

OPLEIDING DUURZAME GEBOUWEN

WARMTEPOMP : ONTWERP

LENTE 2020

Optimalisatie van de koudebron: benutting
van de ondiepe geothermie

Bertrand FRANCOIS





- ▶ Overzicht van de **verschillende geothermische systemen** (en de meest geschikte in de Brusselse context)
- ▶ Algemeen beeld van de **Brusselse geologische en hydro-geologische context**
- ▶ Presentatie van de **bodemtests** om het geothermische potentieel te karakteriseren
- ▶ Voorstelling van de **dimensioneringsregels** voor de geothermische systemen

Deze presentatie reikt sleutels aan voor een beter **inzicht in de werking van een geothermische installatie**, gericht op **een optimale werking**, rekening houdend met de behoeften van het gebouw en de beschikbare geothermische hulpbronnen.



INLEIDING

- ▶ **Geothermische systemen**
- ▶ **Geothermische warmtepomp**
- ▶ **Prestatiecoëfficiënt**

VERSCHILLENDE TYPES GEOTHERMISCHE INSTALLATIES

- ▶ Open systemen/Gesloten systemen
- ▶ Zeer ondiepe geothermie
- ▶ Ondiepe geothermie
- ▶ Diepe geothermie

GEOTHERMISCH POTENTIEEL

- ▶ Brusselse geologische context
- ▶ Karakteristieke warmtegeleidingswaarden
- ▶ Bodemproef (thermische responstest)
- ▶ Open systemen
- ▶ Enkele verwezenlijkingen in Brussel
- ▶ Dimensioneringsregels

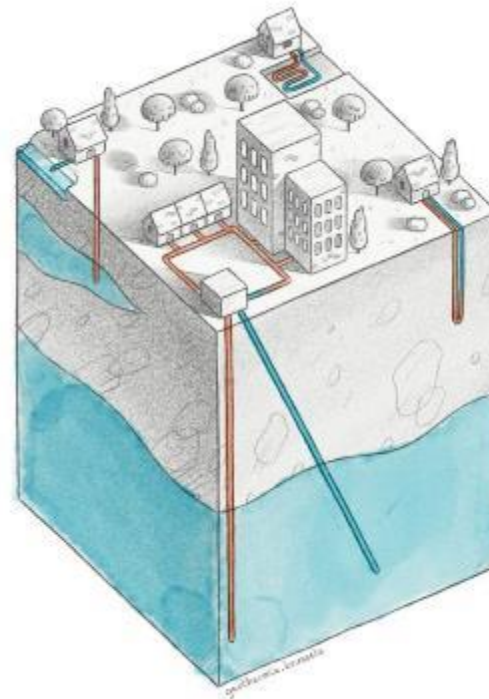
MIJN PROJECT IN BRUSSEL (VOLGENDE PRESENTATIE)

- ▶ *Brugeo, webtools, wetgeving, Mijn project stap voor stap*



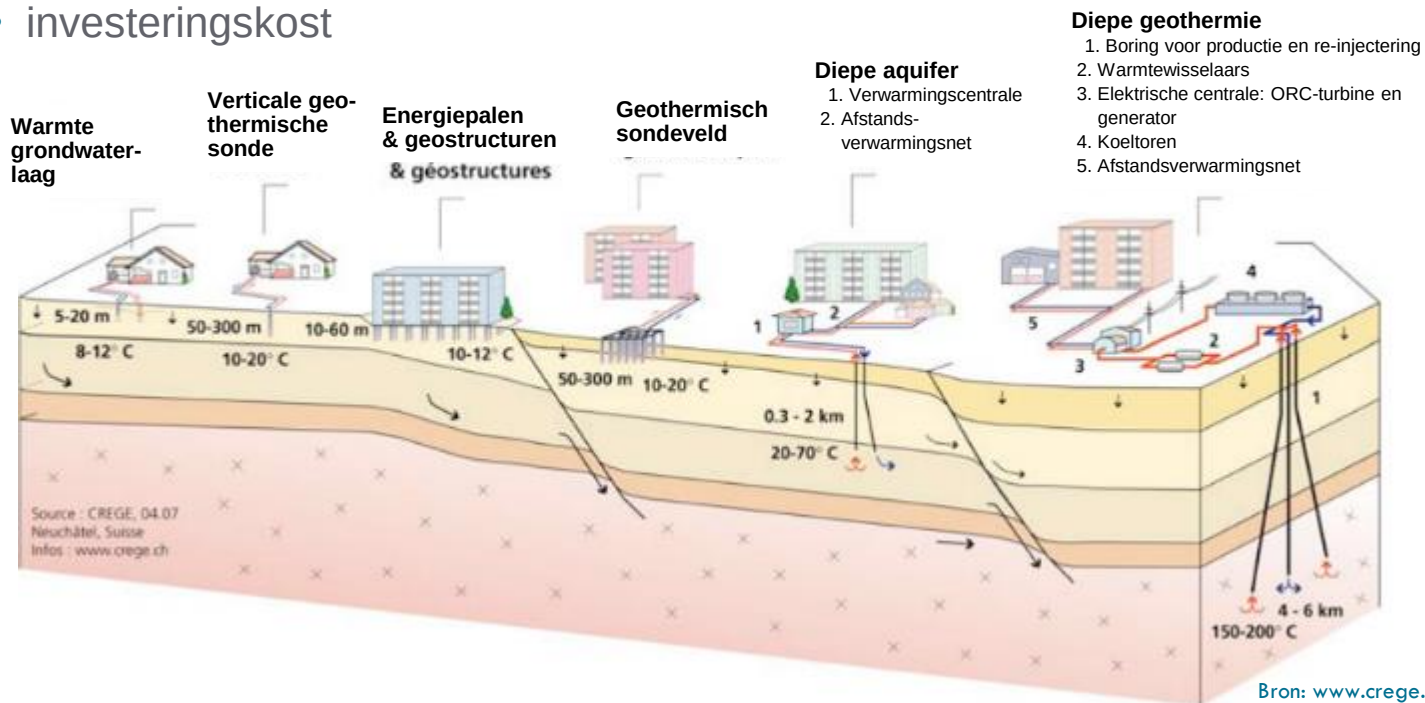
Wat is een geothermisch systeem?

- ▶ 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.



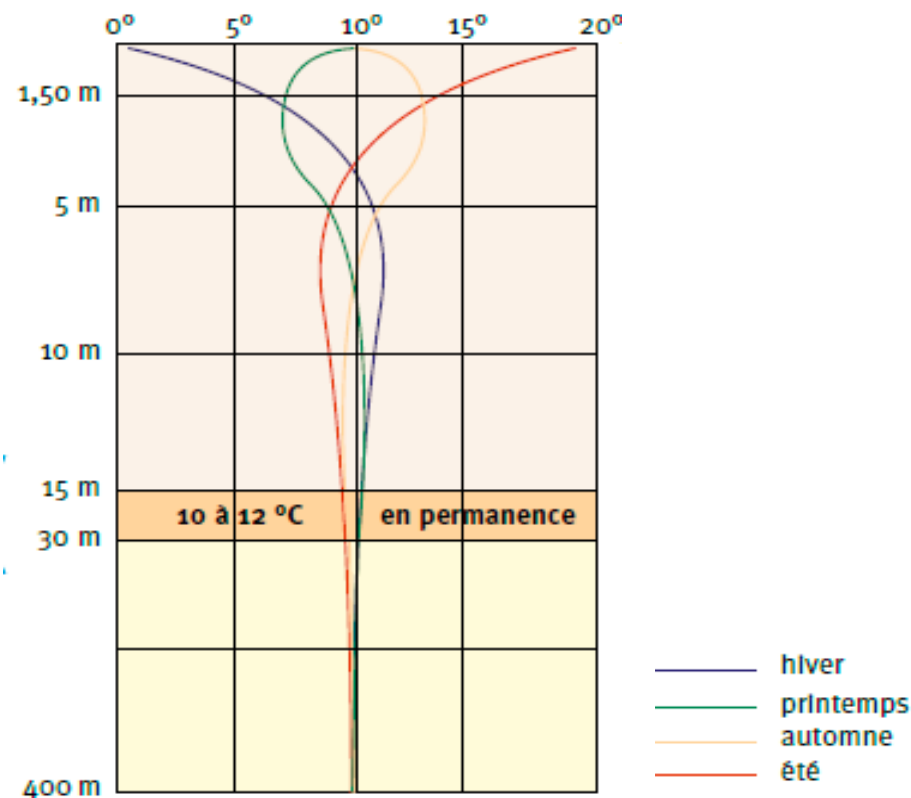
Verschillende systemen voor verschillende toepassingen

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



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



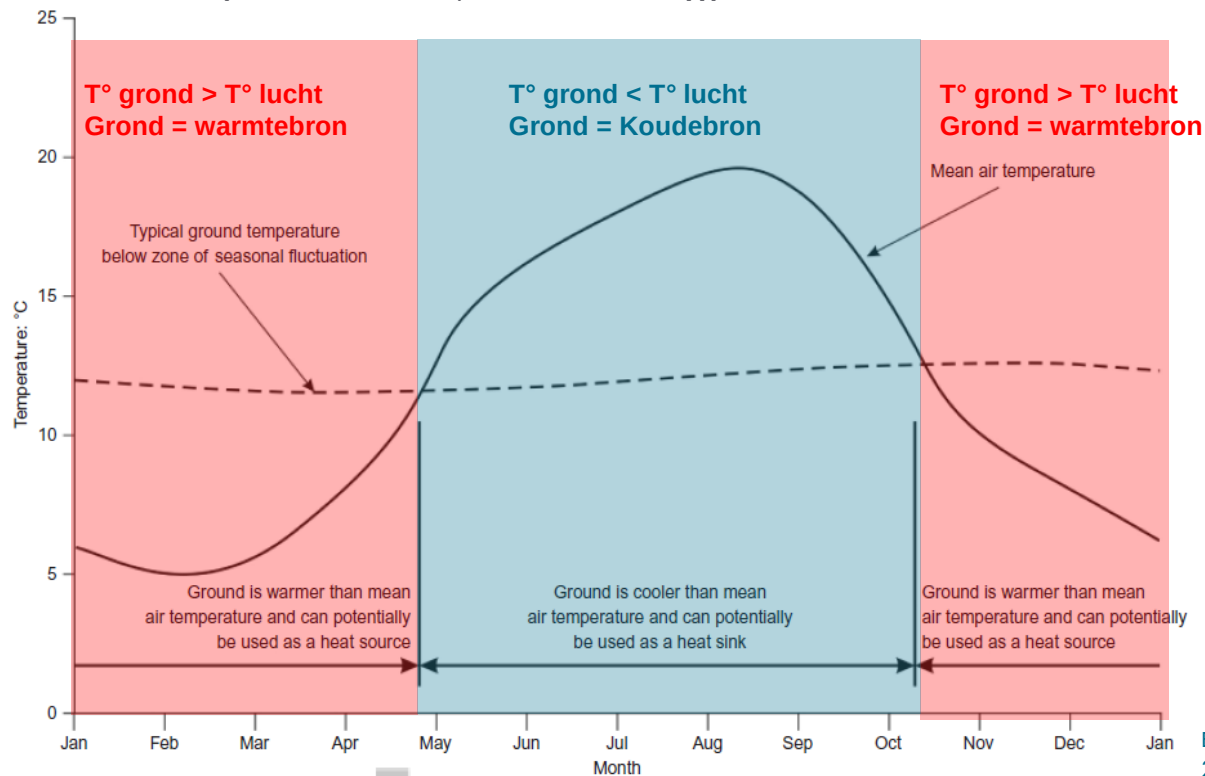
Bron: WTCB-TV 259



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.
- ▶ De grond kan fungeren als koudebron (in de winter, voor verwarming) of als warmtebron (in de zomer, voor koeling).

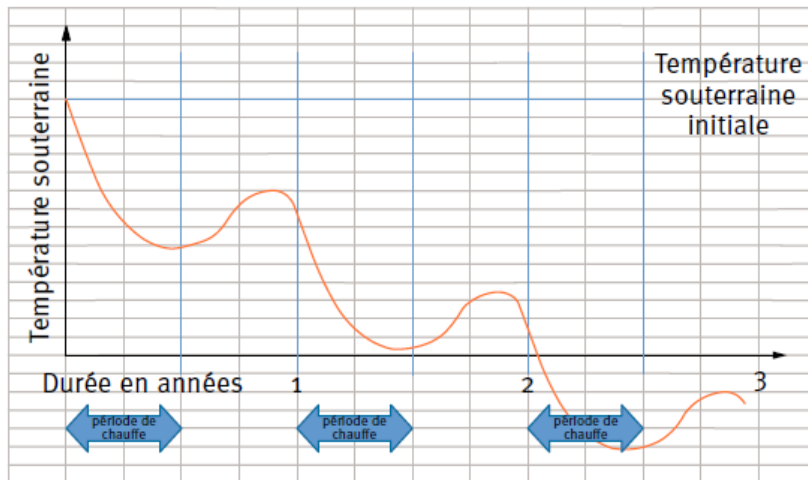


Bron: Preene and Powrie, Geotechnique 2009



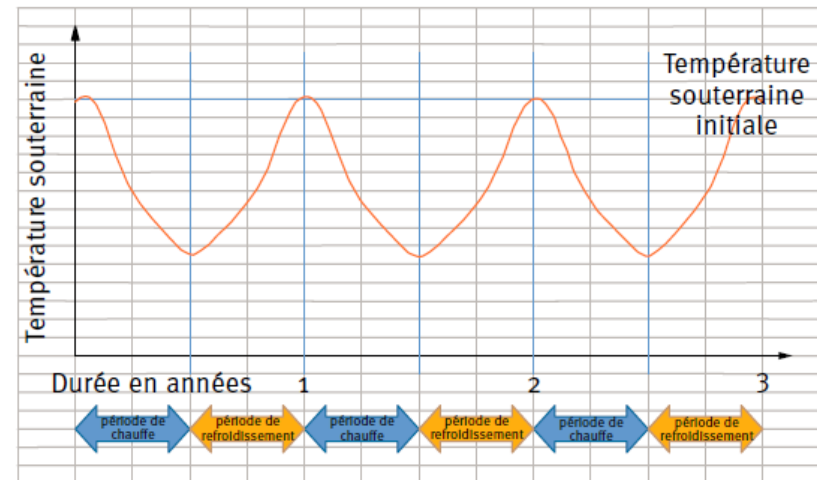
Wat zijn de voordelen van een geothermische warmtepomp?

- ▶ 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 herlading in de zomer compenseert de warmtevraag in de winter

Bron: WTCB - TV 259



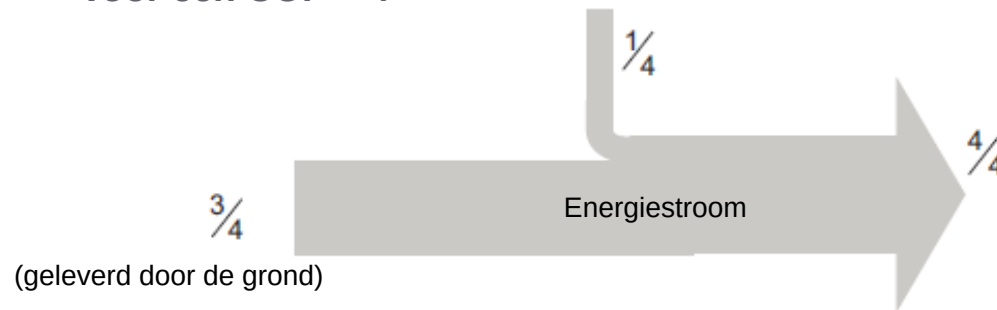
Waarom is een geothermische warmtepomp efficiënt?

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

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

Voor een COP = 4

Externe vermogensbron (elektriciteit)

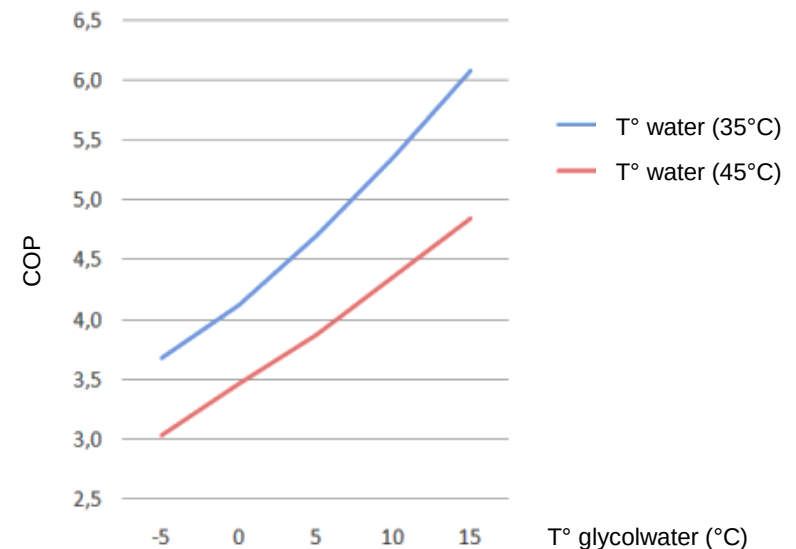
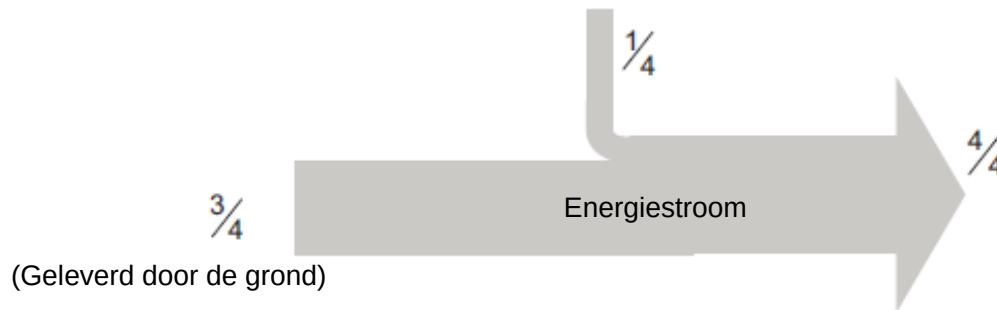


Waarom is een geothermische warmtepomp efficiënt?

- ▶ 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 $COP = 4$ Externe vermogensbron (elektriciteit)



INLEIDING

- ▶ Geothermische systemen
- ▶ Geothermische warmtepomp
- ▶ Prestatiecoëfficiënt

VERSCHILLENDE TYPES GEOTHERMISCHE INSTALLATIES

- ▶ **Open systemen/Gesloten systemen**
- ▶ **Zeer ondiepe geothermie**
- ▶ **Ondiepe geothermie**
- ▶ **Diepe geothermie**

GEOTHERMISCH POTENTIEEL

- ▶ Brusselse geologische context
- ▶ Karakteristieke warmtegeleidingswaarden
- ▶ Bodemproef (thermische responstest)
- ▶ Open systemen
- ▶ Enkele verwezenlijkingen in Brussel
- ▶ Dimensioneringsregels

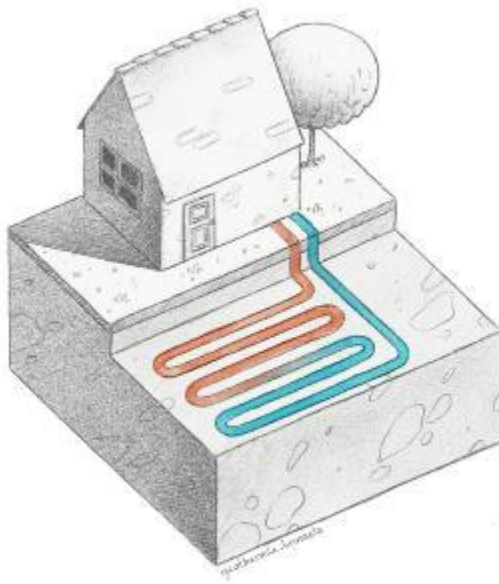
MIJN PROJECT IN BRUSSEL (VOLGENDE PRESENTATIE)

- ▶ *Brugeo, webtools, wetgeving, Mijn project stap voor stap*

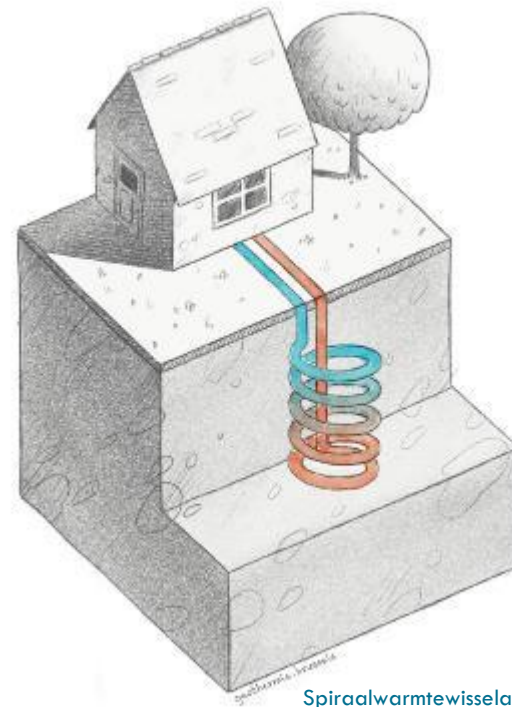


Principe

- 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



Voordelen

- ▶ Weinig graafwerken nodig

Nadelen

- ▶ Vereist een aanzienlijke grondoppervlakte (28 tot 100 m² per kW verwarmingsvermogen)
- ▶ Variabele temperatuur volgens seizoen. Rendementverlies in de winter.



Horizontale sondes - Bron: www.espace-eco-habitat.fr

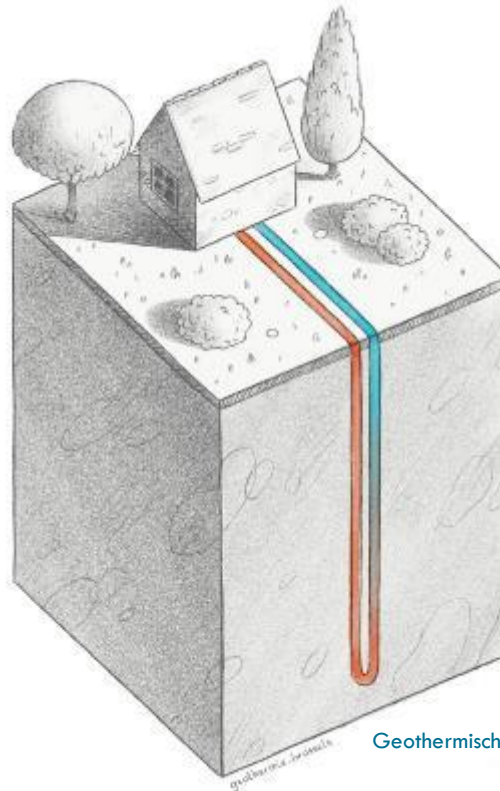


Spiraalwarmtewisselaars - Bron: www.lemoniteur.fr



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.

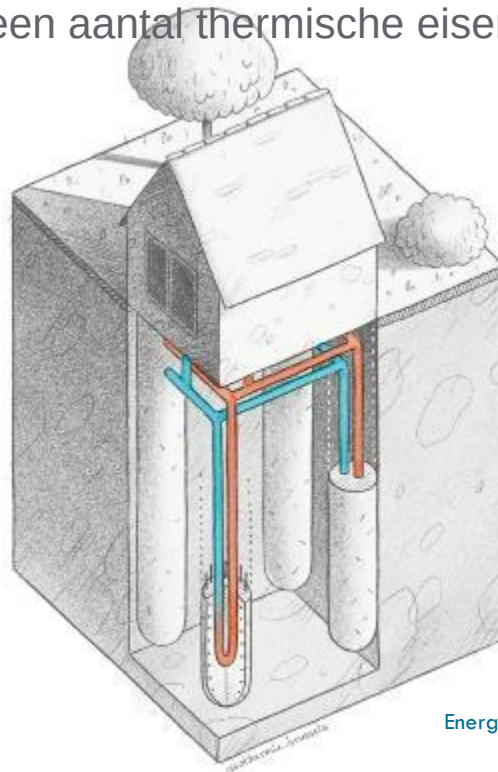


Geothermische sondes



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 met een aantal thermische eisen

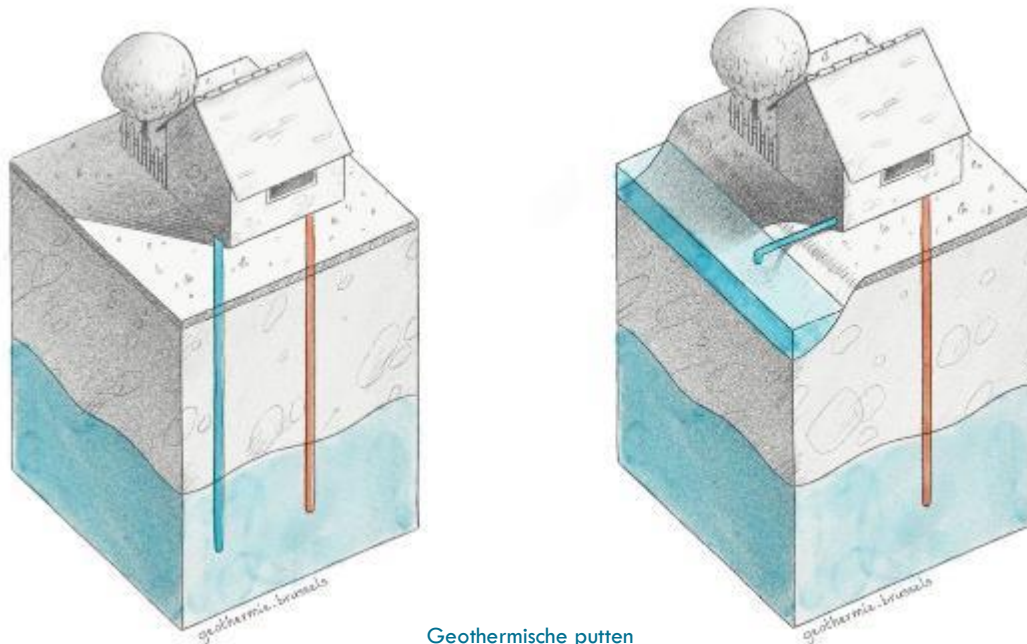


Energiepalen



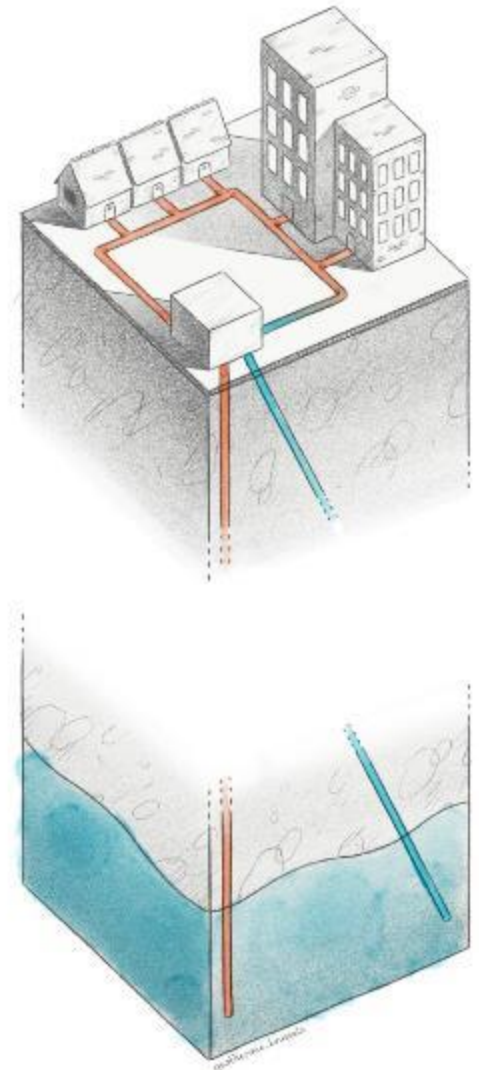
Open systemen - geothermische putten

- ▶ 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.



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.

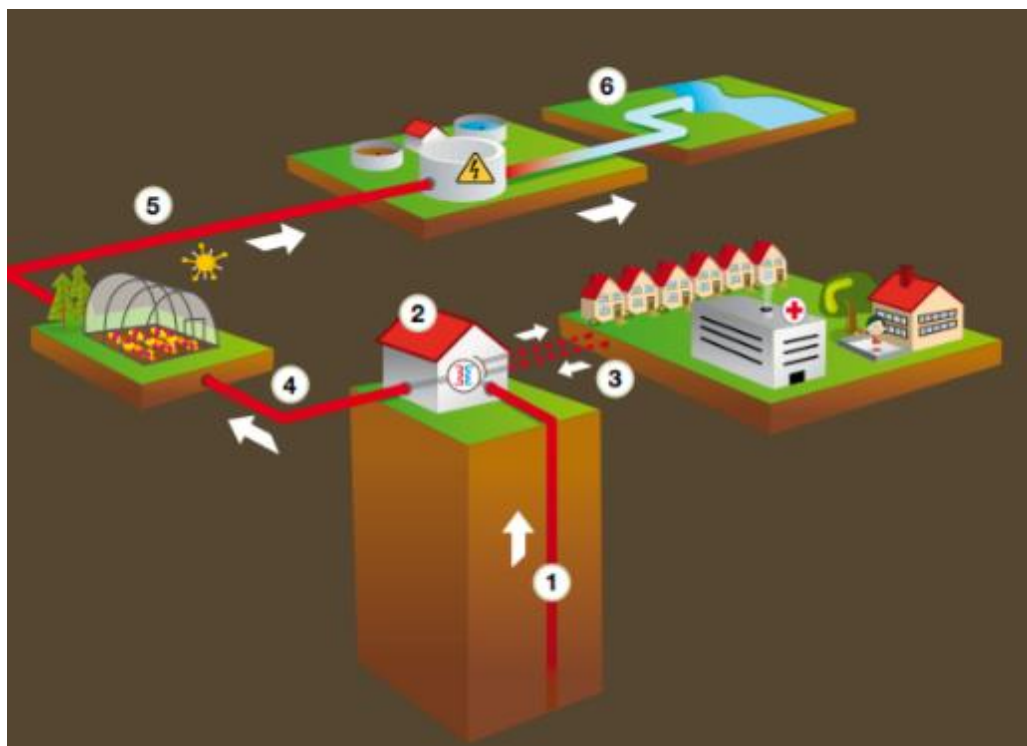


Stadsverwarming door diepe geothermie



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



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, to 5 MWe (+/- 5000 gezinnen)



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



INLEIDING

- ▶ Geothermische systemen
- ▶ Geothermische warmtepomp
- ▶ Prestatiecoëfficiënt

VERSCHILLENDE TYPES GEOTHERMISCHE INSTALLATIES

- ▶ Open systemen/Gesloten systemen
- ▶ Zeer ondiepe geothermie
- ▶ Ondiepe geothermie
- ▶ Diepe geothermie

GEOTHERMISCH POTENTIEEL

- ▶ **Brusselse geologische context**
- ▶ **Karakteristieke warmtegeleidingswaarden**
- ▶ **Bodemproef (thermische responstest)**
- ▶ **Open systemen**
- ▶ **Enkele verwezenlijkingen in Brussel**
- ▶ **Dimensioneringsregels**

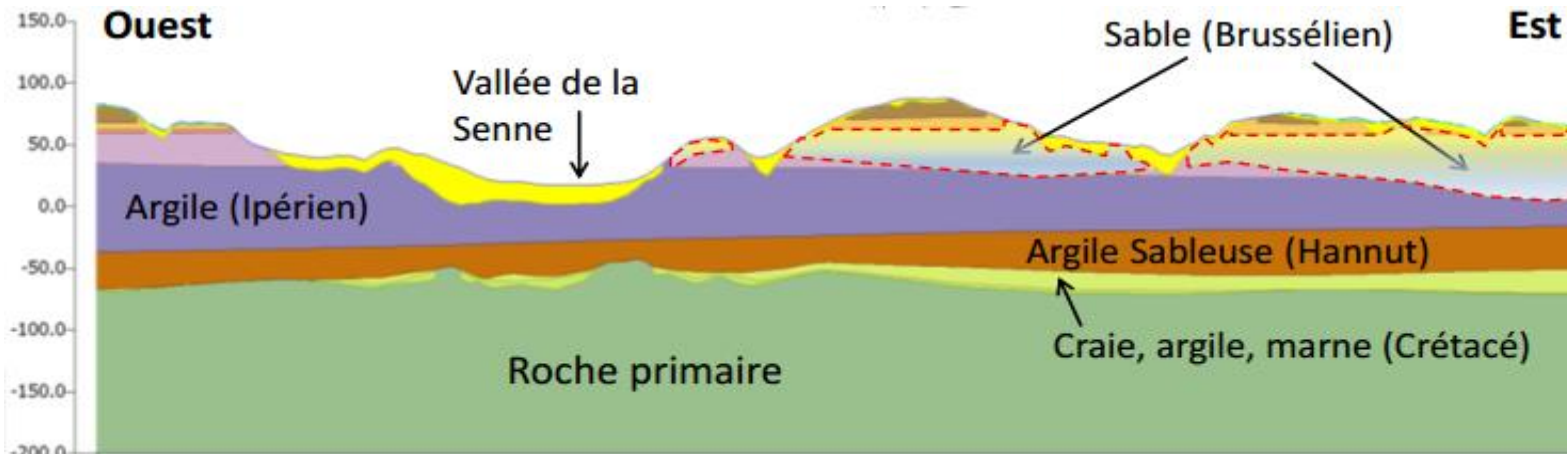
MIJN PROJECT IN BRUSSEL (VOLGENDE PRESENTATIE)

- ▶ *Brugeo, webtools, wetgeving, Mijn project stap voor stap*



Geologisch profiel

- ▶ Tertiaire grondlaag (losse grond) op een diepte van 70 tot 150 m
- ▶ Primaire sokkel (verhard gesteente) op een hoogte van -60 m
- ▶ Twee hoofdaquifers (Brusseliaan en formatie van Hannut)



Bron: WTCB: Lysebetten, 2016



Gesloten systemen

- ▶ 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 slecht 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



Gesloten systemen

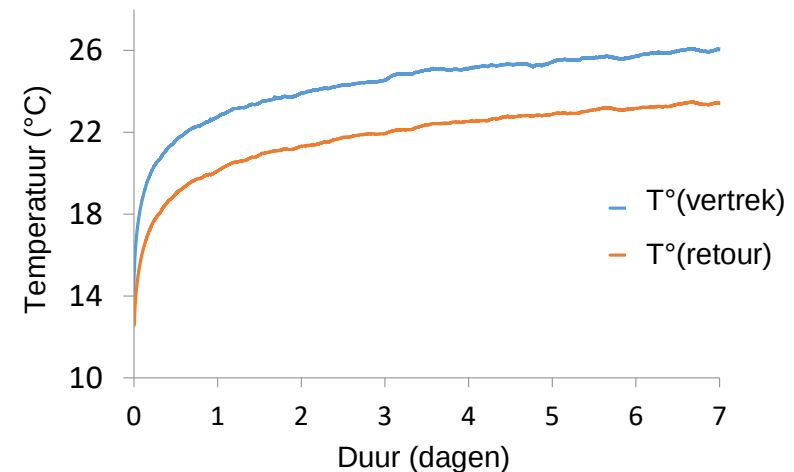
Type de sol	Puissance spécifique d'extraction	
	Pour 1800 h	Pour 2400 h
Valeurs moyennes :		
Sous-sol pauvre (sédiment sec) ($< 1,50 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)	25 W/m	20 W/m
Sous-sol normal de roche consolidée et saturée d'eau ($< 1,50 - 3,00 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)	60 W/m	50 W/m
Roche consolidée avec une conductibilité thermique élevée ($> 3,00 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)	84 W/m	70 W/m
Différentes roches :		
Gravier, sable sec	$< 25 \text{ W/m}$	$< 20 \text{ W/m}$
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 NIT-259 : CSTC -WTCB



Gesloten systemen

- ▶ Deze test wordt uitgevoerd in een vooraf gerealiseerde geothermische boring.
- ▶ Het principe bestaat erin **een zeker thermisch vermogen te injecteren in het transportmedium** in de sonde en de verspreiding van deze warmte in de bodem te evalueren.
- ▶ Van deze test kan men een gemiddeld geleidingsvermogen van de bodem afleiden, die gebruikt kan worden voor de dimensionering van het definitieve geothermische systeem.



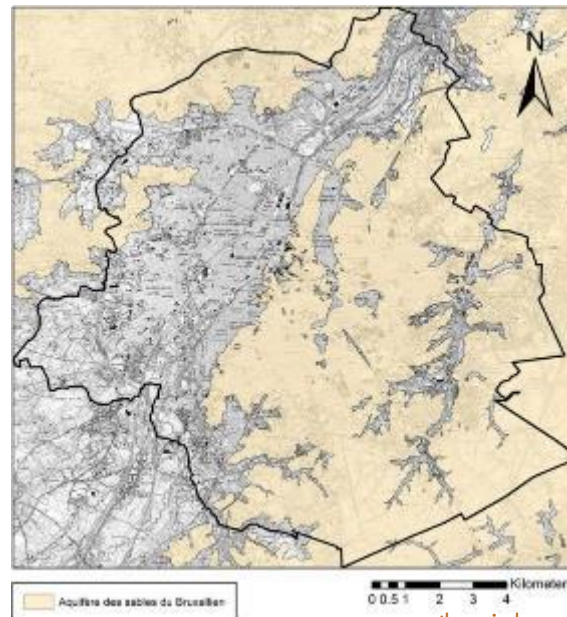
$$T_f(t) - T_o = k \cdot \ln(t) + m$$

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



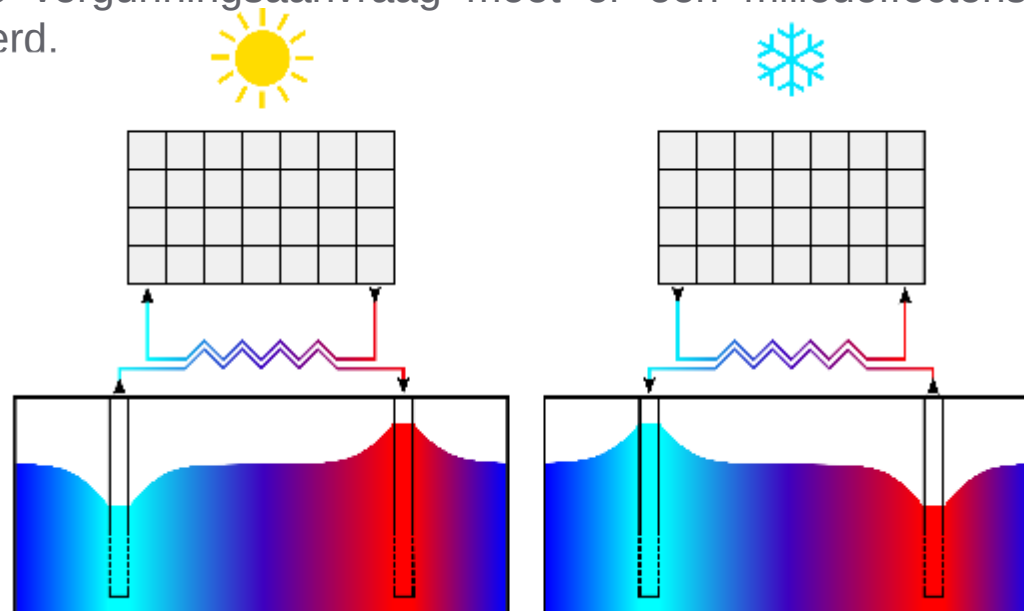
Open systemen

- ▶ In Brussel treft men twee potentiële aquifers of watervoerende lagen aan. Het betreft:
 - de aquifer van de zandgronden van geologische laag gekend als **Brusseliaan** die enkel op de hoogste punten van Brussel wordt aangetroffen.
 - de aquifer van de zandgronden van de geologische laag gekend als **Hannut**, die overal wordt aangetroffen maar dieper ligt.
 - de aquifer van de **Cambrische primaire kelder**, overal aangetroffen, maar zeer heterogeen (en daarom onzeker)



Open systemen

- ▶ Het onttrekbare vermogen is afhankelijk van het opgepompte debiet.
- ▶ Het **debiet is afhankelijk van de doorlatendheid en van de verzadigde dikte van de aquifer**
- ▶ Geschikter voor vrij omvangrijke projecten (bijv. kantoorgebouw)
- ▶ Vereist een grondige studie en dimensionering
- ▶ **Pomptests** op het terrein zijn absoluut noodzakelijk
- ▶ Voor de vergunningsaanvraag moet er een milieueffectenstudie worden uitgevoerd.



Bron: Mathias Possemiers, 2015



27 ENKELE VERWEZENLIJKNINGEN IN BRUSSEL

Ziekenhuis Chirec

Delta

Gesloten systeem

33 sondes – 240 m diep



GDF Suez

Noordstation

Gesloten systeem

180 sondes – 85 m diep

Geb. Wilfried Martens

Belliardstraat

Gesloten systeem

33 sondes – 240 m diep



Leefmilieu Brussel

Thurn & Taxis

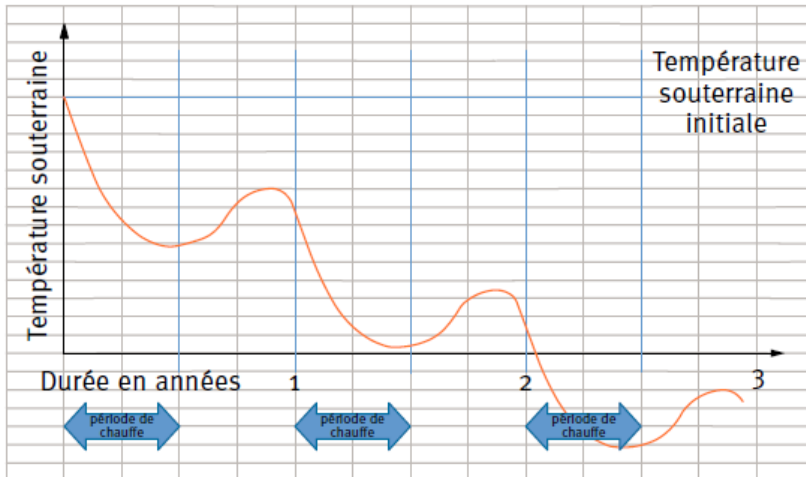
Open systeem

8 putten van 80 m



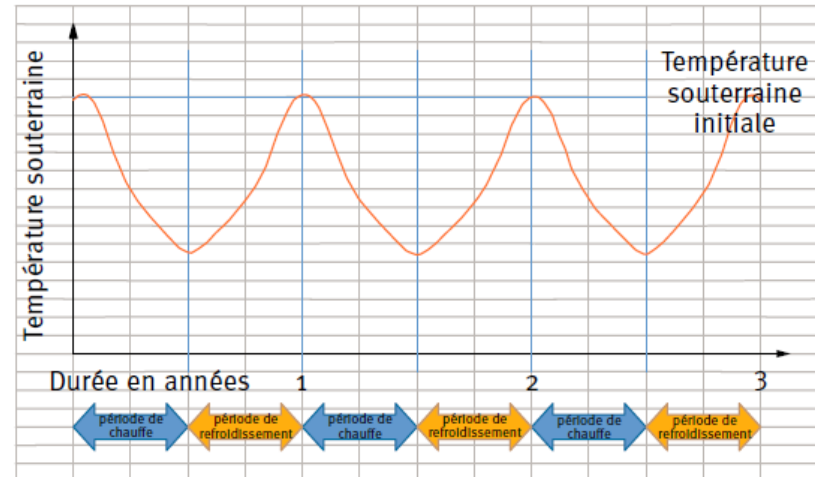
Doelstellingen van de dimensionering

- ▶ 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 herlading in de zomer compenseert de warmtevraag in de winter

Bron: WTCB - TV 259



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).



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.

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

Externe vermogensbron
(elektriciteit)

1/SPF

(SPF-1)/SPF

(Geleverd door de grond)

Energiestroom

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:** $P_{\text{heating}} = 10 \text{ kW}$; $\text{SPF} = 4 \rightarrow P_{\text{ground}} = 7,5 \text{ kW}$



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 keigrond

► Voorbeeld:

- Vermogen WP (P_{heating}): 13,3 kW; SPF: 3,45 $\rightarrow P_{\text{ground}} = 9,45$ kW
- Spiraal in vochtige kleigrond = $9450 / 25 = 375$ m
- Spiraal in droge zandgrond = $9450 / 10 = 945$ m



Eenvoudige gesloten systemen:

Methode op basis van specifiek onttrekkingsvermogen

Verticale systemen (bron: NBN EN 15450)



► Voorbeeld

- Vermogen WP: 13,3 kW; SPF: 4 $\rightarrow P_{\text{ground}} = 9,97 \text{ kW}$
- Verticale boringen in verzadigde grond gedurende $1.800 \text{ u/jaar} = 9.970 / 60 = 166 \text{ m}$
- Verticale boringen in droge grond gedurende $2.400 \text{ u/jaar} = 9.970 / 20 = 498 \text{ m}$





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



Eenvoudige gesloten systemen:

Methode op basis van correctiefactoren (Bron: ISSO 73)

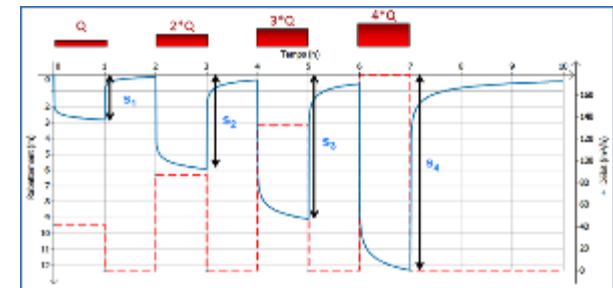
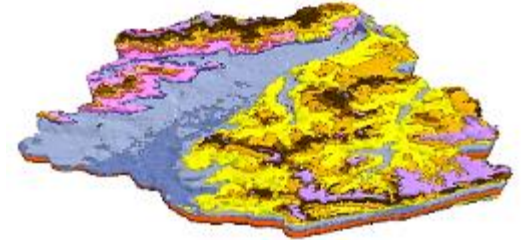
- ▶ **Correctiefactoren:** $L_{\text{sonde,def.}} = L_{\text{sonde}} \times C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_n$
 - Type grond (slechte, middelmatige, goede warmtegeleiding)
 - Vulmateriaal (zand, bentoniet, ...)
 - Minimale temperatuur van het fluïdum (van -5 °C tot +5 °C)
 - Type sonde (enkele U,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

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



Open systemen (basisregels):

- ▶ **Is er een aquifer beschikbaar?**
 - Analyse van beschikbare hydrogeologische gegevens
- ▶ **Is de aquifer productief?**
 - Verkenningsputten en pomptests
 - Kritische stroom, hydraulische transmissiviteit ...
- ▶ **Hoeveel putten?**
 - Pre-dimensionering berekening
- ▶ **Optimalisatie & duurzaamheid van het systeem**
 - Keuze van definitieve kenmerken
 - Aantal putten, diepte, stroom, configuratie



Exemple

- $P_{PAC} = 250 \text{ kW}$
- $Q_{tot} = 43 \text{ m}^3/\text{h}$ (avec $\Delta\theta = 6^\circ\text{C}$)
- $Q_{critique} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$
- $Nbre \text{ doublet} = Q_{tot} / Q_{critique} = 4$





- ▶ Een geothermisch systeem **verbetert de COP** van de warmtepomp door het hele jaar door een vrij constante temperatuur te leveren.
- ▶ Een **omkeerbaar 'koude/warmte'-systeem** maakt het mogelijk het rendement te verbeteren.
- ▶ De dimensionering van het systeem hangt af van de **behoeften van het gebouw** (zoals een klassieke WP) en van de **lokale geologische voorwaarden**.
- ▶ Er bestaan twee grote families geothermische systemen: **gesloten en open systemen**.
- ▶ De open systemen zijn geschikter voor grote projecten.
- ▶ Voor eenvoudige systemen kunnen **forfaitaire waarden** worden gehanteerd **voor het geothermische potentieel** van de bodem.
- ▶ Voor complexere systemen wordt een **thermische responstest** van de bodem sterk aanbevolen.





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
- ▶ **ISSO 73** - Ontwerp en uitvoering van verticale bodemwarmtewisselaars



Websites

www.geothermie.brussels

www.smartgeotherm.be

www.energieplus-lesite.be



Werken

- ▶ **WTCB** - Technische Voorlichtingsnota (TV) 259: Ondiepe geothermie. Ontwerp en uitvoering van bodemenergiesystemen met U-vormige bodemwarmtewisselaars





Bertrand FRANÇOIS

Hoogleraar

Université Libre de Bruxelles

☎ + 32 2 650 27 35

✉ Bertrand.Francois@ulb.ac.be

www.geothermie.brussels



BEDANKT VOOR UW AANDACHT

