

Formation
Bâtiment Durable :
Systèmes d'énergie
renouvelable (SER):
conception et régulation

Bruxelles Environnement

Les pompes à chaleur

Raphaël CAPART

ICEDD



BRUXELLES ENVIRONNEMENT

IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT

Objectifs de la présentation

- Une PAC est un générateur de chaleur économique utilisant une source d'énergie renouvelable si
 - ▶ Elle est intrinsèquement performante
 - ▶ Elle est correctement intégrée dans un bâtiment et une installation adaptée
 - ▶ Elle est correctement régulée et utilisée

Le but de cette présentation est de comprendre pourquoi et de montrer comment



Plan de l'exposé

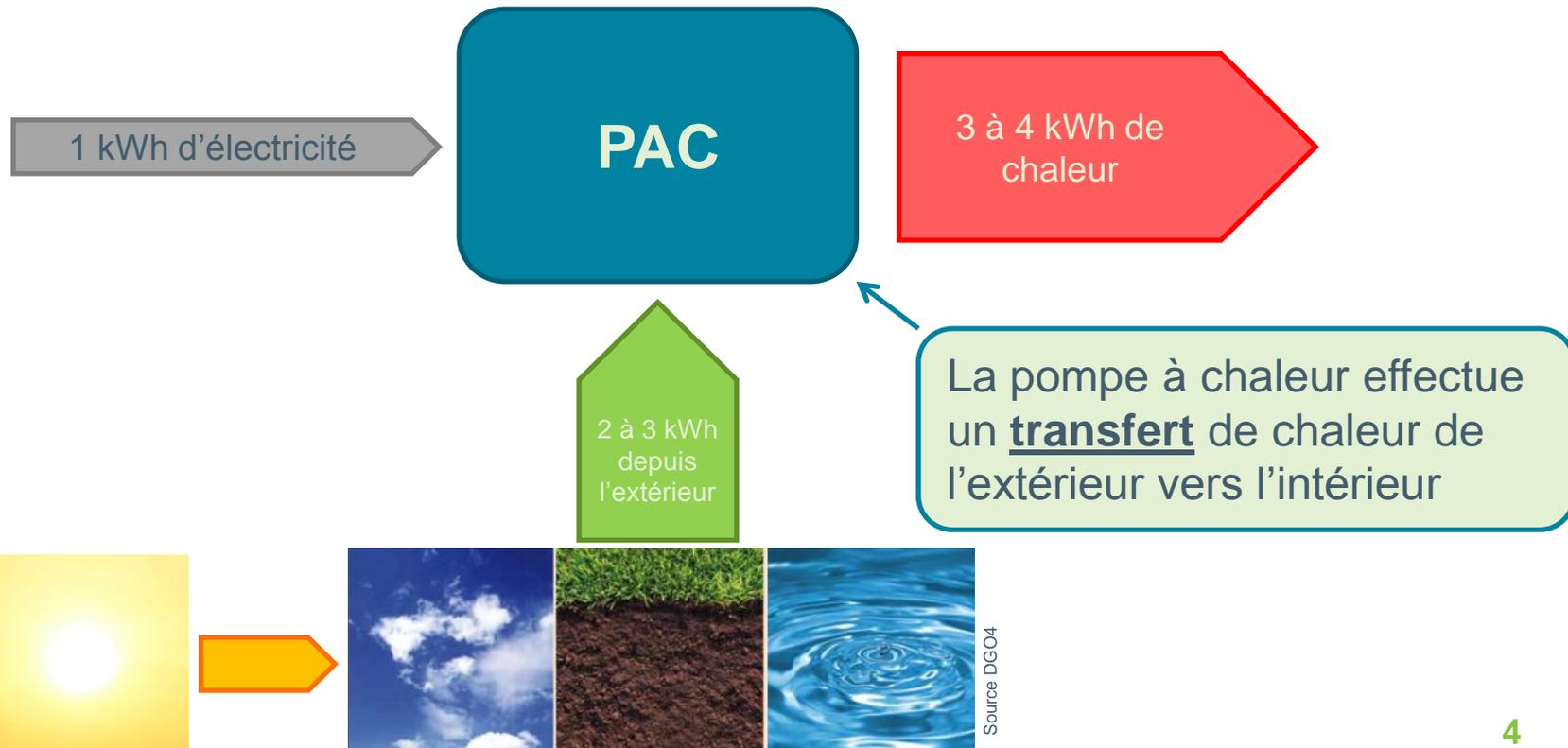
- Introduction
 - Principe de fonctionnement
 - ▶ Un peu de thermodynamique
 - ▶ La captation de chaleur
 - ▶ Le transfert de chaleur
 - ▶ L'émission de chaleur
 - ▶ Utilisation d'énergie renouvelable
 - En pratique
 - ▶ Dimensionnement
 - ▶ Faisabilité en rénovation
 - ▶ Eau chaude sanitaire
 - ▶ Éléments à reprendre au cahier des charges
 - ▶ Entretien
 - ▶ Ecodesign
 - ▶ Encodage PEB
 - Conclusions
- pourquoi**
- comment**



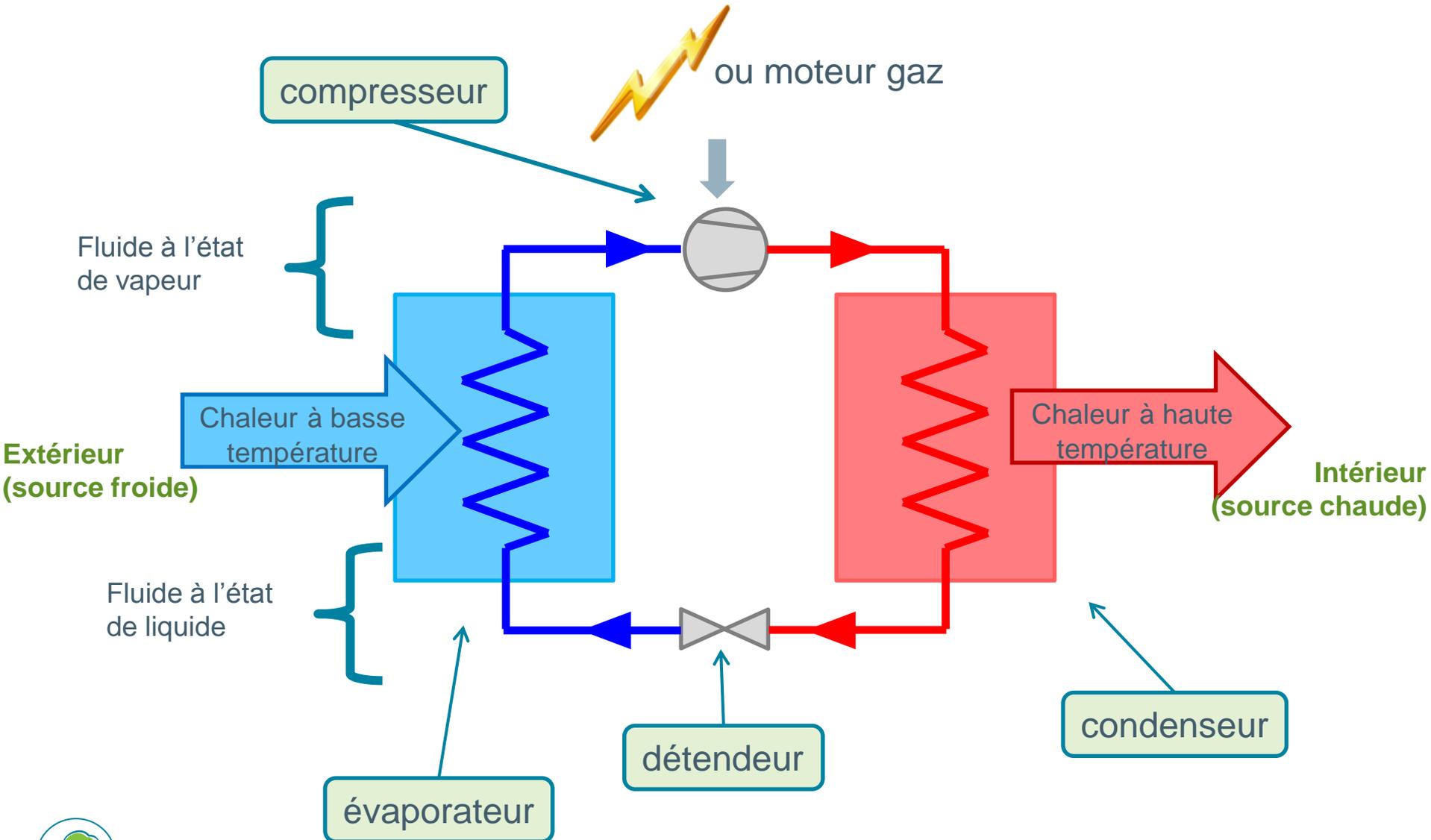
Principe de fonctionnement

Un rendement (COP) supérieur à 1, de la magie ???

Non, il n'est pas possible de « créer » de l'énergie ...
et pourtant on nous promet :



Principe de fonctionnement



Mais comment peut-on prendre
de la **chaleur** dans du **froid** ???



Un peu de thermodynamique

- La chaleur contenue dans la matière
 - ▶ Chaleur = énergie thermique = énergie « stockée » dans l'agitation des particules d'une substance
 - ▶ Température, T = le niveau, le taux d'agitation des particules. Se mesure à partir du zéro absolu (absence d'agitation) et donc en Kelvin
 - ▶ Chaleur spécifique, C_p = chaleur spécifique, propre à chaque substance (variable en fonction de T : exemple -> changement d'état)
 - ▶ A partir de T et C_p , je peux connaître la quantité d'énergie thermique contenue dans une substance



$$H = \int_0^T C_p dT$$

Un peu de thermodynamique

- La chaleur contenue dans la matière
 - ▶ L'**énergie** thermique est proportionnelle à la température exprimée en **Kelvin**

Degrés Celsius	Kelvin
-273 °C	0 K
-10 °C	263 K
0 °C	273 K
20 °C	293 K

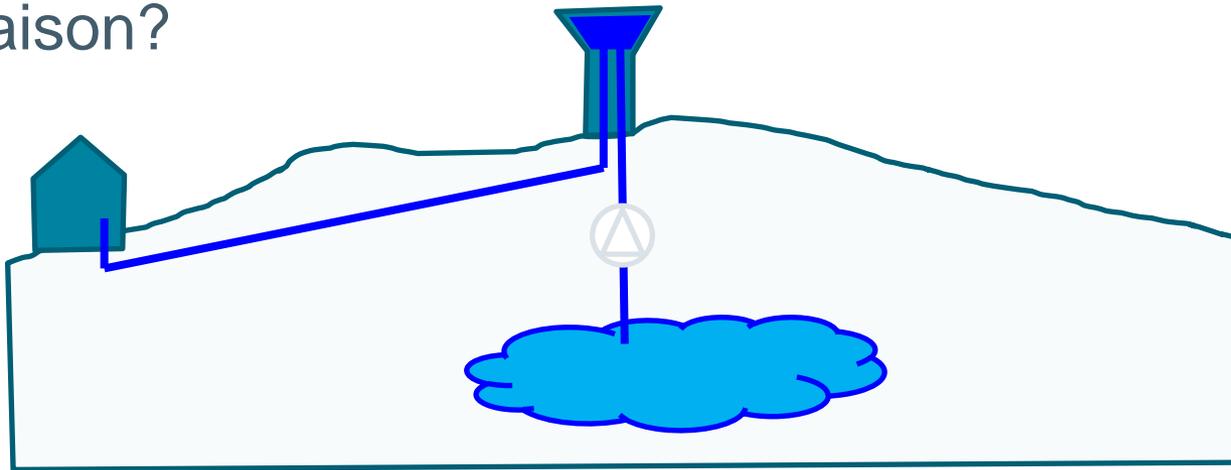


Les éléments naturels contiennent encore beaucoup d'énergie même lorsque leur température est inférieure à la température ambiante à l'intérieur d'un bâtiment
-> (de l'air à -10°C ne contient pas beaucoup moins de chaleur que de l'air à 20°C)



Un peu de thermodynamique

- La chaleur s'écoule toujours du plus chaud vers le plus froid => comment la faire rentrer dans la maison?

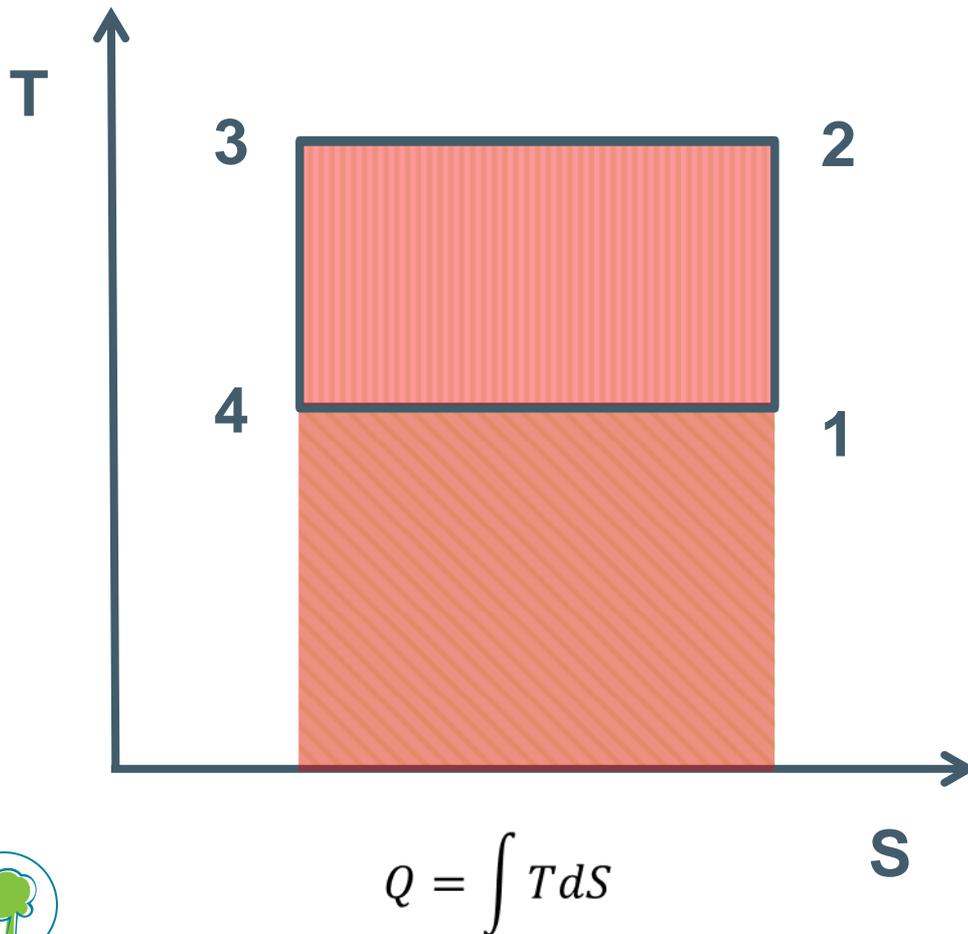


De manière analogue à l'eau qui est pompée pour augmenter sa pression, on pompe la chaleur pour augmenter sa température



Un peu de thermodynamique

Les limites théoriques: le cycle de Carnot



Rendement
ou
COP = $\frac{\text{Chaleur restituée à la source chaude}}{\text{Travail effectué sur le fluide}}$

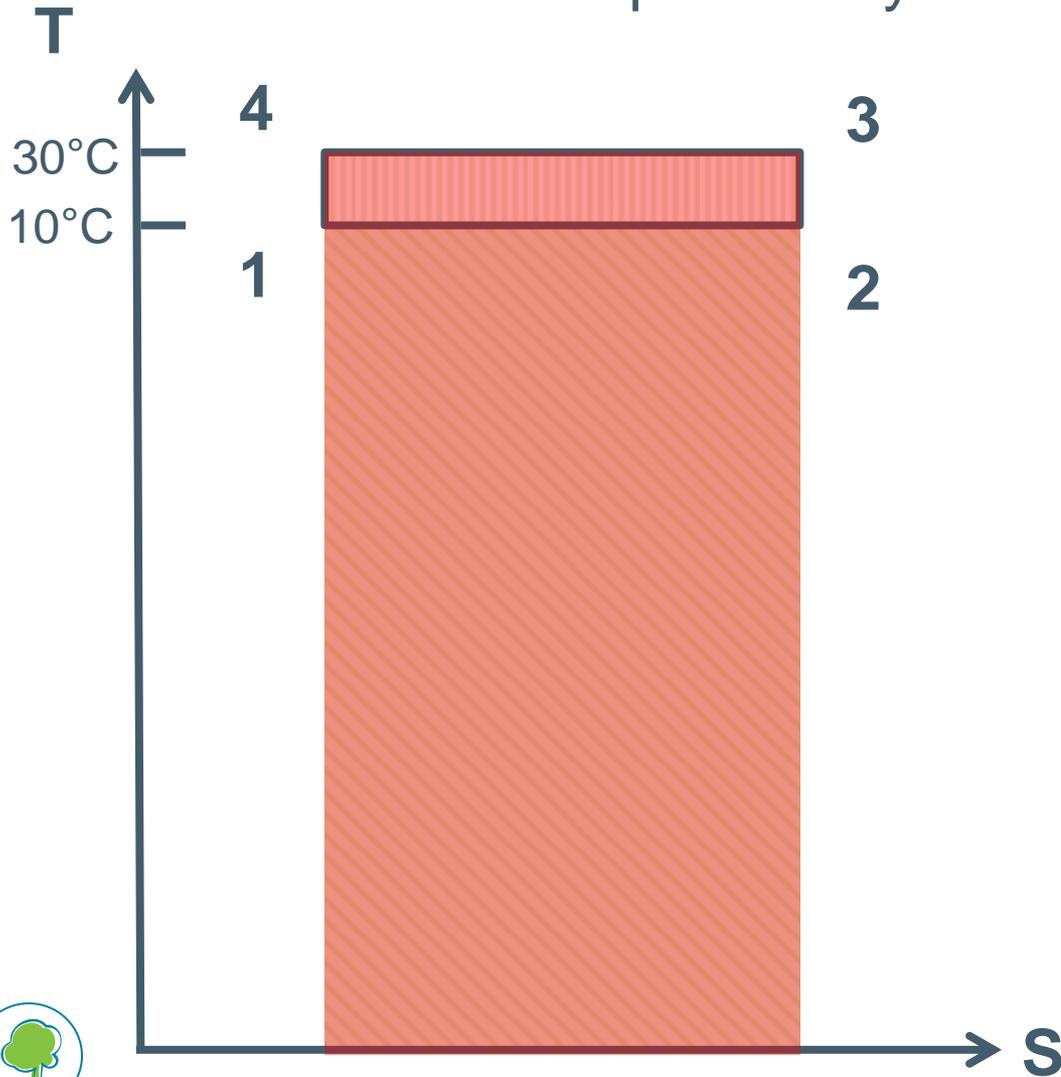
= $\frac{\text{Chaleur restituée à la source chaude}}{\text{Chaleur restituée à la source chaude} - \text{Chaleur prise à la source froide}}$

$$COP_C = \frac{T_3}{T_3 - T_1}$$



Un peu de thermodynamique

Les limites théoriques: le cycle de Carnot

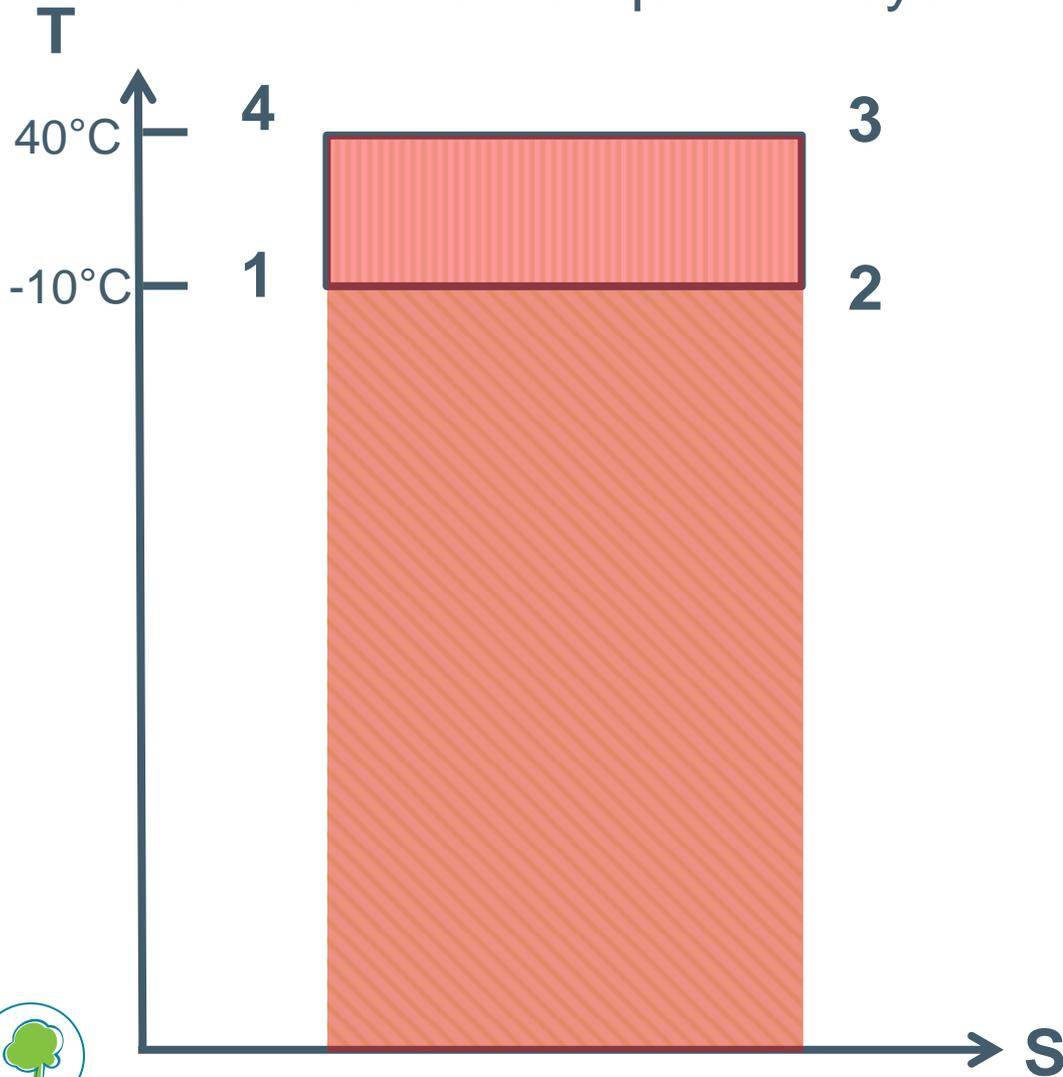


$$COP_C = \frac{T_3}{T_3 - T_1} \approx 15$$



Un peu de thermodynamique

Les limites théoriques: le cycle de Carnot

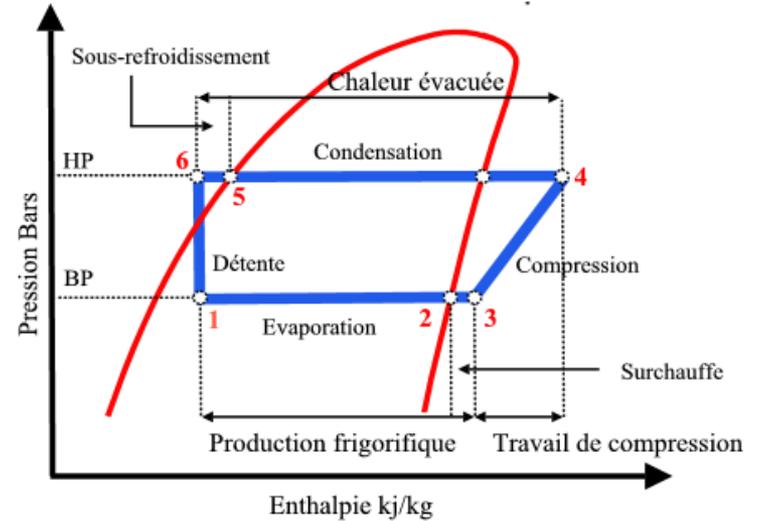
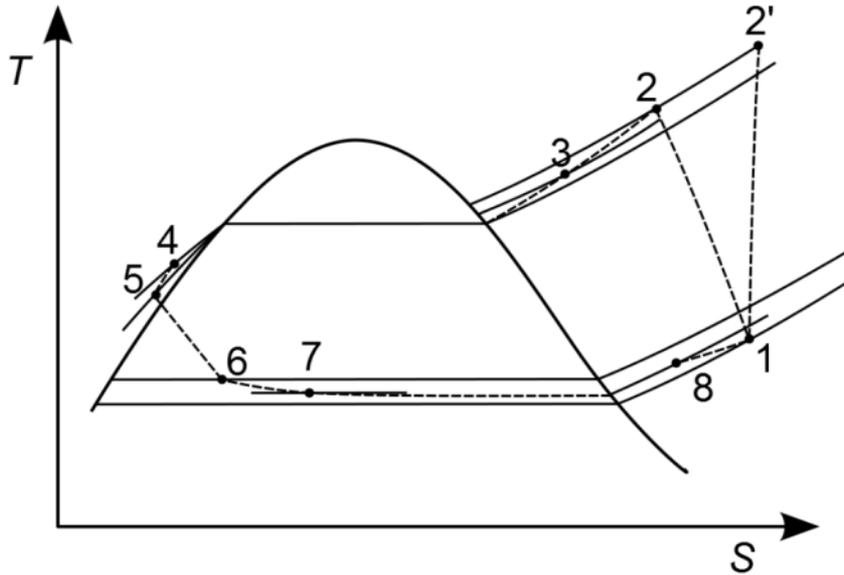


$$COP_C = \frac{T_3}{T_3 - T_1} \approx 8$$



Un peu de thermodynamique

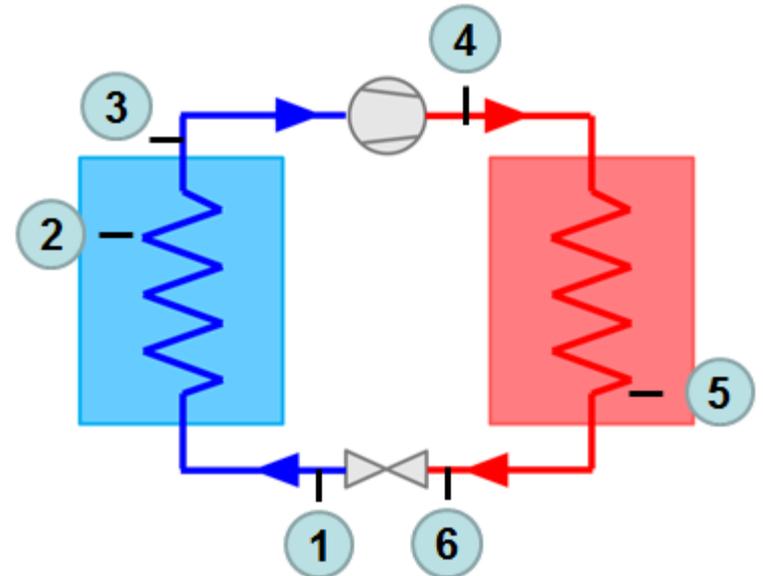
Les limites physiques et technologiques



En pratique :

- On s'approche du cycle de Carnot en profitant du changement de phase d'un fluide
- Surchauffe à l'évaporateur
- Sous refroidissement au condenseur
- La compression n'est pas adiabatique (frottements, échange de chaleur, ...)
- Déperditions thermiques dans les circuits..

$$\text{COP}_{\text{RP}} = 0,65 \dots 0,75 \text{ COP}_{\text{C}}$$



Un peu de thermodynamique

- Pour la PAC réelle, le COP est encore grevé par :
 - les auxiliaires
 - Ventilateurs
 - Circulateurs
 - Électronique

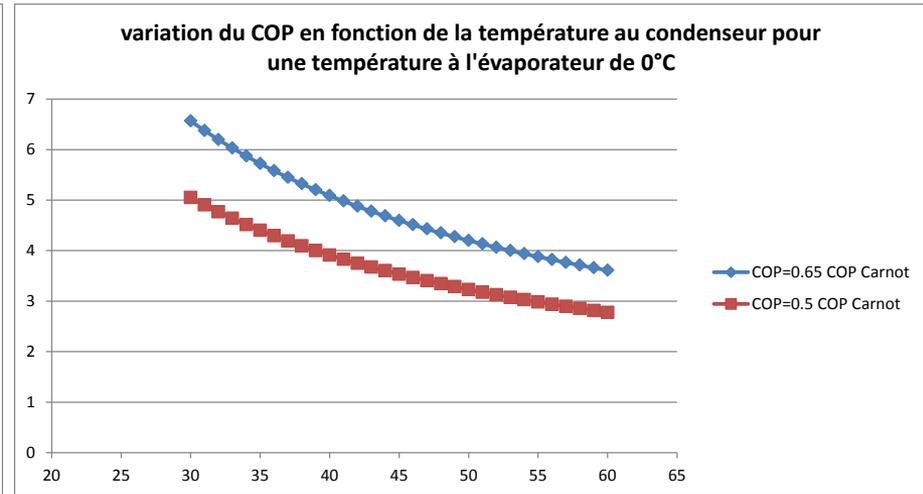
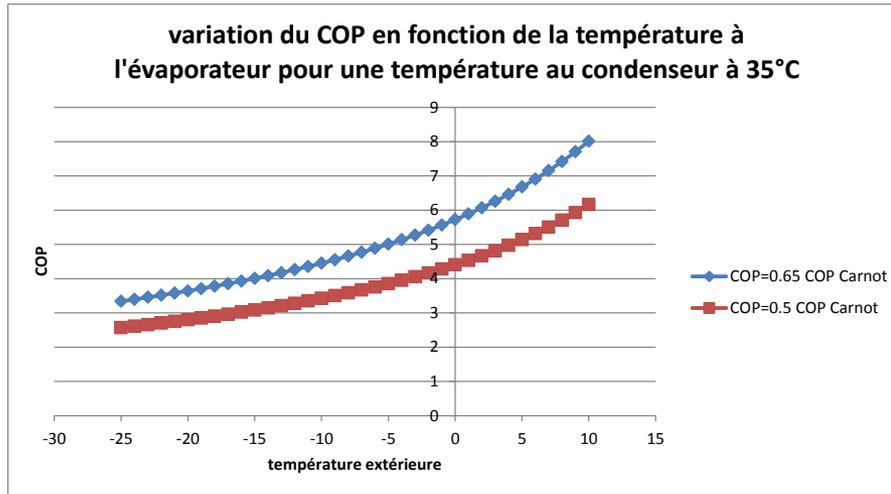


$$\text{COP}_{\text{PAC}} = 0,5 \dots 0,65 \text{ COP}_C$$

- Il s'agit du COP basé sur les températures à l'évaporateur et au condenseur. Pour assurer le transfert thermique depuis la source froide et vers la source chaude, un écart de température supplémentaire est nécessaire



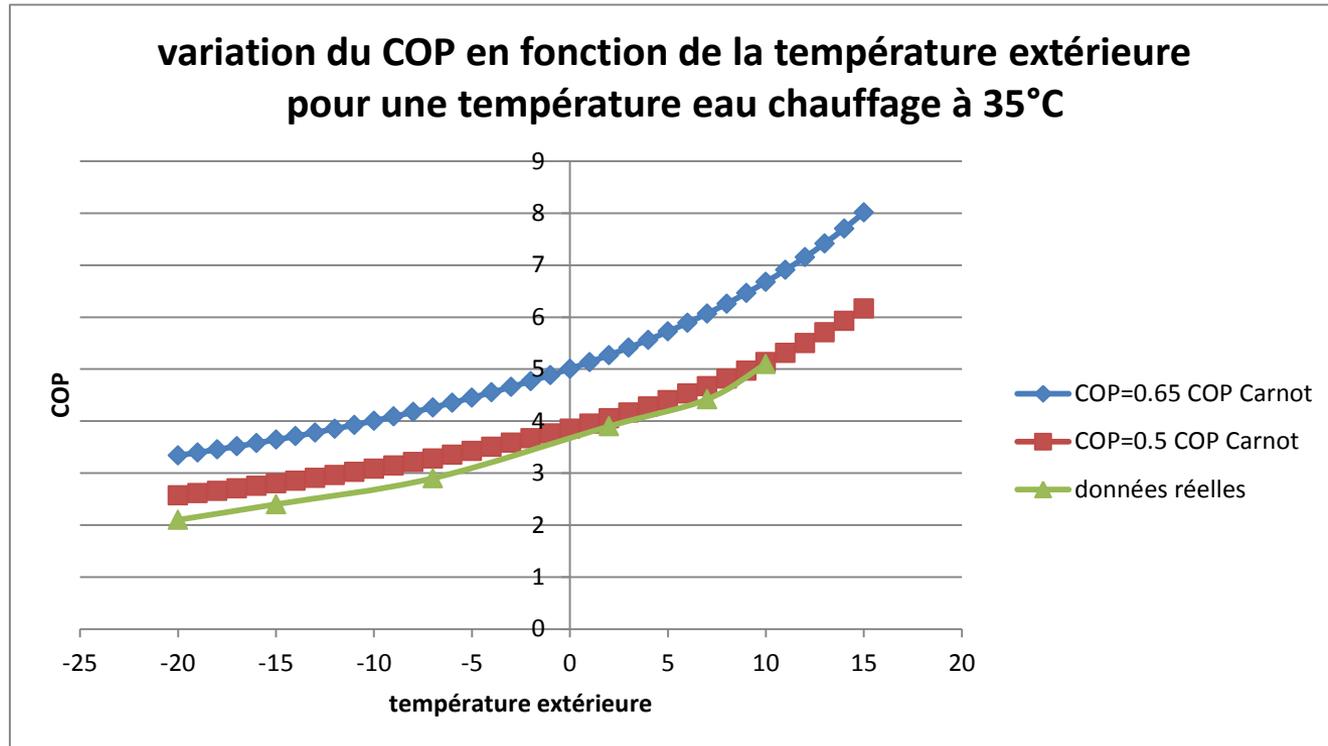
A quelles performances s'attendre?



- Diminution 1°C évaporateur => -2% de COP
- Augmentation 1°C condenseur => -1,8% de COP



A quelles performances s'attendre?



La captation de chaleur

Stockage de l'énergie solaire => captation indirecte de l'énergie solaire

Les sources froides



Air :

- Dynamique ou statique
- Air extérieur ou air extrait de la ventilation



Sol :

- Proche de la surface (horizontal)
- En profondeur (vertical)



Eau :

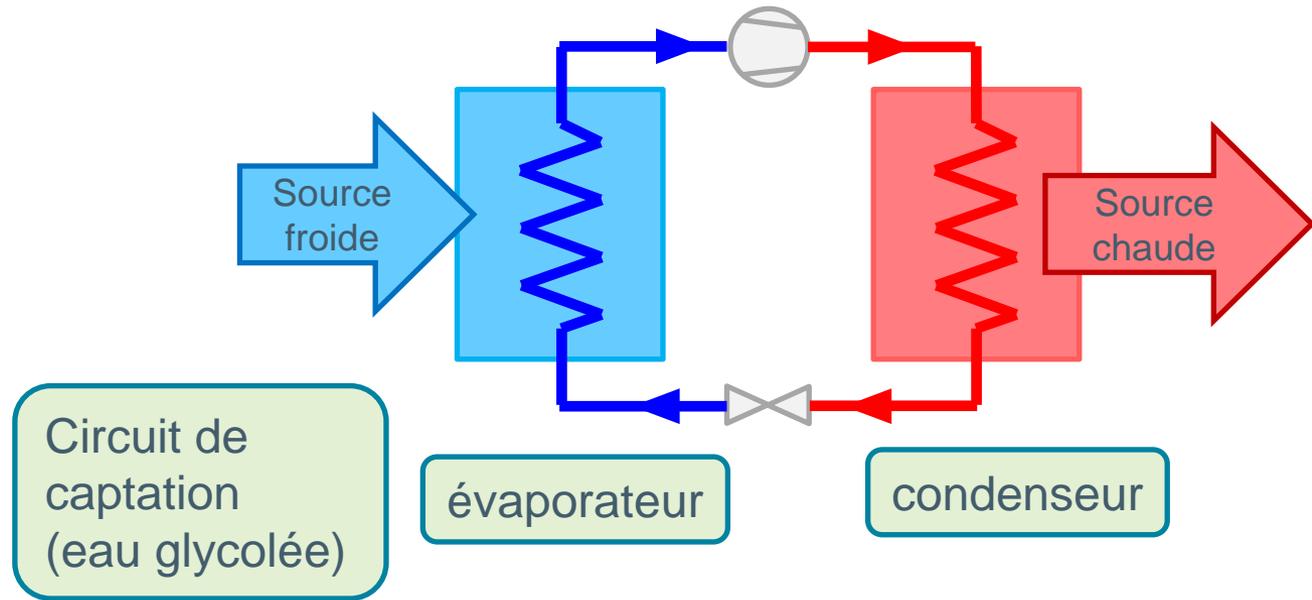
- En surface : étang, rivière
- En profondeur : nappe phréatique



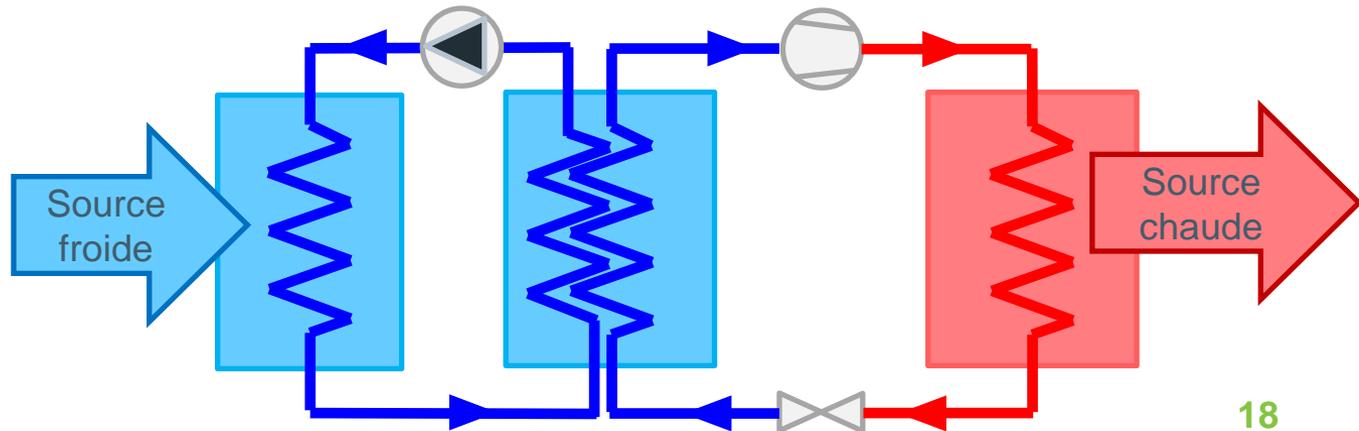
La captation de chaleur

Modes de captation

En détente directe

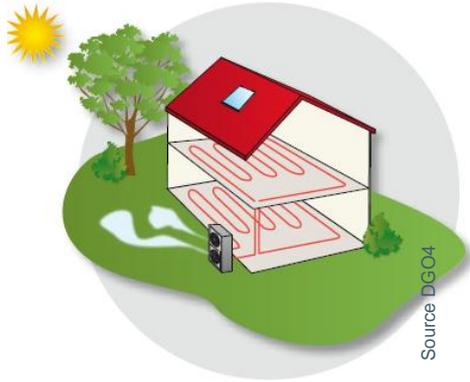


Par fluide intermédiaire

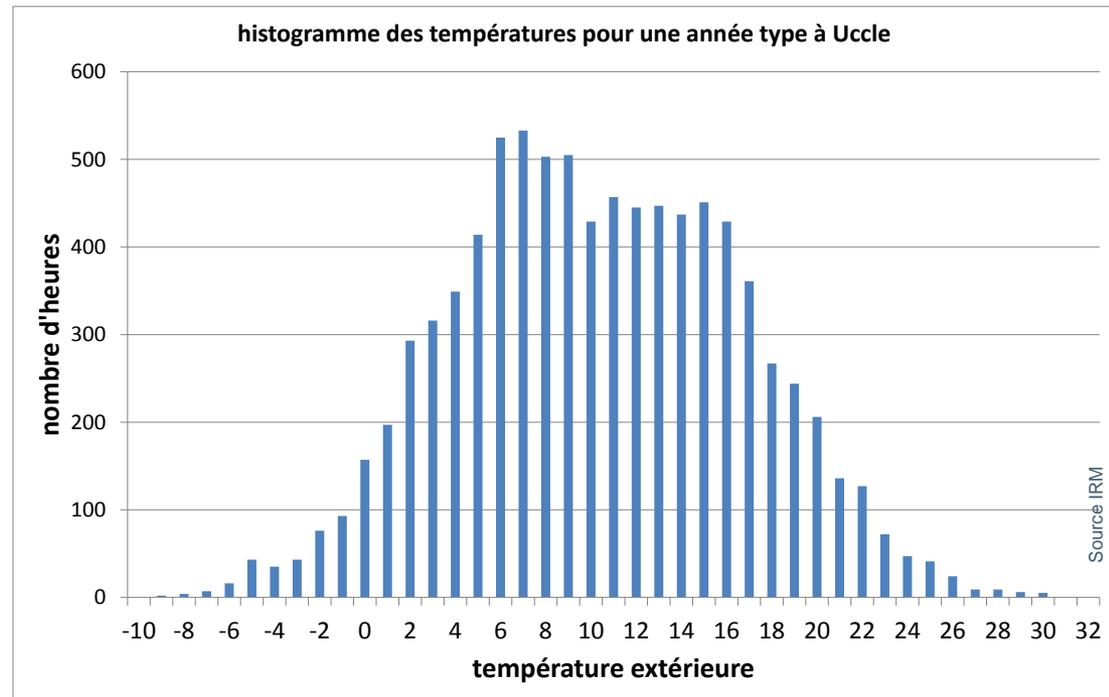


La captation de chaleur

Air dynamique

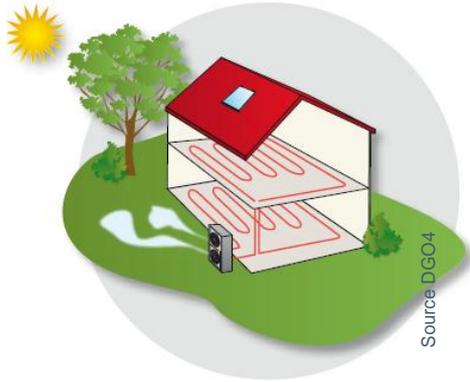


- **Température moyenne** de la source froide relativement **élevée** mais variable et plus basse lorsque les besoins sont les plus importants



La captation de chaleur

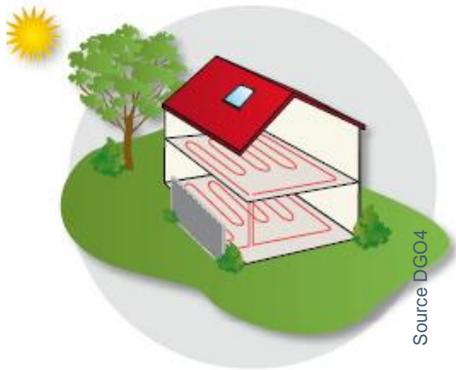
Air dynamique



- **Points forts**
 - En détente directe
 - Coût modéré (~ 1000 € HTVA/kWth)
- **Points faibles**
 - Givrage en dessous d'une certaine température de l'air ($< 3-4^{\circ}\text{C}$)
=> cycles de dégivrage
 - Appoint électrique direct (résistances) souvent indispensable (voir dimensionnement)
 - Niveau sonore
(peut être gênant si proximité fenêtre, voisinage, etc.)
 - Esthétique ?

La captation de chaleur

Air statique



- **Points forts**
 - Pas de ventilateur
 - Valorisation des apports solaires
 - En détente directe (ou eau glycolée)
 - Coût modéré
- **Points d'attention**
 - Nécessité d'exposition au sud (+/- 30 deg) pour le dégivrage
- **Points faibles**
 - Surface importante
 - Esthétique ?

La captation de chaleur

captation horizontale dans le sol



Source DGO4



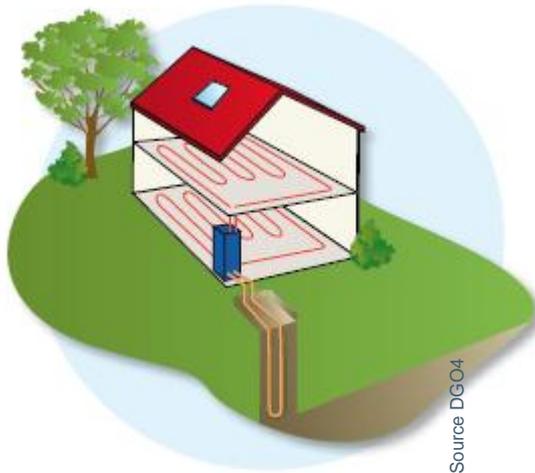
Source Raphael L'HOMME

- **Points forts**
 - Bonne température moyenne **mais appauvrissement de la source** :
 - Début saison chauffe : 10-12°C
 - Fin février/début mars : proche de 0°C
 - Fin de saison de chauffe : 5-7°C
- **Points d'attention**
 - Profondeur optimale : entre 80 et 100 cm
- **Points faibles**
 - Superficie de jardin importante (de 1,5 à 1,8 x surface chauffée pour maison k40) et sans plantations
 - En détente directe (grande quantité de fluide nécessaire) ou eau glycolée (consommation pompe)
 - Coût du terrassement et du capteur
 - => cout global (hors émetteurs) ~ 1500 € HVA/kWth



La captation de chaleur

captation par sonde verticale

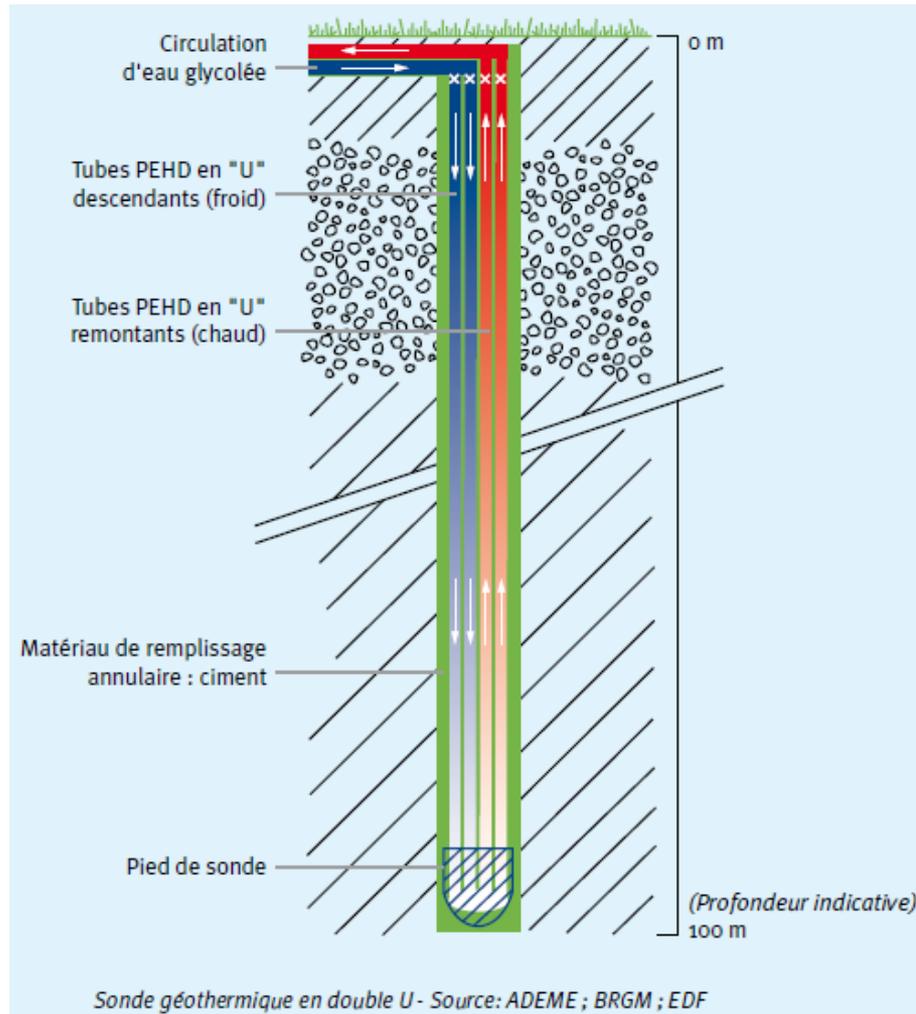


- **Points forts**
 - Bonne température moyenne et stable :
 - 2 - 6°C
 - -4 – 0°C en haute Belgique si hiver rigoureux
 - Régénération du sol favorisée par le « free-cooling » estival (voir refroidissement actif dans le tertiaire)
- **Points d'attention**
 - Composition du sous-sol inconnue a priori influence les performances
- **Points faibles**
 - Captation indirecte => consommation pompe
 - Coût des forages
 - => cout global (hors émetteurs) ~ 1800 € HVA/kWth



La captation de chaleur

captation par sonde verticale

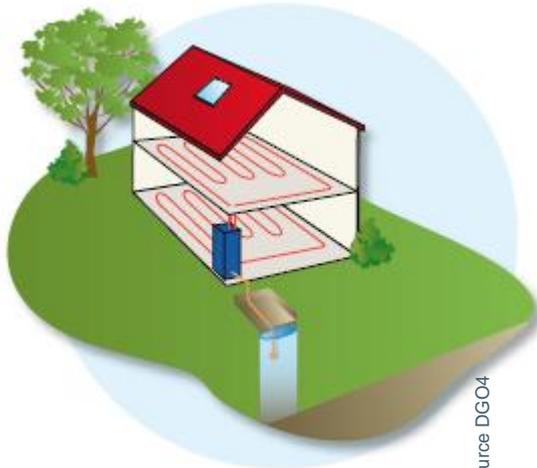


- Sondes d'une centaine de mètre, environ 15 m par kW thermique de déperditions
- Entre 15 et 60 W par mètre courant (dépend de la nature du sol)



La captation de chaleur

captation dans l'eau souterraine



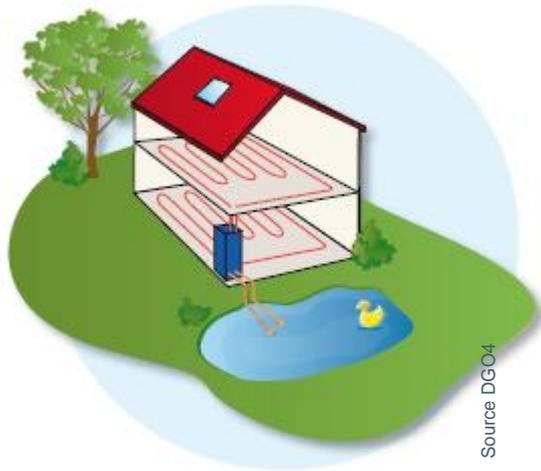
Source DGO4

- **Points forts**
 - Très bonne température moyenne et stable : entre 10 et 15°C
 - Généralement faible profondeur
- **Points d'attention**
 - Nécessité d'une autorisation de captage et d'un permis d'environnement spécifique
- **Points faibles**
 - Captation indirecte : eau pompée par un puits et rejetée dans un autre
 - Particules en suspension => encrassement de filtre
 - Appauvrissement de la source si généralisée
 - Eau légèrement acide => corrosion



La captation de chaleur

captation dans l'eau de surface



- Très bonne température moyenne
- Captation directe (échangeur inox immergé) ou indirecte (échangeur polyéthylène avec eau glycolée), ou encore pompage comme pour eau souterraine (avec les mêmes inconvénients)
- Nécessite débit (rivière, canal) ou volume (étang) suffisant.
- Rarement possible en résidentiel individuel
- Bon potentiel pour le chauffage collectif ou le tertiaire pour les agglomération située le long de cours d'eau ou canaux



Le transfert de chaleur

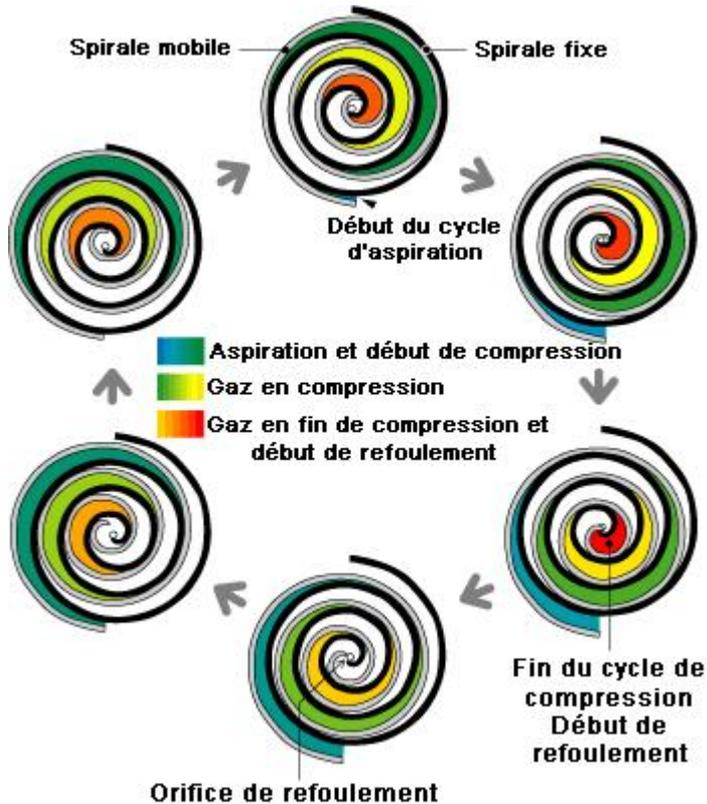
Les différents types de compresseurs :

- ▶ alternatif (comme dans votre frigo)
- ▶ rotatif
- ▶ scroll (très répandu pour les applications résidentielles)
- ▶ à vis (grandes puissances)
- ▶ centrifuge (très grande puissance, très bonnes performances en modulation) -> devrait apparaître dans le futur pour les petites puissances



Le transfert de chaleur

Le compresseur Scroll:



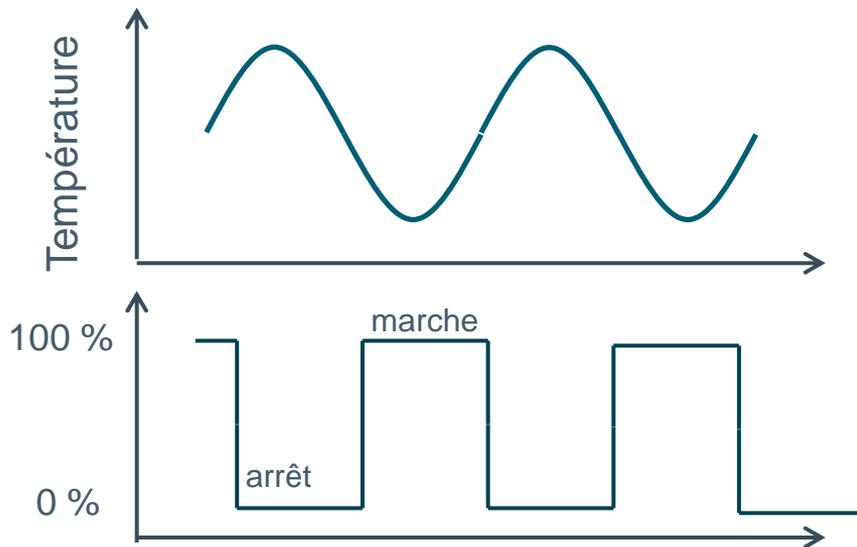
- Frottement réduits
- Grande longévité
- silencieux
- Vitesse de rotation peut être modulée



Le transfert de chaleur

La modulation de puissance:

- ▶ **Indispensable** pour une PAC air/eau
=> +8 à 10% pour le SPF
- ▶ Souhaitable pour une PAC sol/eau
=> +4 à 6% pour le SPF
- ▶ Sans modulation de puissance, fonctionnement « tout ou rien »



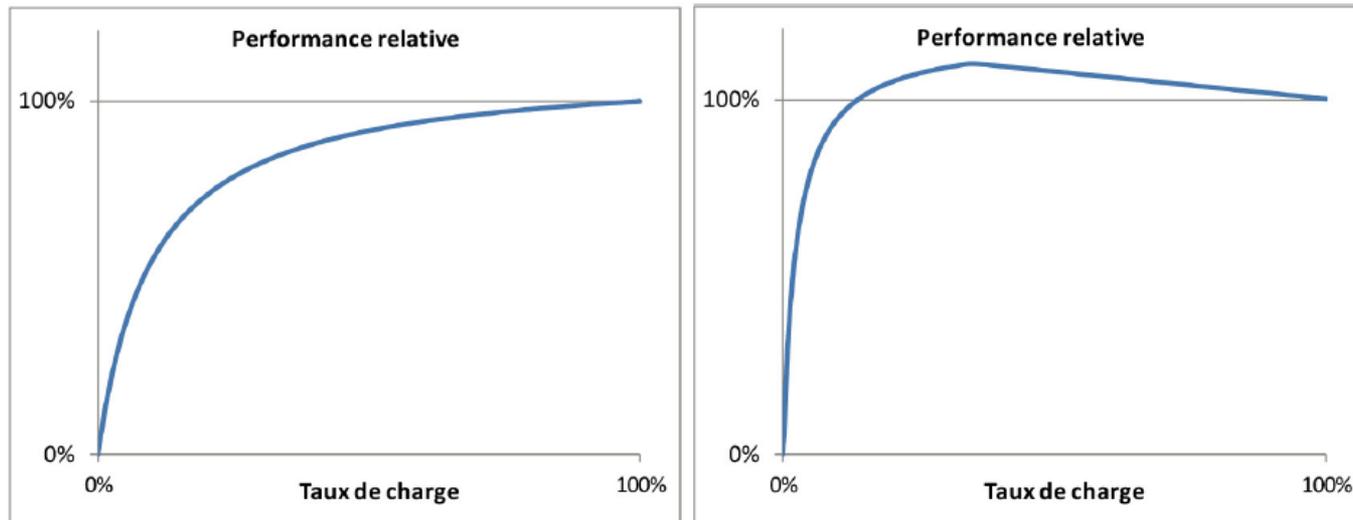
- COP dégradé en phase de démarrage
- Nécessité d'un réservoir tampon
- Usure prématurée



Le transfert de chaleur

La modulation de puissance par variation de vitesse :
=> technologie DC inverter

- ▶ Courant alternatif -> courant continu (DC)
- ▶ Courant « haché » pour recréer courant alternatif à fréquence plus basse => vitesse de rotation diminuée
- ▶ Capacité modulée jusqu'à 10-20% puissance nominale
- ▶ Impact positif sur le COP dans une certaine plage



Source www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

▲ Exemples d'impact du taux de charge sur la performance d'un compresseur tout ou rien (à gauche) et à variation de vitesse (à droite)



Le transfert de chaleur

Réversibilité

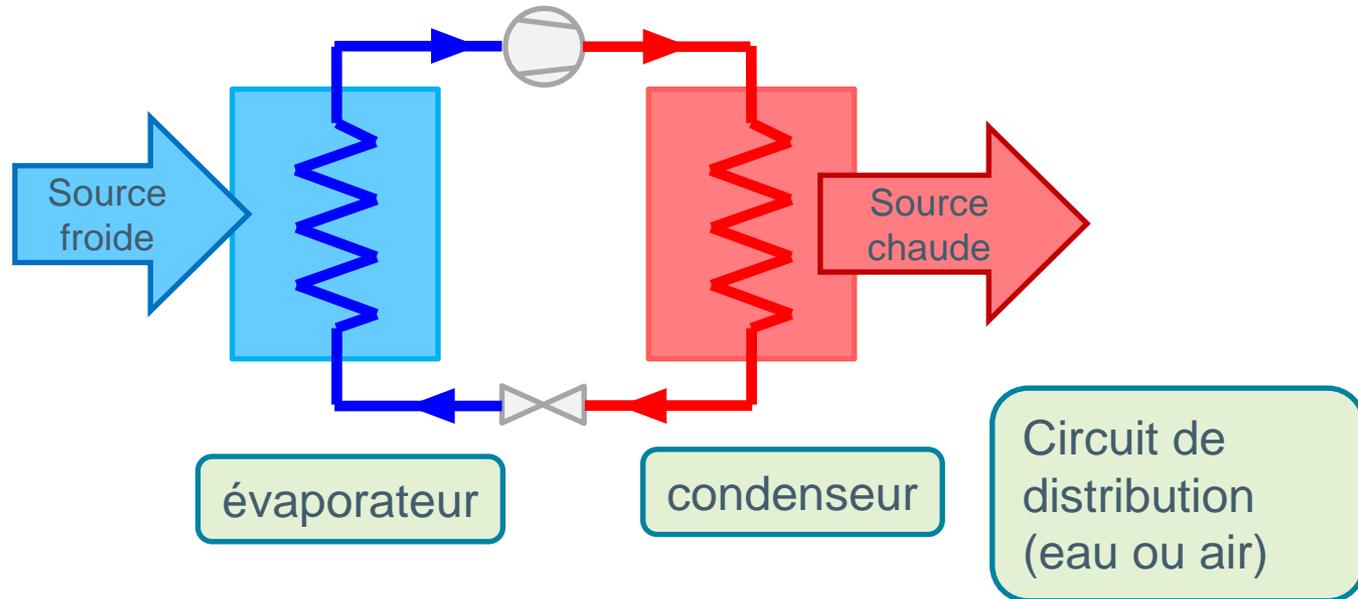
- ▶ Les PAC avec comme source froide l'air dynamique sont toujours physiquement réversibles (pour les cycles de dégivrage)
- ▶ Elle sont souvent bridées dans la régulation pour ne pas être utilisées en mode rafraichissement (indispensable pour l'éligibilité aux primes)
- ▶ Les PAC air/air ne sont généralement pas bridées au niveau de la régulation.
- ▶ Les PAC sol vertical/eau peuvent être utilisées en « free cooling » : la PAC n'intervient pas, on rafraichit uniquement l'eau en la faisant circuler dans le sol.



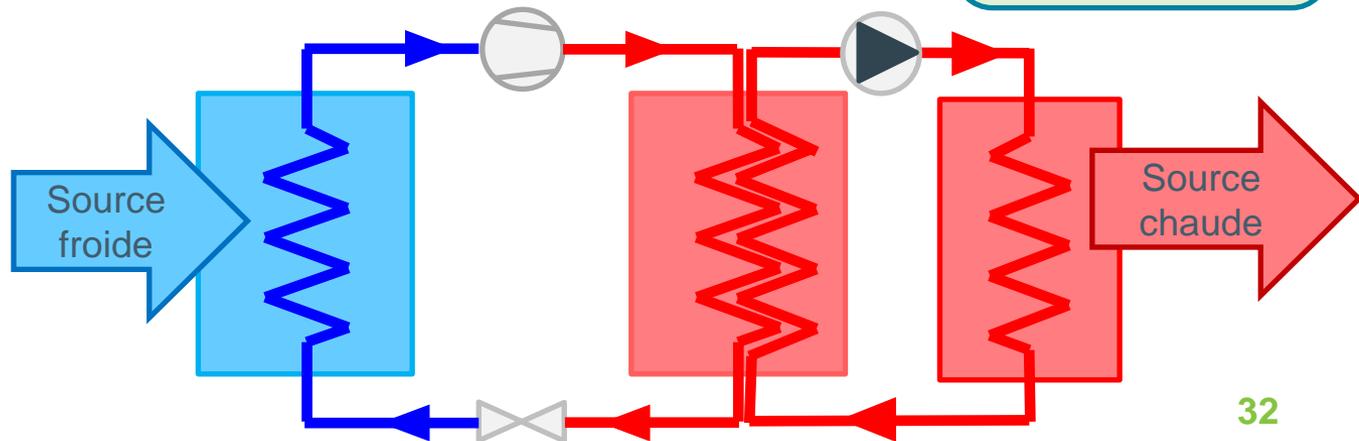
L'émission de chaleur

Modes d'émission

En détente directe



Par fluide intermédiaire



L'émission de chaleur

Hydraulique adaptée :

- ▶ Pour limiter la température au condenseur, l'émission se fait avec $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$
- ▶ Comme $P = \text{débit} \times C_p \times \Delta T \Rightarrow$ le débit doit augmenter
- ▶ La vitesse dans les conduites doit rester inférieure $< 0,75$ m/s
(éviter bruit et pertes de charges importantes)



Il faut des conduites avec un diamètre suffisant



Potentiellement un point bloquant en rénovation



L'émission de chaleur

Un seul mot d'ordre : basse température

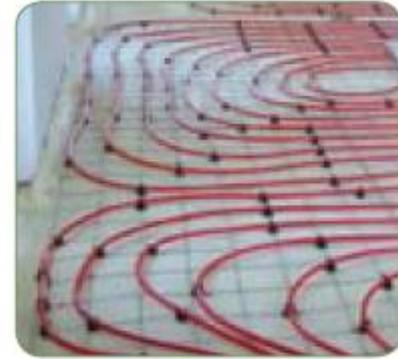
- ▶ Plancher chauffant
- ▶ Radiateurs surdimensionnés
- ▶ Ventilo-convecteurs ou convecteurs boostés
- ▶ Air pulsé
- ▶ A proscrire :
 - › Convecteur standard
 - › Installation monotube



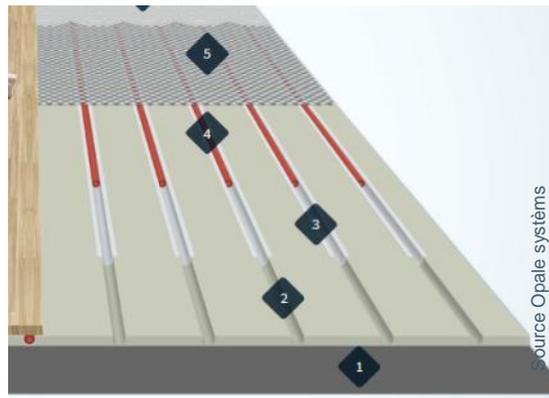
L'émission de chaleur

Le plancher chauffant

- Confort accru
- Gain de place
- Difficulté à réguler si puissance nécessaire $< 35 \text{ W/m}^2$
=> si en deçà (maison basse-énergie), envisager un système à faible inertie



Source DGO4



Source Opale systèmes



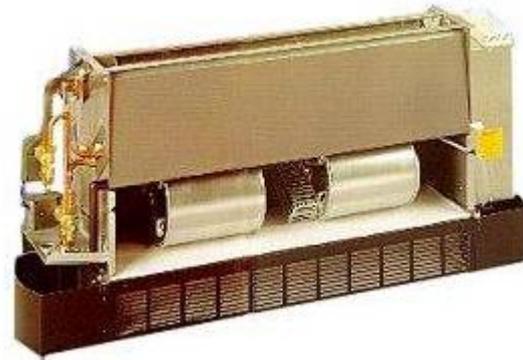
L'émission de chaleur

Ventilo-convecteurs

- Convection forcée -> puissance importante même à basse température
- Attention au bruit (exigences variables suivant la destination de la pièce : bureau, living, chambre à coucher)
 - => Les faire dimensionner pour une vitesse de ventilateur moyenne



Source : énergie+



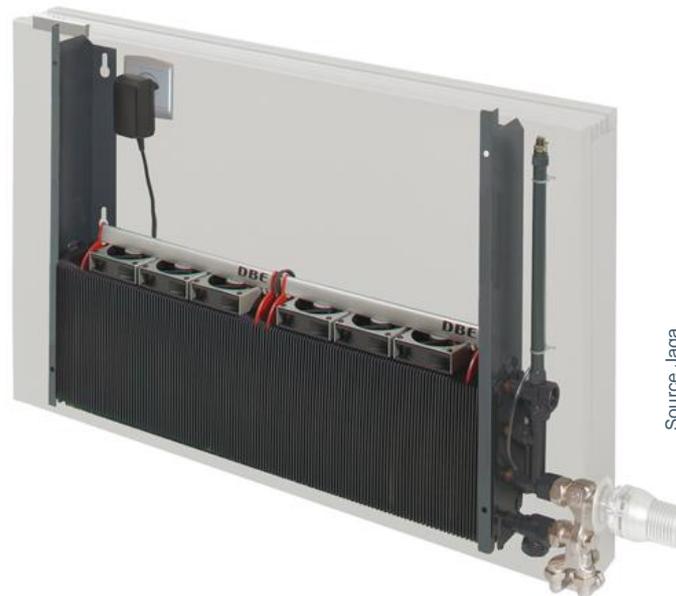
Source : énergie+



L'émission de chaleur

Convecteur boosté

- Puissance renforcée à basse température
- Très silencieux (convient pour les chambres à coucher)
- Régulation électronique des ventilateurs



L'émission de chaleur

Radiateurs « surdimensionnés »



- C'est-à-dire dimensionnés pour fonctionner en régime basse température
 - voir puissance en fonction du régime de température : information fournie par le fabricant il existe des facteurs correctif si les données n'existent pas pour des régimes de températures basses
 - si radiateur existant (rénovation) et information indisponible, il existe des outils. P.ex sur le site energie+ : http://www.energieplus-lesite.be/fileadmin/resources/04_technique/05_chauffage/08_calculs/01_programmes_calcul/chaucalpuissanceradiateur.xls
- En cas de rénovation, après isolation de l'enveloppe, les radiateurs sont souvent suffisamment surdimensionnés
- Encombrement important



L'émission de chaleur

Systemes à détente directe :

Systemes splits ou multi-splits

- Pas de fluide caloporteur intermédiaire : le fluide frigorigène circule entre l'unité extérieure et une ou plusieurs unités intérieures
- Unités intérieures : consoles murales (ventilo-convecteurs)
- Souvent installées pour de la climatisation
- Pas de prime car toujours réversibles

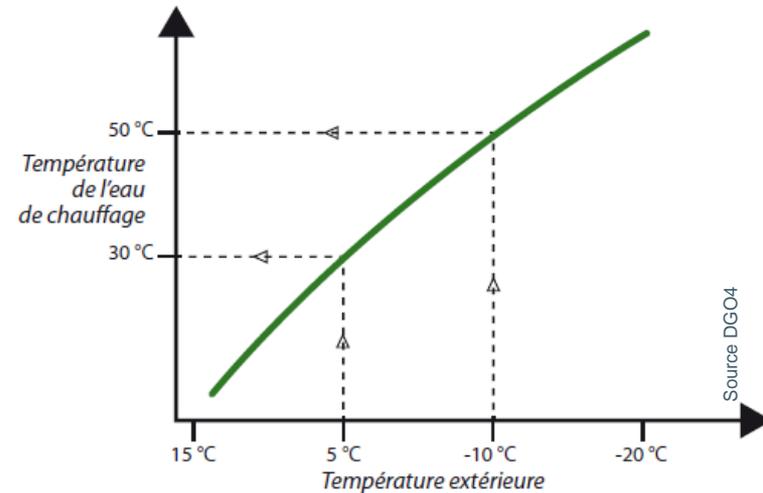


L'émission de chaleur

La régulation de la température de l'eau

Régulation en « température glissante » :

- La température de l'eau est fonction de la température extérieure
- Nécessite une sonde de température extérieure (pour les PAC air/eau, elle est intégrée à l'unité extérieure)

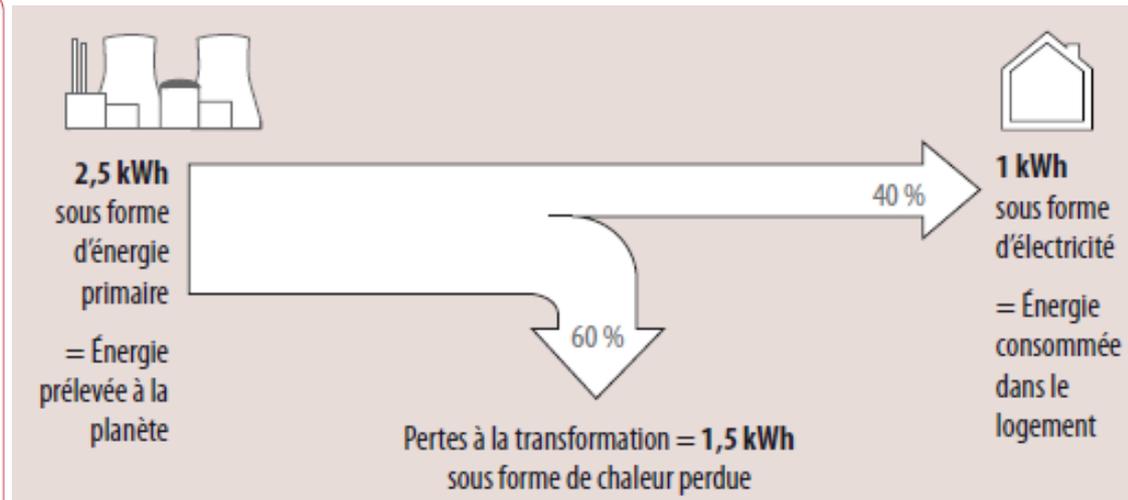
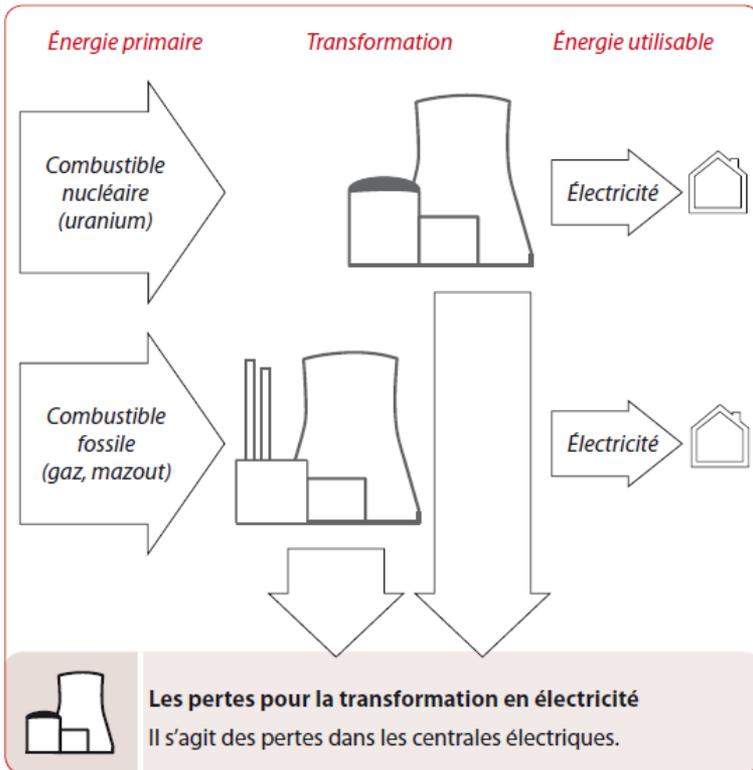


S'assurer que cette régulation soit bien paramétrée (conforme au dimensionnement des émetteurs) et effective (évitez le passage en mode manuel !)



Utilisation d'énergie renouvelable?

Notion d'énergie primaire



On retrouve un facteur équivalent pour coût du kWh entre l'électricité et les combustibles

Source : Brochure PAE2

Vecteur énergétique	Coût (€/kWh)
Électricité	0,235
Gaz	0,079
Mazout	0,084



Utilisation d'énergie renouvelable?

- SPF = seasonal performance factor = COP intégré sur toute la saison de chauffe
- On peut s'attendre aux SPF suivants pour des installations correctement dimensionnées et régulées avec PAC modulante

TYPE DE POMPE A CHALEUR	SPF	Rendement sur énergie primaire
AIR – EAU	3,5	140 %
SOL _H – EAU	3,6	144 %
SOL _V – EAU	4,4	170 %

- On retrouve différentes limites pour considérer l'utilisation d'énergie renouvelable : $SPF \geq 2.6 \dots 2.88$



Dimensionnement

- ▶ Calcul des déperditions par local (Q) pour la température de base (-8°C à Bruxelles)
 - › déperditions par les parois **et par ventilation/infiltration**
- ▶ Dimensionnement des émetteurs
fixer un régime de température :
 - › en neuf, maximum 45°C (si possible 40°C)
 - › en rénovation, maximum 50 ... 55°C
- ▶ Tenir compte d'un ΔT° de 5 K

=> puissance PAC et débit d'eau

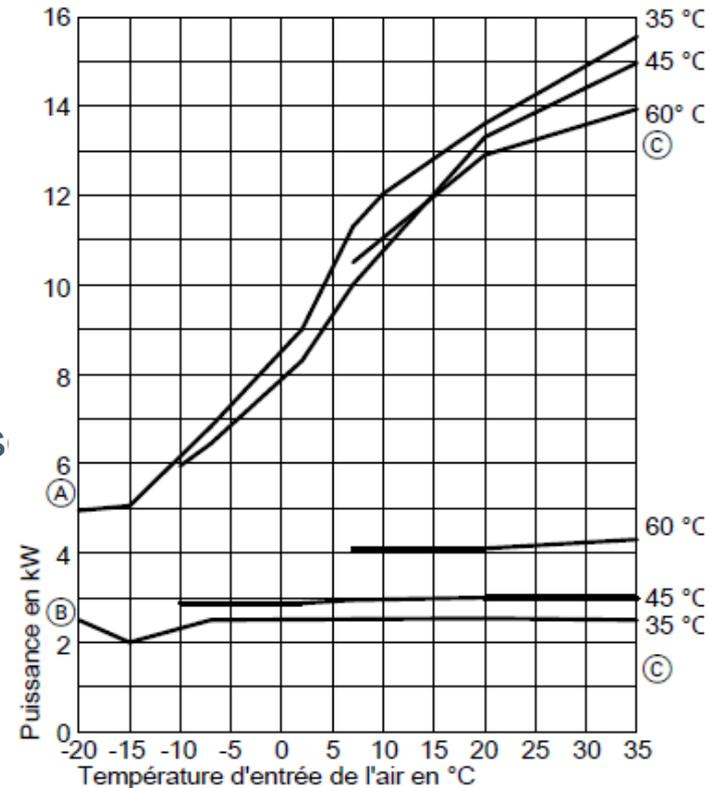
- ▶ Si PAC mixte (ECS), prévoir surpuissance (~15%)



Dimensionnement

► Attention à ne pas surdimensionner !

- › Modulation de puissance :
15-20% de la puissance nominale
- › C'est la puissance d'entrée (électrique/mécanique) qui est modulée
- › COP variable en fonction des températures de s froide et chaude
=> puissance thermique très fortement variable en fonction de la température extérieure (influence de la source chaude et de la source froide)
- › Coût ! :
 - PAC air/eau : ~ 1000 €/kWth (PAC)
 - PAC sol_h/eau : ~ 1500 €/kWth (PAC + capteurs sol)
 - PAC sol_h/eau : ~ 1800 €/kWth (PAC + sondes)

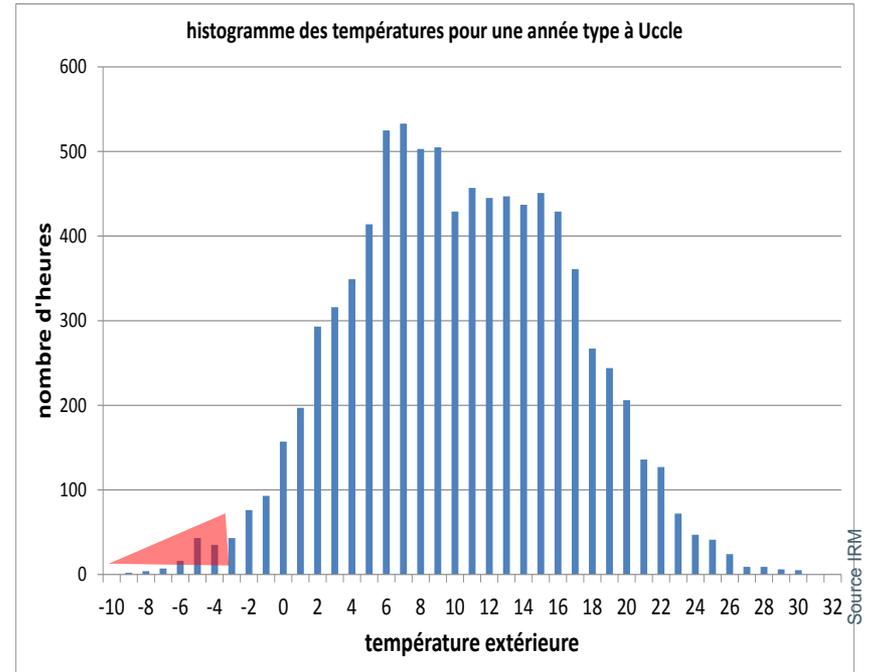
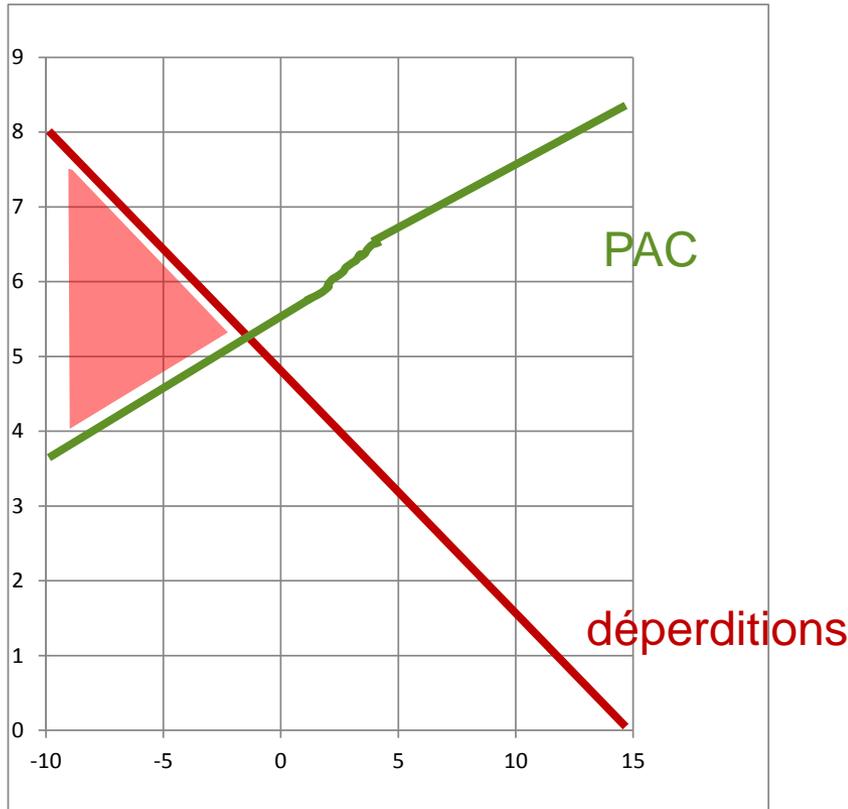


Source : Viessmann



Dimensionnement

Exemple d'une PAC air/eau



Point d'équilibre :

- Basse et moyenne Belgique : $-3^{\circ}\text{C} \dots 0^{\circ}\text{C}$
- Haute Belgique : $-5^{\circ}\text{C} \dots -2^{\circ}\text{C}$

Puissance nominale = puissance pour A7 / W35. Ici ~ 7 kW thermique



Certains systèmes (p.ex. réinjection de fluide en cours de compression) permettent de maintenir une puissance élevée par température basse (mais avec COP dégradé) et ne nécessitent pas d'appoint électrique direct.

Dimensionnement

- PAC air/eau
 - ▶ Puissance PAC A7/W35 = Q (+15% si ECS)
 - ▶ Appoint électrique direct $\sim 0.5 Q$

- PAC sol_n/eau
 - ▶ Puissance PAC B-3/0/W35 = $1.3xQ$ (+15% si ECS)
 - ▶ Sans appoint électrique

- PAC sol_v/eau
 - ▶ Puissance PAC B-3/0/W35 = $1.2xQ$ (+15% si ECS)
 - ▶ Sans appoint électrique

Q = déperditions (parois + ventilation/infiltration)



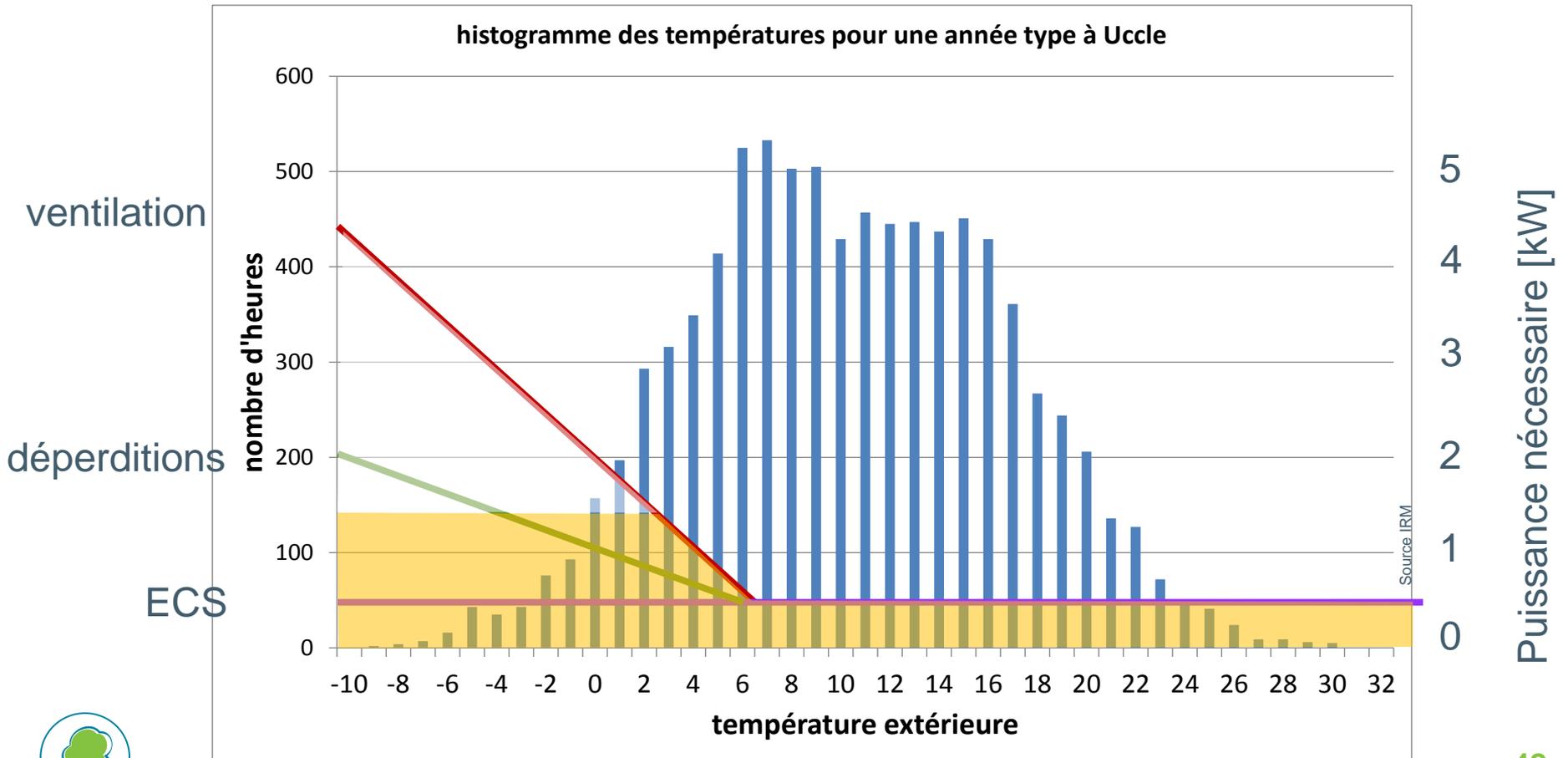
Cas particulier :

Maison basse énergie ou passive avec ventilation type C

- ▶ Ventilation type C
- ▶ PAC chauffage intégrée au système de ventilation
 - › évaporateur sur air extrait en aval de l'échangeur = PAC air/eau
 - › Condenseur sur circuit eau chauffage et ECS
- ▶ Emission :
 - › Ventilo-convecteur (intégrant les amenées d'air)
 - › (chauffage électrique infra-rouge dans la salle de bain)
- ▶ ECS produite par la même PAC
- ▶ Pas de givrage
- ▶ Appoint électrique indispensable car l'air n'est pas refroidi en deçà de quelques degrés (pour éviter le givrage)
- ▶ Uniquement pour des bâtiments dont les besoins de chauffage commencent seulement à 6 ou 7°C à l'extérieur

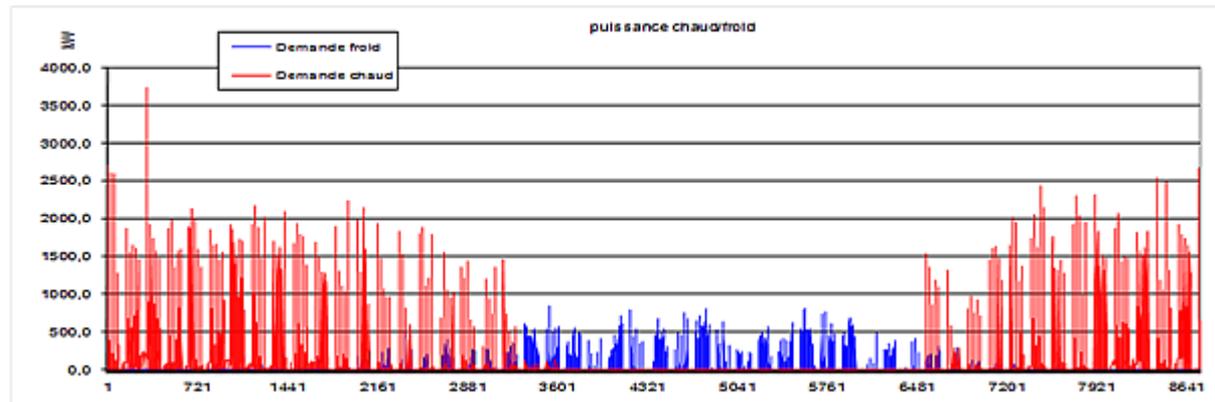


Cas particulier : Maison basse énergie ou passive avec ventilation type C



Cas particulier : Géothermie dans le tertiaire

- ▶ Besoins de chaud en hiver et de froid en été
=> régénérer la source froide par géocooling estival
- ▶ Simulation dynamique pour les besoins de chaud et de froid



- ▶ Simulation dynamique de réponse du sol sur le long terme (~20 ans)
- ▶ Si déséquilibre en chaud : souvent plus rentable de prévoir un appoint par chaudière gaz
- ▶ Pour favoriser le géocooling, il peut être nécessaire de prévoir un groupe de froid supplémentaire



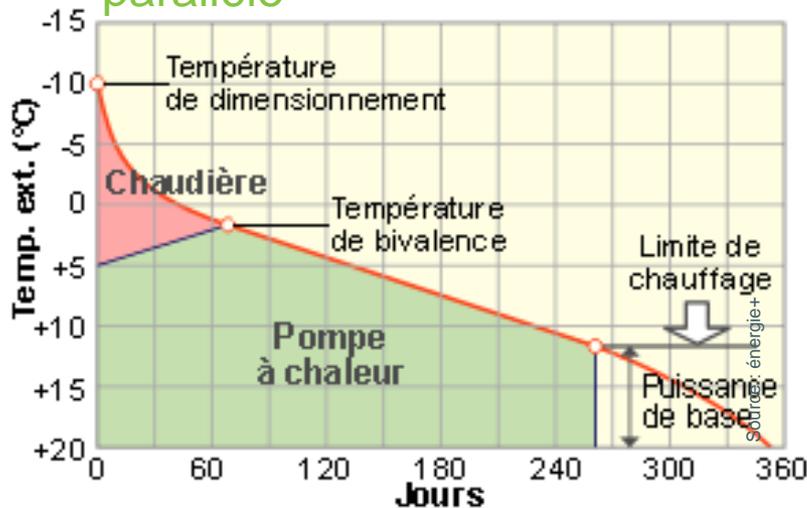
Faisabilité en rénovation

- ▶ Besoins thermiques spécifiques $\leq 65 \text{ W/m}^2$
- ▶ Pas de système monotube
- ▶ Pas de convecteurs statiques
(à moins d'installer des ventilateur de boost)
- ▶ Diamètre des conduites suffisant pour faire passer le débit requis ($\Delta T^\circ = 5\text{K}$)



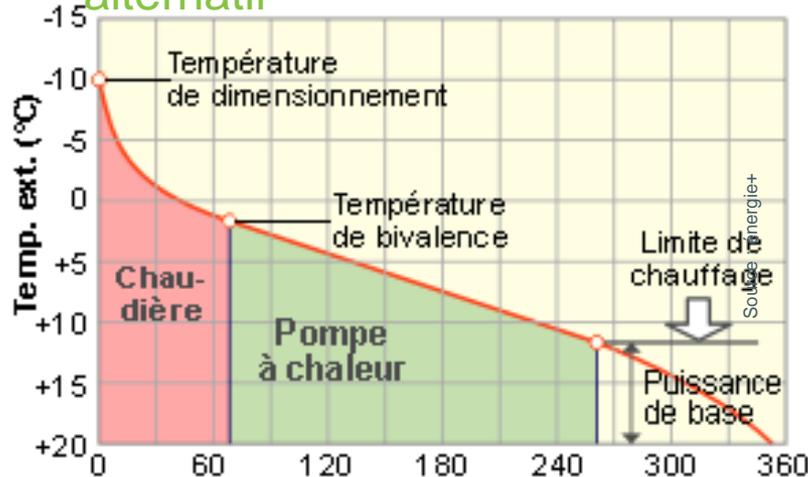
Systemes bivalents

parallèle



=> chaudière joue le rôle des résistance d'appoint

alternatif



=> PAC complètement stoppée sous la température de bivalence



Régulation délicate

- éviter les jeux de « ping-pong »
- problèmes de relance à la limite de la température de bivalence

Il existe des appareils combinés PAC+chaudière gaz condensation avec régulation intégrée et optimisée



Eau chaude sanitaire

- Performances moindres car température de la source chaude plus élevée
 - ▶ Le rendement sur énergie primaire risque d'être comparable à un bon appareil au gaz => c'est essentiellement intéressant en remplacement d'un boiler électrique
- Prévoir un réservoir de stockage suffisamment important pour stocker à température modérée
- Attention à la régulation :
 - ▶ une PAC qui se remet en route au moindre puisage présentera des performances fortement détériorée



Source : Solaris PAC



Eau chaude sanitaire

- Attention aux légionnelles
 - ▶ En unifamilial -> 1 cycle anti-légionnelle hebdomadaire
 - ▶ En collectif?
- Boiler thermodynamique
 - ▶ veiller à avoir une prise d'air située à l'extérieur !
- Système de récupération de chaleur sur l'air extrait (système C)
 - ▶ COP élevé (température air ~ 20°C)
 - ▶ très intéressant en rénovation quand une ventilation avec récupération de chaleur n'est pas faisable



Source : energreen.be



PAC avec moteur gaz

- Energie mécanique fournie au compresseur par un moteur gaz plutôt qu'électrique
 - Outre la chaleur puisée dans la source froide (air extérieur), récupération de
 - ▶ Chaleur des gaz de combustion
 - ▶ Chaleur du moteur
- => influence réduite de la T° source froide => Air
=> influence réduite de la T° source chaude
=> convient bien à la rénovation
- Moteurs à vitesse variable
 - Rendement en énergie primaire :
de 115-120% jusque 140% à charge partielle



Éléments de rentabilité économique

- Estimer le surcout entre une installation « classique » performante (chaudière gaz à condensation) et l'installation de PAC
- Estimer les rendements **saisonniers** des 2 solutions
 - ▶ Influencés par le régime de température, le dimensionnement, la régulation, ...
- A partir d'une estimation des besoins brut en chauffage du bâtiment, estimer la consommation d'énergie finale des 2 solutions et le cout associé
 - ▶ remarques :
 - › si le tarif pour le gaz est sur PCS, utiliser le rendement sur PCS pour la chaudière !
 - › prendre en compte la consommation liée aux circulateurs pour l'installation avec chaudière car les rendements n'en tiennent pas compte



Éléments à reprendre au cahier des charges

Liste non-exhaustive

- ▶ Privilégier un installateur certifié (rescert.be) et/ou labélisé (www.questforquality.be)
- ▶ Exiger un calcul des déperdition par local (suivant Norme NBN EN 12831 : 2003)
- ▶ Spécifier le type d'émetteur
- ▶ Spécifier le régime de température souhaité
- ▶ Exiger des niveaux de performance minimaux pour les PAC (cf. labels ou rendement Ecodesign, eco-label européen, ...)
- ▶ Exiger une estimation des performances saisonnières attendues



Éléments à reprendre au cahier des charges

Liste non-exhaustive

- ▶ Exiger l'installation d'un système de monitoring :
 - › Compteur électrique dédié à la PAC
 - › Compteur intégrateur d'énergie thermique produite
- ▶ Pour la géothermie pour des bâtiments tertiaires, exiger :
 - › Simulation dynamique des besoins de chaud et de froid
 - › Simulation réponse sol long terme
 - › Régénération par géocooling
- ▶ ...



Entretien

- Nettoyer régulièrement (1 fois par an) les filtres sur les circuits hydrauliques
- PAC air/eau : dégager et nettoyer l'échangeur extérieur
- Géothermie :
 - ▶ Remplacement de l'eau glycolée : 10 ans
 - ▶ (vérifier l'état de l'eau glycolée (taux de glycol) : 1-2 ans)
 - ▶ Vérifier régulièrement la pression dans le circuit
- Contrôle de l'étanchéité
(un problème à ce niveau sera mis en évidence par un monitoring régulier des performances)



Entretien

- Conditions d'entretien spécifiques
 - ▶ si la PAC est réversible et puissance frigorifique > 12 kW
=> soumis à la réglementation PEB climatisation
 - ▶ Si quantité fluide frigo > 3 kg et/ou puissance électrique compresseur > 10 kW
=> permis d'environnement (rubrique 132 : Installations de refroidissement, réfrigération)



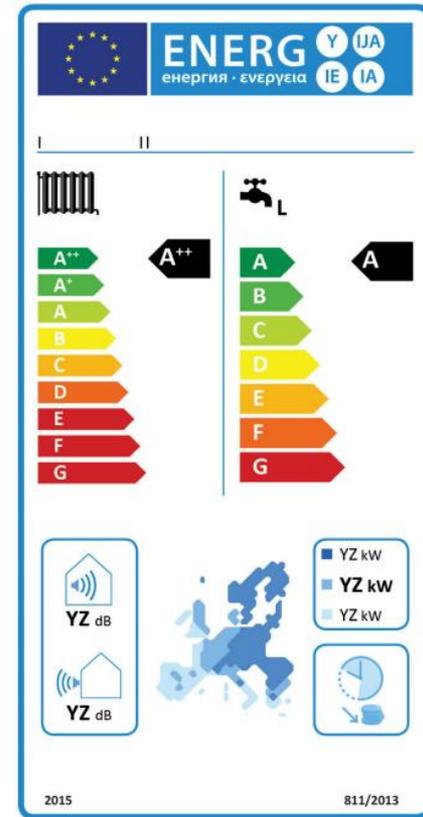
Directive « Ecodesign »

Etiquetage : règlements européens 811/2013 et 812/2013

- Toutes les PAC
 - ▶ mises sur le marché et/ou en service depuis le 26 septembre 2015
 - ▶ d'une puissance thermique nominale ≤ 70 kW
 - ▶ destinées à la production
 - › de chauffage uniquement
 - › combinée de chauffage et d'eau chaude sanitaire
 - › d'eau chaude sanitaire uniquement

doivent être munies d'une étiquette caractérisant leurs performances

- ▶ Énergétiques
- ▶ Acoustiques



Directive « Ecodesign »

Exigences : règlements européens
813/2013 et 814/2013

- Toutes les PAC
 - ▶ mises sur le marché et/ou en service depuis le 26 septembre 2015
 - ▶ d'une puissance thermique nominale ≤ 400 kW
 - ▶ destinées à la production
 - › de chauffage uniquement
 - › combinée de chauffage et d'eau chaude sanitaire
 - › d'eau chaude sanitaire uniquement

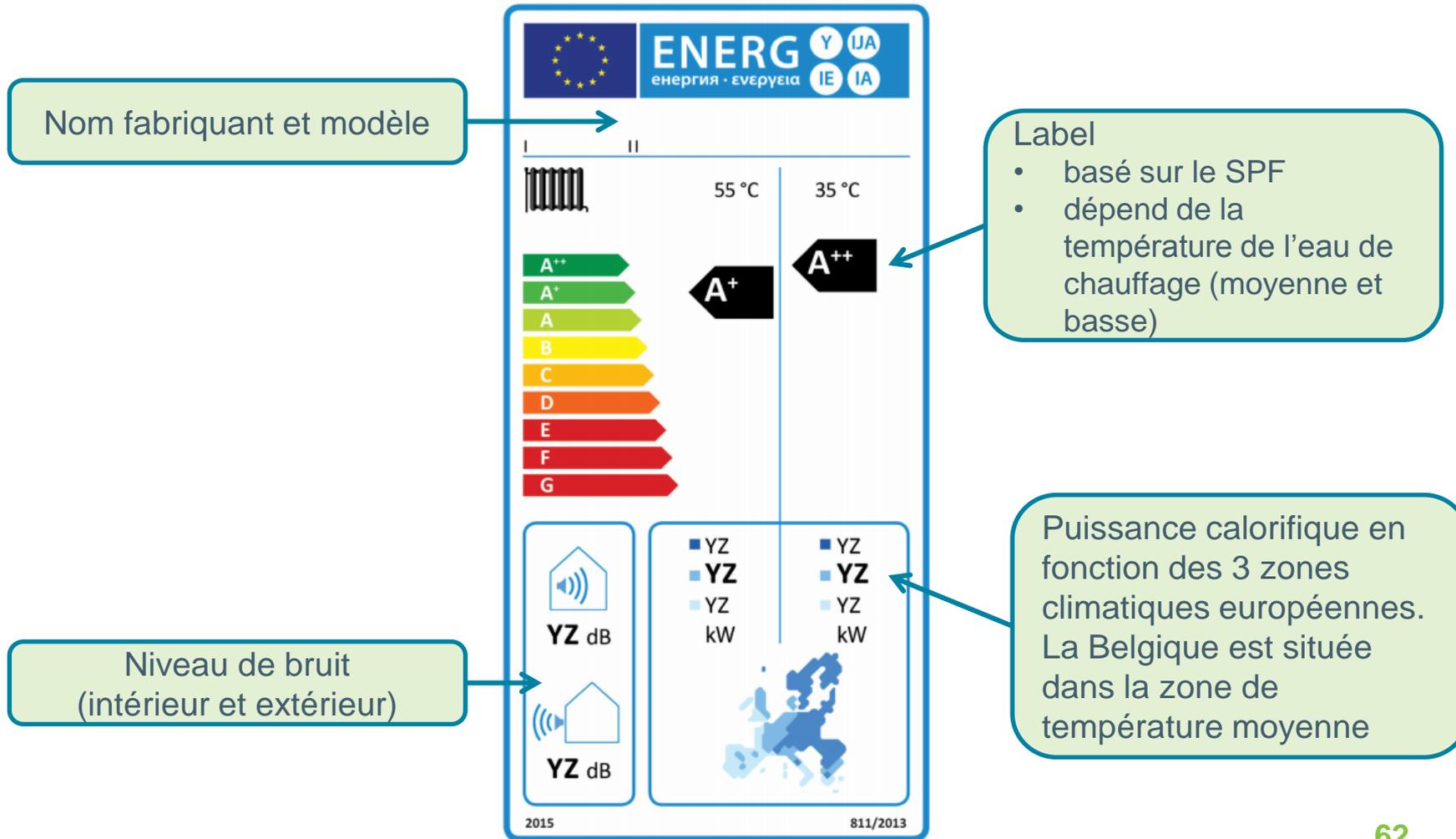
sont soumises à des exigences :

- ▶ Efficacité énergétique minimale
- ▶ Niveaux acoustiques maximaux
- ▶ Informations sur les produits (données devant figurer sur la fiche technique)



Directive « Ecodesign »

Etiquette PAC chauffage



Directive « Ecodesign »

Classes énergétiques PAC qui ne sont pas « basse température »

**Facteur conversion
énergie primaire
2.5**

Classes d'efficacité énergétique saisonnière, pour le chauffage des locaux, des dispositifs de chauffage, à l'exception des pompes à chaleur basse température et des dispositifs de chauffage des locaux par pompe à chaleur conçus pour l'application à basse température

Classe d'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux	Efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux η_s en %
A ⁺⁺⁺	$\eta_s \geq 150$ SPF ≥ 3.75
A ⁺⁺	$125 \leq \eta_s < 150$ SPF ≥ 3.13
A ⁺	$98 \leq \eta_s < 125$ SPF ≥ 2.45
A	$90 \leq \eta_s < 98$
B	$82 \leq \eta_s < 90$
C	$75 \leq \eta_s < 82$
D	$36 \leq \eta_s < 75$
E	$34 \leq \eta_s < 36$
F	$30 \leq \eta_s < 34$
G	$\eta_s < 30$

**Exigence Ecodesign : $\eta_s > 100\%$
(=> SPF > 2.5)**



Directive « Ecodesign »

Classes énergétiques PAC « basse température »

Facteur conversion
énergie primaire
2.5

Classes d'efficacité énergétique saisonnière, pour le chauffage des locaux, des pompes à chaleur basse température et des dispositifs de chauffage des locaux par pompe à chaleur conçus pour l'application à basse température

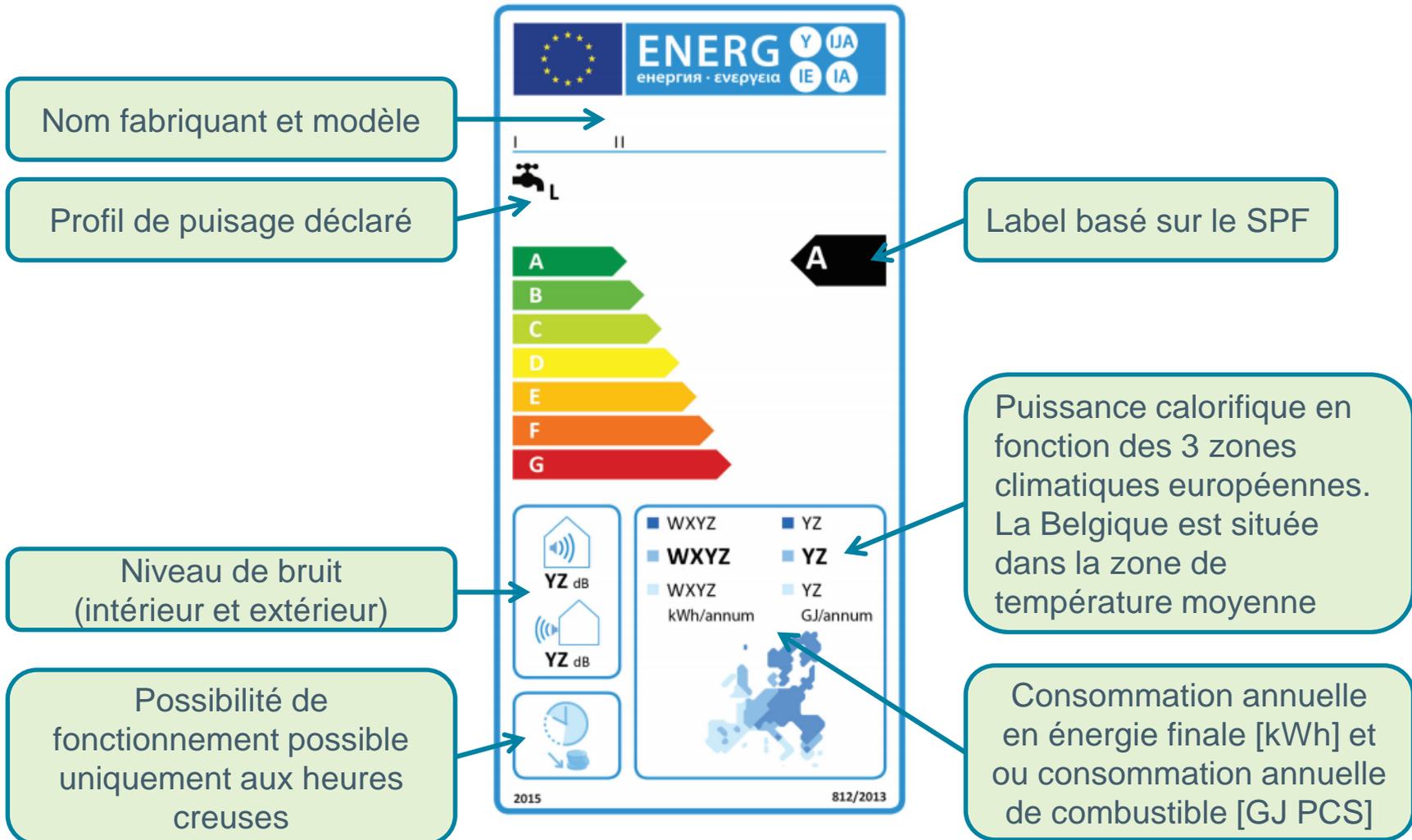
Classe d'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux	Efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux η_s en %
A ⁺⁺⁺	$\eta_s \geq 175$ SPF ≥ 4.38
A ⁺⁺	$150 \leq \eta_s < 175$ SPF ≥ 3.75
A ⁺	$123 \leq \eta_s < 150$ SPF ≥ 3.08
A	$115 \leq \eta_s < 123$ SPF ≥ 2.88
B	$107 \leq \eta_s < 115$ SPF ≥ 2.68
C	$100 \leq \eta_s < 107$ SPF ≥ 2.5
D	$61 \leq \eta_s < 100$
E	$59 \leq \eta_s < 61$
F	$55 \leq \eta_s < 59$
G	$\eta_s < 55$



Exigence Ecodesign : $\eta_s > 115\%$
(\Rightarrow SPF > 2.88)

Directive « Ecodesign »

Etiquette PAC ECS



Directive « Ecodesign »

Classes énergétiques ECS uniquement

Classes d'efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau, selon les profils de soutirage déclarés, η_{wh} en %

	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL
A ⁺⁺⁺	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 62$	$\eta_{wh} \geq 69$	$\eta_{wh} \geq 90$	$\eta_{wh} \geq 163$	$\eta_{wh} \geq 188$	$\eta_{wh} \geq 200$	$\eta_{wh} \geq 213$
A ⁺⁺	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$53 \leq \eta_{wh} < 62$	$61 \leq \eta_{wh} < 69$	$72 \leq \eta_{wh} < 90$	$130 \leq \eta_{wh} < 163$	$150 \leq \eta_{wh} < 188$	$160 \leq \eta_{wh} < 200$	$170 \leq \eta_{wh} < 213$
A ⁺	$44 \leq \eta_{wh} < 53$	$44 \leq \eta_{wh} < 53$	$53 \leq \eta_{wh} < 61$	$55 \leq \eta_{wh} < 72$	$100 \leq \eta_{wh} < 130$	$115 \leq \eta_{wh} < 150$	$123 \leq \eta_{wh} < 160$	$131 \leq \eta_{wh} < 170$
A	$35 \leq \eta_{wh} < 44$	$35 \leq \eta_{wh} < 44$	$38 \leq \eta_{wh} < 53$	$38 \leq \eta_{wh} < 55$	$65 \leq \eta_{wh} < 100$	$75 \leq \eta_{wh} < 115$	$80 \leq \eta_{wh} < 123$	$85 \leq \eta_{wh} < 131$
B	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$39 \leq \eta_{wh} < 65$	$50 \leq \eta_{wh} < 75$	$55 \leq \eta_{wh} < 80$	$60 \leq \eta_{wh} < 85$
C	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 35$	$36 \leq \eta_{wh} < 39$	$37 \leq \eta_{wh} < 50$	$38 \leq \eta_{wh} < 55$	$40 \leq \eta_{wh} < 60$
D	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$29 \leq \eta_{wh} < 32$	$33 \leq \eta_{wh} < 36$	$34 \leq \eta_{wh} < 37$	$35 \leq \eta_{wh} < 38$	$36 \leq \eta_{wh} < 40$
E	$22 \leq \eta_{wh} < 26$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$26 \leq \eta_{wh} < 29$	$30 \leq \eta_{wh} < 33$	$30 \leq \eta_{wh} < 34$	$30 \leq \eta_{wh} < 35$	$32 \leq \eta_{wh} < 36$
F	$19 \leq \eta_{wh} < 22$	$20 \leq \eta_{wh} < 23$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$23 \leq \eta_{wh} < 26$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$27 \leq \eta_{wh} < 30$	$28 \leq \eta_{wh} < 32$
G	$\eta_{wh} < 19$	$\eta_{wh} < 20$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 23$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 27$	$\eta_{wh} < 28$

Exigence Ecodesign

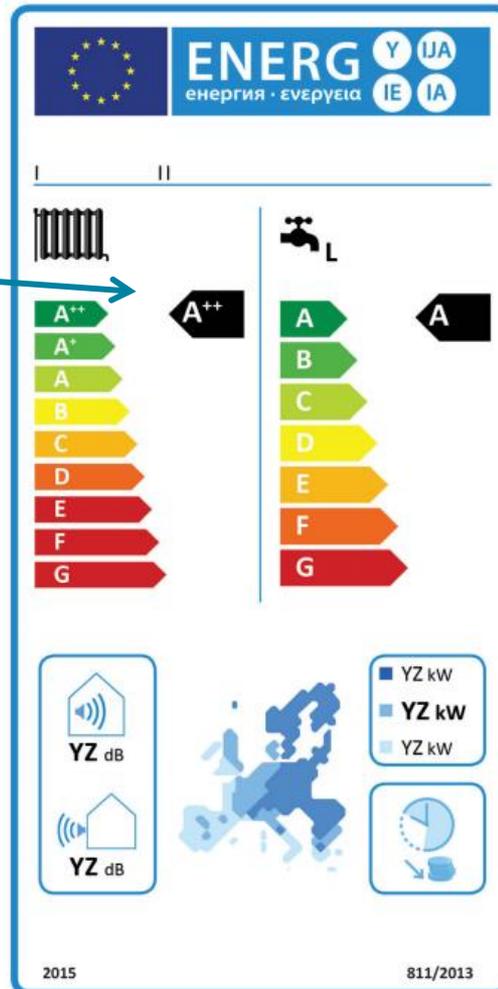
Profil de soutirage déclaré	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL
Efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau	22 %	23 %	26 %	26 %	30 %	30 %	30 %	32 %	32 %	32 %



Directive « Ecodesign »

Etiquette PAC chauffage + ECS

Label pour le chauffage à température moyenne



Directive « Ecodesign »

Informations devant être reprises sur la fiche technique (liste non exhaustive)

- Présence d'un système d'appoint
- Puissances et COP à charge partielle pour différentes températures extérieures
- Température de bivalence
- Coefficient de dégradation pour les cycles courts
- Puissance thermique du système d'appoint
- Consommation de veille
- ...



Encodage PEB

Commentaire relatif au système de chauffage (vide)

Systèmes de production de chaleur | Système de stockage | Auxiliaire circulateurs | Système de distribution | Systèmes d'émission

Nom : systemechaaleur1

Marque du produit : CaChauffe

Product-ID :

Type de générateur : Pompe à chaleur électrique

PAC équipée d'une résistance électrique : Oui Non

Valeur par défaut pour le rendement : Oui Non

Source de chaleur : Air neuf (extérieur) uniquement

Fluide caloporteur : Eau

Coefficient de performance (COPtest) :

Facteur de correction sur la température de départ vers le système d'émission de chaleur

La température de départ de l'eau est connue : Oui Non

T° moy. mensuelle du fluide caloporteur : ? °C

Facteur de correction sur l'augmentation de température à travers le condenseur

Conditions test connue : Oui Non

Δ de t° entre le départ et le retour du système : °C

Augmentation de la t° à travers le condenseur : °C

Résultats

Calcul

f,θ

f,Δθ

f,pumps

f,AHU

FPS

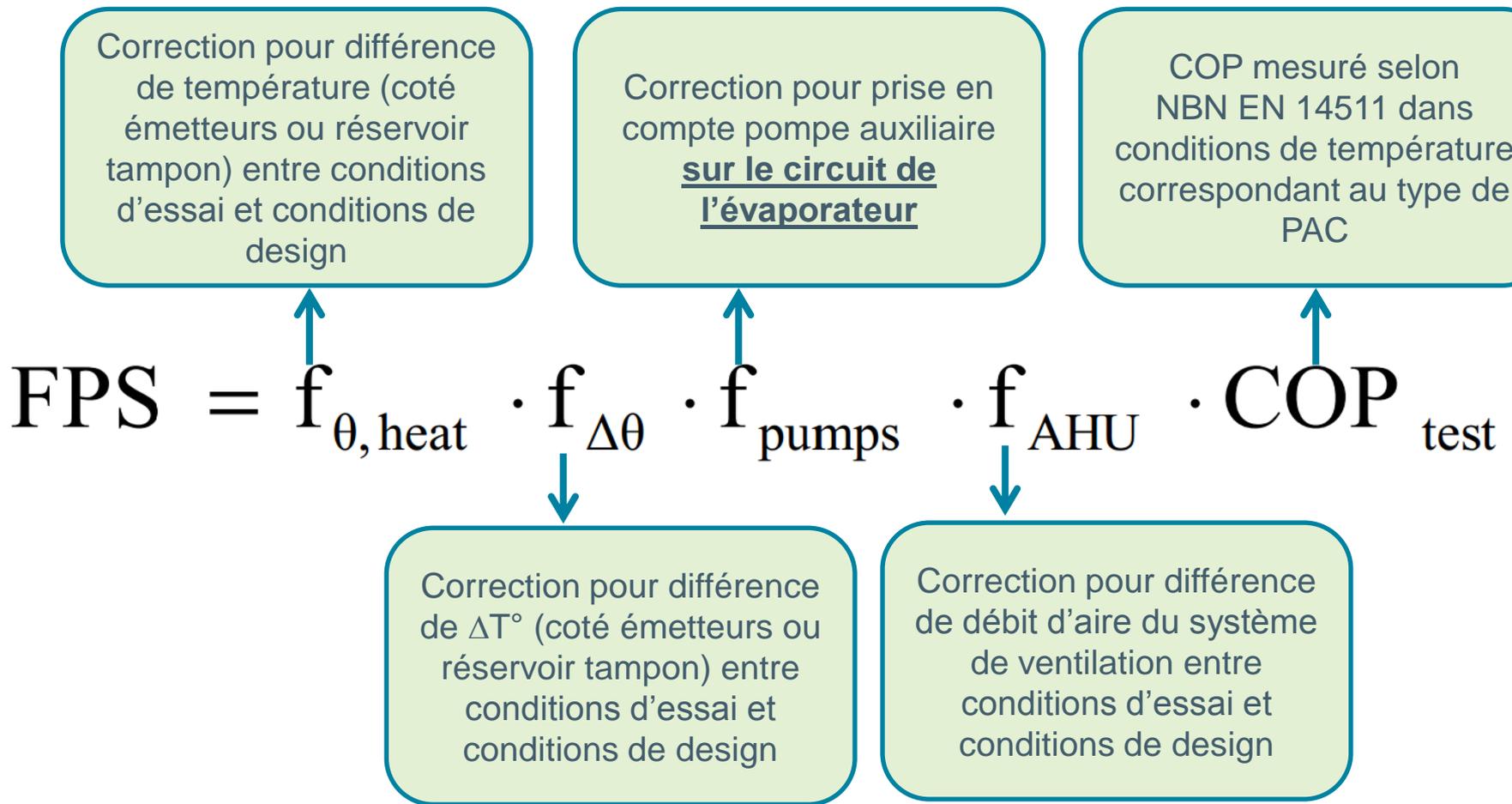
η émission	89 %
η distr.	100 %
η stockage	100 %
	89 %
	102 %

Tableau des résultats (à droite) :

Résultats
Calcul
f,θ
f,Δθ
f,pumps
f,AHU
FPS



Encodage PEB



Conditions d'essai sont définies par la norme NBN EN 14511



Encodage PEB

Conditions de test

Source de chaleur	Emission de chaleur	Conditions de test
sur base du tableau 3 de la NBN EN 14511-2		
air extérieur, éventuellement en combinaison avec de l'air rejeté	air recyclé, éventuellement en combinaison avec de l'air extérieur	A2/A20
air extérieur, éventuellement en combinaison avec de l'air rejeté	uniquement de l'air extérieur, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	A2/A2
uniquement de l'air extérieur	uniquement de l'air extérieur, en utilisant un appareil de récupération de chaleur	A2/A20
uniquement de l'air rejeté, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	air recyclé, éventuellement en combinaison avec de l'air extérieur	A20/A20
uniquement de l'air rejeté, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	uniquement de l'air extérieur, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	A20/A2
uniquement de l'air rejeté, en utilisant un appareil de récupération de chaleur	air recyclé, éventuellement en combinaison avec de l'air extérieur	A2/A20



Encodage PEB

Conditions de test

sur base du tableau 5 de la NBN EN 14511-2		
sol par l'intermédiaire d'un circuit hydraulique	air recyclé, éventuellement en combinaison avec de l'air extérieur	B0/A20
sol par l'intermédiaire d'un circuit hydraulique	uniquement de l'air extérieur, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	B0/A2
sol par l'intermédiaire d'un circuit hydraulique	uniquement de l'air extérieur, en utilisant un appareil de récupération de chaleur	B0/A20
sol par l'intermédiaire d'eau souterraine	air recyclé, éventuellement en combinaison avec de l'air extérieur	W10/A20
sol par l'intermédiaire d'eau souterraine	uniquement de l'air extérieur, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	W10/A2
sol par l'intermédiaire d'eau souterraine	uniquement de l'air extérieur, en utilisant un appareil de récupération de chaleur	W10/A20



Encodage PEB

Conditions de test

sur base du tableau 7 de la NBN EN 14511-2		
sol par l'intermédiaire d'un circuit hydraulique	eau	B0/W35
sol par l'intermédiaire d'eau souterraine	eau	W10/W35
sur base du tableau 12 de la NBN EN 14511-2		
uniquement de l'air extérieur, éventuellement en combinaison avec de l'air rejeté, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	eau	A2/W35
uniquement de l'air rejeté, sans utilisation d'un appareil de récupération de chaleur	eau	A20/W35



Encodage PEB

Donnée d'entrée nécessaires

Symbole	Description	Unité	Utilisé pour évaluer
Données produits (à fournir par le fabricant)			
$\Delta\theta_{\text{test}}$	L'augmentation de température (de l'eau) au condenseur durant la mesure du COP_{test}	°C	$f_{\Delta\theta}$
P_{HP}	La puissance électrique de la pompe à chaleur selon la norme NBN EN 14511 dans les conditions d'essai prescrites	kW	f_{pumps}
V_{max}	Le débit d'air maximal dans l'installation	m ³ /h	f_{AHU}
V_{test}	Le débit d'air dans l'installation lors de l'essai selon la norme NBN EN 14511	m ³ /h	f_{AHU}
Données liées à la conception de l'installation			
$\theta_{\text{supply,design}}$	La température de départ de conception vers le système d'émission de chaleur (ou le ballon de stockage interposé)	°C	$f_{\theta, \text{heat}}$
$\Delta\theta_{\text{design}}$	La différence entre la température de départ $\theta_{\text{supply,design}}$ et de retour lors de la conception du système d'émission (ou du ballon de stockage interposé)	°C	$f_{\Delta\theta}$
P_{pumps}	La puissance électrique de la (des) pompe(s) de circulation sur le circuit de l'évaporateur (source de chaleur)	kW	f_{pumps}
V_{supply}	Le débit d'alimentation de conception dans l'installation	m ³ /h	f_{AHU}
V_{extr}	Le débit d'évacuation de conception dans l'installation	m ³ /h	f_{AHU}



$$\text{FPS} = f_{\theta, \text{heat}} \cdot f_{\Delta\theta} \cdot f_{\text{pumps}} \cdot f_{\text{AHU}} \cdot \text{COP}_{\text{test}}$$

Encodage PEB

Exemple encodage :
valeurs par défaut v.s. encodage détaillé

Paramètres de calcul		Valeur par défaut	Facteur de correction par défaut	Exemple de valeur précise	Exemple de facteur de correction (précis)
Température de départ de conception	$\theta_{\text{supply,design}}$	55°C	0,88 (chauffage de surface) (0.53 si radiateurs !!)	40°C	1,03
Différence de température de conception entre le départ et le retour	$\Delta\theta_{\text{design}}$	-	0,93	5°C	1,00
Augmentation de la température de l'eau du condenseur lors de la mesure	$\Delta\theta_{\text{test}}$			5°C	
Rapport des puissances électriques de la pompe de circulation et de la pompe à chaleur	$P_{\text{pumps}}/P_{\text{HP}}$	-	0,83	0,5kW/5kW	0,91
Facteur de correction total		0,88 x 0,93 x 0,83 = 0,68		1,03 x 1,00 x 0,91 = 0,94	



Outils, sites internet, etc... intéressants :

- Info sur le site de Bruxelles Environnement :
<http://www.environnement.brussels/thematiques/energie/quest-ce-que-lenergie-verte/les-pompes-chaleur>
- Brochure éditée par la région wallonne : <http://energie.wallonie.be/fr/les-pompes-a-chaleur.html?IDC=6190&IDD=26697>
- <http://www.energieplus-lesite.be>
- Info-fiche du CSTC pour l'encodage d'une pompe à chaleur dans le logiciel PEB
<http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=publications&sub=infofiches&pag=48&art=4>
- Information sur « l'Ecodesign » :
<http://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficient-products/heaters>
- Monitoring de PAC installées en direct : <http://www.liveheatpump.be>
- Fiches de l'AFPAC sur la problématique des nuisances sonore en aérothermie :
http://www.afpac.org/sites/default/files/afpac_fiche_acoustique_n1_v11_2014.pdf
http://www.afpac.org/sites/default/files/afpac_fiche_acoustique_n2_v11_2014.pdf



Références Guide Bâtiment Durable et autres sources :

- Guide Bâtiment Durable:
<http://www.bruxellesenvironnement.be/guidebatimentdurable>
Fiches G_ENE08 et G_ENE10



Introduction

Bruxelles Environnement a mis au point le présent GUIDE BÂTIMENT DURABLE pour soutenir la conception et la réalisation de bâtiments à haute qualité environnementale prenant en compte le confort, la qualité de vie et la santé des occupants, ainsi que la faisabilité économique. Ce guide identifie les différentes solutions concrètes qu'il est possible de mettre en œuvre en matière de construction et rénovation durables dans une métropole comme Bruxelles. Outil de référence, il s'adresse aux concepteurs et à leurs interlocuteurs que sont les maîtres d'ouvrage et les entrepreneurs.

[Plus d'info](#)



13 janv. 2014 - **Séminaire Bâtiment durable - Exigences PEB passif 2015, par où commencer ?**

Comment construire en adéquation avec la nouvelle réglementation? Découvrez la réponse le 13 février 2014 de 8h30 à 16h3 ...

13 janv. 2014 - **Séminaire Bâtiment Durable - Minimiser et valoriser les déchets de chantier**

Intéressé(e) ? Inscrivez-vous au séminaire du 24 janvier 2014 de 9h00 à 13h00 à Bruxelles

[Toutes les actualités](#)



Gestion du projet, chantier, bâtiment



Environnement physique



Energie



Mobilité



Environnement humain



Eau



Développement de la nature



Matière



Bien être, confort et santé



Ce qu'il faut retenir de l'exposé

- Éléments permettant de garantir les meilleures performances
 - ▶ Performance de la PAC (cf label ecodesign)
 - ▶ Performances énergétiques du bâtiment
 - ▶ Dimensionnement de l'installation
 - ▶ Système d'émission (très) basse température
 - ▶ Régulation paramétrée correctement et effective
- Les performances des PAC sont très sensibles à tous les éléments évoqués
=> nécessité de monitorer en continu les performances!



Contact

Raphaël Capart

Responsable de projet

ICEDD

 : 051 25 04 80

E-mail : rc@icedd.be

