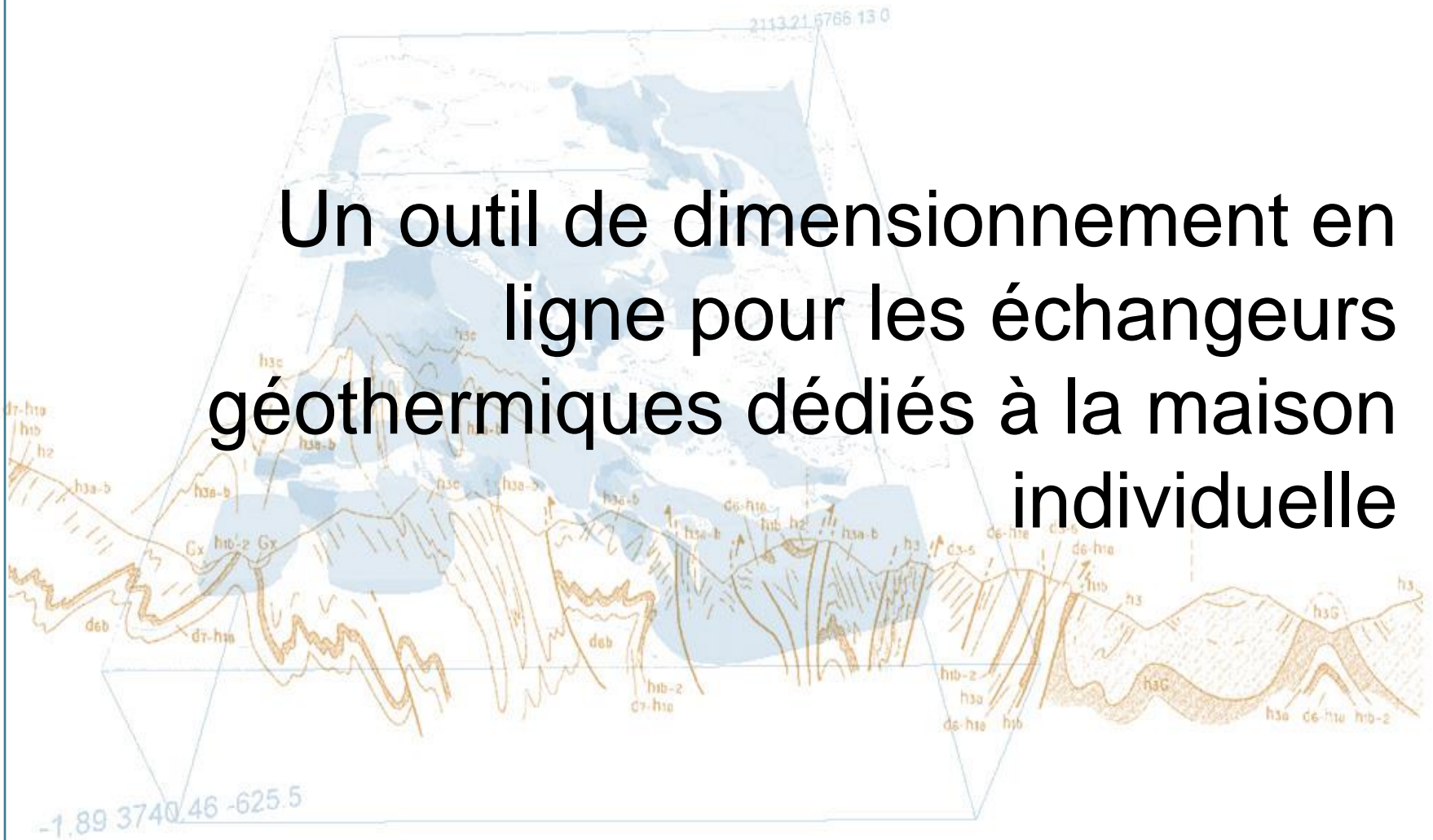




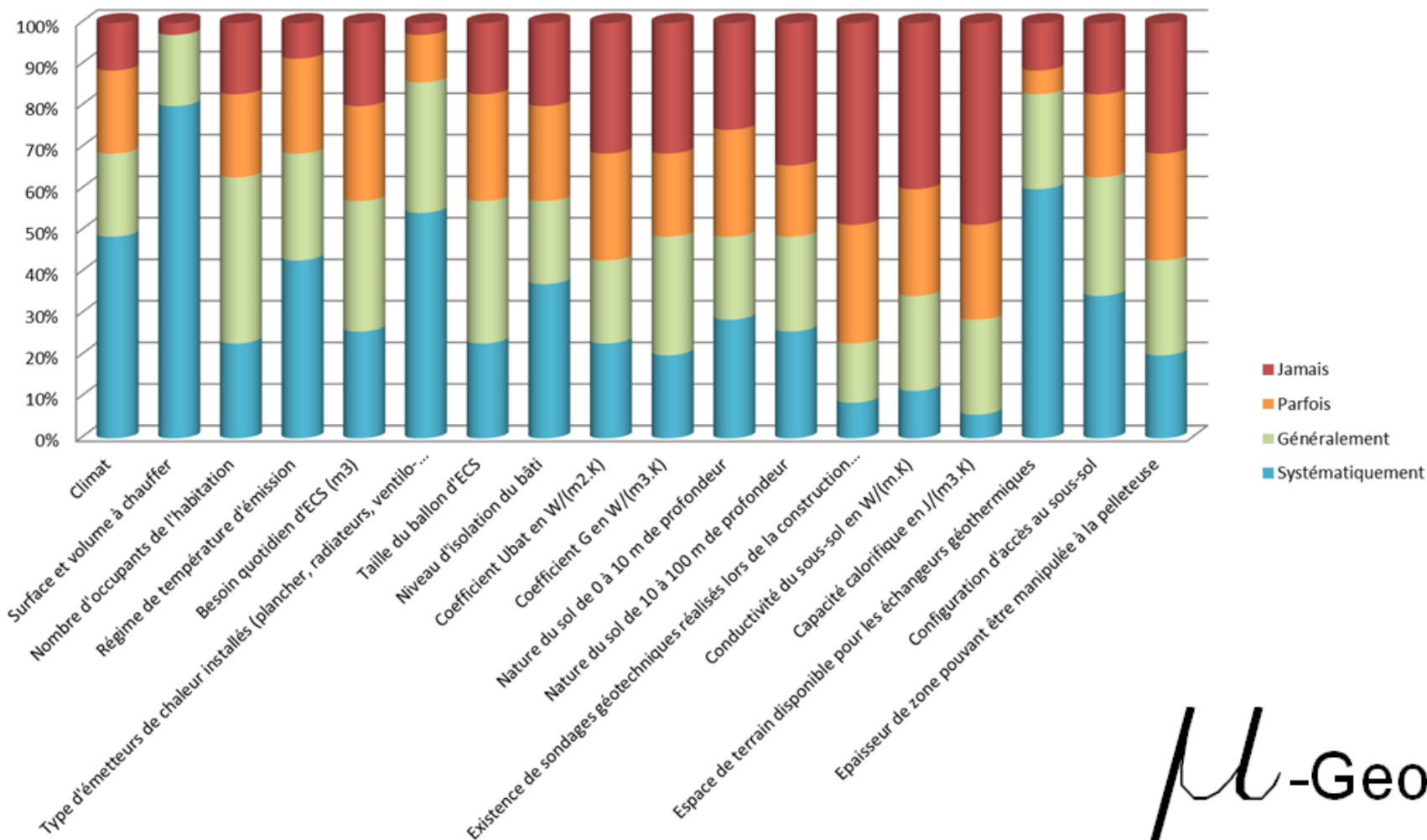
# Un outil de dimensionnement en ligne pour les échangeurs géothermiques dédiés à la maison individuelle

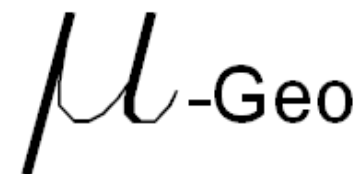


# Contexte de création de l'outil

Enquête réalisée auprès d'installateurs, BE et foreurs

## Les données connues lors du dimensionnement



 M-Geo

# Contexte de création de l'outil

## *Fonctionnement attendu*

### > **4 types d'échangeurs géothermiques**

- Sondes géothermiques verticales (en double U)
- Echangeurs géothermiques horizontaux (en serpentins)
- Corbeilles géothermiques (modèle Terrendis France)
- Micro-sondes géothermiques verticales (simple U de 10 m)

### > **3 usages thermiques principaux**

- Chauffage (obligatoire)
- Production d'eau chaude sanitaire (ECS) (au choix)
- Rafraîchissement direct par géocooling (au choix)

### > **Appoint pour le chauffage (au choix: puissance fixée)**

### > **Dimensionnement pour un COP annuel cible**

- COP annuel cible : rapport sur l'année des énergies calorifiques pour le chauffage et l'ECS sur la consommation électrique (auxiliaires inclus)
- Dimensionnement : profondeur de forage, surface de terrain mobilisée, nombre de corbeilles ou nombre de micro-sondes géothermiques

# Présentation de l'outil

## Interface web accessible sur profil utilisateur

Accueil > Dimensionner une PAC - A + | | [Partager](#)

---

- Caractéristiques de la maison individuelle

Climat


Altitude

Coefficient de déperdition volumique G  
 [W.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>]

Surface habitable  
 [m<sup>2</sup>]

Hauteur sous plafond  
 [m]

Nombre d'occupants



Puissance nécessaire

**CALCULER**

---

- Choix de la PAC et caractéristiques de l'échangeur géothermique

Production d'eau chaude sanitaire par la pompe à chaleur

Possibilité de by-pass de la PAC pour rafraîchissement direct

Émetteurs de chauffage / rafraîchissement

Choix de la PAC

Puissance d'appoint pour la fonction chauffage  
 [kW]

Choix de l'échangeur géothermique

Type de sol rencontré à la profondeur d'implantation de l'échangeur géothermique (sol si)

	Plancher chauffant 30/35°C	Radiateur basse T° 40/45°C	Radiateur haute T° 47/55°C
G-NEO 12H	4,74	4,48	4,19
G-KUB 20H	5,42	5,16	5,10
G-KUB 32H	7,04	6,70	6,62
G-KUB 46H	9,79	9,31	9,21
G-KUB 46HT	9,78	9,31	9,20

Puissance calorifique des différentes PAC à 0/-5°C [kW]

---

- Résultats

Calcul du dimensionnement minimal  
**CALCULER**

Optimisation du COP à une valeur cible  
 (COP tenant compte des consommations des auxiliaires : circulateurs et veille)  
**CALCULER**

# Présentation de l'outil

## Paramètres d'entrée (1/2)

### > Caractéristiques de la maison individuelle

Climat

Sélectionner un Climat ▾

Altitude

Sélectionner une Altitude ▾

Coefficient de déperdition volumique G

0 [W.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>]

Surface habitable

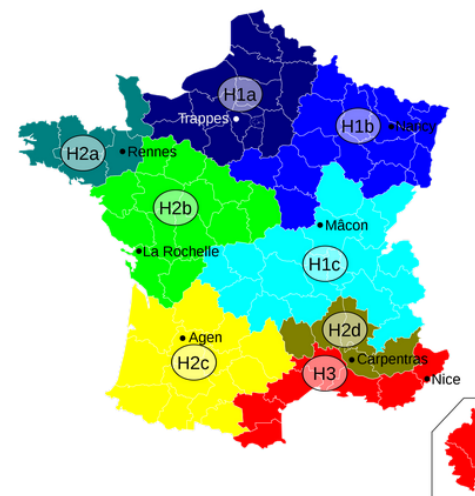
0 [m<sup>2</sup>]

Hauteur sous plafond

0 [m]

Nombre d'occupants

0



Puissance nécessaire

CALCULER

NB : Le coefficient G inclut les déperditions par ventilation

# Présentation de l'outil

## Paramètres d'entrée (2/2)

### > Choix de la PAC et caractéristiques de l'échangeur géothermique

- Production d'eau chaude sanitaire par la pompe à chaleur
- Possibilité de by-pass de la PAC pour rafraîchissement direct

Emetteurs de chauffage / rafraîchissement

plancher chauffant

Choix de la PAC

Sélectionner une PAC

Puissance d'appoint pour la fonction chauffage

0 [kW]

Choix de l'échangeur géothermique

corbeille

Type de sol rencontré à la profondeur d'implantation de l'échangeur géothermique choisi

sol classique

	Plancher chauffant 30/35°C	Radiateur basse T° 40/45°C	Radiateur haute T° 47/55°C
<b>G-NEO 18H</b>	4,74	4,48	4,19
<b>G-KUB 20H</b>	5,42	5,16	5,10
<b>G-KUB 33H</b>	7,04	6,70	6,62
<b>G-KUB 45H</b>	9,79	9,31	9,21
<b>G-KUB 45HT</b>	9,78	9,31	9,20

Puissance calorifique des différentes PAC à 0/-3°C [kW]

# Présentation de l'outil

## Résultats obtenus

Calcul du dimensionnement minimal

CALCULER

Optimisation du COP à une valeur cible

(COP tenant compte des consommations des auxiliaires : circulateurs et veille)

CALCULER

### > Dimensionnement minimal

- Dimensionnement permettant de fonctionner en maintenant la PAC dans un régime de fonctionnement d'au moins 0/-3 à l'évaporateur

### > Optimisation du COP à une valeur cible

- Recherche du dimensionnement permettant d'atteindre au moins la valeur de COP souhaitée (nécessairement supérieure à la valeur obtenue pour le dimensionnement minimal)

# Hypothèses de fonctionnement

## *Simulation énergétique de la maison individuelle*

### > **Besoins de chauffage et rafraîchissement**

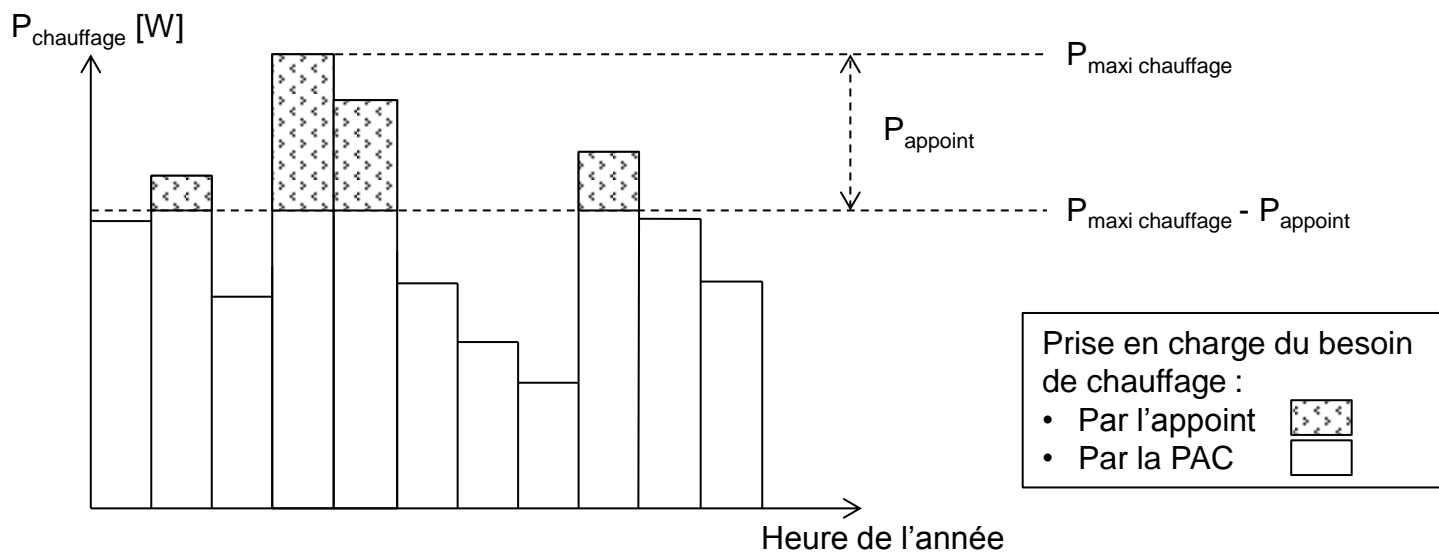
- Calcul de deux tables de 8760 valeurs de puissance horaire (une par heure durant une année)
- Fonctionnement en chauffage du 16 octobre au 15 mai
- Consigne en chauffage variable sur la base d'un fonctionnement avec réduit de nuit :
  - 6 h – 22 h : 19°C
  - 22 h – 6 h : 16°C
- Consigne en rafraîchissement fixe : 26°C
- Apports internes constants au cours de l'année:
  - Présence humaine : 100 W par occupant
  - Usages internes : 6 W/m<sup>2</sup>



# Hypothèses de fonctionnement

## Prise en compte de l'appoint pour le chauffage

- **Modification des besoins de chauffage pris en charge par la PAC par écrêtage à hauteur de la valeur maximale de chauffage ôtée de la puissance de l'appoint**



# Hypothèses de fonctionnement

## Production d'ECS

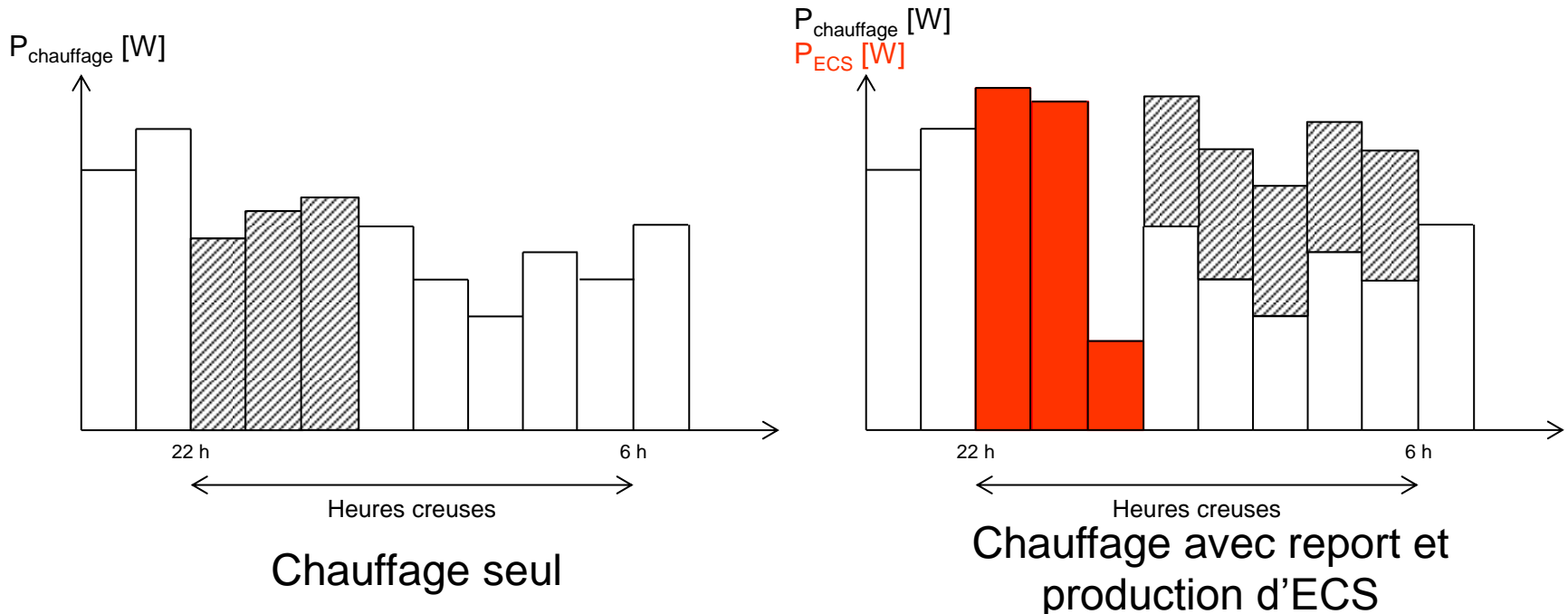
### > Energie nécessaire à la production d'ECS

- 2,5 kWh/jour/occupant

### > Pas de loi d'eau considérée ( $T_{\text{production ECS}} = 50^{\circ}\text{C}$ )

### > Stratégie de production d'ECS

- Production d'ECS à partir de 22 h et report des besoins de chauffage sur les heures restantes pendant la période de réduit de nuit



# Hypothèses de fonctionnement

## *Comportement des pompes à chaleur*

- > **Calcul des puissances thermiques et électriques de la PAC par corrélation en fonction des températures entrée évaporateur et sortie condenseur**
- > **Données d'entrée demandées :**
  - Débit nominal en boucle d'échangeur géothermique
  - Puissance électrique consommée en veille active (arrêt par thermostat)
  - Puissance calorifique en régime 0/-3 et 30/35
  - Puissance électrique en régime 0/-3 et 30/35

Caractéristiques de ma PAC

Débit nominal échangeur géothermique

[m<sup>3</sup>/h]

Puissance de veille

[W]

Puissance calorifique

[kW]

Puissance absorbée compresseur

# Hypothèses de fonctionnement

## *Comportement des pompes à chaleur*

### > **Données détaillées pré-renseignées pour les PAC géothermiques de la gamme CIAT**

Exemple de fichier de données d'une PAC CIAT :

La PAC G-Néo 18h

```
nom: G-NEO 18H

# température émission minimum
# °C
T_emission_minimum: 22

# débit nominal échangeur géothermique
# m3/heure
debit_nominal: 1.15

# puissance réduite
# W
# Consommation PAC+auxiliaires lors des phases de veille
puissance_reduit: 12

## TABLES ##

# température entrée évaporation
# °C
T_in_evap: [0, 5, 10, 15]

# température sortie condensation
# °C
T_out_condens: [25, 35, 45, 55]

# puissance calorifique
# W
PC_unit: 1000 # kw -> w
PC: [
  [5.47, 6.29, 7.22, 7.84],
  [5.20, 5.98, 6.86, 7.28],
  [4.95, 5.69, 6.53, 6.93],
  [4.83, 5.55, 6.37, 6.76],
]

# puissance absorbée compresseur
# W
Pa_unit: 1000 # kw -> w
Pa: [
  [1.12, 1.12, 1.12, 1.12],
  [1.30, 1.30, 1.30, 1.30],
  [1.59, 1.59, 1.59, 1.59],
  [1.89, 1.89, 1.89, 1.89],
]
```

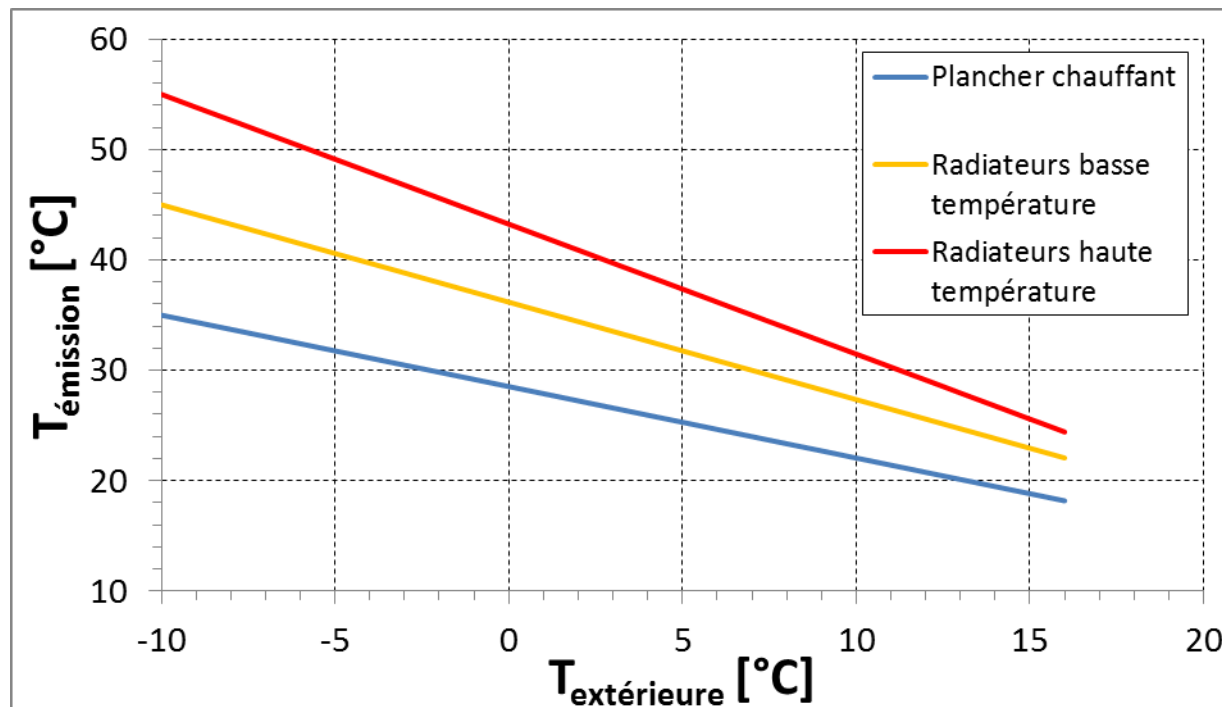
# Hypothèses de fonctionnement

## Modélisation des émetteurs

### > Trois types d'émetteurs considérés

- Plancher chauffant
- Radiateurs basse température
- Radiateurs haute température

### > Trois lois d'eau associées pour le chauffage



# Hypothèses de fonctionnement

## *Rafrâichissement par géocooling*

- > Calcul de la puissance de rafraîchissement disponible par géocooling par l'intermédiaire d'un coefficient d'échange  $h$  [ $W/(m^2.K)$ ] pour chaque émetteur (surface considérée : surface habitable) :**
  - Plancher chauffant :  $h = 15 W/(m^2.K)$
  - Radiateurs basse température :  $h = 1 W/(m^2.K)$
  - Radiateurs haute température :  $h = 0 W/(m^2.K)$  (*pas de rafraîchissement possible avec ce type d'émetteur*)
- > Puissance disponible par géocooling échangée jusqu'à atteindre le besoin de rafraîchissement demandé pour l'heure considérée (besoin supérieur => dépassement de la consigne de rafraîchissement)**

# Hypothèses de fonctionnement

## *Modélisation des échangeurs géothermiques*

### > **Prise en compte des différents types d'échangeurs géothermiques par une même méthode de calcul**

- Evaluation de la température du sol non perturbée  $T_0$  par moyenne sur la profondeur couverte par l'échangeur géothermique
- Modélisation en régime permanent de l'échange fluide – sol en contact avec l'échangeur (contact sol – tuyau ou sol – coulis suivant les cas) par une résistance thermique d'échange  $R_b$
- Modélisation de l'échange échangeur géothermique – sol par une fonction  $G$  traduisant l'évolution de la température en paroi d'échangeur suite à un Dirac de puissance (réponse indicielle)
- Calcul de l'évolution temporelle des températures par principe de superposition temporelle des puissances appliquées

### > **Calcul réalisé sur une durée variable en fonction du type d'échangeur géothermique**

- 5 ans pour la sonde géothermique verticale
- 2 ans pour les trois autres types d'échangeur considérés

# Hypothèses de fonctionnement

## *Paramètres retenus pour les différents échangeurs*

### > **Les sondes géothermiques verticales**

- Diamètre du forage =  $160 \text{ mm}$
- $R_b = 0,06 \text{ m.K/W}$  (sonde en double U)
- $T_0$  évaluée en moyenne sur une profondeur de  $100 \text{ m}$
- Fonction  $G$  : source linéique infinie

### > **Les échangeurs géothermiques horizontaux**

- Profondeur de pose =  $1 \text{ m}$
- Pas d'espacement du serpentin =  $0,5 \text{ m}$
- Tube DN 20 SDR 11 en PE100 (conductivité thermique =  $0,45 \text{ W/(m.K)}$ )
- Écoulement laminaire du fluide ( $Nu = 4,36$ )
- $T_0$  évaluée à la profondeur de pose
- Fonction  $G$  : source plane infinie à la profondeur de pose avec condition isotherme à la surface du sol



# Hypothèses de fonctionnement

## *Paramètres retenus pour les différents échangeurs*

### > **Les corbeilles géothermiques**

- Profondeur de pose (bas de la corbeille) =  $3,7\text{ m}$
- Hauteur de la corbeille =  $2,7\text{ m}$
- Diamètre de la corbeille =  $1,14\text{ m}$
- Pas d'espacement des spires =  $0,13\text{ m}$
- Tube DN 25 SDR 11 en PE100 (conductivité thermique =  $0,45\text{ W}/(\text{m.K})$ )
- $Nu = 8,72$  (Double du régime laminaire grâce au rainurage du tube)
- $T_0$  évaluée en moyenne couverte par la corbeille (de 1 à  $3,7\text{ m}$ )
- Fonction  $G$  : source cylindrique creuse

### > **Les micro-sondes géothermiques verticales**

- Diamètre du forage =  $130\text{ mm}$
- Profondeur de pose (pied de sonde) =  $10\text{ m}$
- Hauteur unitaire de la micro-sonde =  $9\text{ m}$
- $R_b = 0,10\text{ m.K/W}$  (sonde en simple U)
- $T_0$  évaluée en moyenne sur la profondeur d'implantation (de 1 à  $10\text{ m}$ )
- Fonction  $G$  : source linéique finie depuis la hauteur de tête de sonde

# Exemple d'utilisation de l'outil

## Renseignement des paramètres d'entrée / calcul préliminaire

- Caractéristiques de la maison individuelle -

Climat

H2a

Altitude

moins de 400 m

Coefficient de déperdition volumique G

1.1 [W.m<sup>-3</sup>.K<sup>-1</sup>]

Surface habitable

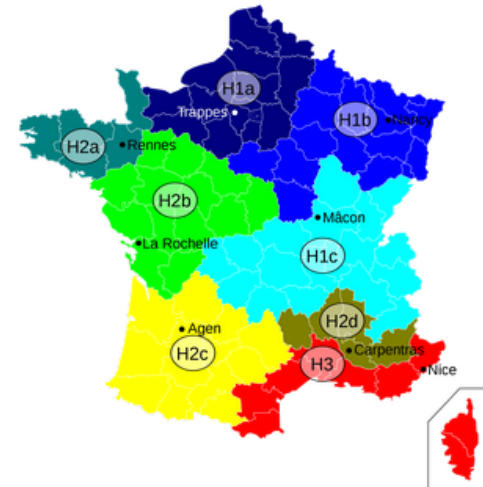
145 [m<sup>2</sup>]

Hauteur sous plafond

2.5 [m]

Nombre d'occupants

5



Puissance nécessaire

**CALCULER**

Puissance maximale nécessaire au chauffage de la maison individuelle :  
**7.27 kW**

➤ **Le calcul de la puissance maximale nécessaire au chauffage de la maison permet de choisir le modèle de PAC adapté**

# Exemple d'utilisation de l'outil

## Dimensionnement minimal de bon fonctionnement

- Choix de la PAC et caractéristiques de l'échangeur géothermique

Production d'eau chaude sanitaire par la pompe à chaleur

Possibilité de by-pass de la PAC pour rafraîchissement direct

Émetteurs de chauffage / rafraîchissement

radiateurs basse température ▼

Choix de la PAC

ma PAC ▼

Caractéristiques de ma PAC

Débit nominal échangeur géothermique

2.5 [m<sup>3</sup>/h]

Puissance de veille

16 [W]

Puissance calorifique

9.5 [kW]

Puissance absorbée compresseur

2.3

	Plancher chauffant 30/35°C	Radiateur basse T° 40/45°C	Radiateur haute T° 47/55°C
G-NEO 18H	4,74	4,48	4,19
G-KUB 20H	5,42	5,16	5,10
G-KUB 33H	7,04	6,70	6,62
G-KUB 45H	9,79	9,31	9,21
G-KUB 45HT	9,78	9,31	9,20

Puissance calorifique des différents PAC à 0/-3°C [kW]

Puissance d'appoint pour la fonction chauffage

0 [kW]

Choix de l'échangeur géothermique

horizontal ▼

Type de sol rencontré à la profondeur d'implantation de l'échangeur géothermique choisi

sable saturé ▼

- Résultats

Calcul du dimensionnement minimal

**CALCULER**

Le coefficient de performance annuel de la PAC est de **4.31** avec un échangeur géothermique de **210.00 m<sup>2</sup>** d'échangeur horizontal.

# Exemple d'utilisation de l'outil

*Optimisation du dimensionnement pour obtenir un meilleur COP annuel (valeur visée)*

- > **Dimensionnement minimal :  $S = 210 \text{ m}^2$  et  $COP = 4,3$**
- > **Souhait d'obtenir un COP annuel égal à 4,5 afin de réduire la facture d'électricité du client**

- Résultats

---

Calcul du dimensionnement minimal

**CALCULER**

Le coefficient de performance annuel de la PAC est de **4.31** avec un échangeur géothermique de **210.00 m<sup>2</sup> d'échangeur horizontal**.

---

Optimisation du COP à une valeur cible

4.5

(COP tenant compte des consommations des auxiliaires : circulateurs et veille)

**CALCULER**

Le coefficient de performance annuel de la PAC est de **4.50** avec un échangeur géothermique de **265.00 m<sup>2</sup> d'échangeur horizontal**.

**Merci de votre attention,  
Et à vous de dimensionner !**

NB : Pour toutes questions concernant l'utilisation de cet outil,  
une adresse mail unique : [plateforme-geothermie@brgm.fr](mailto:plateforme-geothermie@brgm.fr)