OPLEIDING DUURZAME GEBOUWEN

WARMTEPOMP:

KEUZE EN ONTWERP

LENTE 2021



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

Bertrand FRANCOIS
Mathieu AGNIEL

bruxelles environnement leefmilieu brussel .brussels

LIÈGE université

BRUGEO geothermie.brussels

DOELSTELLINGEN VAN DE PRESENTATIE



- Meer leren over technieken voor ZLE-geothermie (zeer lage energie) met sondes of met grondwater, evenals over de belangrijkste ontwerpfases
- Begrijpen van de methodes om de haalbaarheid van een ZLE-geothermieproject te beoordelen en over te gaan tot de predimensionering van de installatie
- Begrijpen van de facetten van een ZLE-geothermieproject in de context van het Brussels Hoofdstedelijk Gewest (BHG)
- Kennismaken met de BrugeoTool voor prehaalbaarheid en predimensionering van een installatie

INHOUDSOPGAVE

INLEIDING
VERSCHILLENDE TYPES GEOTHERMISCHE INSTALLATIES
VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN
ONTWERP
BRUGEOTOOL

INHOUDSOPGAVE

INLEIDING

VERSCHILLENDE TYPES GEOTHERMISCHE INSTALLATIES

VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN

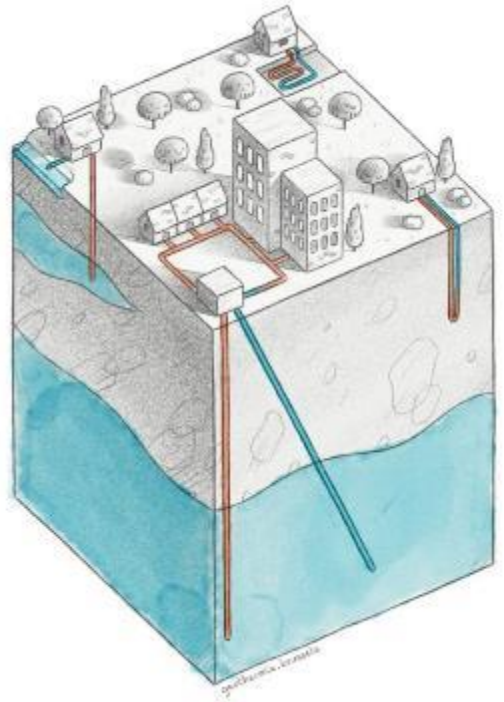
ONTWERP

BRUGEOTOOL

GEOTHERMISCHE SYSTEMEN - DEFINITIE

Wat is een geothermisch systeem?

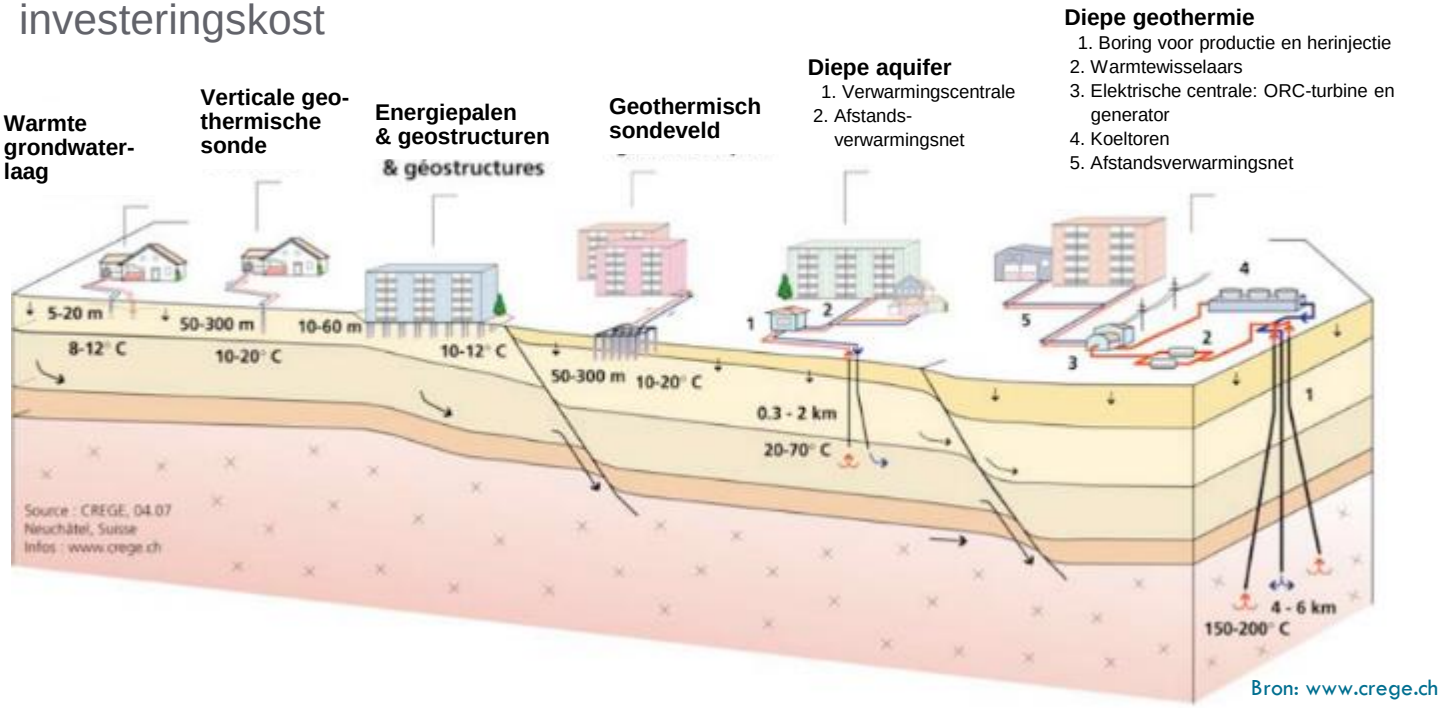
- De term ‘geothermie’ verwijst naar een reeks technieken die erop gericht zijn warmte aan de bodem te onttrekken om te verwarmen of om elektriciteit te produceren.
- Bij uitbreiding verwijst deze term ook naar de systemen die erop gericht zijn warmte naar de bodem af te voeren om te koelen.



GEOTHERMISCHE SYSTEMEN - DEFINITIE

Verschillende systemen voor verschillende toepassingen

- De geothermische installaties variëren qua:
  - diepte
  - te onttrekken vermogen
  - werking (open of gesloten systemen)
  - toepassingen (verwarming, koeling, opslag elektriciteitsproductie)
  - investeringskost

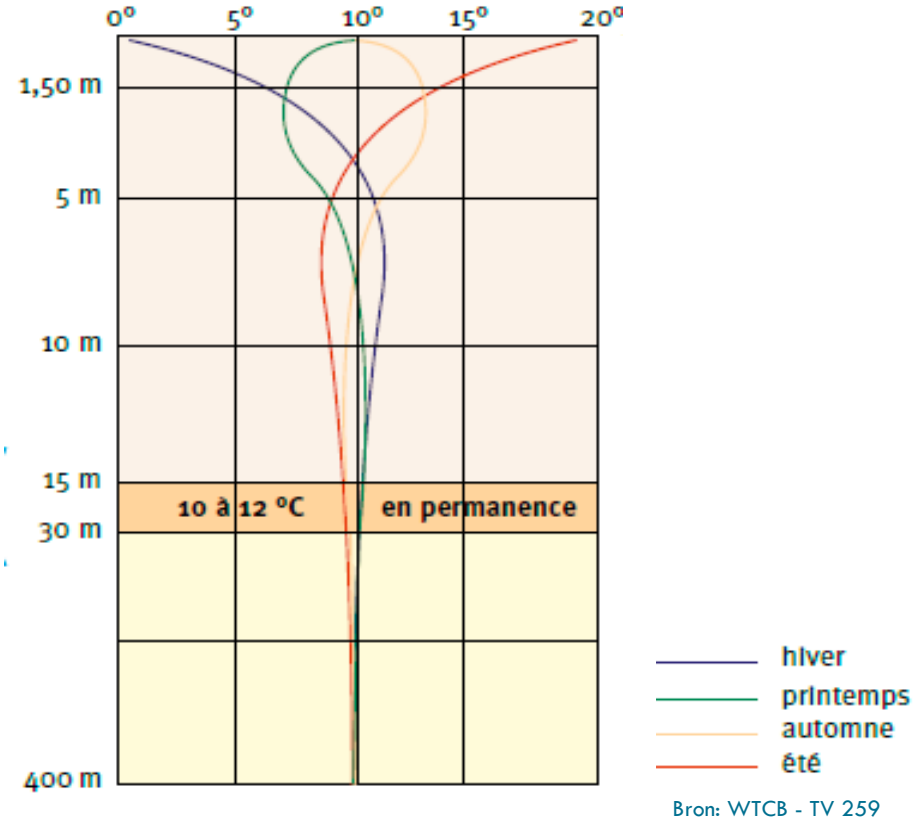


Bron: www.crege.ch

7 GEOTHERMISCHE WARMTEPOMP

Wat zijn de voordelen van een geothermische warmtepomp?

- Wanneer het systeem goed gedimensioneerd is, levert de grond het hele jaar door een vrij constante watertemperatuur

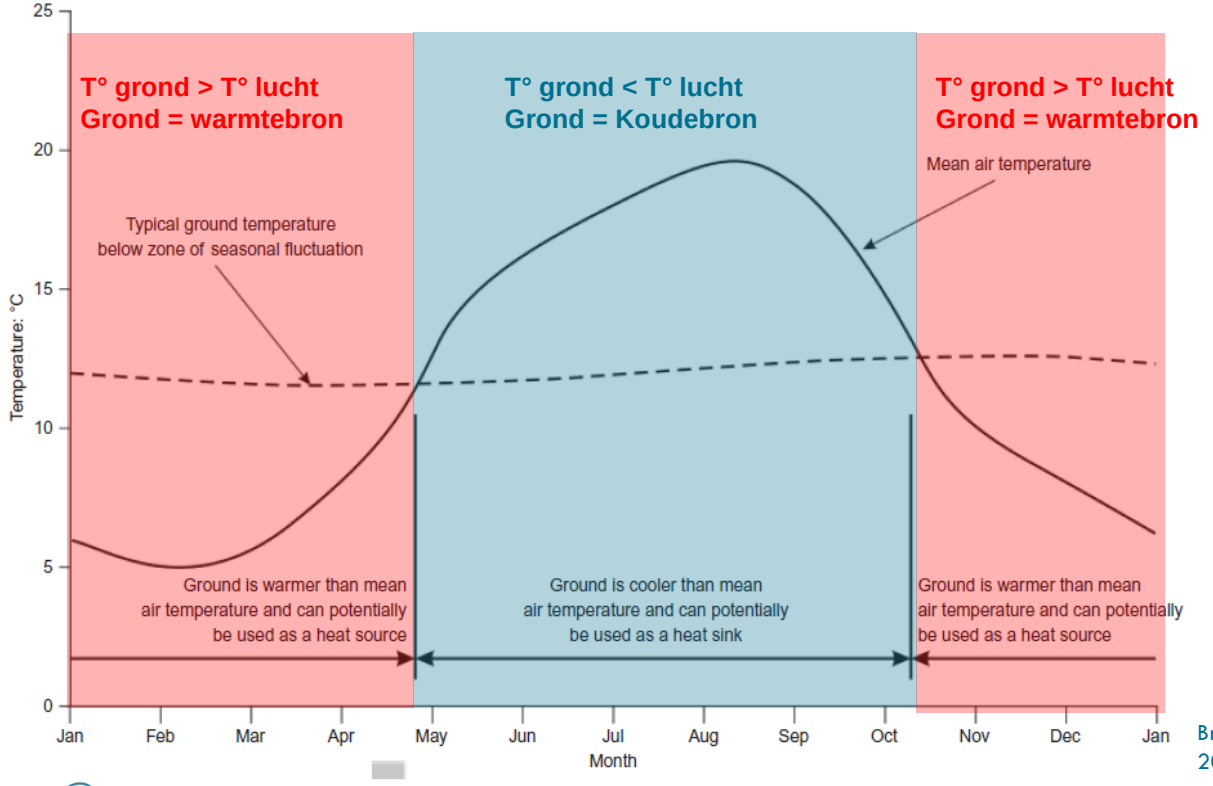


Bron: WTCB - TV 259

8 GEOTHERMISCHE WARMTEPOMP

Wat zijn de voordelen van een geothermische warmtepomp?

- Wanneer het systeem goed gedimensioneerd is, levert de grond het hele jaar door een vrij constante watertemperatuur.
- De grond kan fungeren als koudebron (in de winter, voor verwarming) of als warmtebron (in de zomer, voor koeling).

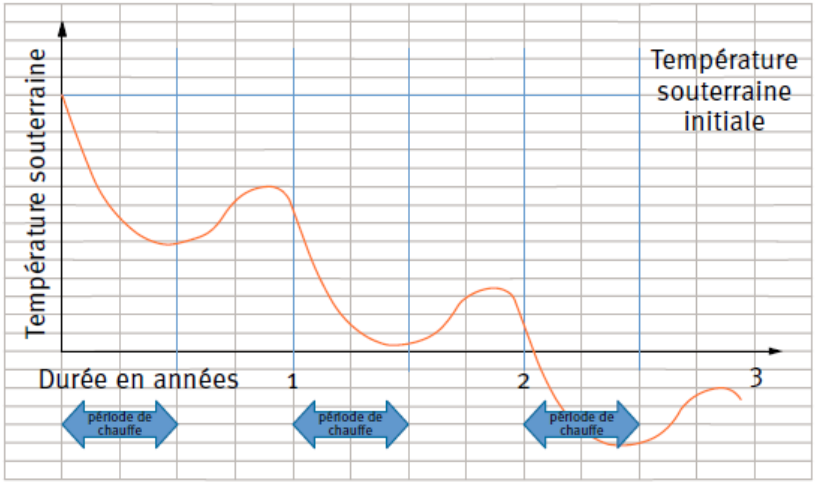


Bron: Preene and Powrie, Geotechnique 2009

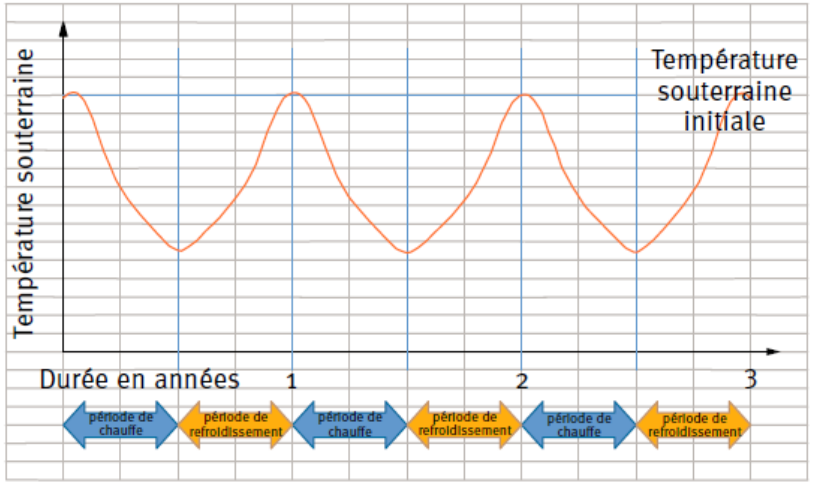
9 GEOTHERMISCHE WARMTEPOMP

Wat zijn de voordelen van een geothermische warmtepomp?

- Wanneer het systeem goed gedimensioneerd is, levert de grond het hele jaar door een vrij constante watertemperatuur.
- De grond kan fungeren als koudebron (in de winter, voor verwarming) of als warmtebron (in de zomer, voor koeling).
- De bodem fungeert dus als warmte-opslagreservoir doorheen de seizoenen.



Slecht gedimensioneerd systeem
Uitputting van het warmtereservoir door te grote warmtevraag



Goed gedimensioneerd systeem
De thermische regeneratie in de zomer compenseert de warmtevraag in de winter

Bron: WTCB - TV 259

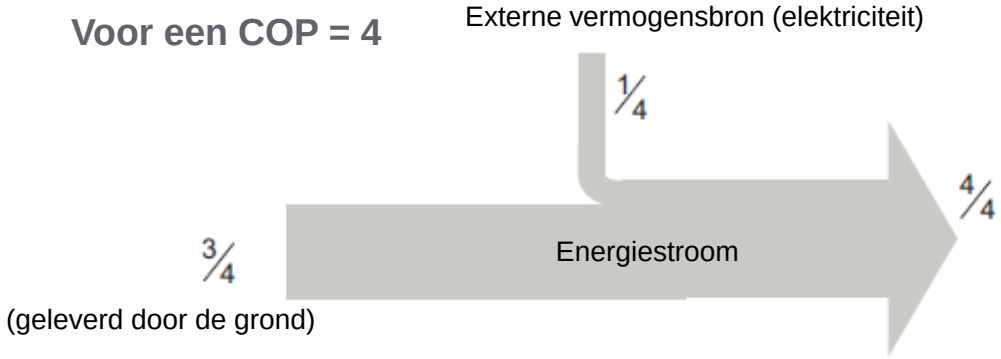
PRESTATIECOËFFICIËNT

Waarom is een geothermische warmtepomp efficiënt?

- De prestatiecoëfficiënt (COP) geeft de verhouding weer tussen de verkregen warmte en de verbruikte energie. Deze waarde bepaalt de efficiëntie van een warmtepomp.

$$COP = \frac{\text{door de warmtepomp geleverde energie [kW]}}{\text{voor de werking verbruikte energie [kW]}}$$

Voor een COP = 4



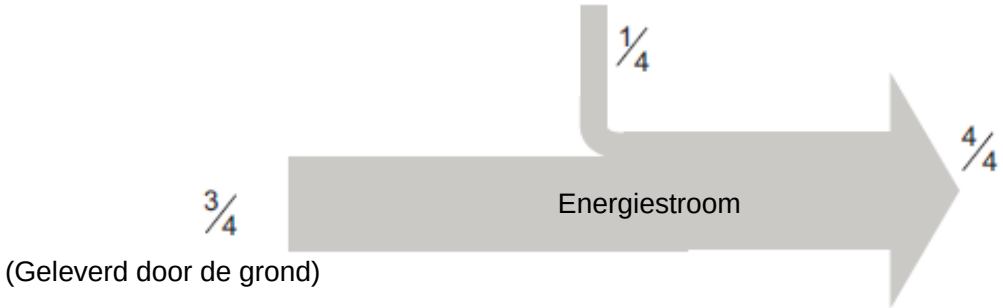
11 PRESTATIECOËFFICIËNT

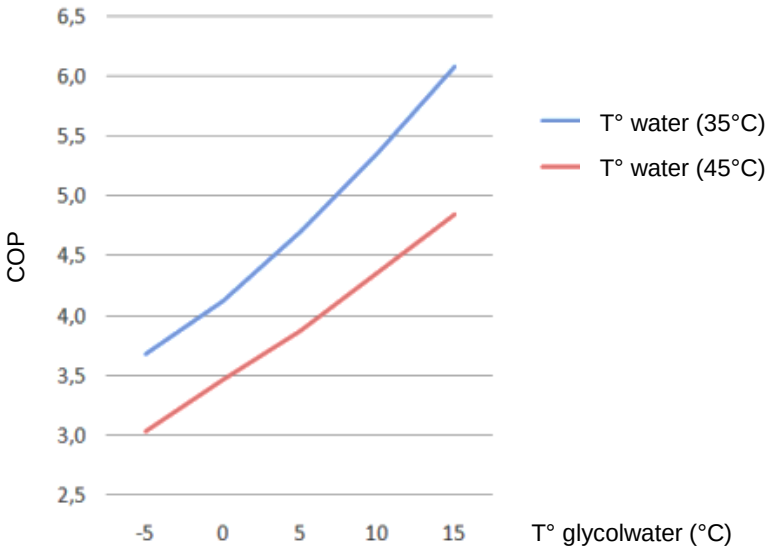
Waarom is een geothermische warmtepomp efficiënt?

- De prestatiecoëfficiënt (COP) geeft de verhouding weer tussen de verkregen warmte en de verbruikte energie. Deze waarde bepaalt de efficiëntie van een warmtepomp.
- Dankzij een vrij constante temperatuur doorheen de seizoenen (koud in de zomer en warm in de winter), kunnen de geothermische warmtepompen hoge prestatiecoëfficiënten bereiken (COP>5)

$$COP = \frac{\text{door de warmtepomp geleverde energie [kW]}}{\text{voor de werking verbruikte energie [kW]}}$$

Voor een COP = 4





INHOUDSOPGAVE

INLEIDING

VERSCHILLENDE TYPES GEOTHERMISCHE INSTALLATIES

VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN

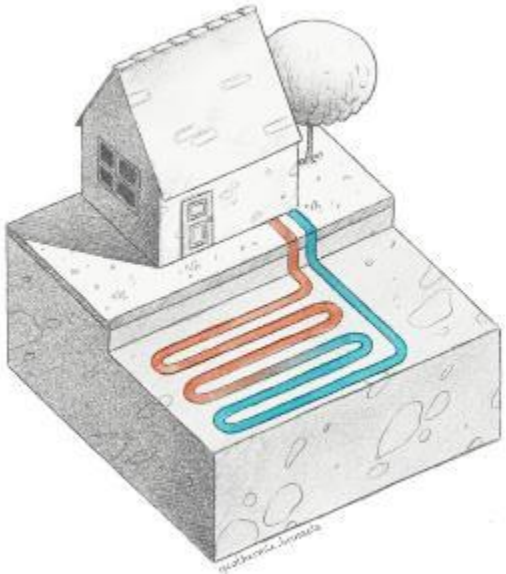
ONTWERP

BRUGEOTOOL

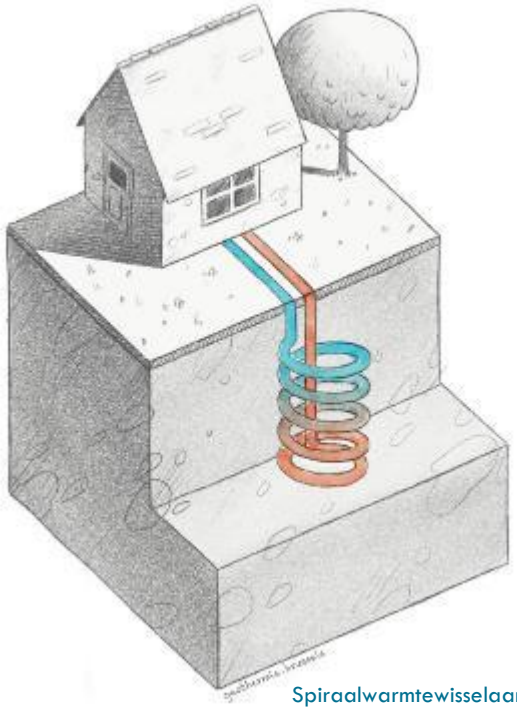
ZEER ONDIEPE GEOTHERMIE

Principe

- De geothermie op zeer geringe diepte put warmte uit de bodem in de eerste meters onder het terreinoppervlak door middel van een systeem met horizontale sondes of eventueel met geothermische korven (ook spiraalwarmtewisselaars genoemd).



Horizontale sondes



Spiraalwarmtewisselaars

14

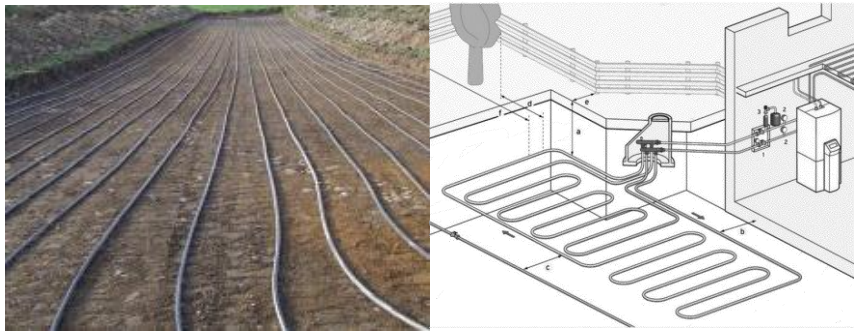
ZEER ONDIEPE GEOTHERMIE

Voordelen

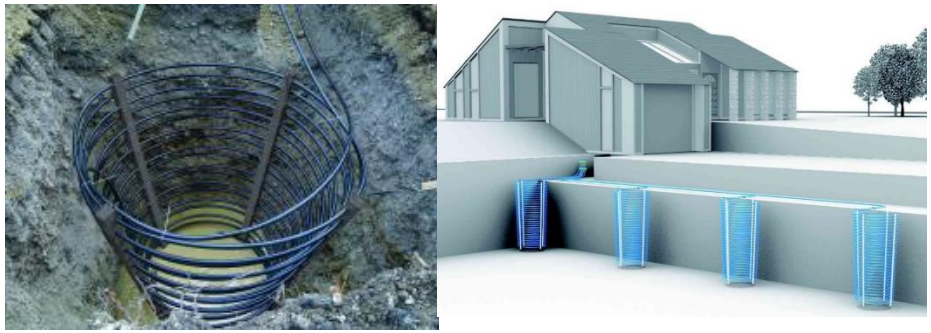
- Weinig graafwerken nodig

Nadelen

- Vereist een aanzienlijke grondoppervlakte (28 tot 100 m^2 per kW verwarmingsvermogen)
- Variabele temperatuur volgens seizoen. Rendementverlies in de winter.



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

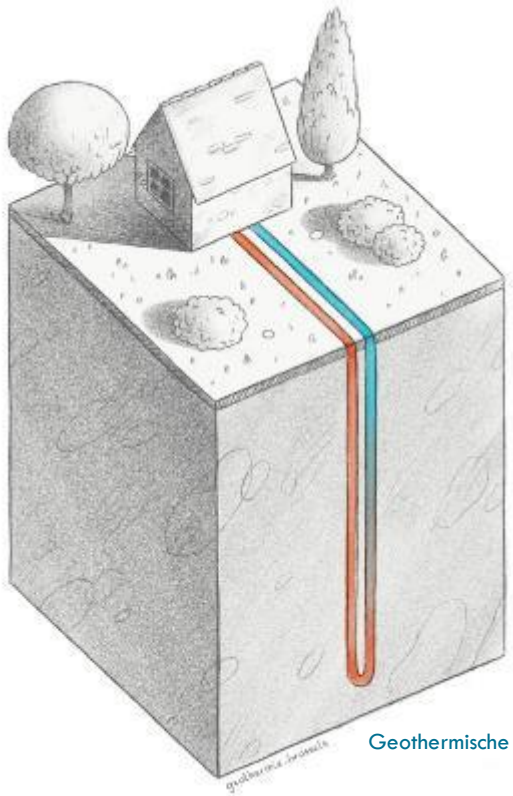


Source / Bron: Vaillant

ONDIEPE GEOTHERMIE

Gesloten systemen - geothermische sondes

- Een geothermisch systeem wordt ‘gesloten’ genoemd wanneer een transportmedium in een ingegraven gesloten kring circuleert. Deze kring wordt aangelegd in geothermische boorgaten en kan verschillende vormen aannemen.
- Het geheel bestaande uit boring, buizen en medium wordt **geothermische sonde** genoemd.

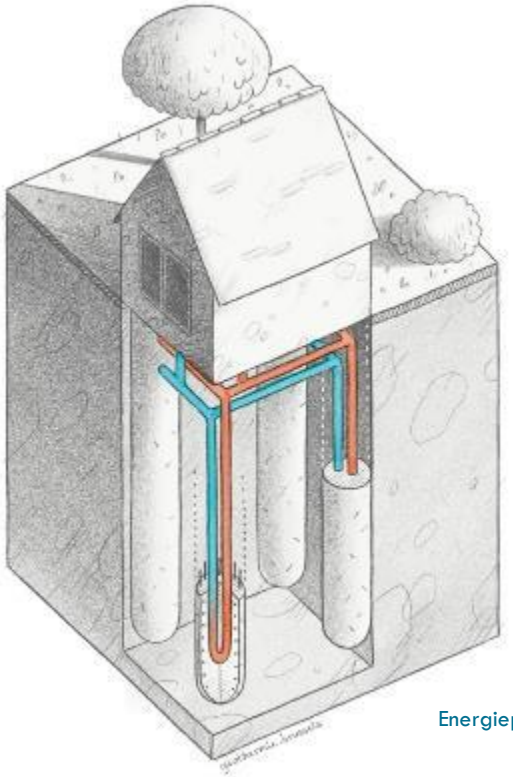


Geothermische sondes

ONDIEPE GEOTHERMIE

Gesloten systemen

- De warmtewisselaars worden rechtstreeks in de funderingspalen ingebracht.
- Voordeel: geen bijkomende boringen vereist
- Nadeel: vrij beperkte diepte
- Opmerking: de structurele dimensionering van de funderingspalen moet rekening houden

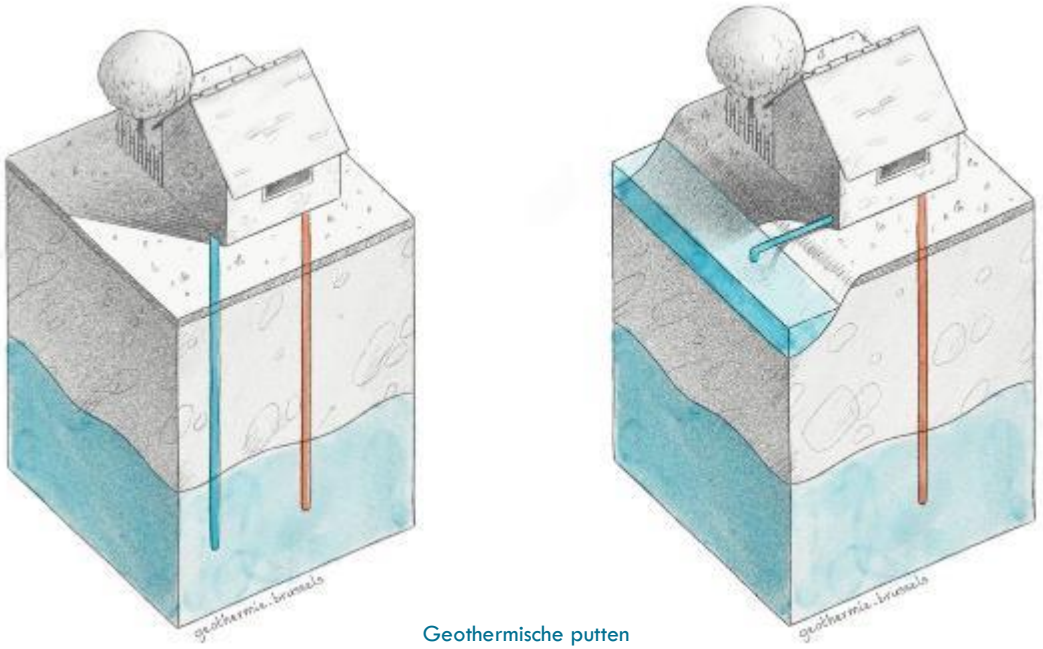


Energiepalen

ONDIEPE GEOTHERMIE

Open systemen - geothermische putten

- Een ‘open’ geothermisch systeem gebruikt de natuurlijke warmte van het water van de aquifers of grondwaterlagen.
- De open geothermische systemen bestaan doorgaans uit telkens twee boringen (ook **geothermische putten** genoemd): een voor het oppompen en een voor het later injecteren.



Geothermische putten

DIEPE GEOTHERMIE

Systeem met hoge temperatuur

- Het grondwater wordt **rechtstreeks gewonnen met een hoge temperatuur** en wordt later, na onttrekking van de warmte, met een lage temperatuur geïnjecteerd. Deze systemen zijn geschikt voor stadsverwarmingsnetten of voor elektriciteitsproductie.
- De bereikte dieptes (meer dan 1000 m) vereisen **niet-conventionele boortechnieken** en vaak is **stimulering van het gesteente** nodig om de hydraulische geleidbaarheid van het terrein kunstmatig op te voeren.

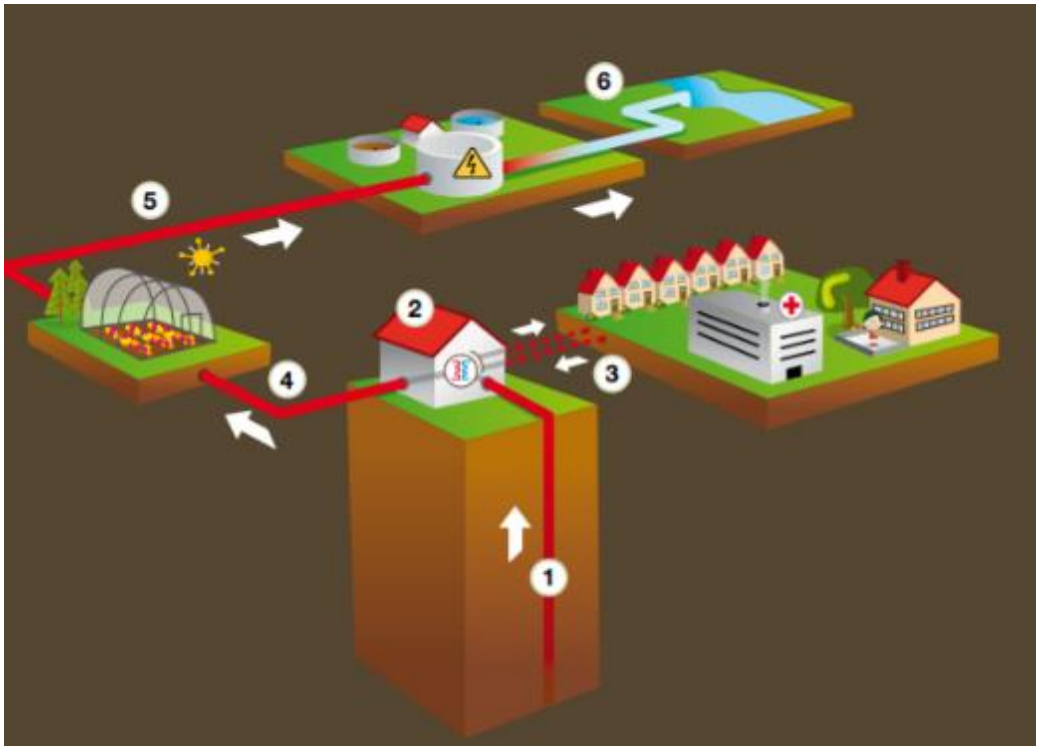


Stadsverwarming door diepe geothermie

DIEPE GEOTHERMIE

Voorbeeld Saint-Ghislain

- Boring tot 2400 m, debiet van 100 m³/h, temperatuur van 72 °C
- Vermogen van de centrale: 15 MW
- Jaarlijkse energie: 16.700 MWh



www.saint-ghislain.be/documents/Idea_Geothermie.pdf - Bron: Intercommunale IDEA

DIEPE GEOTHERMIE

Balmatt-site (VITO, Mol)

- 2 boringen tot 3610 m en 4340m, temperatuur van 125 °C
- Actueel vermogen: 10 MWth of 1 MWe
- Uitbreidbaar, met 4 extra boringen, tot 5 MWe (+/- 5000 gezinnen)



https://vito.be/en/deep-geothermal/balmatt-energy-plant

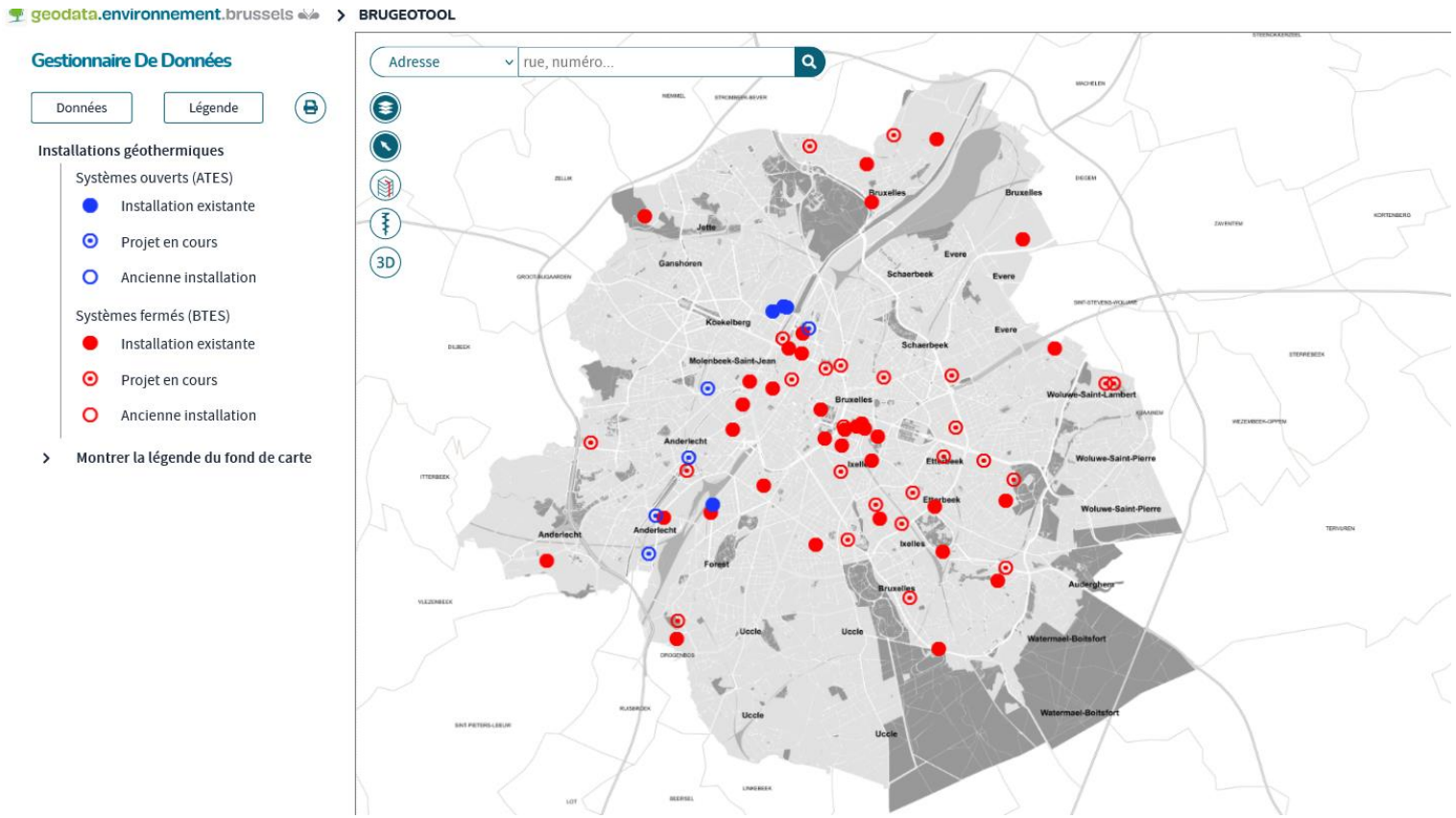
INHOUDSOPGAVE

INLEIDING
VERSCHILLENDE TYPES GEOTHERMISCHE INSTALLATIES
VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN
ONTWERP
BRUGEOTOOL

22

VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN

Park van geothermische installaties in Brussel op 23/03/2022



Bron: BrugeoTool

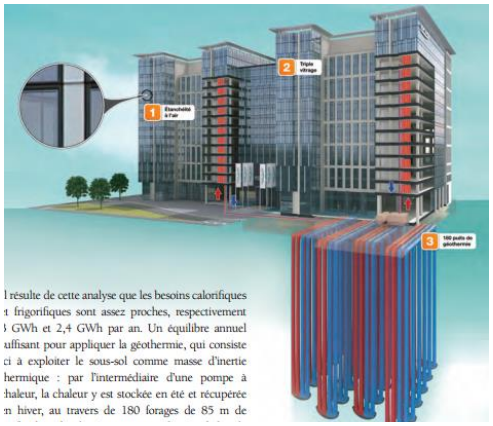
- **Huidig geothermisch park in Brussel:**
  - 9 open systemen: 4 operationeel + 5 in ontwikkeling
  - 59 gesloten systemen: 34 operationeel + 25 in ontwikkeling

23

VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN



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



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



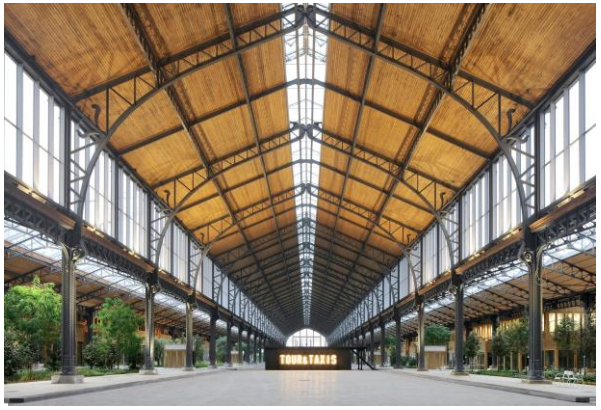
Wilfried Martens gebouw - Belliard
Gesloten lus
33 sondes – diepte 240 m



Leefmilieu Brussel - T&T
Open lus
4 paar putten - diepte 80 m



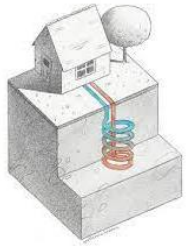
Herman Teirlinckgebouw - T&T
Open lus
4 paar putten - diepte 80 m

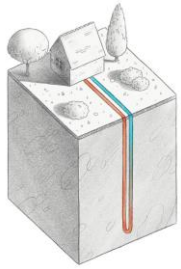


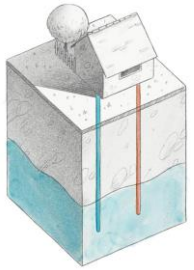
Gare Maritime - T&T
Open lus
5 paar putten - diepte 150 m

VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN

Voor elk project een specifiek systeem!







	Compact systeem	Système fermé	Système ouvert
Faisabilité technique	😃	😃	😃 Afhankelijk van resultaten testboringen
Adapté pour maison unifamiliale	😃	😃	☹
Efficacité énergétique et puissance	😐 1 kW / korf	😃 4-8 kW / sonde	😃 70-700 kW / bronparen
Contraintes règlementaires	✒	✒ MV klasse 1C (primaire kring)	✒✒ MV klasse 1B (primaire kring)
Investissement	€€	€€	€
Couts exploitation	€€€	€€	€

Bron: Leefmilieu Brussel

VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN

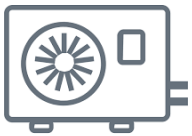
Ecologische en economische balans

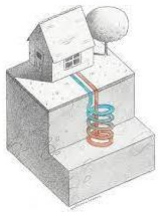
Bijv.: Nieuw tertiair gebouw 15.000 m² / WP 120 kW

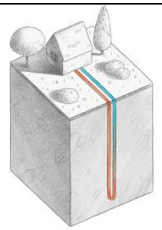
a. Chauffage	b. Refroid.	unit
225.000	225.000	[kWh/an]

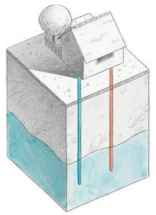
Scénarii ->	S0 ref : Gaz + groupe froid	S1 : aérothermie	S2 : géothermie corbeilles	S3 : géothermie sondes	S4 : géothermie nappe
Chaud	GAZ Chaudière	PAC air/eau	PAC air/eau	PAC sol/eau	PAC eau/eau
Froid	Groupe de froid	PAC air/eau	PAC air/eau	PAC sol/eau + geocooling 50%	PAC eau/eau + geocooling 50%









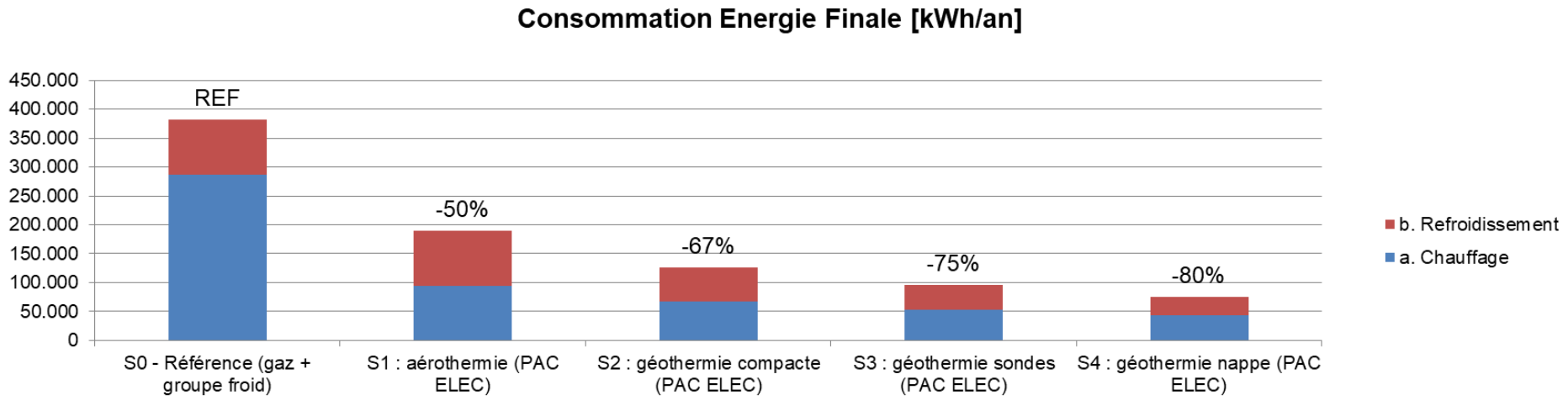


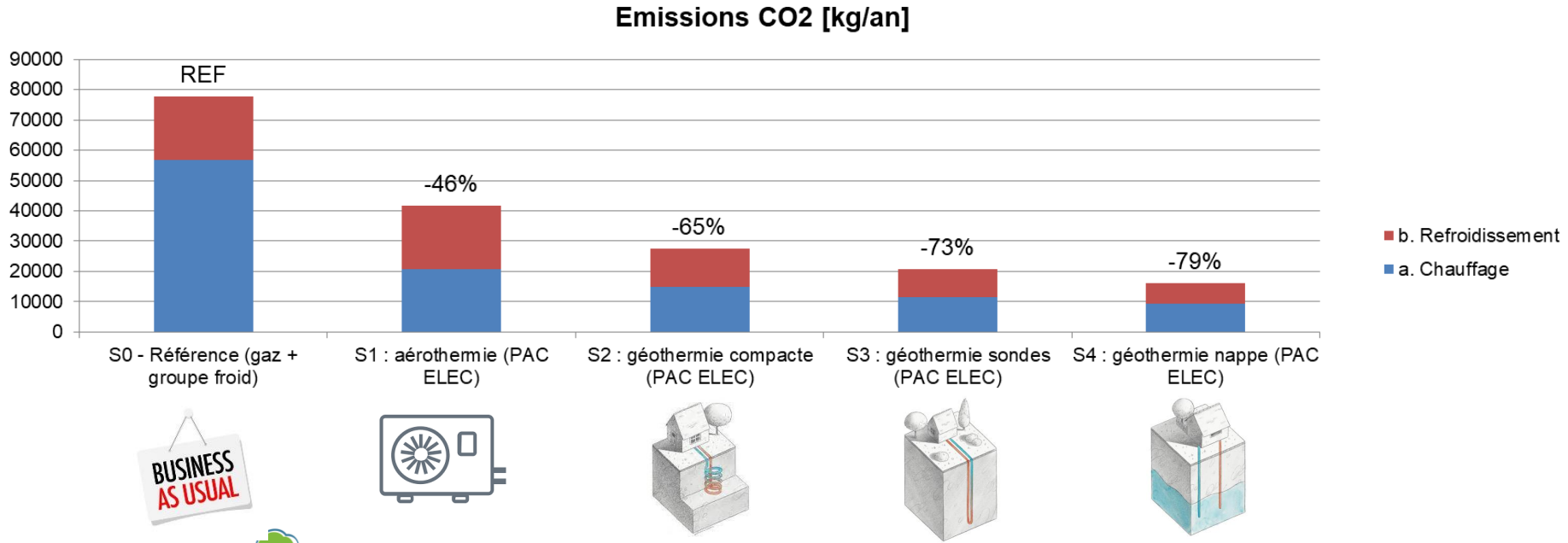
DEZE OEFENING BEOOGT DE IDENTIFICATIE VAN DE ORDES VAN GROOTTE!

- **Waarden afhankelijk van**: warmte-/koudebalans, vermogen, diepte van de geothermische winning, energiekost (ref. nov 2021), …
- **Bron van de hypotheses**: CREG, Leefmilieu Brussel, Deplace/Cenergie (facilitatoren), ADEME (FR), AFPG (FR), …

VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN

Ecologische en economische balans



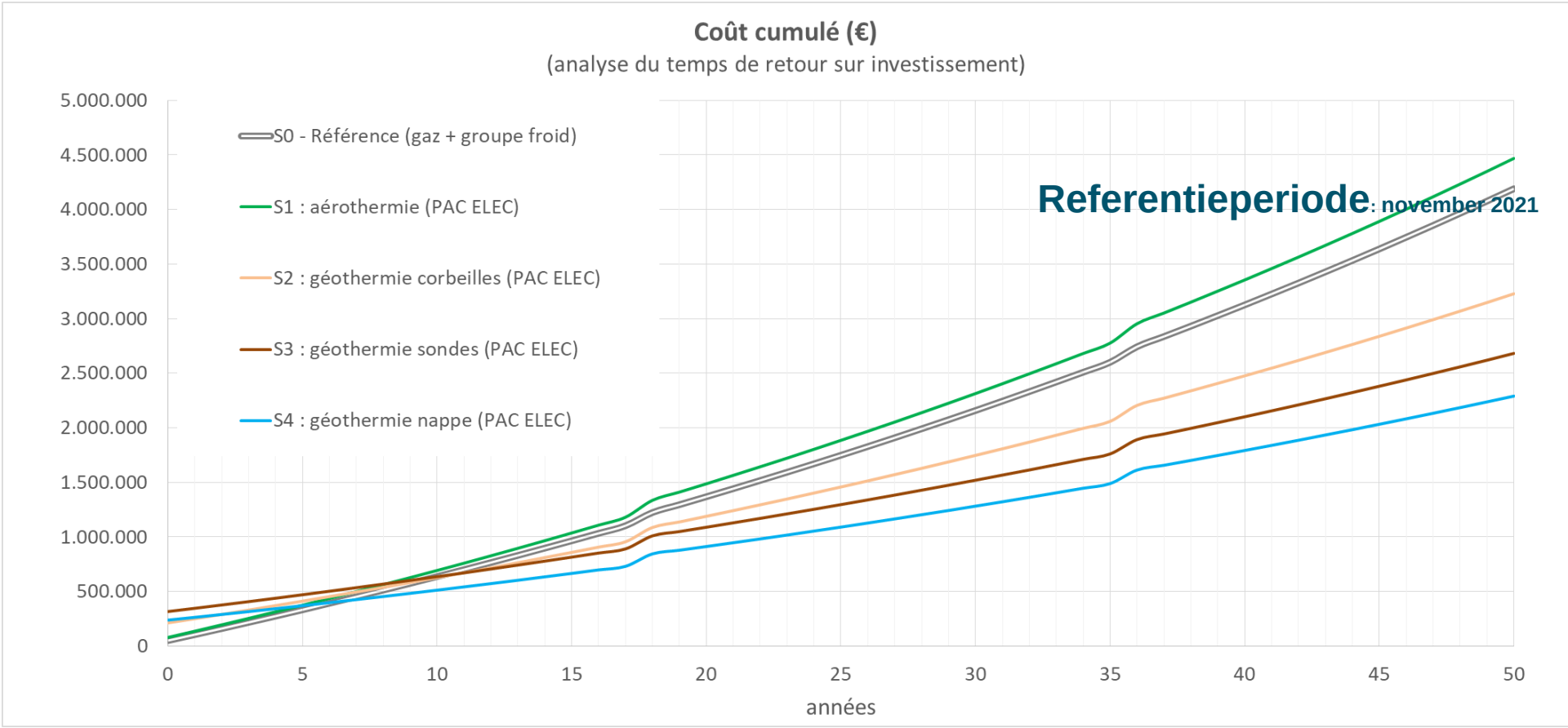


Bron:
Leefmilieu Brussel

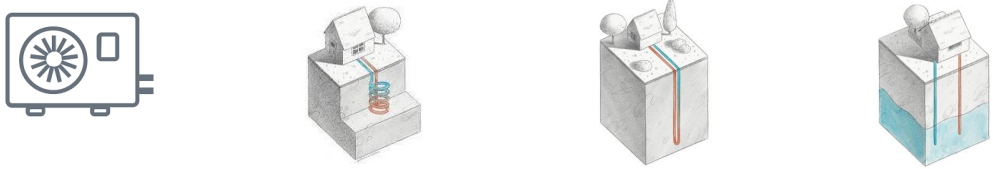
27

VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN

Ecologische en economische balans



TRI (ans)	aucun	10	10	6



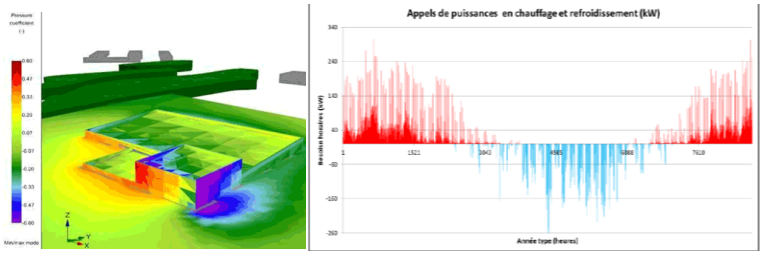
Bron:
Leefmilieu Brussel

INHOUDSOPGAVE

INLEIDING
VERSCHILLENDE TYPES GEOTHERMISCHE INSTALLATIES
VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN
ONTWERP
BRUGEOTOOL

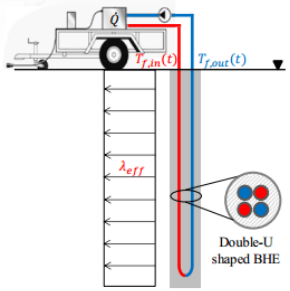
FASERING GESLOTEN SYSTEEM IN HET BHG

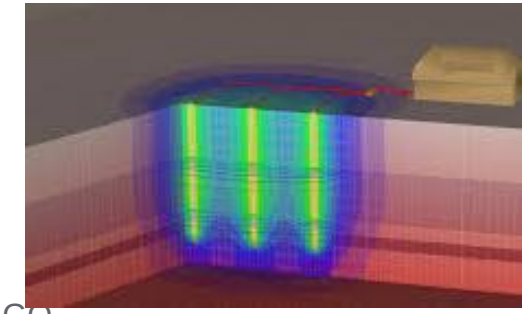
1. **Studie van de thermische behoeften**



4. **Haalbaarheid geothermisch systeem**

Thermische responstest met sonde (TRT) en dimensionering

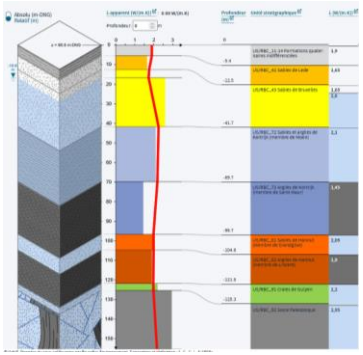




2. **Prehaalbaarheid geothermisch systeem**

Analyse van de technische, economische & reglementaire voorwaarden -> GO/NO GO

Predimensionering (theoretisch/gegevens via BrugeoTool)



5. **MV afgeleverd!**



3. **Aanvraag van een milieuvergunning**

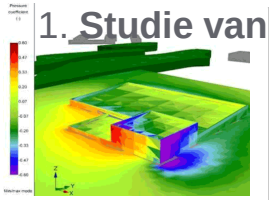
(+ stedenbouwkundige vergunning + premies)

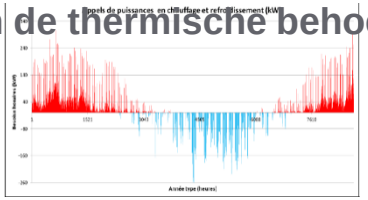
7. **Communicatie van de as-builtinformatie**

30

FASERING OPEN SYSTEEM: IN HET BHG

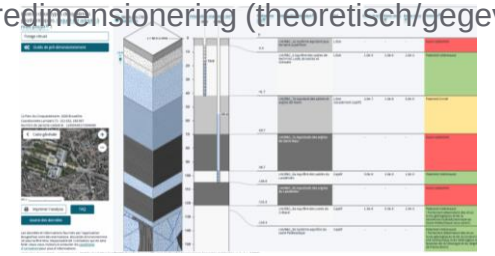
1. **Studie van de thermische behoeften**





2. **Prehaalbaarheid geothermisch systeem**

Analyse van de technische, economische & reglementaire voor
Predimensionering (theoretisch/gegevens via BrugeoTool)



3. **Haalbaarheid geothermisch systeem**

Putten
Predimensionering

DOC

MV
Goedkeuring
hermische winning!



DOC

4. **Aanvraag van een milieuvergunning**

(+ stedenbouwkundige vergunning + premies)

5. **MV afgeleverd!**

6. **Uitvoering**



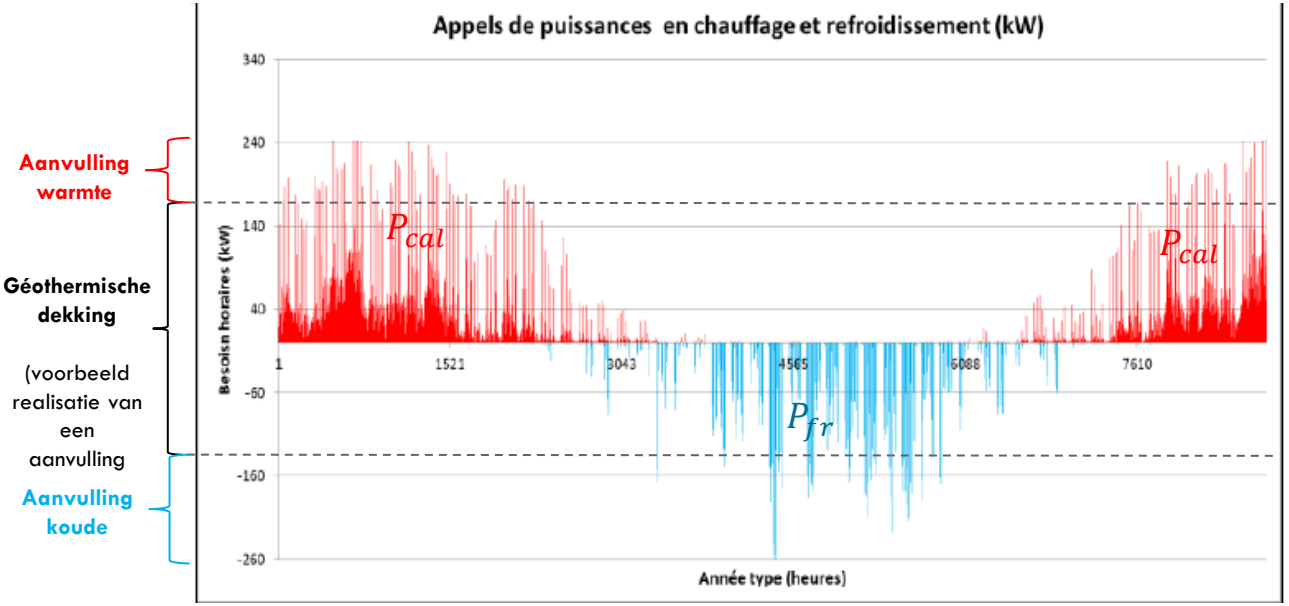
DOC

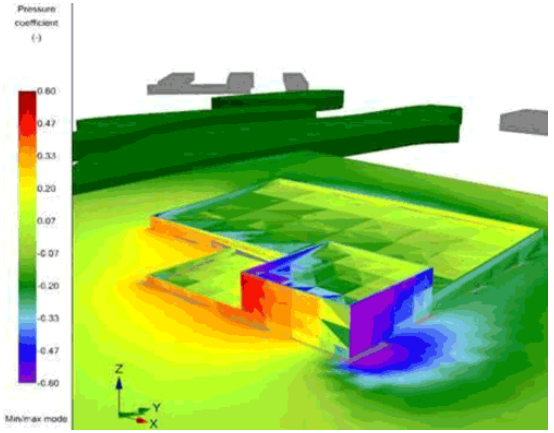
7. **Communicatie van de as-builtinformatie**

THERMISCHE BEHOEFTEN

Thermische behoeften van het gebouw

- Dynamische thermische simulatie (DTS)





Bron: 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 $\mathrm{EER} = \frac{P_{fr}}{P_{electrique}}$

GESLOTEN SYSTEMEN

Karakteristieke warmtegeleidingswaarden

- Onttrokken vermogen (25 tot 75 W/m) is afhankelijk van de warmtegeleiding van de grond / het gesteente
- De warmtegeleiding (λ) is afhankelijk van de geologie
- Brussel heeft een groot potentieel qua gesteente (100 - 150 m diep) maar:
  - zeer heterogene en weinig gekende geologie
  - vereist andere boorapparaten

	Warmte-geleiding, λ (W/mK)
Verzadigde klei	1,9
Droog zand	0,5
Verzadigd zand	2,3
Leisteen	1,9
Kalksteen	2,8
Kwartsiet	5,0

Karakteristieke warmtegeleidingswaarden

Type de sol	Puissance spécifique d'extraction	
	Pour 1800 h	Pour 2400 h
Valeurs moyennes :		
Sous-sol pauvre (sédiment sec) (< 1,50 W/(m·K))	25 W/m	20 W/m
Sous-sol normal de roche consolidée et saturée d'eau (< 1,50 - 3,00 W/(m·K))	60 W/m	50 W/m
Roche consolidée avec une conductibilité thermique élevée (> 3,00 W/(m·K))	84 W/m	70 W/m
Différentes roches :		
Gravier, sable sec	< 25 W/m	< 20 W/m
Gravier, sable perméable	65 - 80 W/m	55 - 65 W/m
Gravier ou sable et fort écoulement d'eau souterrain – pour systèmes individuels	80 - 100 W/m	80 - 100 W/m
Argile, limon, humide	35 - 50 W/m	30 - 40 W/m
Calcaire	55 - 70 W/m	45 - 60 W/m
Grès	65 - 80 W/m	55 - 65 W/m
Magmatite siliceuse (granite, p. ex.)	65 - 85 W/m	55 - 70 W/m
Magmatite basique (basalte, p. ex.)	40 - 65 W/m	35 - 55 W/m
Diorite	70 - 85 W/m	60 - 70 W/m

Conditions :

- extraction de chaleur uniquement (à des fins de chauffage, y compris la production d'eau chaude)
- la longueur des échangeurs géothermiques individuels doit osciller entre 40 et 100 m
- le plus petit intervalle entre deux échangeurs géothermiques doit :
  - être de 5 m au moins pour les échangeurs géothermiques entre 40 et 50 m de long
  - être de 6 m au moins pour les échangeurs géothermiques entre 50 et 100 m de long
- les échangeurs géothermiques sont composés soit de conduites doubles en forme de U avec un diamètre de tuyaux DN 10, DN 25 ou DN 32, soit de sondes coaxiales avec un diamètre minimum de 60 mm
- pas d'application pour plusieurs petits systèmes dans une zone limitée.

Les valeurs peuvent varier sensiblement en raison de la structure des roches (faïençage, foliation, altération, ...).

Uittreksel uit TV - 259: CSTC-WTCB

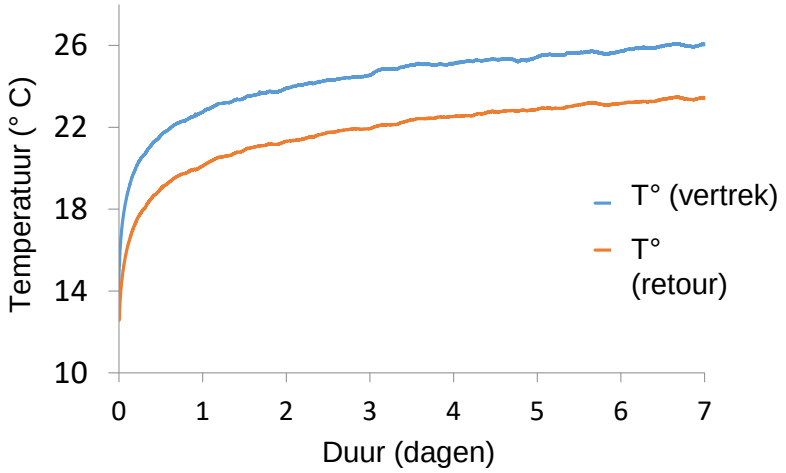
34

GESLOTEN SYSTEMEN

Thermische responstest (TRT)

- Deze test wordt uitgevoerd in een voorafgaand boring.
- Het principe bestaat erin **een zeker thermisch het transportmedium** in de sonde en de verde bodem te evalueren.
- Van deze test kan men een gemiddeld gelei afleiden, die gebruikt kan worden voor definitieve geothermische systeem.
- Door de vloeistof in rust te laten circuleren te activeren) wordt eveneens **de natuu verkregen.**



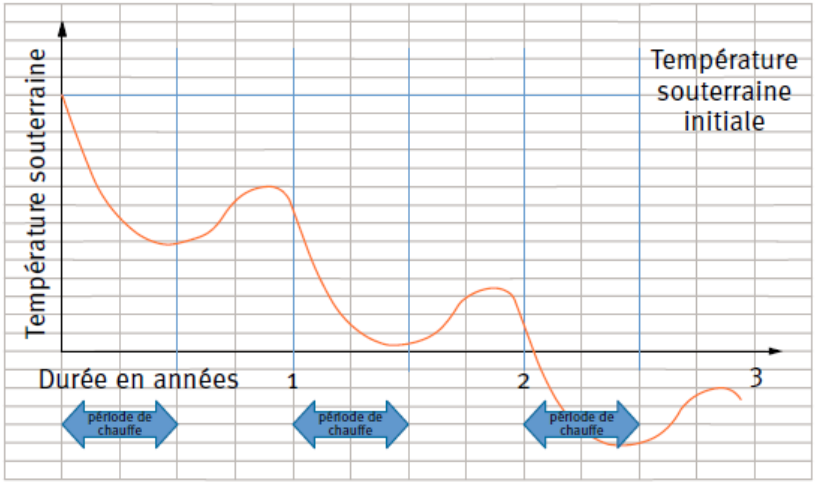


$$T_f(t) - T_o = k \cdot \ln(t) + m$$

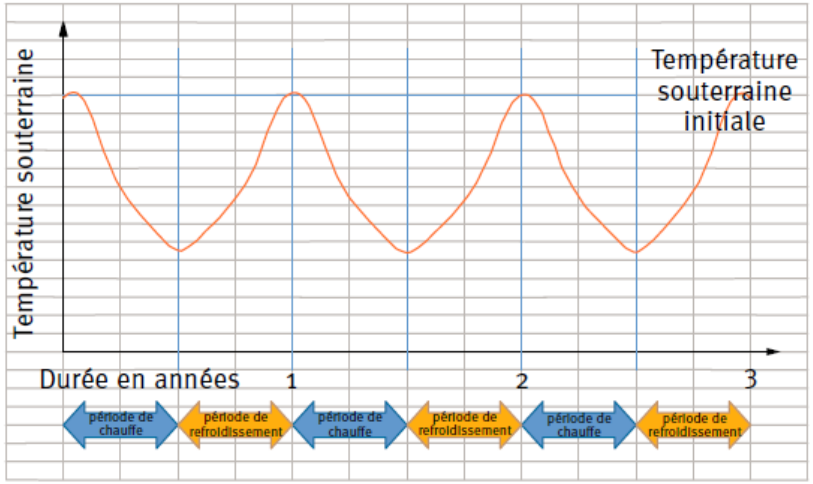
$$\lambda = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot H \cdot k}$$

Dimensioneringsregels: doelstellingen

- Ontwerpen van een goed gedimensioneerd geothermisch systeem dat de gevraagde thermische energie kan leveren op een rendabele en duurzame manier.
  - Een warmtereservoir dat met de jaren uitgeput raakt, moet uiteraard worden vermeden.
  - Een overgedimensioneerd systeem is evenmin aangeraden, want dit dreigt financieel weinig rendabel te zijn.



Slecht gedimensioneerd systeem
Uitputting van het warmtereservoir door te grote warmtevraag



Goed gedimensioneerd systeem
De thermische regeneratie in de zomer compenseert de warmtevraag in de winter

Bron: WTCB - TV 259

GESLOTEN SYSTEMEN

Dimensioneringsregels: eenvoudige systemen / complexe systemen

- **Voor kleine of eenvoudige systemen** zullen de eventuele voordelen van een grondige studie niet opwegen tegen de eraan verbonden extra kosten.
- Voor een **groot en complex systeem** wordt een dergelijke studie echter altijd aangeraden om het systeem te optimaliseren.
- **De open systemen** (captatie in watervoerende lagen) zijn altijd groot en complex en vereisen dus een grondige studie.
- We bekijken hier maar enkele basisregels inzake de dimensionering van eenvoudige systemen. Voor de complexe systemen is het noodzakelijk dynamische of semidynamische berekeningen uit te voeren, gebaseerd op simulatiemodellen (EED, TRNSYS).
- **Een eenvoudig systeem** wordt gekenmerkt door (zie NBN EN 15450):
  - een maximaal vermogen < 30 kW
  - een monovalente werkwijze met maximaal 2.400 werkingsuren bij vollast/jaar
  - een minimale afstand van 5 m tussen boringen (tot een diepte van 50 m) of een van 6 m (vanaf 50 m).

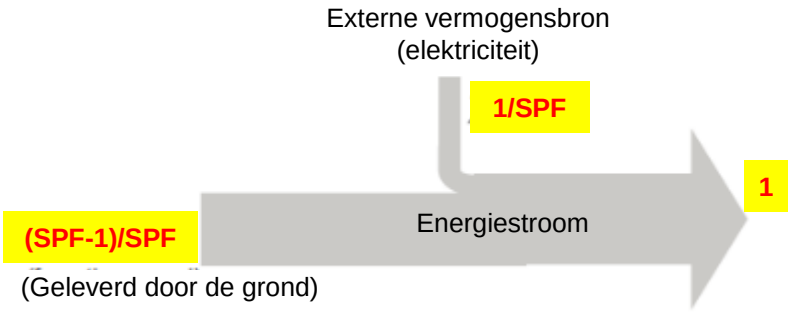
GESLOTEN SYSTEMEN

Eenvoudige gesloten systemen:

Methode op basis van specifiek onttrekkingsvermogen

- De methode is erop gericht de totale vereiste lengte van de geothermische warmtewisselaar te bepalen op basis van het maximaal te onttrekken vermogen en het specifieke onttrekkingsvermogen.

$$P_{ground} = \frac{P_{heating}}{SPF} \cdot (SPF - 1)$$



- P_{ground} = la capacité d'évaporation de la pompe à chaleur [W]
- $P_{heating}$ = la capacité de chauffage de la pompe à chaleur [W ou kW]
- SPF = le rendement saisonnier, déterminé conformément à la réglementation PEB

- **Voorbeeld:** $P_{verwarming}$ = 10 kW; SPF = 4 → P_{grond} = 7,5 kW

GESLOTEN SYSTEMEN

Eenvoudige gesloten systemen:

Methode op basis van specifiek onttrekkingsvermogen

Horizontale systemen (bron: www.energieplus-lesite.be)

- **Onttrekking per strekkende meter:**
  - droge zandgrond: 10 W/m
  - vochtige kleigrond: 25 W/m
  - verzadigde kleigrond: 35 W/m
  - harde rotsgrond: 50 W/m
  - graniet: 55 - 70 W/m
- **Afstand tussen sondes**
  - 1 m in droge grond
  - 0,7 m in vochtige grond
  - 0,5 m in verzadigde zand- of kleigrond
- **Voorbeeld:**
  - Vermogen WP ($P_{verwarming}$): 13,3 kW; SPF: 3,45 → P_{grond} = 9,45 kW
  - Spiraal in vochtige kleigrond = 9450 / 25 = 375 m
  - Spiraal in droge zandgrond = 9450 / 10 = 945 m

GESLOTEN SYSTEMEN

Eenvoudige gesloten systemen:

Methode op basis van specifiek onttrekkingsvermogen

NBN 60.001

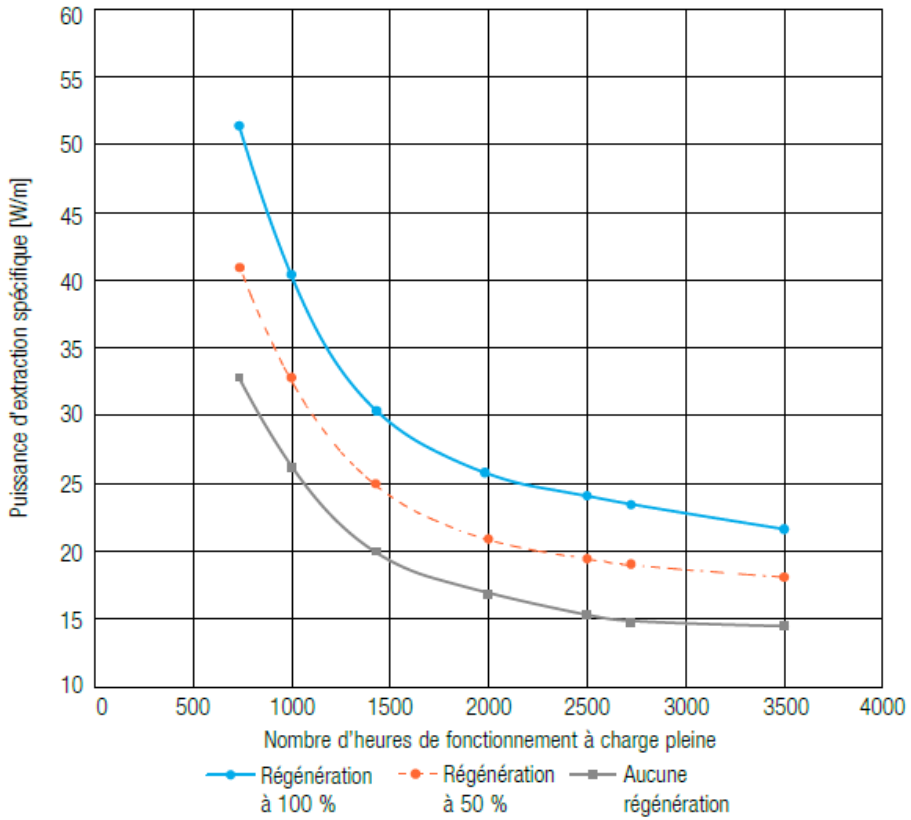
Verticale systemen (bron: NBN EN 15450)

- **Voorbeeld**
  - Vermogen WP: 13,3 kW; SPF: 4 → P_{grond} = 9,97 kW
  - Verticale boringen in verzadigde grond gedurende 1.800 u/jaar = 9.970 /60 = 166 m
  - Verticale boringen in droge grond gedurende 2.400 u/jaar = 9 970 / 20 = 498 m

Methode op basis van correctiefactoren (bron: ISSO-publicatie 73)

- **Voorlopige raming van de sondelengte: $L_{sonde} = P_{grond} / P_{spec}$**

P_{spec} = f (regeneratie, werkingsuren)



GESLOTEN SYSTEMEN

Eenvoudige gesloten systemen:
Methode op basis van correctiefactoren (Bron: ISSO-publicatie 73)

- **Correctiefactoren**: $L_{sonde,\ def.} = L_{sonde} \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_n$
  - Type grond (slechte, middelmatige, goede warmtegeleiding)
  - Vulmateriaal (zand, bentoniet, ...)
  - Minimale temperatuur van het fluïdum (van -5 °C tot +5 °C)
  - Type sonde (enkele U, dubbele U, coaxiaal)
  - Configuratie van het sondeveld 
  - Onderlinge afstand tussen sondes (3 tot 10 m)

- **Online dimensioneringstool** (BrugeoTool) op basis van deze methode (zie volgende presentatie van M. Agniel)

- **Volledig document:** ISSO73 – ISSO-publicatie 73 - Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars - ISBN: 978-90-5044-308-1

GESLOTEN GEOTHERMIE

Andere normen

- **Zwitserland: SIA 386-6-2010:** Gebaseerd op een basisgeval

(L=100m; D_{buis}=32mm; Dubbele U; λ_{medium} =0,85 W/mK ; T_{grond}=10 °C; 1850 h/jaar)

en vervolgens met toepassing van vermeerderingscoëfficiënten

Figure 7 Puissance nominale pour 1 SG de 100 m, ∅ 32 mm, duplex, à 10 °C de température du sol moyenne et 1850 h de pleine charge, avec différentes conductivités thermiques et capacités thermiques du terrain

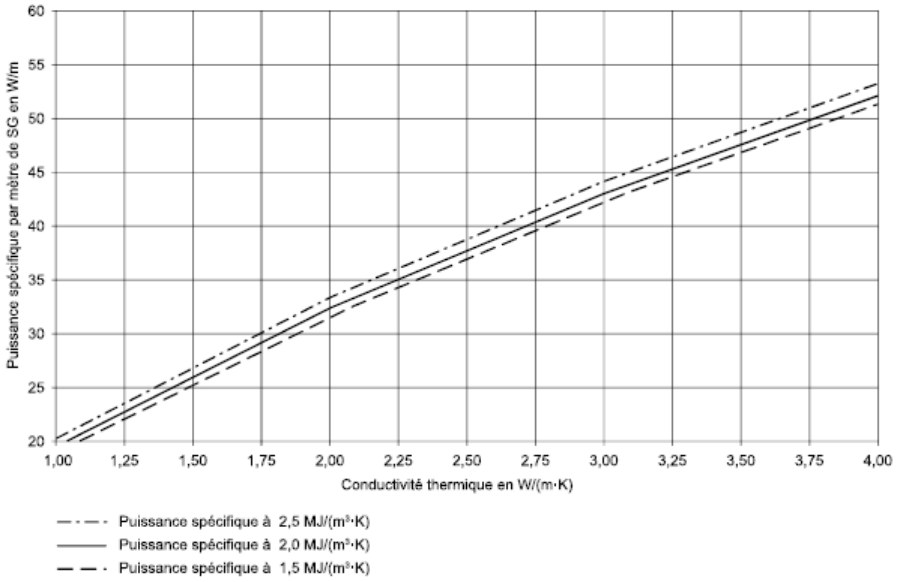
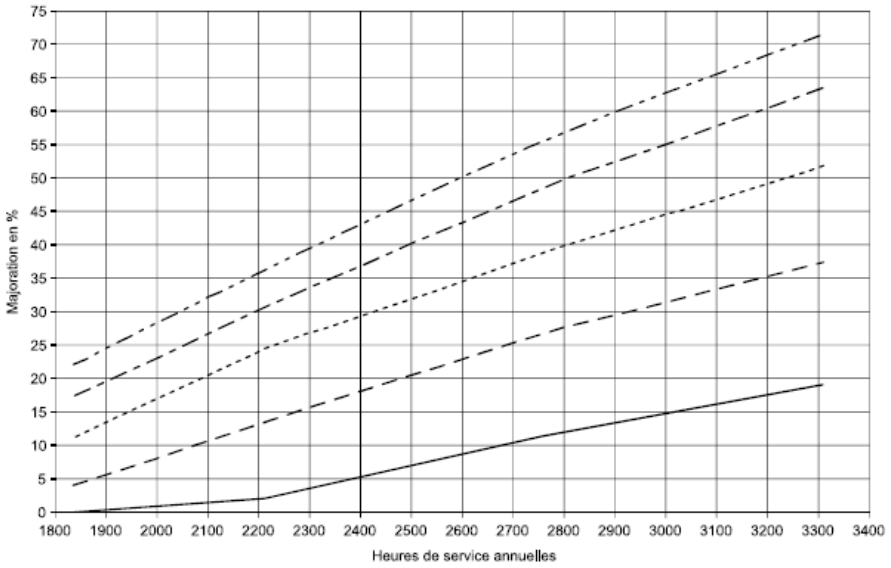


Figure 11 Majoration de longueur de sonde géothermique en fonction des heures de service et la disposition de SG avec une conductivité thermique de **2 W/(m·K) et 5 m de distance** entre les sondes

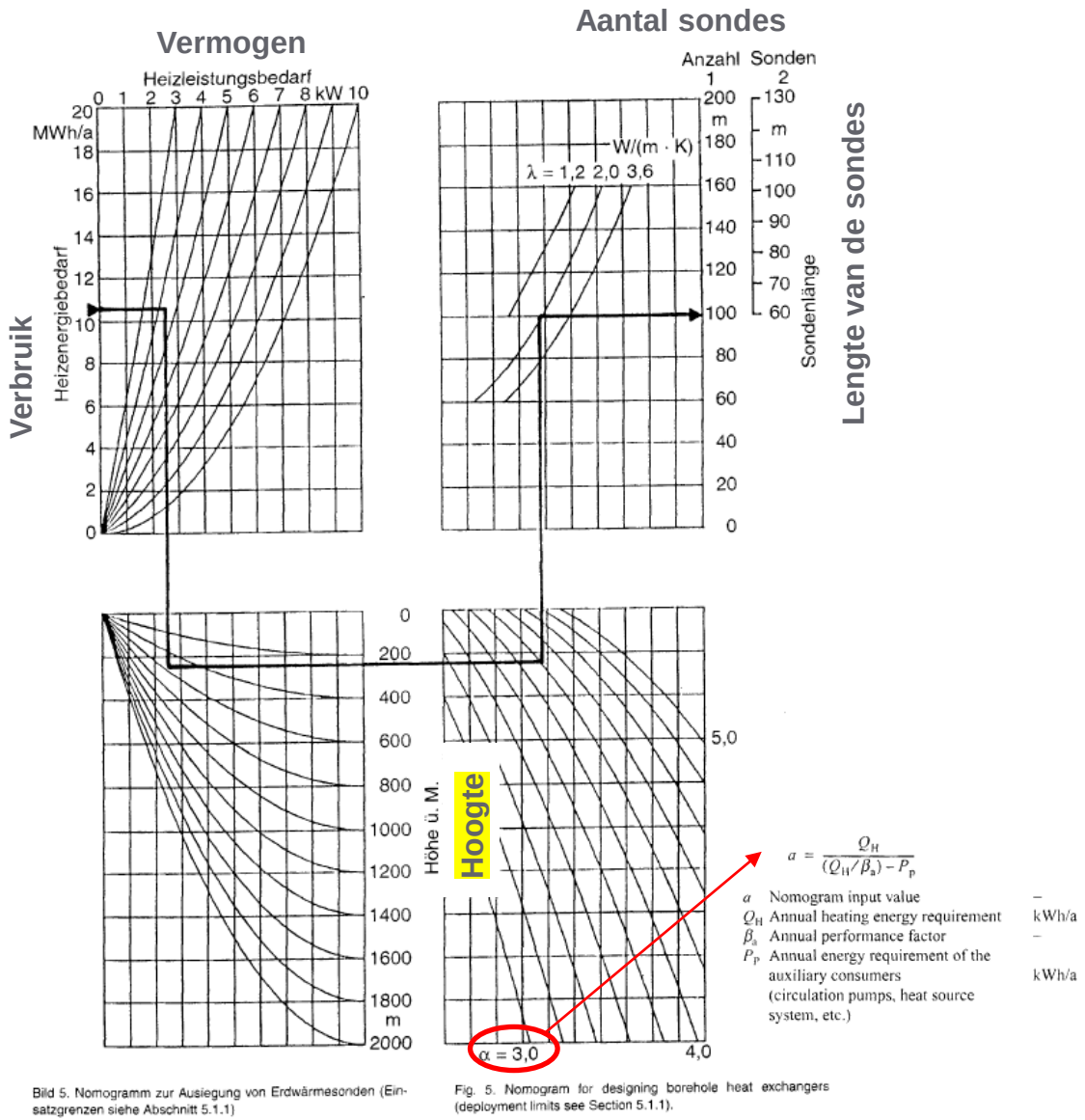


Een verscheidenheid van grafieken voor verschillende combinaties van parameters

GESLOTEN GEOTHERMIE

Andere normen

- **Duitsland: VDI 4640**



$$a = \frac{Q_H}{(Q_H/\beta_a) - P_p}$$

a	Nomogram input value	–
Q_H	Annual heating energy requirement	kWh/a
β_a	Annual performance factor	–
P_p	Annual energy requirement of the auxiliary consumers (circulation pumps, heat source system, etc.)	kWh/a

Bild 5. Nomogramm zur Ausiegung von Erdwärmesonden (Einsatzgrenzen siehe Abschnitt 5.1.1)

Fig. 5. Nomogram for designing borehole heat exchangers (deployment limits see Section 5.1.1).

Gebruik van softwaretool (analytische oplossing)

- **EED (Earth Energy Designer)**
  - **Ingevoerde parameters (voorbeeld)**

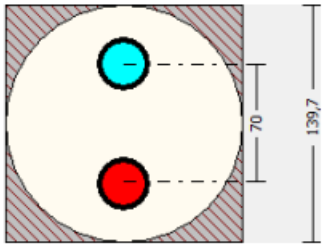
Values from database:	Thermal Conductivity	2.80 W/(m*K)
	Volumetric Heat Capacity	2.30 MJ/(m³*K)
	Ground Surface Temperature	16.20 °C
	Geothermal Heat Flux	0.08 W/m²

As the site is outside of a city and no further information on the underground is known, the database values are taken without adaptation.

Borehole Data: As a start, 2 BHE 6 m apart and each 100 m deep are considered, with a search for optimum depth later. The following values reflect Mediterranean practice, with single-U-tube BHE made of PE with SDR11.

Borehole Data:	Type	Single-U
	Configuration	No. 1 (2 BHE)
	Depth	100 m
	Spacing	6 m
	Diameter	139.7 mm (5½")
	Contact resistance	0.1 (m*K)/W (value for not fully grouted borehole)
	Filling thermal conductivity	0.8 W/(m*K) (standard bentonite/cement grout)
	Vol. flow rate per BHE	2.0 l/s

U-Pipe Data:	Outer diameter	32 mm
	Wall thickness	3.0 mm
	Thermal conductivity	0.42 W/(m*K)
	Shank spacing	70 mm



Graph of BHE cross-section as prepared by EED

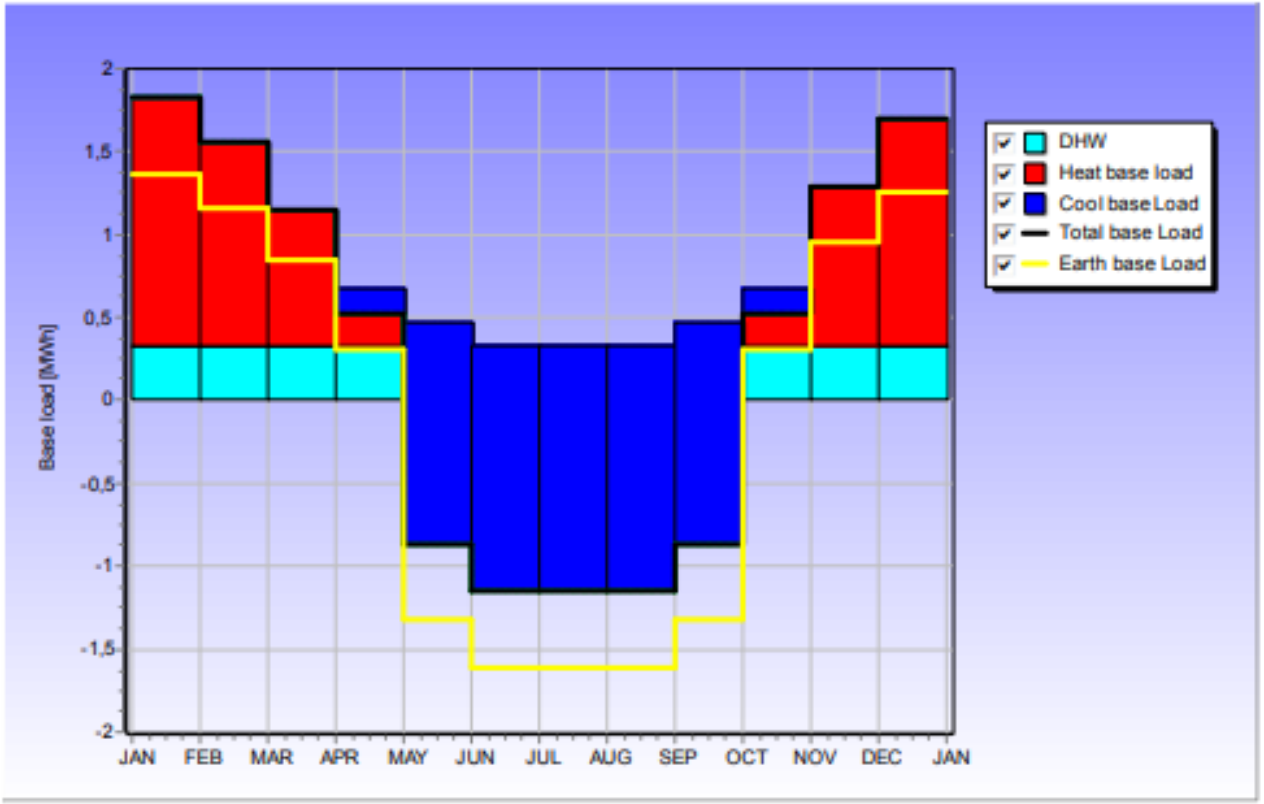
Heat Carrier Fluid: The values for pure water are selected, at 10 °C average temperature:

Thermal conductivity	0.58 W/(m*K)
Specific heat capacity	4192 J/(kg*K)
Density	999.8 kg/m³
Viscosity	0.0013 kg/(m*s)
Freezing point	0 °C

GESLOTEN SYSTEMEN

Gebruik van softwaretool (analytische oplossing)

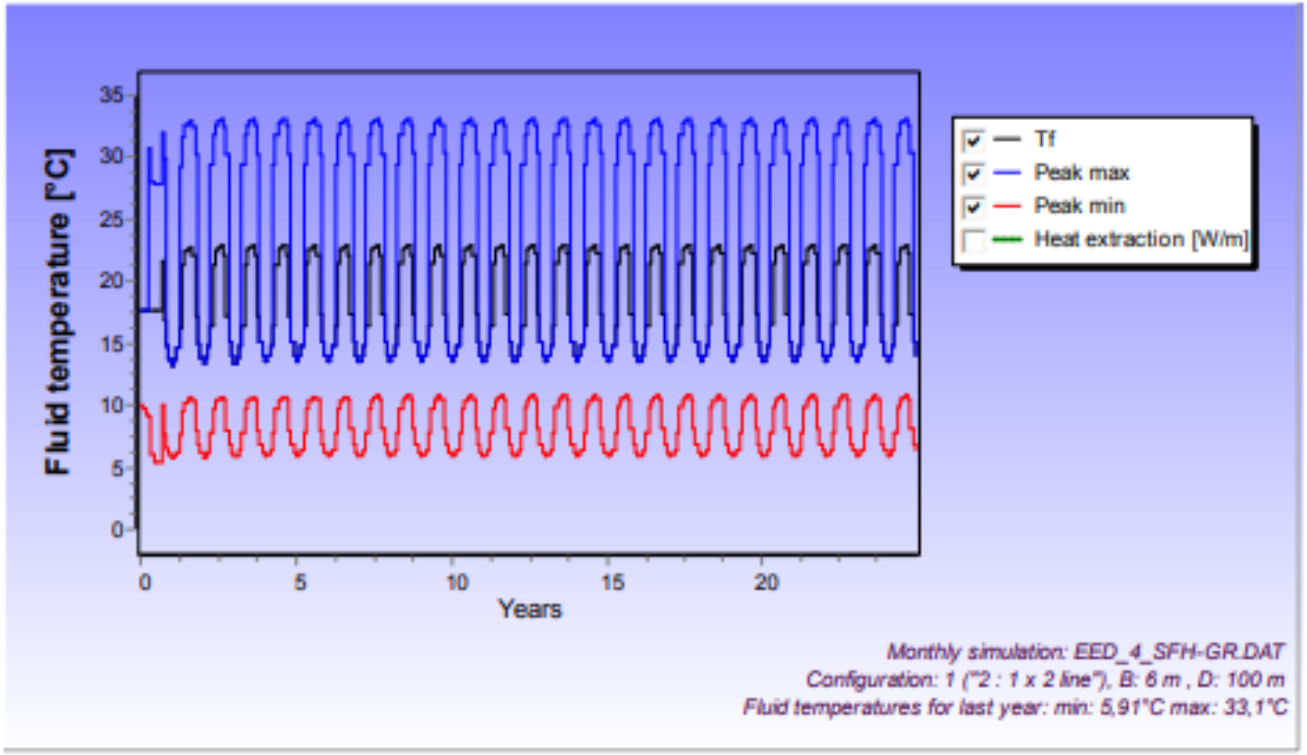
- EED (Earth Energy Designer)
  - Thermische last (voorbeeld van maandgegevens)



GESLOTEN SYSTEMEN

Gebruik van softwaretool (analytische oplossing)

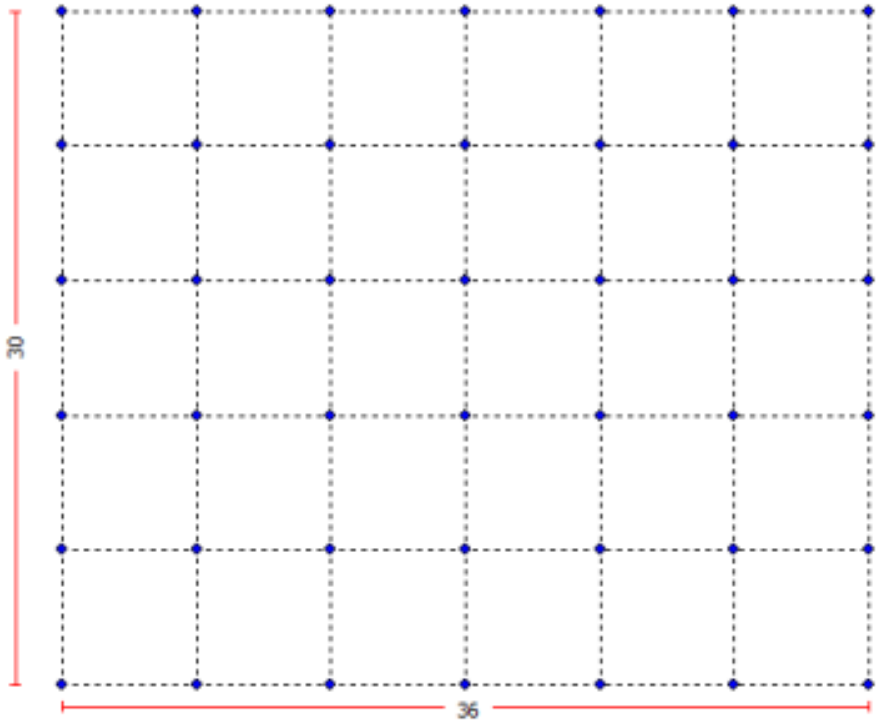
- EED (Earth Energy Designer)
  - Resultaten (temperatuur van het fluïdum en de grond (min., max.)



GESLOTEN SYSTEMEN

Gebruik van softwaretool (analytische oplossing)

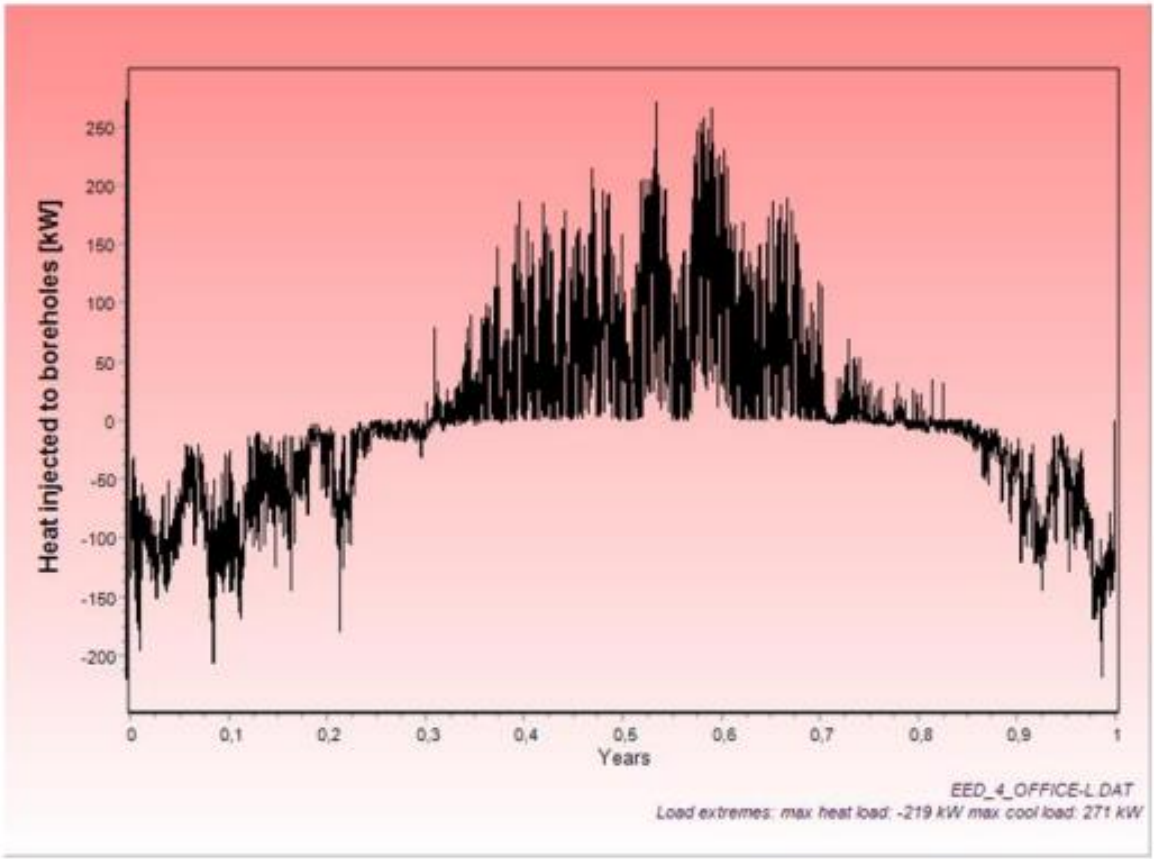
- EED (Earth Energy Designer)
  - Configuratie van het sondeveld (voorbeeld: 6 x 7 – regelmatig rooster)



GESLOTEN SYSTEMEN

Gebruik van softwaretool (analytische oplossing)

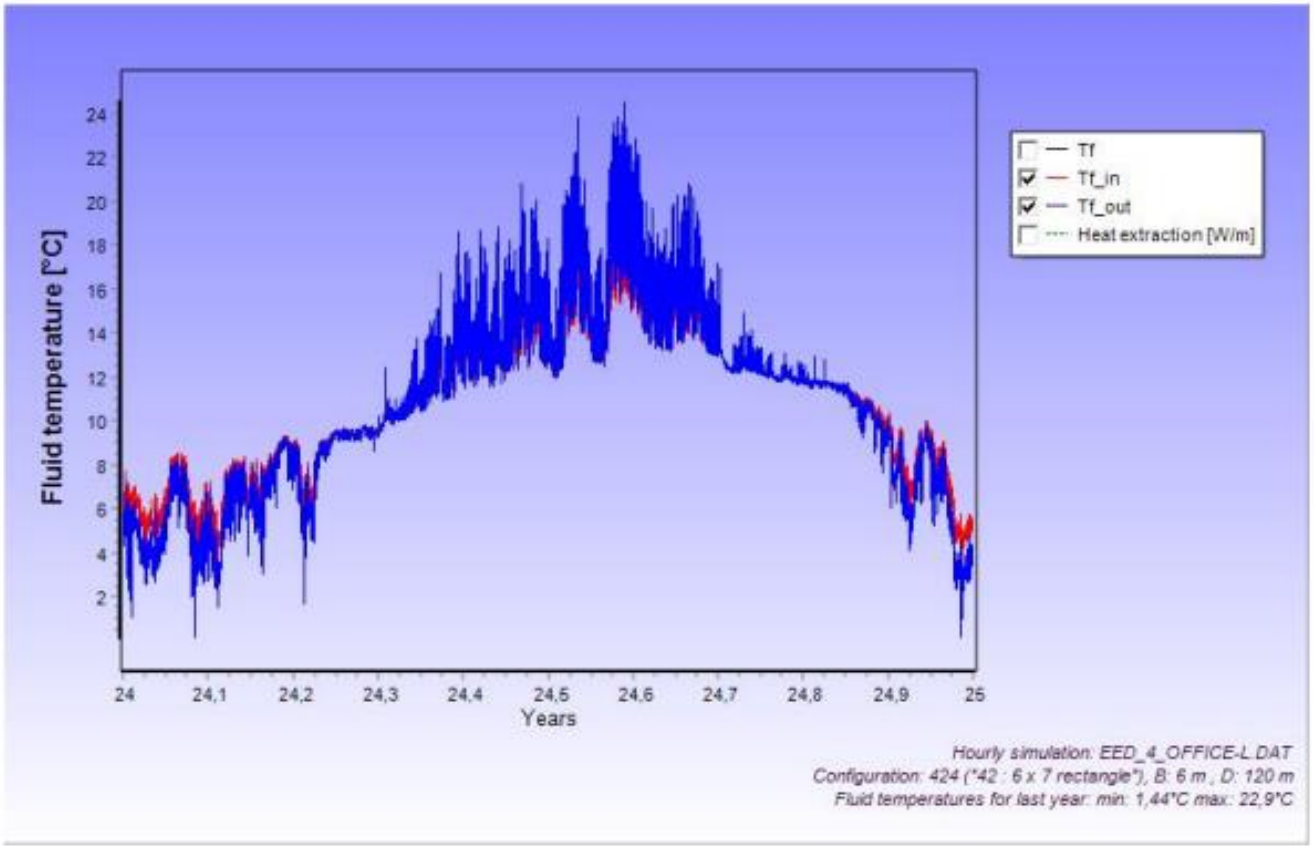
- EED (Earth Energy Designer)
  - Thermische last (voorbeeld van gegevens uurregeling)



GESLOTEN SYSTEMEN

Gebruik van softwaretool (analytische oplossing)

- EED (Earth Energy Designer)
  - Resultaten (temperatuur van het fluïdum en de grond (min., max.)

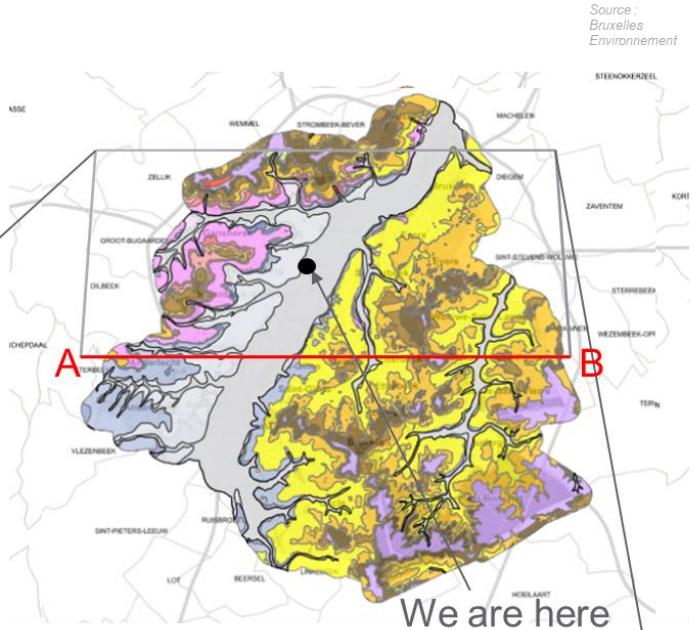


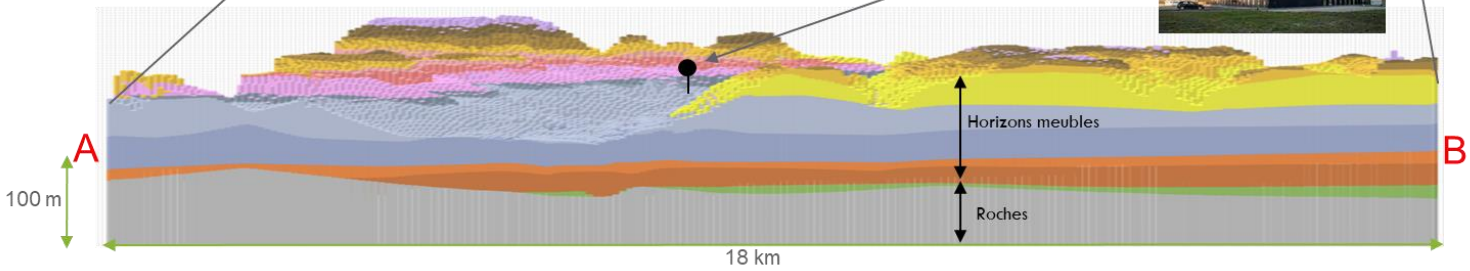
OPEN GEOTHERMISCHE ENERGIE

Prehaalbaarheid -> GO/NO GO

- **Technisch luik:** *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	
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			
		US/RBC_25 Sables de Maldegem (membre de Onderdale)			
		US/RBC_31 Argiles de Maldegem (membre de Ursel et Asse)		AQUICLUDE	
		US/RBC_41 Sables de Maldegem (membre de Wemmel)		BRUSSELS SANDS AQUIFER	PHREATIC TO SEMI-CONFINED
		US/RBC_42 Sables de Lede			
		US/RBC_43 Sables de Bruxelles			
	Lower Eocene	US/RBC_44 Sables de Gent (membre de Vlierzele)		AQUICLUDE	
		US/RBC_51 Argiles de Gent (membre de Merelbeke)		AQUITARD	
		US/RBC_61 Sables et argiles de Tielt		AQUICLUDE	
		US/RBC_71 Argiles de Kortrijk (membre d'Aalbeke)		AQUITARD	
		US/RBC_72 Sables et argiles de Kortrijk (membre de Moen)		AQUICLUDE	
		US/RBC_73 Argiles de Kortrijk (membre de Saint Maur)		LANDENIAN SANDS AQUIFER	
	Upper Paleocene	US/RBC_81 Sables de Hannut (Membre de Grandglise)		AQUICLUDE	CONFINED
		US/RBC_82 Argiles de Hannut (Membre de Lincent)		CHALK AQUIFER	
II	Upper Cretaceous	US/RBC_91 Craies de Gulpen		PALEOZOIC AQUIFER	
I	Lower Cambrian	US/RBC_92 Socle Paléozoïque			



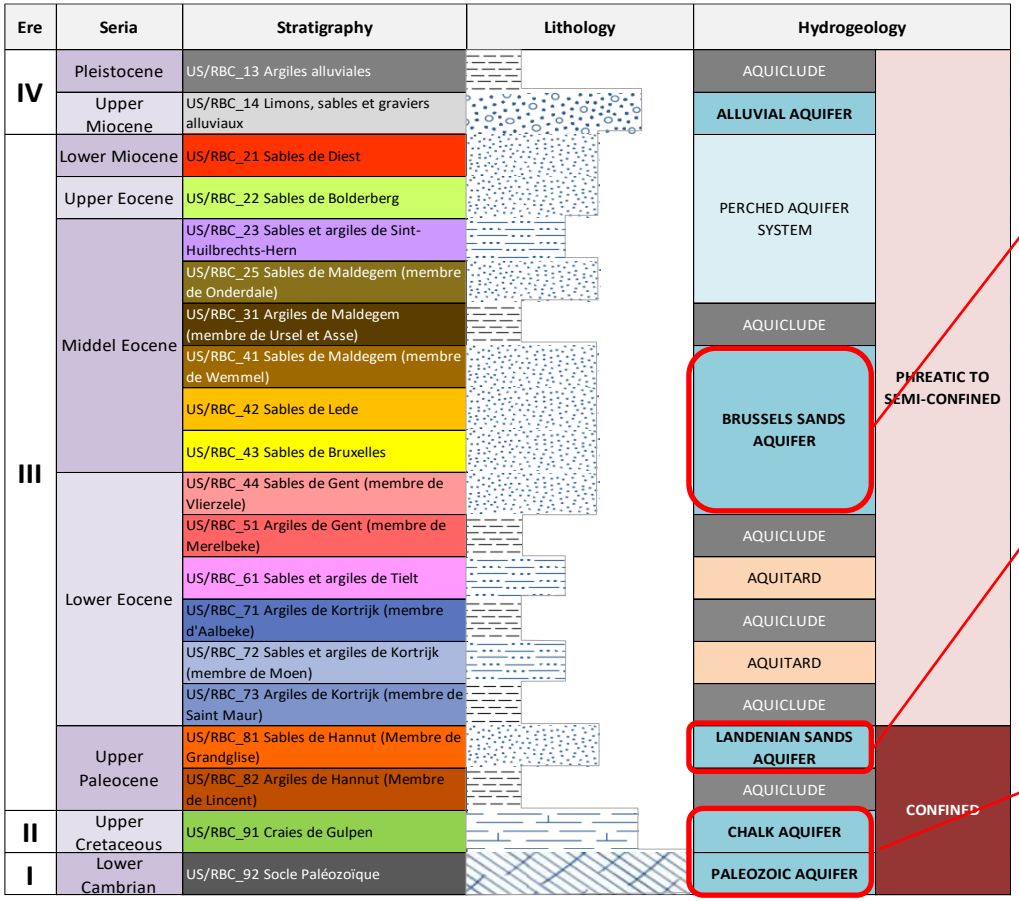


51

OPEN GEOTHERMIE

Prehaalbaarheid -> GO/NO GO

- Technisch luik: is er een productieve watervoerende laag of **aquifer** aanwezig, geschikt voor geothermisch gebruik?



Bron: Leefmilieu Brussel

AQUIFER VAN DE ZANDEN VAN BRUSSEL (BRUSSELIAAN)
Potentieel: 70 - 350 kW/bronpaar
Mogelijke beperkingen:
-> beperkt beschikbaar in het oostelijk deel van het BHG, op de plateaus
-> hoge verstoppingsrisico's
Kwaliteitsindex van de hulpbron: 0 tot 2/3

AQUIFER VAN DE ZANDEN VAN LANDEN (LANDENIAAN)
Potentieel: 70 - 100 kW/bronpaar
Mogelijke beperkingen:
-> beperkte stromen
Kwaliteitsindex van de hulpbron: 2/3 (zekere waarde)

AQUIFER VAN HET KRIJT EN DE PALEOZOÏSCHE SOKKEL
Potentieel: 0 - 700 kW/bronpaar
Mogelijke beperkingen:
-> potentieel zeer hoge maar onzekere stromen
Kwaliteitsindex van de hulpbron: 0 tot 3/3

OPEN GEOTHERMIE

Prehaalbaarheid -> GO/NO GO

- **Regelgevingsluik**:

-> Beschermingszone voor de waterwinning = NO GO

-> Verboden zone Metro Noord = NO GO

-> Grondverontreiniging = voorwaarden

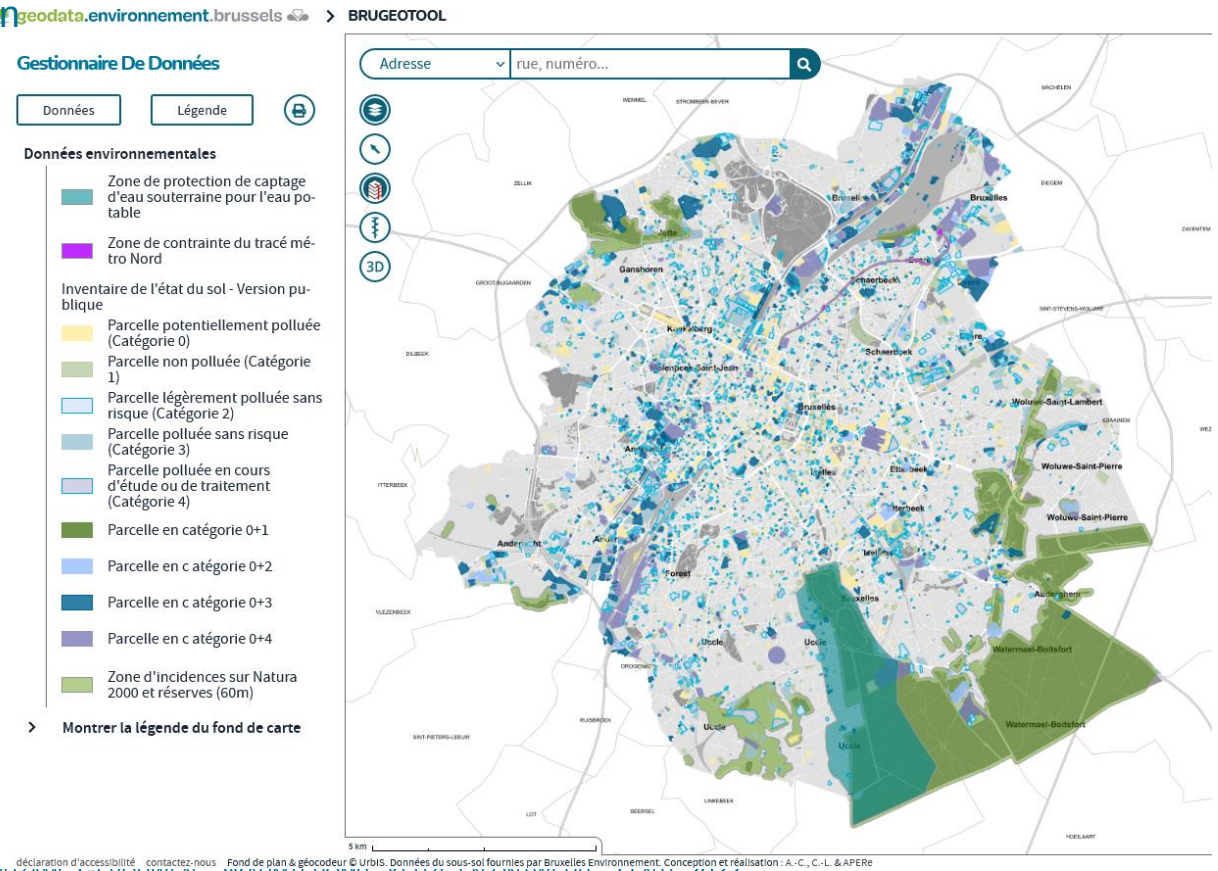
-> Natura 2000 = voorwaarden

-> Opgelegde voorschriften

Bijv.: T° herinjectie

0 - 25 °C (gesloten systeem)

4 - 25 °C (open systeem)

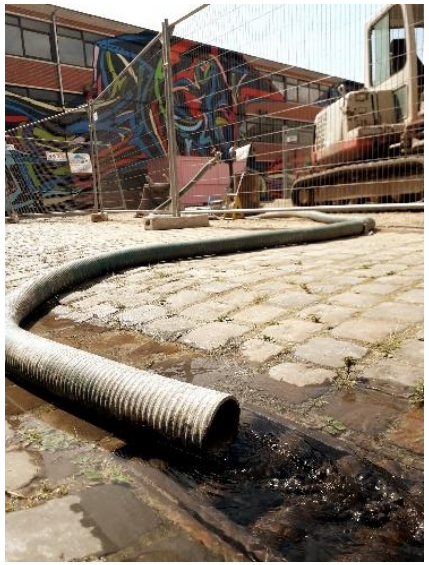


OPEN GEOTHERMIE

Haalbaarheid: Testboring en proeven

- Pompproeven in stappen
- Herinjectieproeven
- Pompproeven van lange duur
- Fysisch-chemische analyse
- Flowtest
- Andere (camera, logging, traceertests,…)





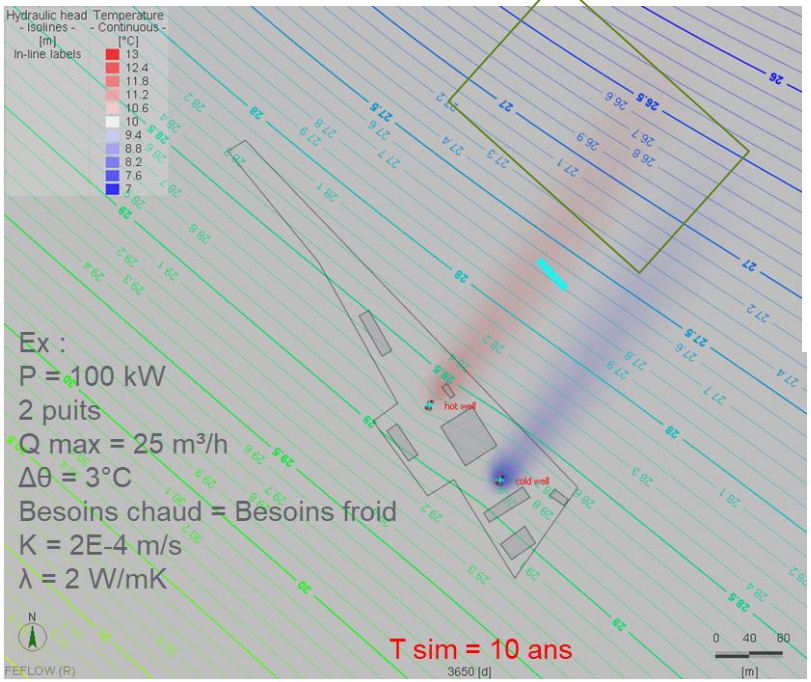


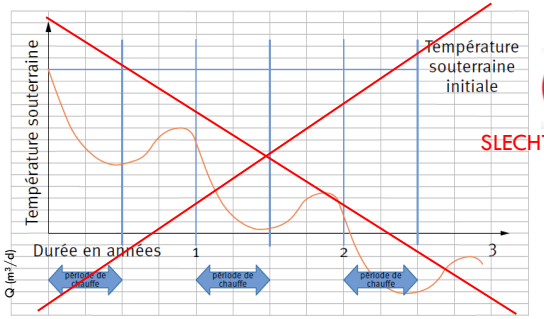


Bron:
Leefmilieu Brussel

Haalbaarheid: Dimensionering

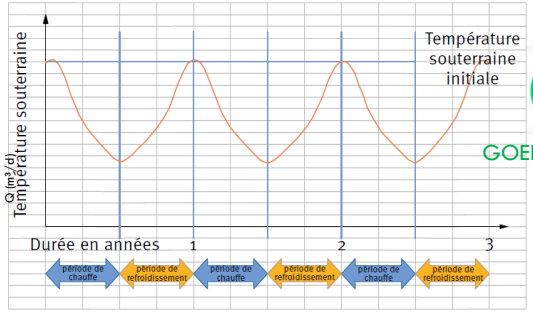
- Digitale modellering (FEFLOW, MODFLOW,…)
  - Verduurzaming van het systeem (zoeken naar thermisch evenwicht en naleving van opgelegd temperatuurbereik)
  - Piëzometrische effecten (lange termijn)
  - Thermische effecten (lange termijn)
  - Anticiperen op conflicterend gebruik met naburige waterwinningen en geothermische systemen





SLECHT ONTWERP!

Fig. 4 Evolution de la température souterraine en cas de déséquilibre



GOED ONTWERP!

Fig. 5 Evolution de la température souterraine en cas d'équilibre thermique.

Bron: WTCB

INHOUDSOPGAVE

INLEIDING
VERSCHILLENDE TYPES GEOTHERMISCHE INSTALLATIES
VOOR- EN NADELEN VAN DE OPLOSSINGEN
ONTWERP
BRUGEOTOOL

56

BRUGEOTOOL

Tools voor prehaalbaarheid en predimensionering

environnement.brussels

THÈMES GUICHET ACTION DE LA RÉGION AGIR AU QUOTIDIEN DOCUMENTATION ET CARTES ACTUALITÉS

GÉOLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE

- Géologie
- Eaux souterraines +
- Géothermie +
- Outils et Données −
  - **BrugeoTool : L'application "sous-sol et géothermie" de la région de Bruxelles-Capitale**
  - BruWater : L'application pour les données sur les eaux de surface et les eaux souterraines
  - Brustrati3D : Modèle géologique bruxellois (raster)
  - Cartes géotechniques de Bruxelles digitalisées (vecteur, raster)
  - Catalogue des données géologiques et hydrogéologiques (vecteur)

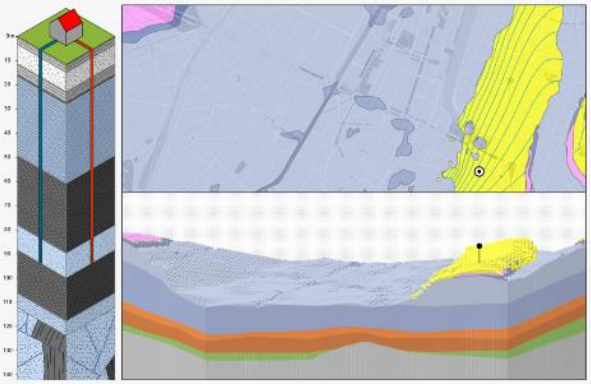
Professionnels

Ecoles

Géologie et hydrogéologie › Outils et Données

› **BrugeoTool : L'application "sous-sol et géothermie" de la région de Bruxelles-Capitale**

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



Outil géoscientifique professionnel « tout en un », BrugeoTool permet l'exploration détaillée de la **géologie**, de l'**hydrogéologie** et des **potentialités géothermiques** en région bruxelloise au travers d'outils de **visualisation 1D, 2D et 3D.**

Dans la perspective du développement de la **géothermie verticale faible profondeur en région bruxelloise** (<300m), qui est une énergie renouvelable pour le **chauffage et le refroidissement** des bâtiments favorisant la décarbonation du mix énergétique, **BrugeoTool** se veut un outil utile à toute étape d'un projet de géothermie **pour le gestionnaire de projet comme pour l'expert.**

Application BrugeoTool

Internetlink

Bron: Leefmilieu Brussel

TOOLS

Normen

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

BrugeoTool

- Internetlink

Websites

https://leefmilieu.brussels/themas/geologie-en-hydrogeologie/geothermie

www.geothermie.brussels

www.smartgeotherm.be

www.energieplus-lesite.be

Naslagwerken

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

CONTACT

Mathieu AGNIEL
Hydrogeoloog
Leefmilieu Brussel
+ 32 488 23 04 98
magniel@environnement.brussels

Bertrand FRANCOIS
Professor
Université Libre de Bruxelles
+ 32 2 650 27 35
bertrand.francois@ulb.be



BEDANKT VOOR UW AANDACHT

BRUGEO
geothermie.brussels