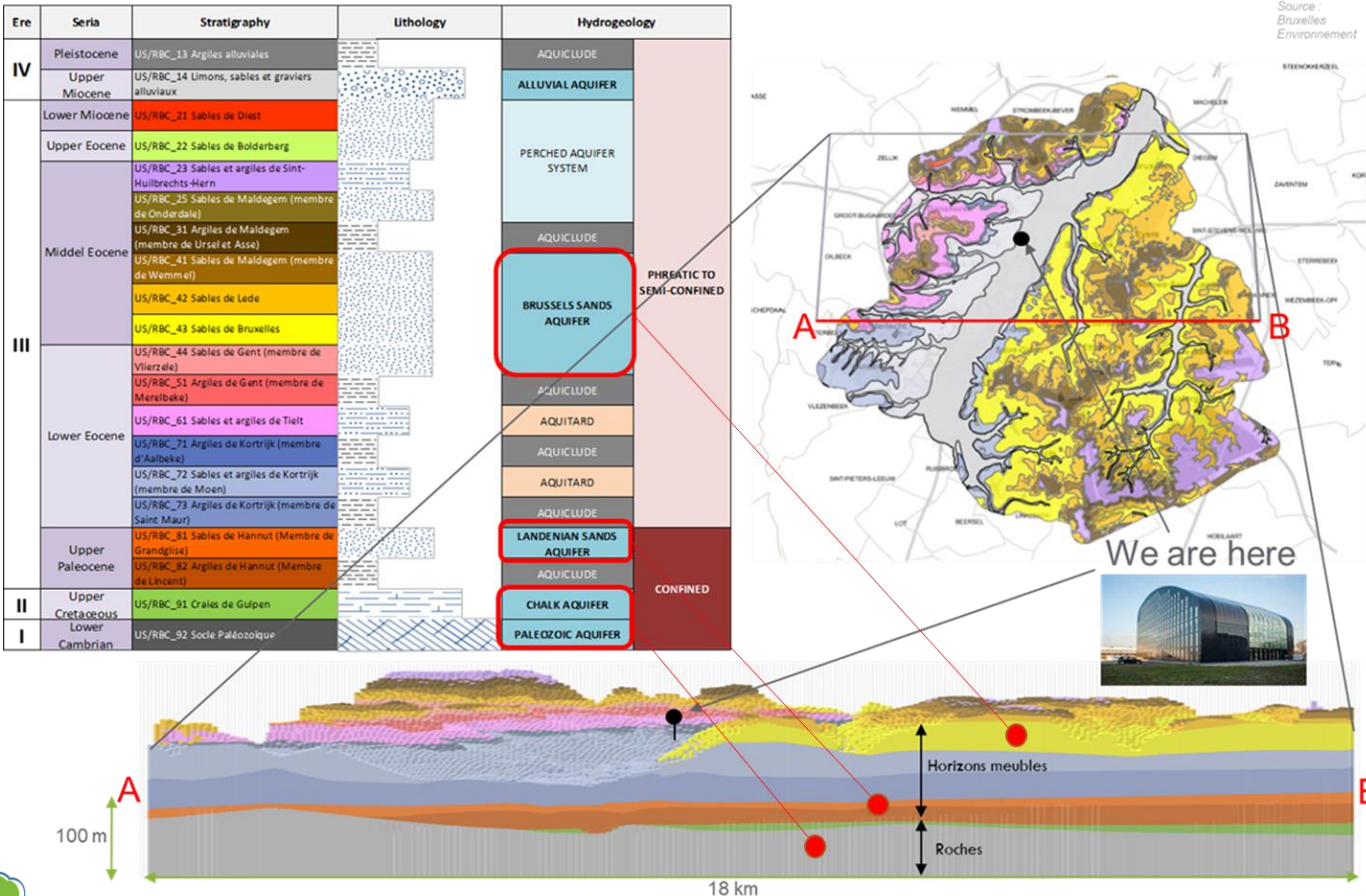


38

DIMENSIONERING / ALLE PROJECTTYPES

Bepaling van de (hydro)geologische context

- De Brusselse bodem wordt opgedeeld in een gedeelte aan de oppervlakte met losse grond en een dieperliggend rotsachtig gedeelte.
- Er zijn 3 belangrijke watervoerende lagen die kunnen worden gebruikt voor geothermie met open systemen



Eenvoudige (hydro)geologische studie

- ▶ Bepaling van bodemeigenschappen (geologische doorsnede, warmtegeleidend vermogen, warmtecapaciteit, enz.)
- ▶ Bepaling van de eisen voor boringen (milieurisico's / bodemverontreiniging, artesische bronnen, verbinding grondwaterlagen, ...)

Roche		Conductibilité thermique (λ) [W/(m·K)]		Capacité thermique volumique (ρcp) [MJ/(m³·K)]	Masse volumique (ρ) [x 10³ kg/m³]	
		Valeur effective	Valeur consignée			
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 sulfatée (anhydrite)	1,50 - 7,70	4,10	2,00	2,80 - 3,00	
	Roche sulfatée (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.	3,10 - 3,40	3,30	2,10	2,60
		Latite, dacite, p. ex.	2,00 - 2,90	2,60	2,90	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	2,10 - 4,10	3,20	2,10 - 3,00	2,40 - 3,00
		Syénite	1,70 - 3,50	2,60	2,40	2,50 - 3,00
	Plutonite, alcalin à ultra-alcalin	Diorite	2,00 - 2,90	2,50	2,90	2,90 - 3,00
		Gabbro	1,70 - 2,90	2,00	2,60	2,80 - 3,10
Roches métamorphiques	Métamorphique légère	Schiste argileux	1,50 - 2,60	2,10	2,20 - 2,50	2,40 - 2,70
		Chert	4,50 - 5,00	4,50	2,20	2,50 - 2,70
		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



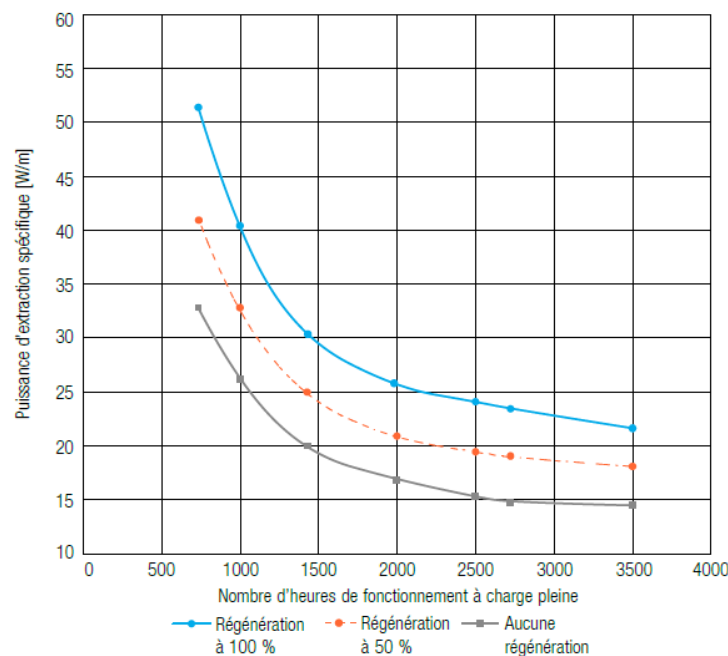
Artesianisme
rue Théo Lambert, Anderlecht (2015)



40 DIMENSIONERING / GESLOTEN SYSTEEM

Kleine projecten ($P < 50$ kW): Nederlandse ISSO-publicatie 73

- Methode op basis van correctiefactoren (bron: ISSO-publicatie 73)
- Voorlopige raming van de sondelengte:
 - $L_{\text{sonde}} = P_{\text{bodem}} / P_{\text{spec}}$
 - $P_{\text{spec}} = f$ (regeneratie, werkingsuren)



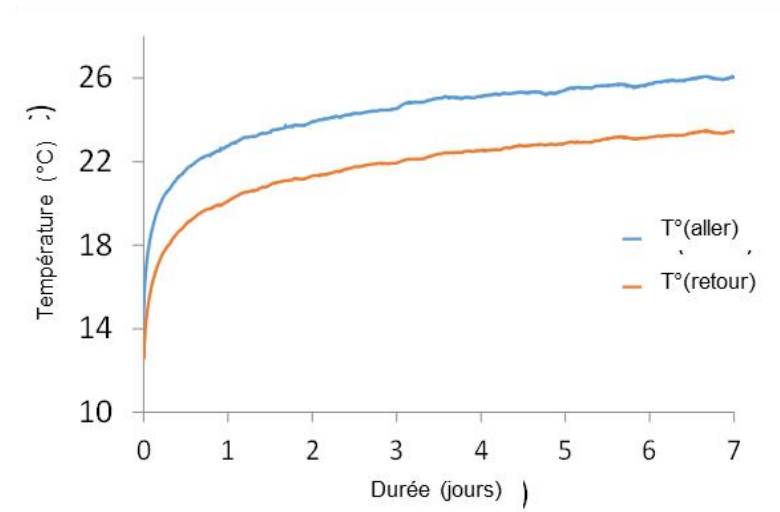
Kleine projecten ($P < 50$ kW): Nederlandse ISSO-publicatie 73

- ▶ Correctiefactoren: $L_{\text{sonde, def.}} = L_{\text{sonde}} \times C1 \times C2 \times C3 \times Cn$
 - Bodemtype (matig, gemiddeld, goed warmtegeleidend vermogen)
 - Vulmateriaal (zand, gemiddeld bentoniet, zwak bentoniet)
 - Minimale temperatuur van het fluidum (van -5 °C tot $+5$ °C)
 - Sondetype (enkele U-sonde, dubbele U-sonde, coaxiale sonde)
 - Configuratie van het sondeveld
 - Onderlinge afstand tussen sondes (3 tot 10 m)
- ▶ Online dimensioneringstool (Smartgeotherm) op basis van deze methode (zie einde van deze presentatie)
- ▶ Volledig document: *ISSO73 – ISSO-publicatie 73 - Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars - ISBN: 978-90-5044-308-1*



42 DIMENSIONERING / GESLOTEN SYSTEEM**Grote projecten ($P > 50$ kW): Thermische-responstest (TRT)**

- ▶ Voor projecten met een vermogen > 50 kW, wordt een thermische-responstest (TRT) aanbevolen
 - Boring van een testsonde en uitvoeren van TRT gedurende 48 tot 72 uur
 - Metingen: natuurlijke bodemtemperatuur / warmtegeleidend vermogen / warmtecapaciteit in situ / weerstand van de sonde



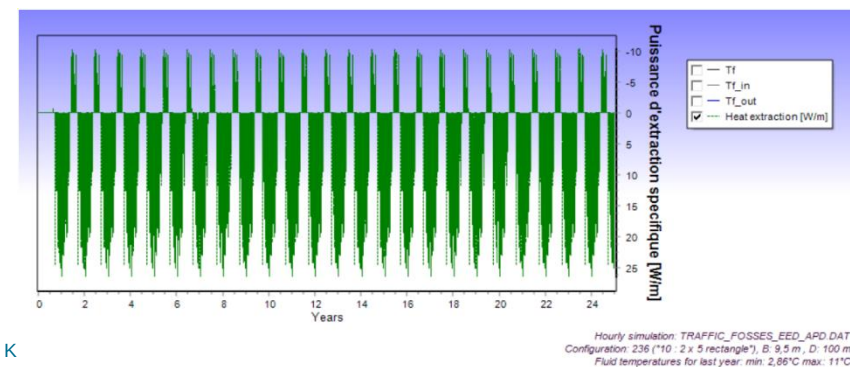
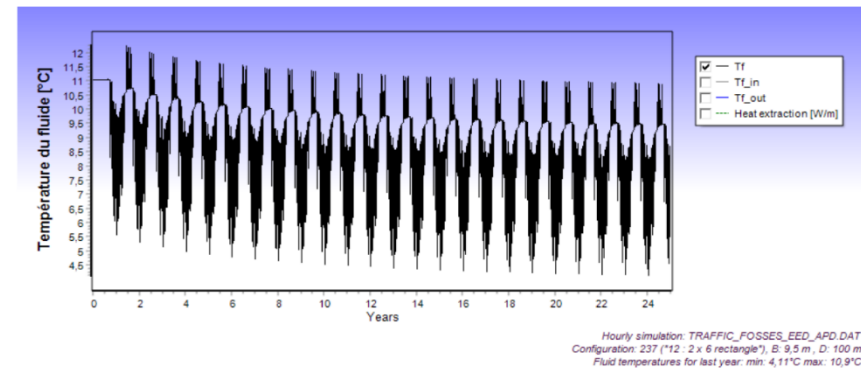
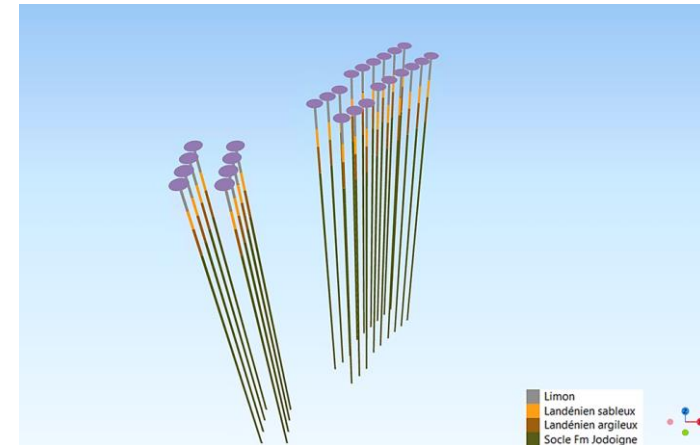
Bron : Geoazimuth



43 DIMENSIONERING / GESLOTEN SYSTEEM

Grote projecten (P>50 kW): (thermische) modellering van het sondeveld

- ▶ Doelstelling:
 - Verduurzaming van het systeem (beheersing van thermische afwijking en thermische terugwinning)
 - Naleving van opgelegde temperatuurbereiken
- ▶ Ingangsgegevens:
 - Gevraagd vermogen per uur
 - Ontwerp van het sondeveld
 - Geothermische eigenschappen van de bodem
- ▶ Uitgangsgegevens:
 - Ingangs- en uitgangstemperatuur van de sondes
 - Lineair vermogen



Gedetailleerde (hydro)geologische studie

- Bepaling van hydrogeologische eigenschappen van de bodem: Is er een productieve watervoerende laag of aquifer aanwezig, geschikt voor geothermisch gebruik?

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 Mioocene	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-Huilebrechts-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		PHREATIC TO SEMI-CONFINED 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
	Lower Cretaceous	US/RBC_81 Sables de Hannut (Membre de Grandglise)		LANDENIAN SANDS AQUIFER
		US/RBC_82 Argiles de Hannut (Membre de Lincent)		AQUICLUDE
I	Upper Cambrian	US/RBC_91 Craies de Gulpen		CHALK AQUIFER
	Lower Cambrian	US/RBC_92 Socle Paléozoïque		PALEOZOIC AQUIFER

Source :
Bruxelles
Environnement

AQUIFERE DES SABLES DU BRUXELLIEN

Potentiel : 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

Potentiel : 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

Potentiel : 0 – 700 kW / doublet

Limites potentiel :

-> débits potentiellement très élevés mais incertains

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

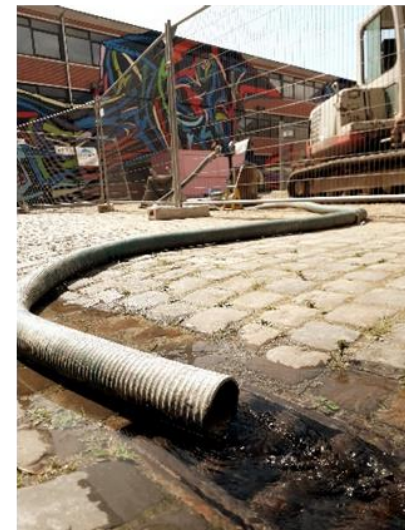
- Bepaling van exploitatiemodaliteiten (testboringen en proeven in het kader van de haalbaarheidsstudie)



Testboringen en proeven

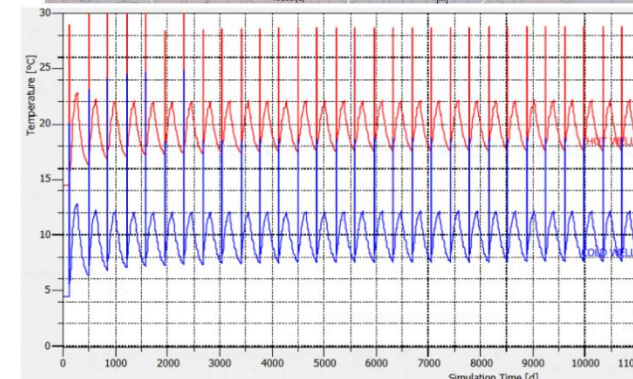
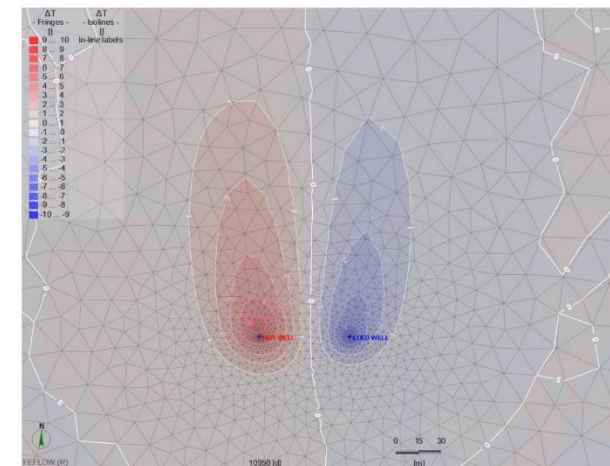
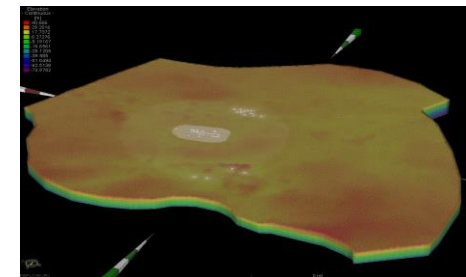
► Kwantificering van hydrodynamische en hydrochemische eigenschappen

- Pompproeven in stappen
- Pompproeven van lange duur
- Herinjectieproeven
- Fysisch-chemische analyse
- Diagrafie micromolenmetingen
- ...



Digitale (thermische en hydraulische) modellering

- ▶ Doelstelling:
 - Verduurzaming van het systeem (beheersing van thermische afwijking en thermische terugwinning)
 - Naleving van opgelegde temperatuurbereiken
 - Piëzometrische en thermische effecten
 - Conflicterend gebruik met naburige waterwinningen en geothermische systemen
- ▶ Ingangsgegevens:
 - Gevraagd vermogen per uur
 - Ontwerp van boringen
 - Hydrogeologische en thermische eigenschappen van de bodem
- ▶ Uitgangsgegevens:
 - Temperatuur en druk ter hoogte van boringen voor warmte- en koudebronnen
 - Ruimtelijke weergave van temperatuur en druk (3D)



GEOTHERMIE

OPLOSSINGEN

VERGELIJKEND OVERZICHT / KEUZES

GEOTHERMIEPROJECT IN HET BHG

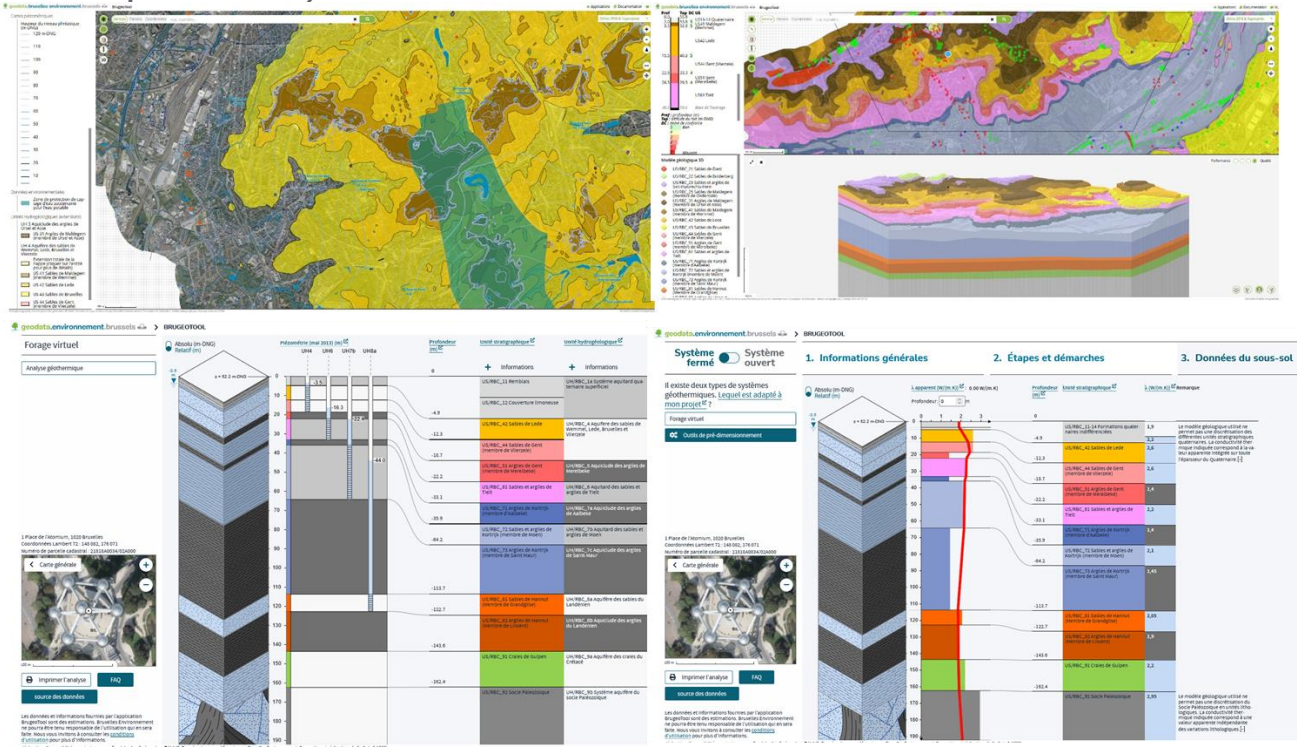
DIMENSIONERING

BRUGEOTOOL/SMARTGEOTHERM



De applicatie "ondergrond en geothermie" van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest

- ▶ Toegang tot bodemgegevens in verschillende formaten (1D, 2D, 3D)
- ▶ Ondersteuning voor de prehaalbaarheid van een geothermisch systeem (regelgeving, analyse van het potentieel)
- ▶ Predimensionering via SmartGeotherm (P<100 kW, volgens Nederlandse ISSO-publicatie)





Normen

- ▶ **NBN EN 15450:2008** - Verwarmingssystemen in gebouwen. Ontwerp van warmtepomp-verwarmingssystemen
- ▶ **ISSO-publicatie 73** - Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars
- ▶ **VDI 4640 – Part 2** - Thermal use of the underground – Ground source heat pump systems
- ▶ **SIA 386-6-2010** - geothermische sondes



BrugeoTool

- ▶ [Internetlink](#)



Websites

<https://leefmilieu.brussels/themas/geologie-en-hydrogeologie/geothermie>
www.geothermie.brussels
www.smartgeotherm.be
www.energieplus-lesite.be



Naslagwerken

- ▶ Buildwise – Technische Voorlichting (TV) 259 - Ondiepe geothermie. Ontwerp en uitvoering van bodemenergiesystemen met U-vormige bodemwarmtewisselaars.



Mathieu AGNIEL

Hydrogeoloog - BrugeoTool Manager

Leefmilieu Brussel

☎ + 32 488 23 04 98

✉ magniel@environnement.brussels



BEDANKT VOOR UW AANDACHT

