

FORMATION BATIMENT DURABLE

CHAUFFAGE ET EAU CHAUDE SANITAIRE : CONCEPTION

PRINTEMPS 2025

Production de chaleur

Présentation des différents types de producteurs et critères de choix



bruxelles
environnement
leefmilieu
brussel
.brussels

Pierre GUSTIN
écorce
INGÉNIERIE CONSULTANCE



- ▶ Obtenir une vue d'ensemble des systèmes de production de chauffage dans le logement et le tertiaire
- ▶ Mettre en avant les avantages et inconvénients de chaque système



SOURCE D'ÉNERGIE

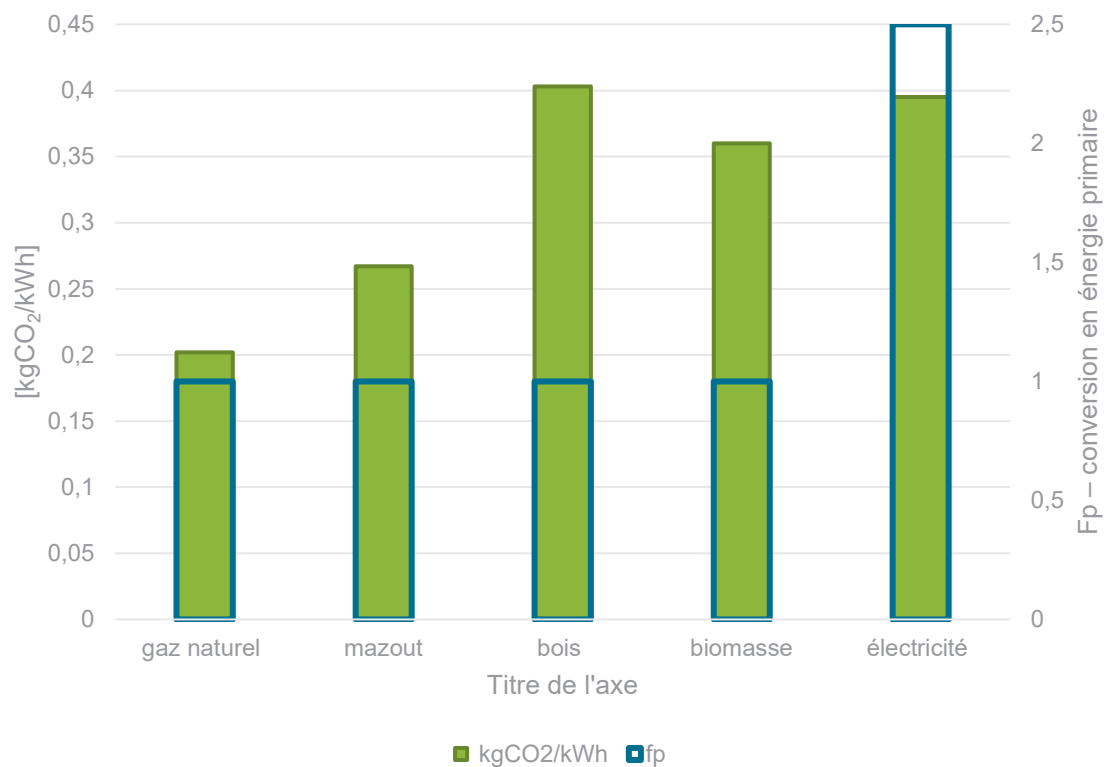
A COMBUSTION

THERMODYNAMIQUE

SOLAIRE



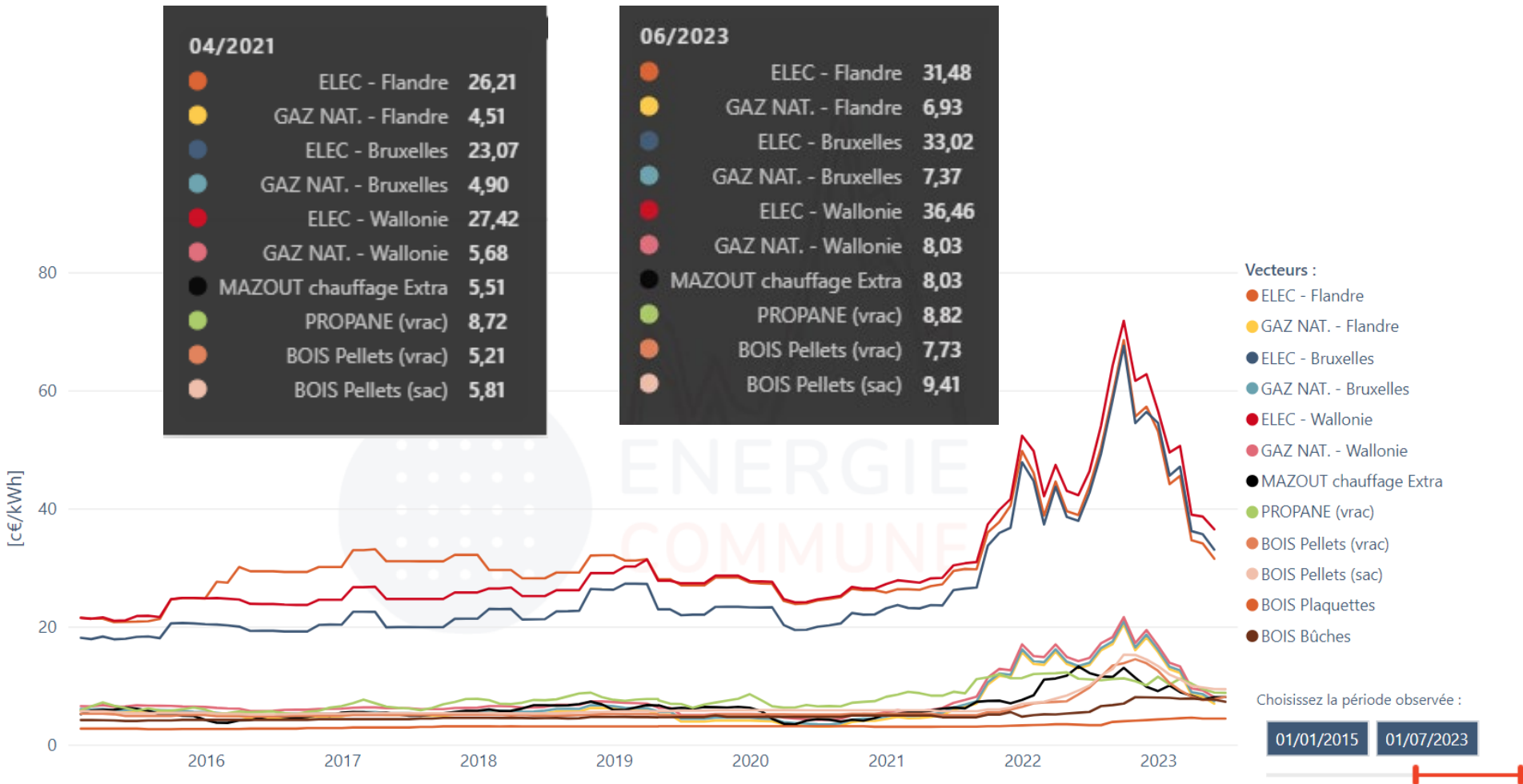
Facteurs de conversion



Source : AGBC



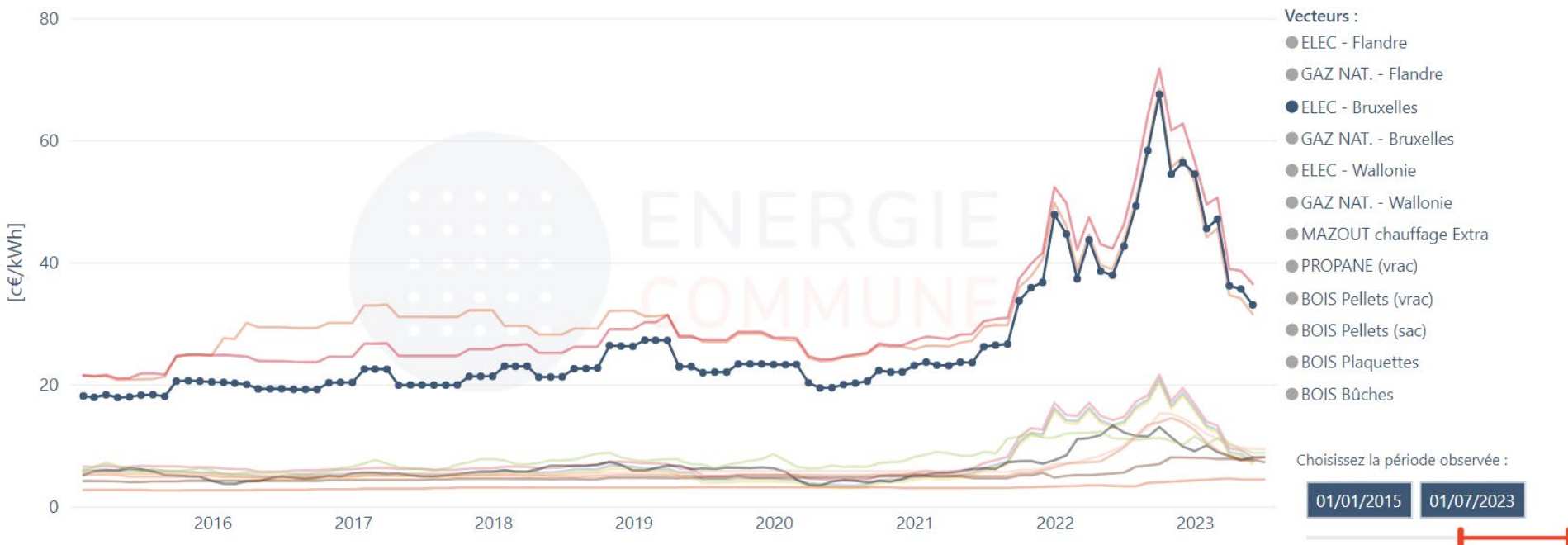
Evolution des prix de l'énergie pour les ménages



Source : <https://energiecommune.be/statistique/prix-energie/>



Evolution des prix de l'énergie pour les ménages

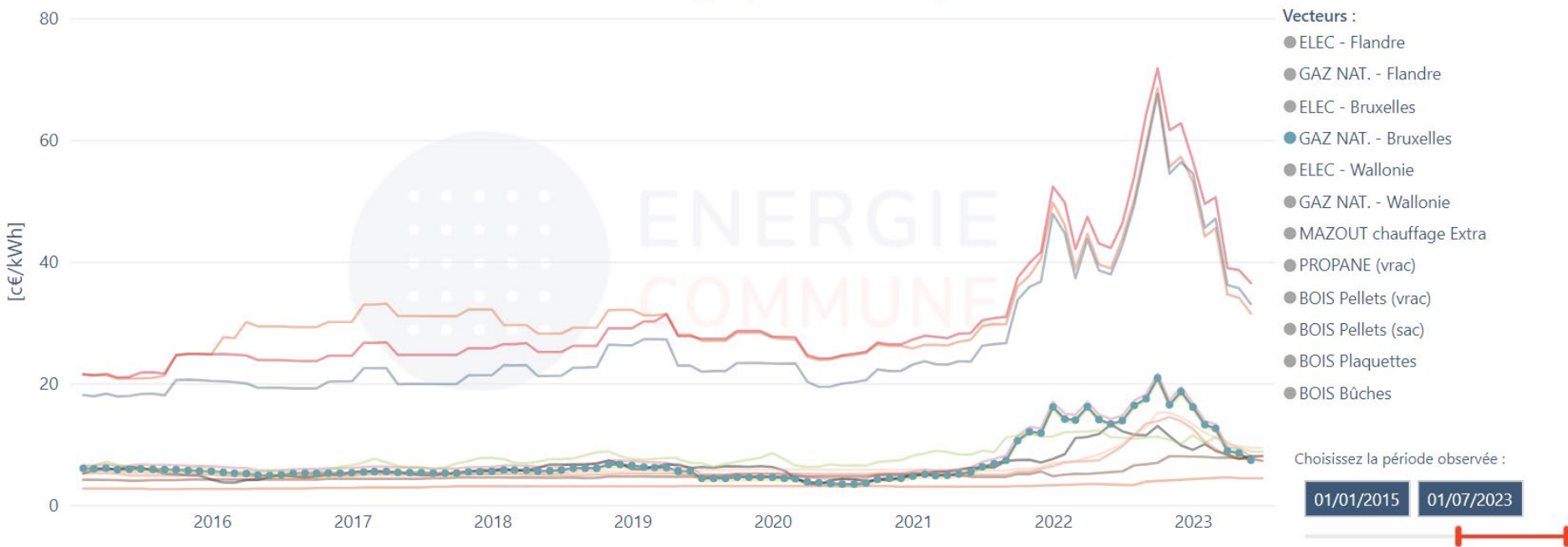


Source : <https://energiecommune.be/statistique/prix-energie/>



7 CHOISIR UNE SOURCE D'ÉNERGIE

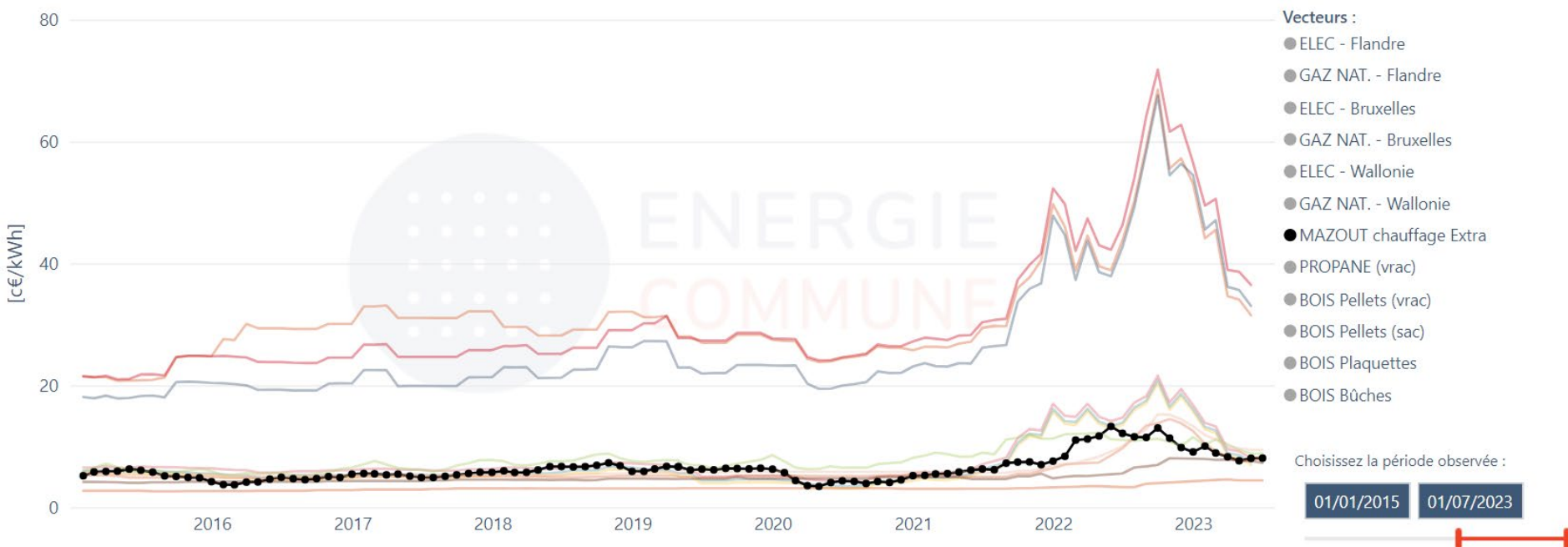
Evolution des prix de l'énergie pour les ménages



Source : <https://energiecommune.be/statistique/prix-energie/>



Evolution des prix de l'énergie pour les ménages



Source : <https://energiecommune.be/statistique/prix-energie/>



SOURCE D'ÉNERGIE

A COMBUSTION

- ▶ **Combustion**
- ▶ **Performance d'une chaudière**
- ▶ **Producteurs à combustion**

THERMODYNAMIQUE

SOLAIRE



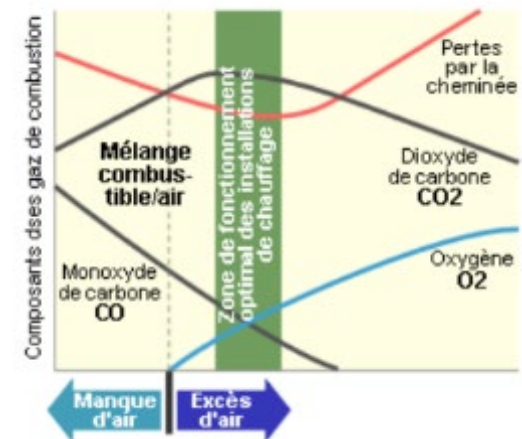
Combustion et combustible

- Réaction de la combustion :



- Hydrocarbures < gaz, fuel, bois, charbon, ...
- Air : N₂, O₂, CO₂, ...
 - L'azote contenu dans l'air forme des NO_x dans certaines conditions

	Production de CO ₂	Production de H ₂ O
1 m ³ de gaz	~ 2 kg / m ³	~ 1,7 kg/m ³
1 l de mazout	~ 3 kg / l	~ 0,9 kg/l



Source : Energie +



Pouvoir calorifique

- ▶ C'est la **chaleur** que peut dégager la **combustion complète** d'une unité de combustible
 - Pouvoir calorifique inférieur (PCI) : mesuré en conservant l'eau à l'état vapeur
 - Pouvoir calorifique supérieur (PCS) : mesuré en récupérant la chaleur de condensation de l'eau > **nécessite une chaudière à condensation !**

⇒ **PCS = PCI + chaleur latente**

	PCI	PCS	
Gaz naturel	~ 10 kWh/m ³	~ 11,11 kWh/m ³	+ 11,11 %
Mazout	~ 10 kWh/l	~ 10,64 kwh/l	+ 6,4 %
Propane	~ 6,6 kWh/l	~ 7,2 kWh/l	+ 9 %
Charbon	~ 8,7 kWh/kg	~ 9 kWh/kg	+ 3,5 %
Bois	~ 2,5 à 4 kwh/kg	~ 2,7 à 4,3 kwh/kg	+ 7,5 %
Pellets	~ 5 kWh/kg	~ 5,5 kWh/kg	+ 10 %



Performance d'une chaudière

- ▶ Caractérisée par différents rendements
 - Rendement nominal ou utile
 - Rendement de combustion
 - Rendement saisonnier



Rendement utile

- C'est le rendement instantané lorsque le brûleur fonctionne

$$\Rightarrow \eta_{\text{utile}} = P_u / P_a$$

Avec,

- P_a est la puissance contenue dans le combustible

$P_a = \text{Débit combustible} \times \text{pouvoir calorifique PCI (ou PCS)}$

- P_u est la puissance utile, la puissance fournie à l'eau de chauffage

$P_u = (P_a - \text{Pertes fumées} - \text{Pertes ambiance})$

- Le rendement instantané varie en fonction de la température de l'eau et de la puissance du brûleur par rapport à la puissance de la chaudière

$\Rightarrow$ **Le fabricant fournit un rendement nominal dans des conditions de combustion idéales à un régime d'eau défini**

- Plage de puissance

à 80/60: 489kW

à 40/30: 530kW

- Rendement

Pleine charge PCI 80/60: 97,4%

Charge partielle PCI retour 30°C: 109,5%



Rendement de combustion

- C'est l'image de la transformation complète du combustible en chaleur et de la transmission de celle-ci à l'eau de la chaudière.

$$\Rightarrow \eta_{\text{comb}} = (P_a - \text{Pertes fumées}) / P_a$$

Avec,

- P_a est la puissance contenue dans le combustible

$$P_a = \text{Débit combustible} \times \text{pouvoir calorifique PCI}$$

Rendement souvent supérieur à 100% pour les chaudières à condensation

- Le rendement instantané de combustion d'une chaudière peut être calculé selon

$$\Rightarrow \eta_{\text{comb}} = 100 - f \times (T_{\text{fumées}} - T_{\text{amb}}) / \%CO_2$$

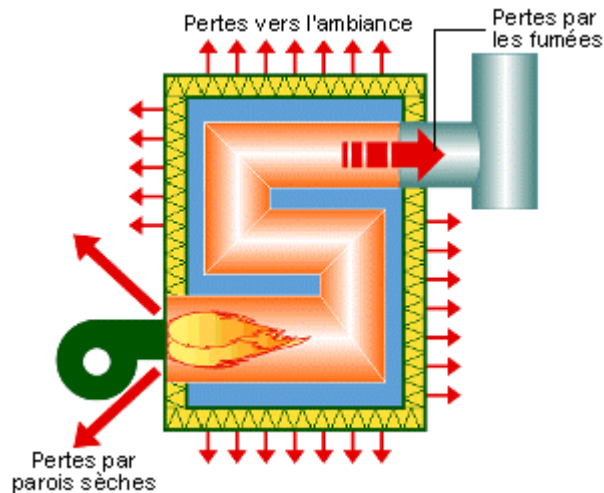
Avec,

- $T_{\text{fumées}}$ = la température des fumées à la sortie de la chaudière [°C] > **mesurable**
- T_{amb} = température ambiante de la chaufferie [°C] > **mesurable**
- $\%CO_2$ = la teneur en CO_2 des fumées [%] > **mesurable**
- f = facteur dépendant principalement du type de combustible



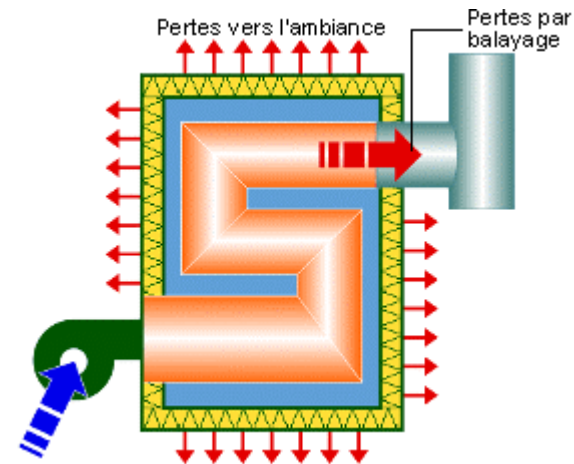
Rendement saisonnier

- C'est le rapport entre l'énergie totale transmise à l'eau de chauffage pendant toute la saison de chauffe et l'énergie contenue dans le combustible.
- Il permet de chiffrer les performances globales
- Il tient compte des pertes à l'arrêt :
 - Pertes par rayonnement et convection
 - Pertes par balayage (convection interne dans la cheminée)



Quand le brûleur fonctionne

Source : Energie +



Quand le brûleur est à l'arrêt



Aperçu des technologies existantes

- ▶ Types de chaudières
 - Chaudière sol - murale
 - Brûleur atmosphérique - à air pulsé
 - Haute température - basse température - à condensation
 - Chaudière étanche - non-étanche
 - Brûleur on/off – deux allures - modulant
- ▶ Combustibles : gaz naturel (ou propane) – mazout - bois
- ▶ Large gamme de puissances disponibles (de 1 kW à > 12MW)



Source : Ygnis



Source : Remeha



Source : ÖkoFEN



Source : AO Smith



Chaudière Sol

- ▶ Demande plus d'espace dans son installation
- ▶ Pour des maisons individuelles mais aussi de gros immeubles
- ▶ Possibilité d'avoir des chaudières à grande contenance en eau
- ▶ Large gamme de puissance 15kW à 12MW



Chaudière Murale

- ▶ Moins encombrante – Faible poids et dimensions réduites
- ▶ Bien adaptée aux appartements et maisons individuelles
- ▶ Principalement des chaudières à condensation au gaz
- ▶ Puissance de 10 à 100 kW, également la possibilité de mise en cascade pour de plus grandes puissances



Chaudière Atmosphérique

- ▶ Rampe de brûleur placée sous le foyer,
- ▶ Absence de ventilateur,
- ▶ Emissions importantes de NOx
- ▶ Pertes à l'arrêt importantes
- ▶ Très peu performant, rendement faible (entre 85% et 92%)
- ▶ **En voie de disparition !**



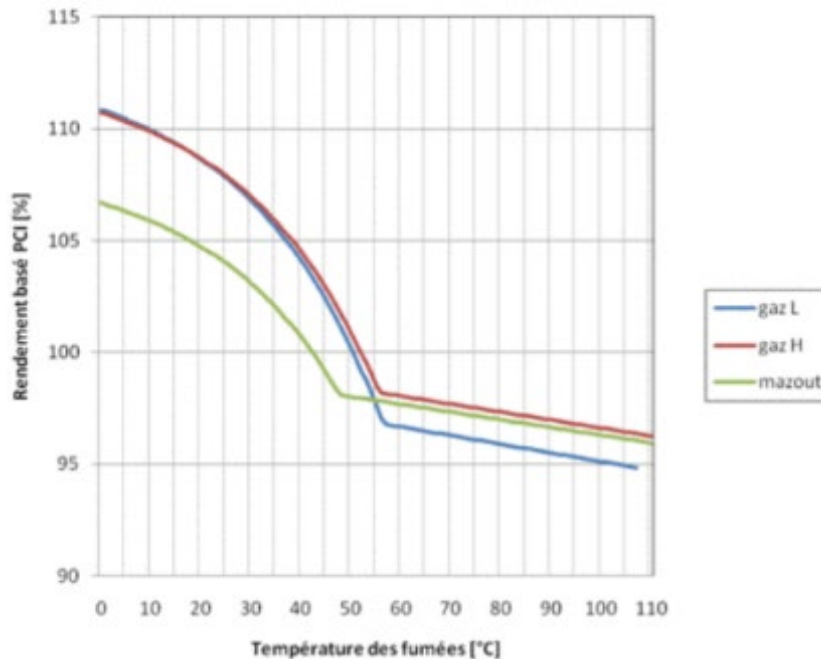
Chaudière à brûleur pulsé

- ▶ Brûleur choisi indépendamment de la chaudière (mazout ou gaz)
- ▶ Brûleur équipé d'un ventilateur
- ▶ Pertes à l'arrêt assez faible
- ▶ Rendement dépend du réglage
- ▶ Rendement utile ~ 84 .. 90 %
(voir plus pour les chaudières à condensation !)

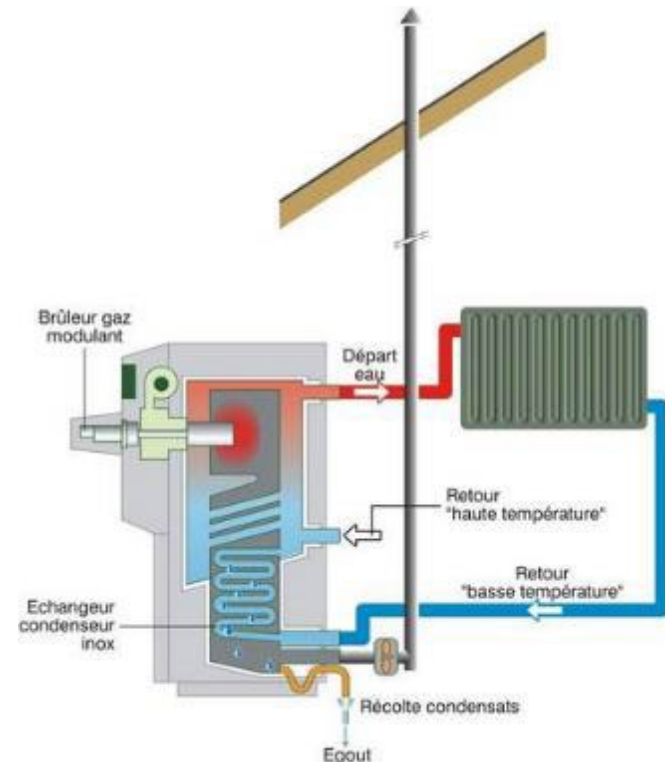


Chaudière à condensation

- ▶ Condensation de la vapeur d'eau présente dans les fumées grâce à un échangeur
- ▶ Rendement ~ 95 .. 108 % (sur PCI)
- ▶ Régime de température plus bas



Source/Bron : energie+



⇒ Il est possible d'utiliser un condenseur séparé, rajouté à une chaudière traditionnelle, pour augmenter son rendement.



Chaudière à condensation



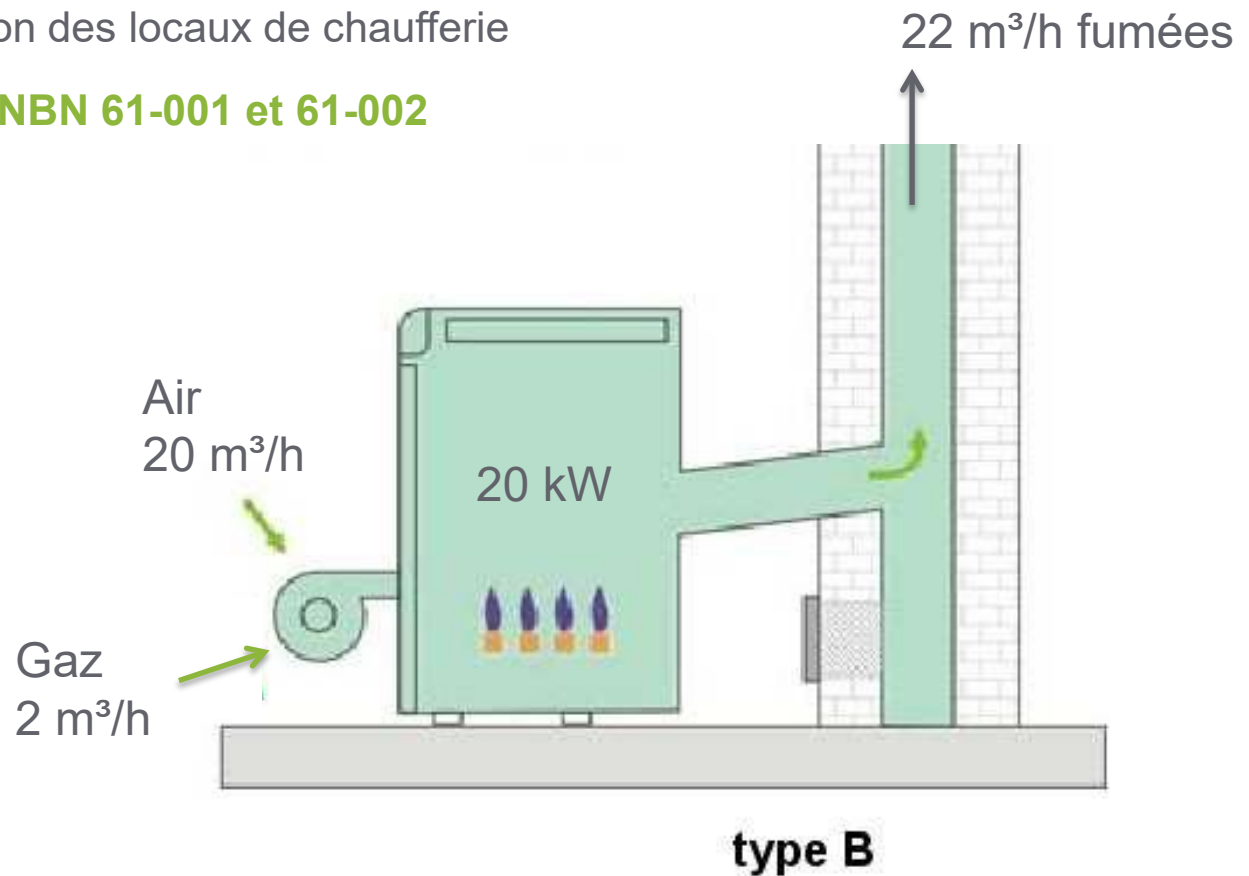
Source/Bron : Vaillant



Chaudière non étanche

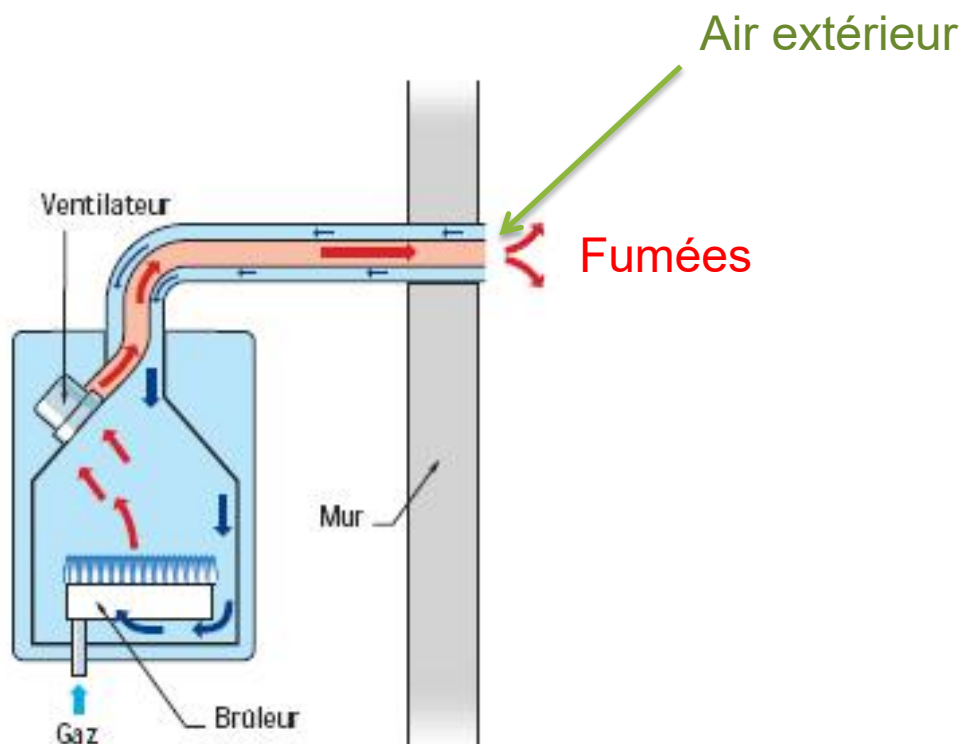
- ▶ Une chaudière est dite « non-étanche » lorsqu'elle prélève l'air dans le local de chaufferie
- ▶ Classification de la chaudière: type B
- ▶ Prévoir la ventilation des locaux de chaufferie

⇒ **Normes NBN 61-001 et 61-002**

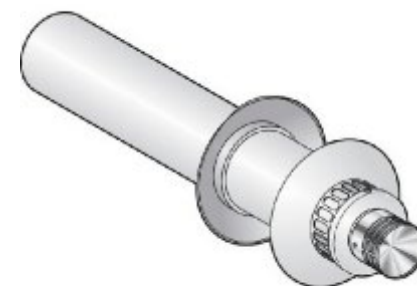


Chaudière étanche

- Une chaudière est dite « étanche » lorsque son fonctionnement est indépendant de l'air du local où elle est installée. Ce principe est également appelé « ventouse ».



Principe de fonctionnement



Conduit concentrique pour chaudière étanche

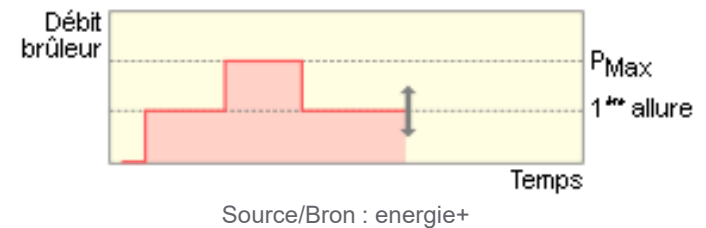


Brûleur on/off

- ▶ « Tout ou rien »

Brûleur deux allures

- ▶ Enclenché en première allure, passe en seconde allure si nécessaire



Brûleur deux allures progressives

- ▶ Présente deux niveaux de puissance
- ▶ Le passage de la première à la seconde allure est progressif

Brûleur modulant

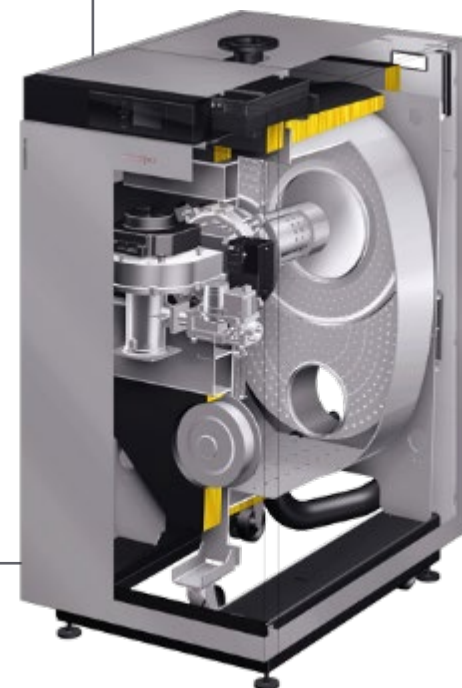
- ▶ Toutes les allures de fonctionnement sont possibles
- ▶ Module dans une gamme de puissance
 - > donné sur la fiche technique de l'appareil – ex: entre 6 et 24 kW



Chaudières gaz ou mazout à condensation

« Système tout terrain »

+	-
▶ Technologie fiable et concurrentielle ▶ Rendement élevé (condensation) ▶ Coût d'entretien modéré ▶ Large gamme de puissance ▶ Large plage de température de production (BT, HT et ECS) ▶ Modulation de puissance aisée	▶ Coût du combustible dépendant du marché ▶ Energie fossile ▶ Intégration cheminée ▶ Stockage (mazout) ▶ Réglementation (chaufferie)



Boiler gaz à condensation

« Idéal pour les besoins d'ECS conséquents avec des pics importants »

+	-
▶ Production d'ECS indépendante du chauffage ▶ Rendement élevé (favorise la condensation) ▶ Coût d'entretien modéré	▶ Au gaz uniquement ▶ Encombrement ▶ Pertes de stockage ▶ Intégration cheminée



Chaudière biomasse

« Peu adapté dans un contexte urbain »

+	-
▶ Large gamme de puissance ▶ Large plage de température de production (BT, HT et ECS) ▶ Modulation de puissance ▶ Combustible renouvelable ▶ Revalorisation des déchets de bois (si local)	▶ Encombrement : ▶ Ballon tampon ▶ Combustible ▶ Approvisionnement ▶ Coût d'entretien plus élevé ▶ Evacuation cendres ▶ Particules fines ▶ Intégration cheminée ▶ Rendement moindre (<> gaz et mazout)



Chaudière pellet - Stockage



Poêle pellet

« Comme agrément ou pour logements très performants »

+	-
▶ Comme agrément ▶ <u>OU</u> Peut remplacer un système de chauffage central dans des logements très performants ▶ Modulation de puissance ▶ Existe en version « hydraulique » pour l'alimentation de corps de chauffe ou la production d'eau chaude (prévoir complément en été)	▶ Approvisionnement et stockage combustible ▶ Evacuation cendres ▶ Particules fines ▶ Intégration cheminée



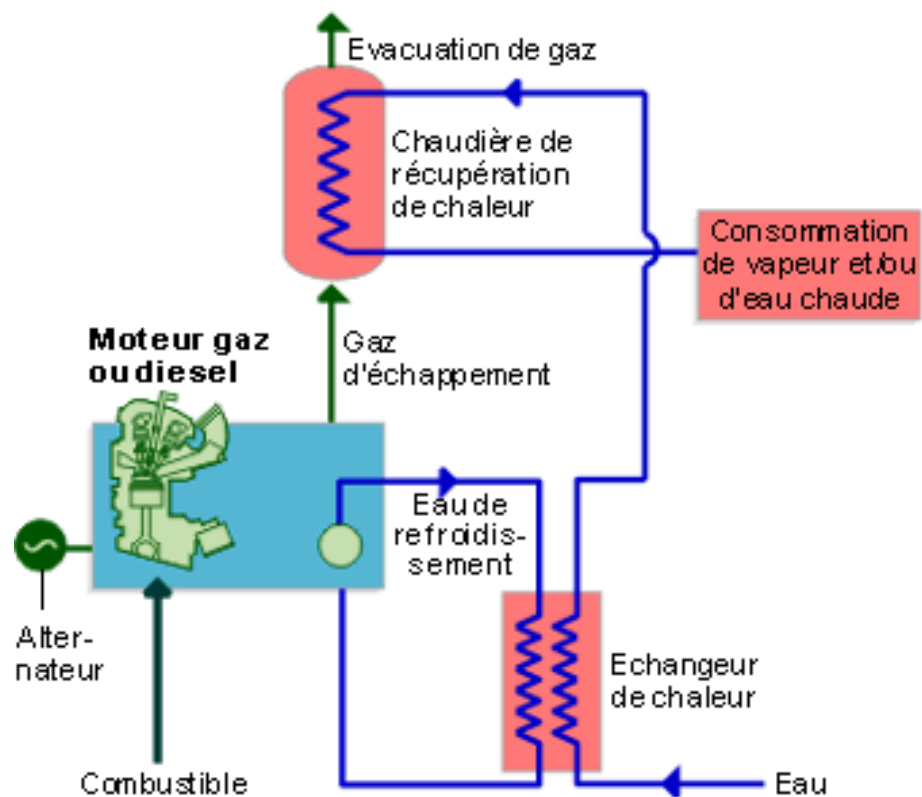
Cogénération

« Adapté en cas de besoin de chaleur conséquent et constant »

+	-
► Production simultanée de chaleur et d'électricité ► Multi-combustible : gaz, mazout, biomasse ► A partir de 5kWth ► Economie d'énergie par rapport à production indépendante (de chaleur ou d'électricité)	► Coût élevé ► Maintenance élevée ► Encombrement (ballon) ► Nécessite des besoins de chaleur et d'électricité simultanés et réguliers ► Intégration cheminée ► Acoustique plus complexe ► Nécessite un système de production complémentaire



Cogénération



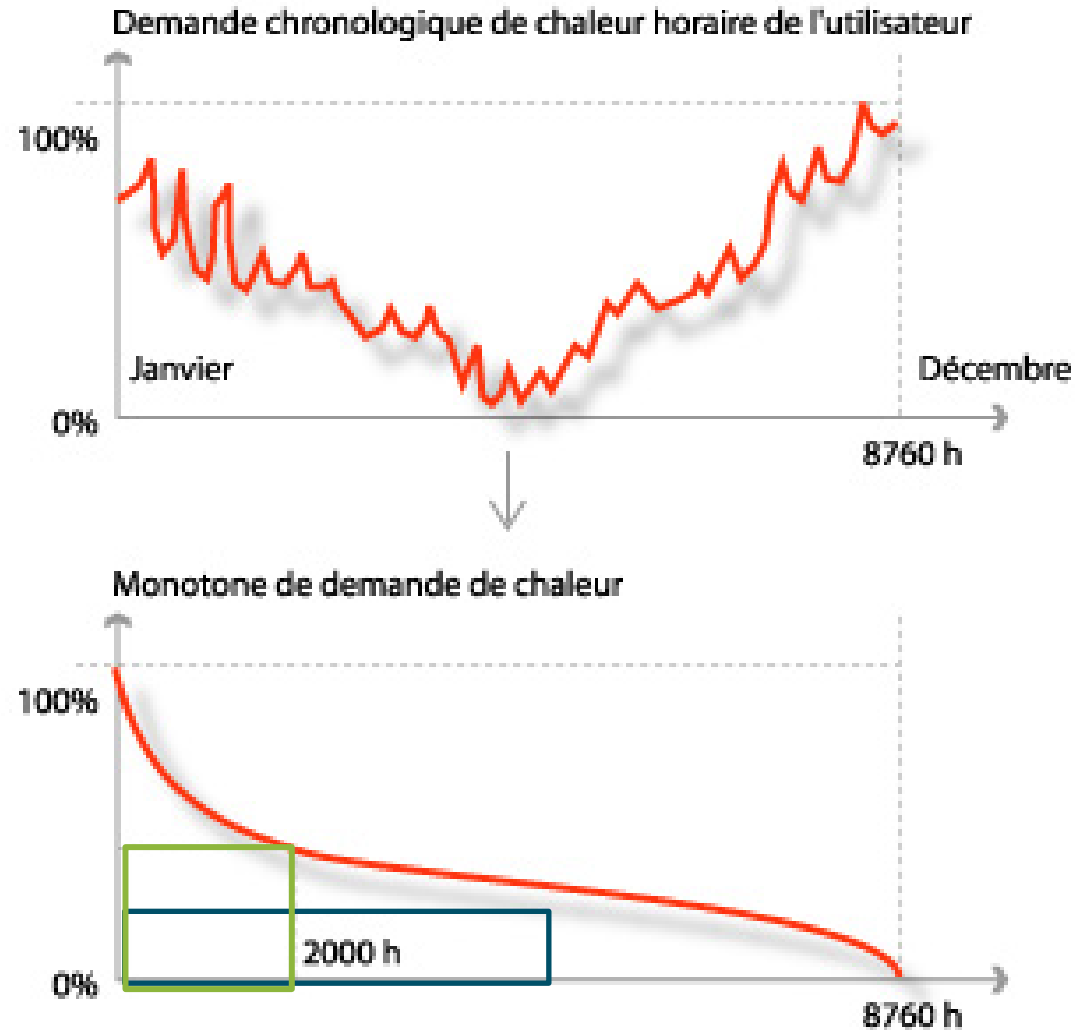
Source : ICEDD



Source : Enersol



Cogénération



SOURCE D'ÉNERGIE

A COMBUSTION

THERMODYNAMIQUE

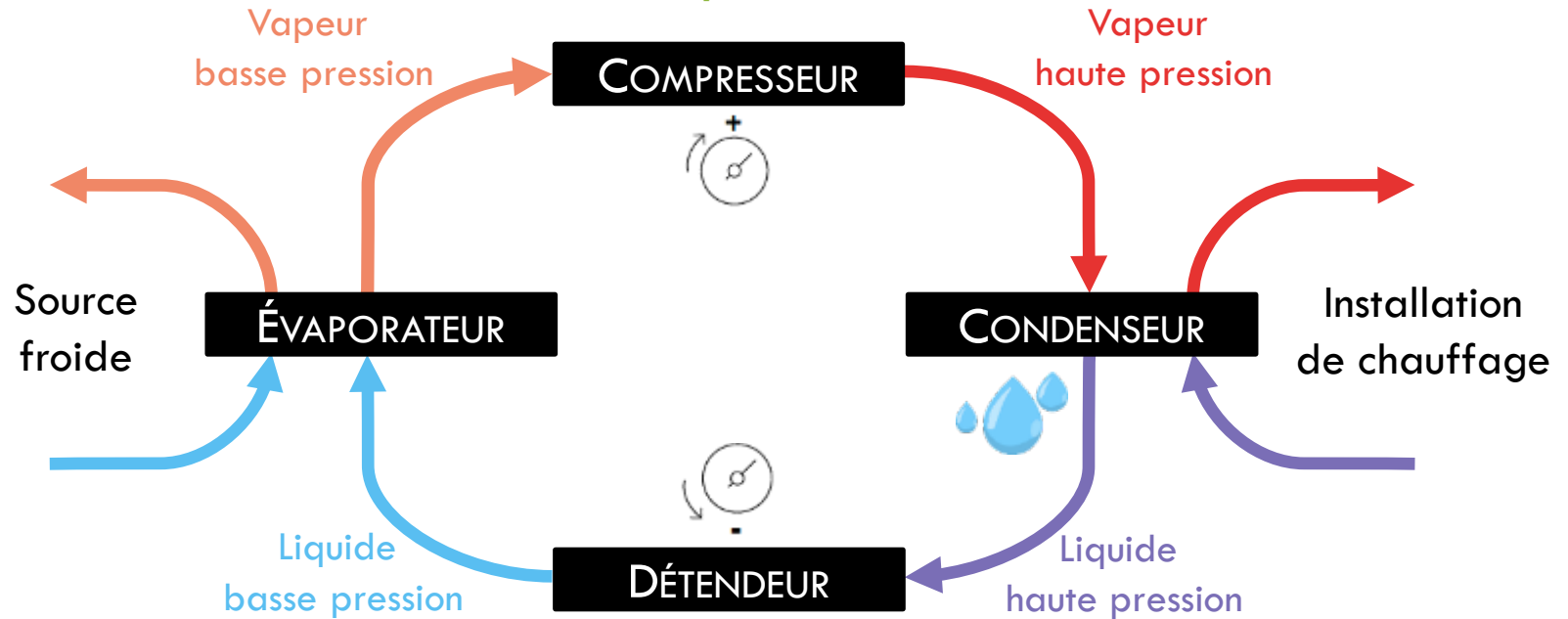
SOLAIRE



Pompe à chaleur

- ▶ A compression mécanique ou « chimique »
- ▶ Sur eau/air
- ▶ Production BT ou HT,
- ▶ Chauffage et/ou ECS
- ▶ Réversible ?

⇒ **COP = Puissance thermique du condenseur / Puissance absorbée**



Source froide

- ▶ Le sol (= géothermie de surface)
- ▶ L'air (= aérothermie)
- ▶ L'eau (= hydrothermie)
- ▶ La chaleur perdue (air vicié, process...)

PAC aérothermique



Echangeur statique



Echangeur dynamique

PAC géothermique



Captage horizontal



Captage vertical

PAC hydrothermique



Eau de surface

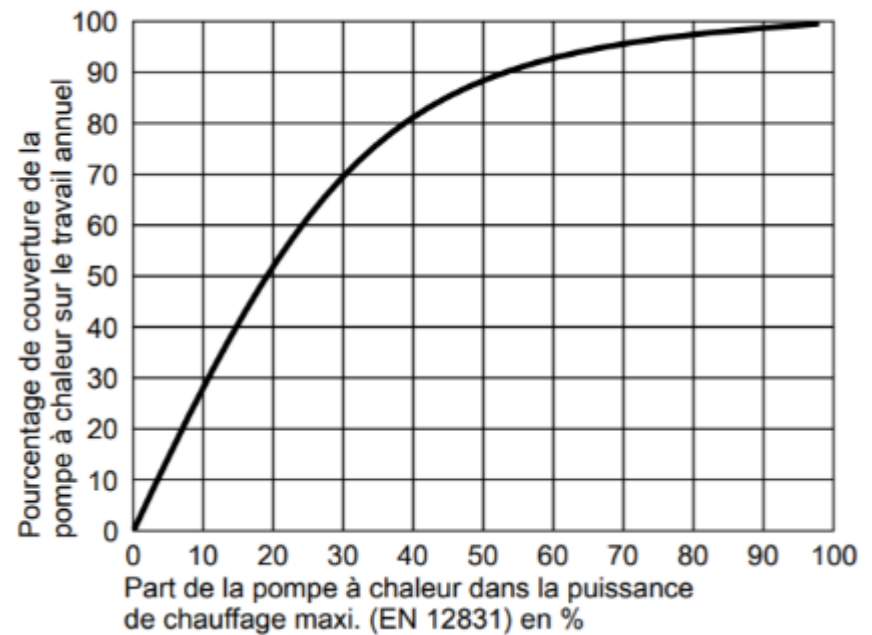
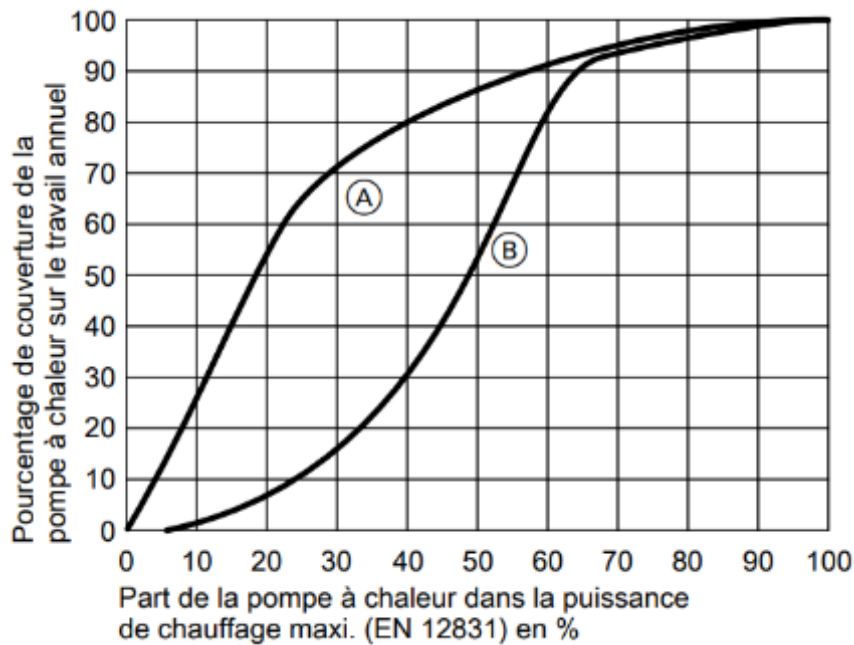


Eau souterraine



Pompe à chaleur – Types de fonctionnement

- ▶ Monovalent
- ▶ Monoénergétique
- ▶ Bivalent parallèle ou en relève



Pompe à chaleur aérothermique

« Facilité de mise en œuvre »

+	-
▶ Possibilité de fonctionner à basse ou haute température ▶ Réversible ▶ Pas de cheminée ▶ Pas d'amenée de combustible ▶ Large gamme de puissance ▶ Peut être combiné à du PV	▶ Investissement plus élevé qu'une chaudière ▶ Utilisation de fluides frigorigènes (effet serre) ▶ Nécessite réseau électrique adapté ▶ Appoint souvent nécessaire ▶ Performance et puissance dépendantes des températures sources chaudes et froides, en baisse avec la $T^{\circ}\text{ext.}$ ➔ La performance et la puissance sont moindres lorsque la demande est importante.



Variantes PAC aérothermiques

► Split air-air

Unité intérieure murale →



← Unité intérieure d'allège



Unité intérieure de plafond (intégrée) →



Unité extérieure



Unité intérieure gainable (faux plafond) →



← Unité intérieure de plafond (apparente)



Variantes PAC aérothermiques

- Split air-eau

Petite puissance →



Source / Bron : Aermec

Grande puissance →



Source / Bron : Öchsner



Variantes PAC aérothermiques

- Monobloc

Petite puissance →



Source / Bron : Aermec

Grande puissance →



Pompe à chaleur aérothermique

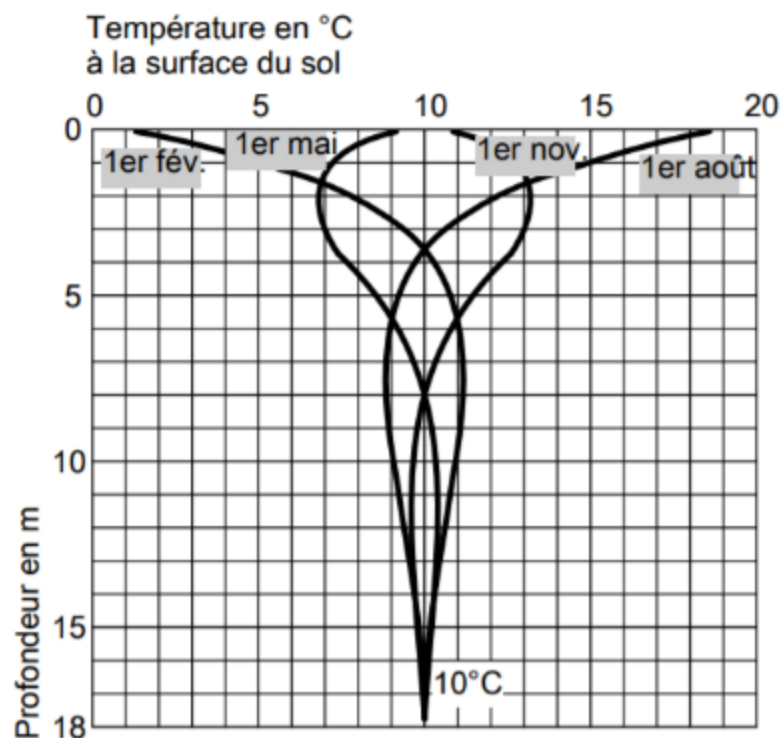
Version hybride PAC aérothermique/chaudière gaz



Source / Bron : Daikin



Pompe à chaleur géothermique



Courbe de température dans un sol stable en fonction de la profondeur et de la saison

Source / Bron : Viessmann



Pompe à chaleur géothermique, géothermie fermée

« Efficacité élevée et constante »

+	-
▶ Efficacité élevée et « constante » ▶ Plus silencieux à l'extérieur ▶ Potentiel de geocooling	▶ Emprise échangeur extérieur ▶ Puissance limitée à la surface de terrain disponible ▶ Coût des sondes ▶ Dimensionnement délicat (attention épuisement sol)



Pompe à chaleur géothermique – Panier, sondes horizontales

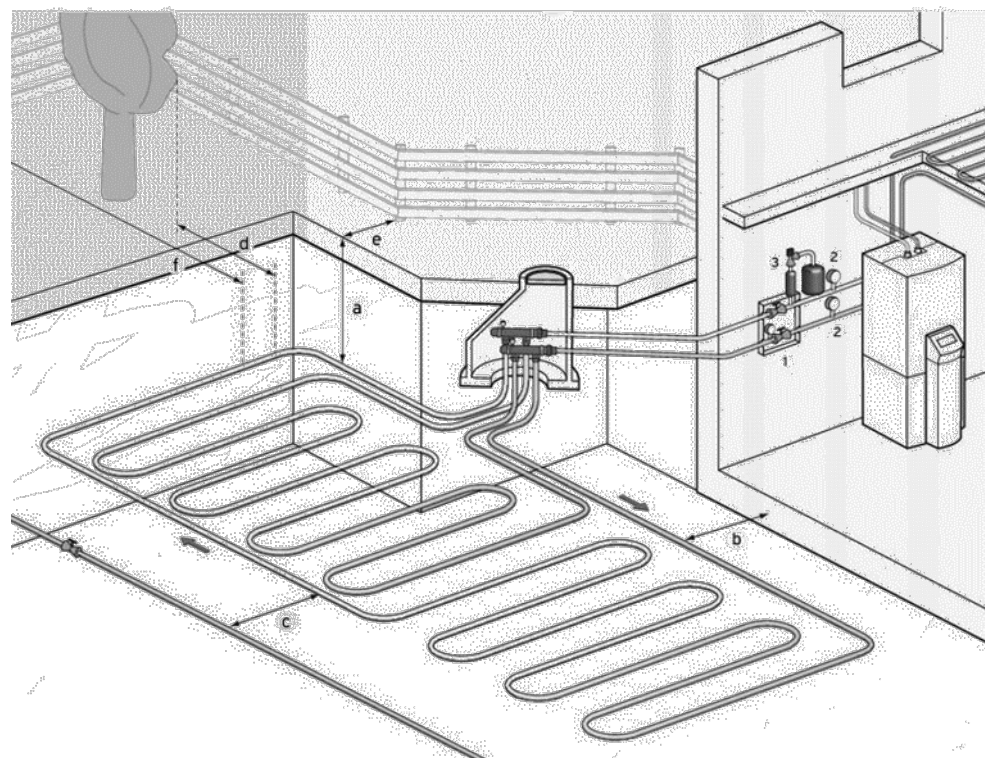
- ▶ 0,6 → 1,2 m sondes horizontales, → 5 m corbeilles



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



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

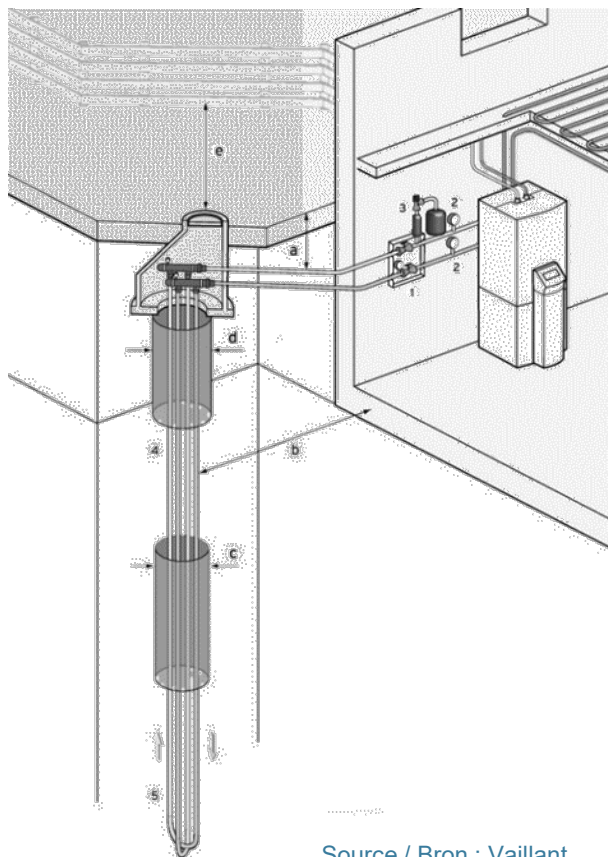


Source / Bron : Vaillant



Pompe à chaleur géothermique – Sondes verticales

► → 100-300 m



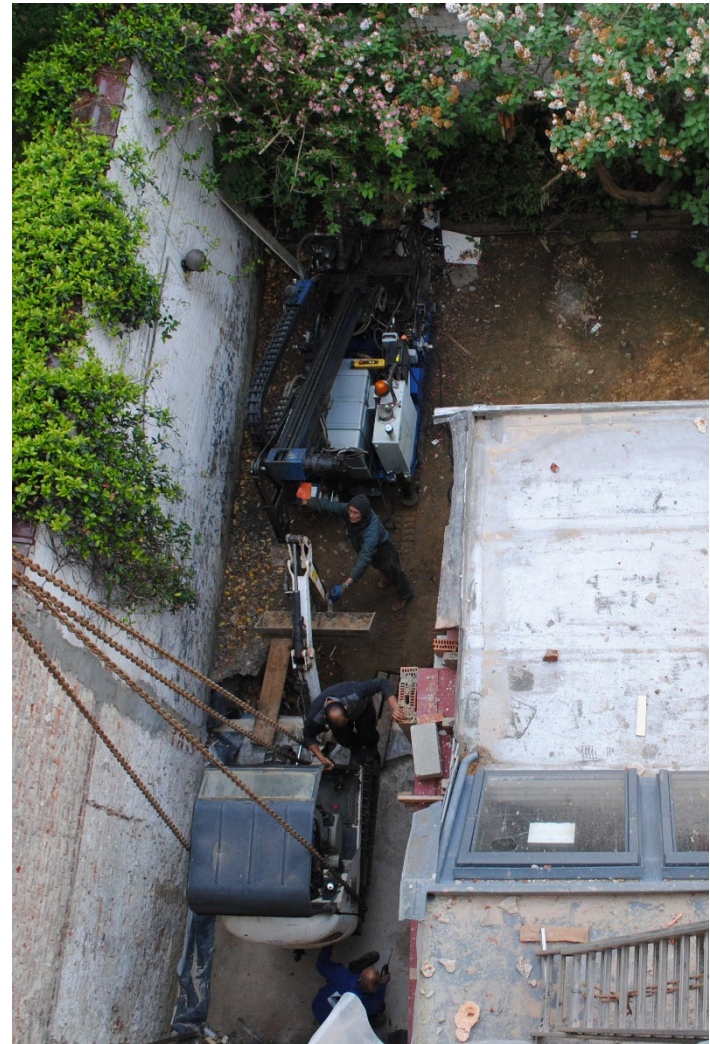
Source / Bron : Vaillant



Pompe à chaleur géothermique – Sondes verticales

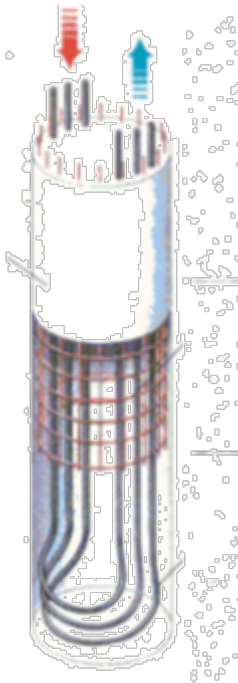


Pompe à chaleur géothermique – Sondes verticales



Pompe à chaleur géothermique – Pieux géothermiques

► → 10-30 m



Crèche de l'île aux oiseaux de Mons



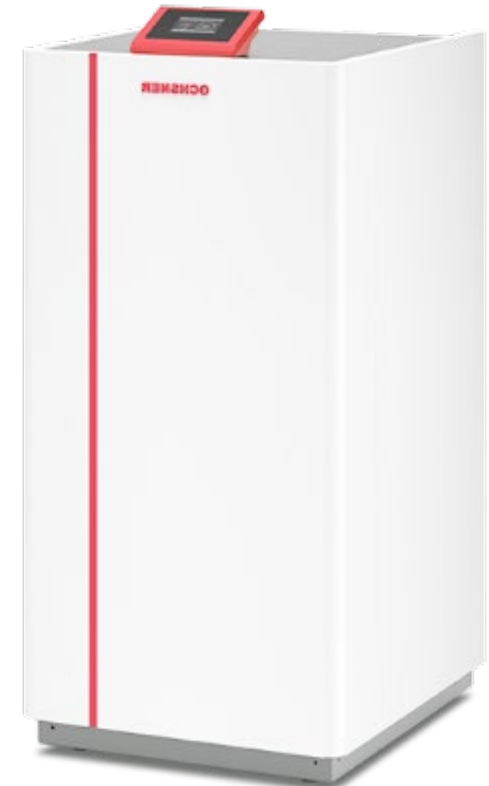
Source / Bron : EnergiePlus



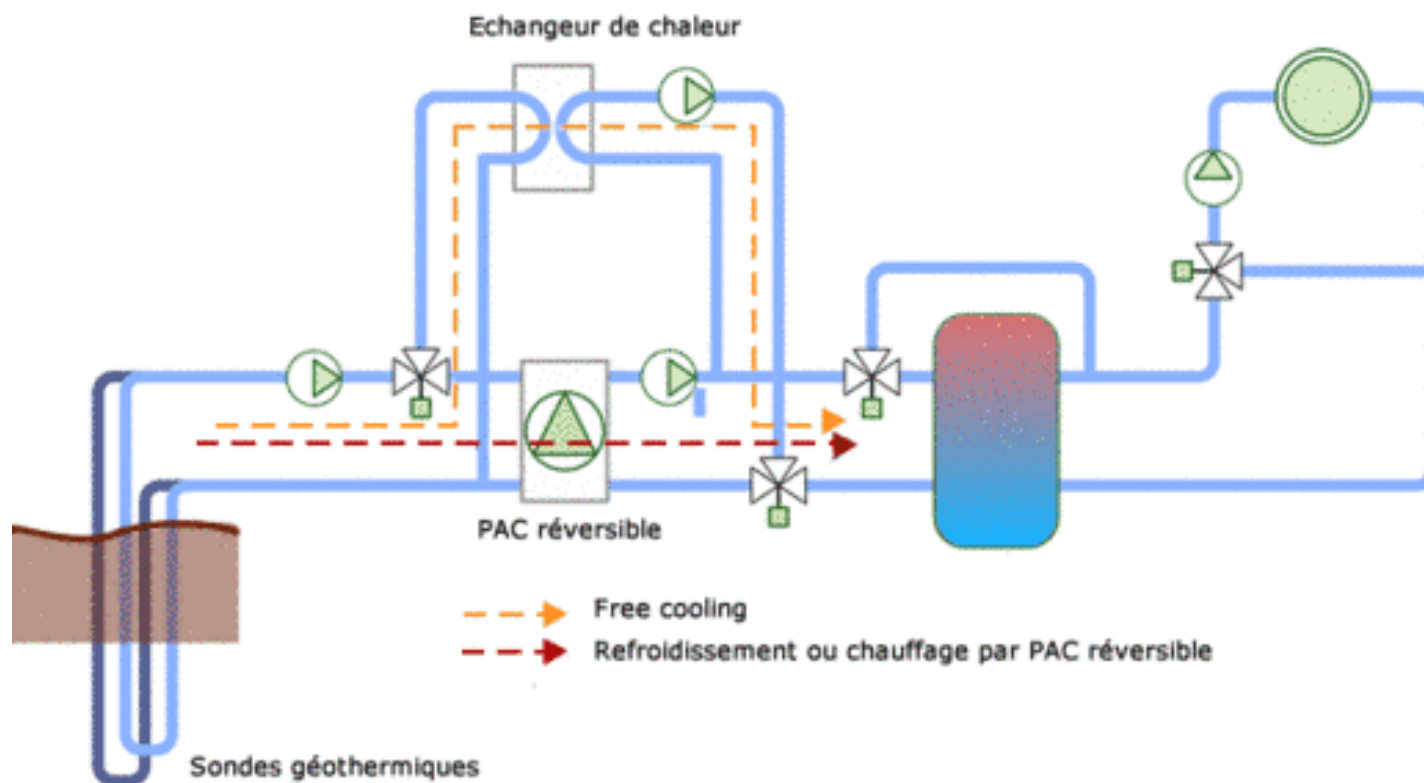
Pompe à chaleur géothermique, géothermie ouverte

« Pour les grandes puissances »

+	-
► Pour les puissances élevées (collectivités, chauffage urbain)	► Coût des études ► Coûts des forages ► Nécessite une distance importante entre forages



Pompe à chaleur – Geocooling (freecooling)



Source / Bron : <https://energieplus-lesite.be/>



Pompe à chaleur – Chauffe-eau thermodynamique

« Une alternative au traditionnel boiler électrique »

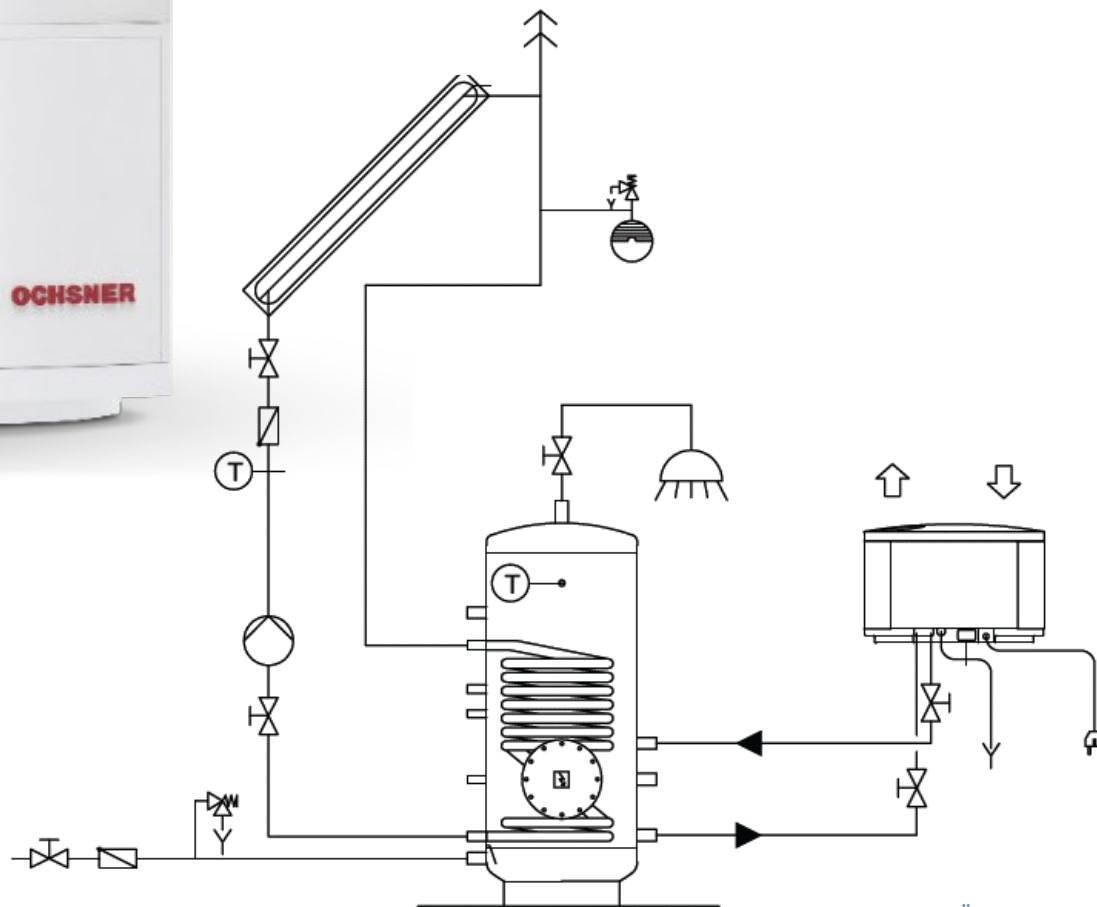
+	-
▶ Rendement élevé (comparé à un boiler électrique)	▶ Encombrement ▶ Besoins ECS limités ▶ Fonctionne sur l'air ambiant (refroidit l'ambiance), ou sur l'air extérieur si gainé. ▶ Plus bruyant qu'un boiler électrique



Source / Bron : Öchsner



Pompe à chaleur – Chauffe-eau thermodynamique



Source / Bron : Öchsner



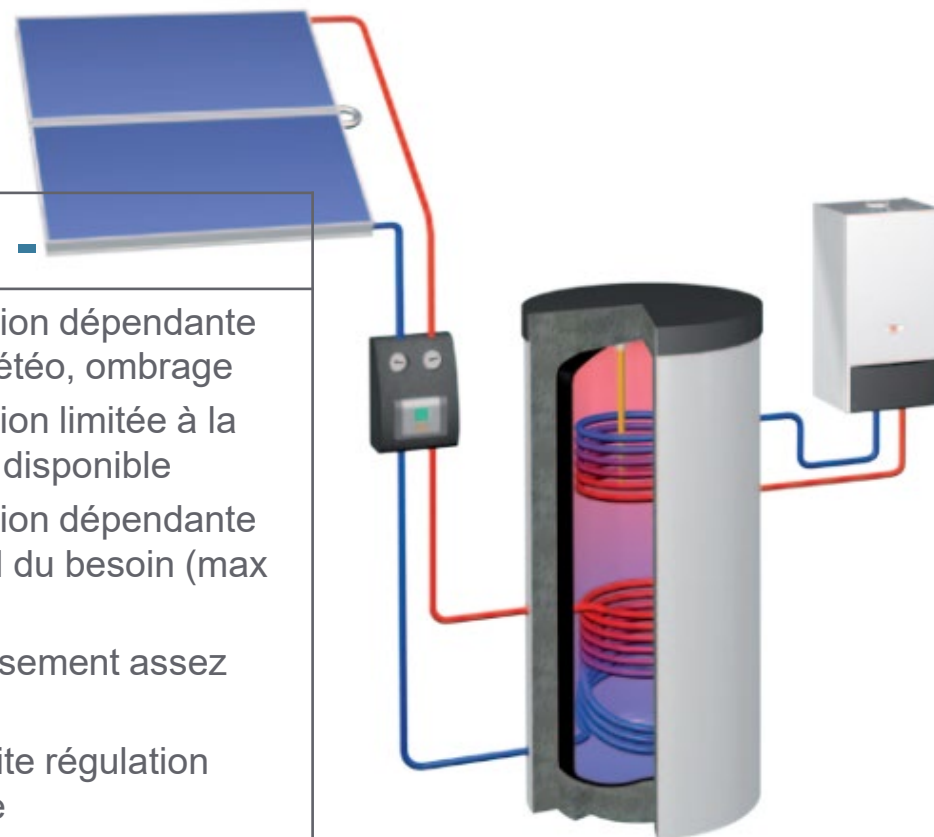
SOURCE D'ÉNERGIE
A COMBUSTION
THERMODYNAMIQUE
SOLAIRE



Panneaux solaires thermiques

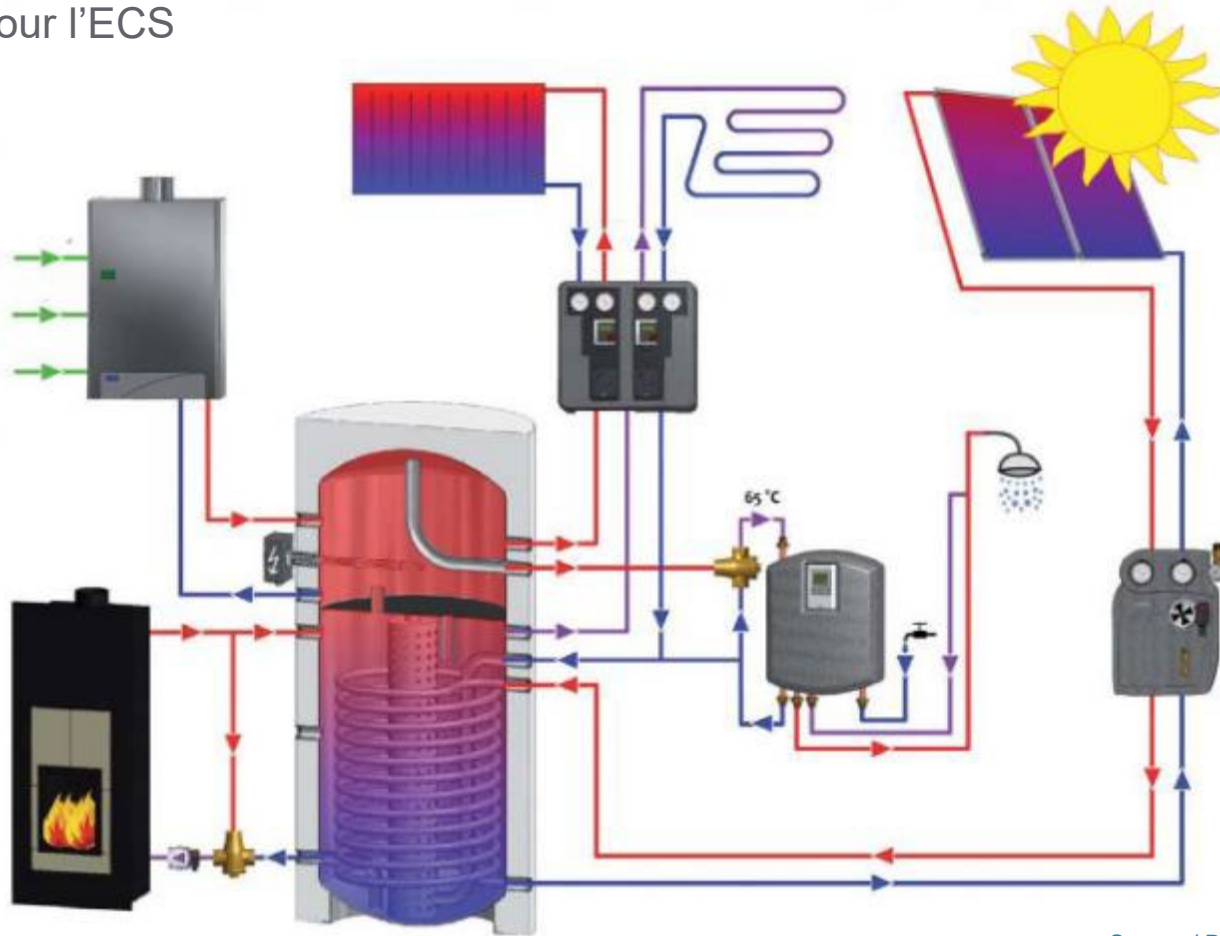
- ▶ Capteurs plans, tubes sous vide, à vidange
- ▶ Logement ou tertiaire, individuel ou collectif
- ▶ En appoint de chaudière : Chauffage + ECS

+	-
▶ Source renouvelable « à disposition » ▶ Couplage avec un autre système	▶ Production dépendante de la météo, ombrage ▶ Production limitée à la surface disponible ▶ Production dépendante du profil du besoin (max 50 %) ▶ Investissement assez élevé ▶ Nécessite régulation adaptée



Panneaux solaires thermiques – Combinaison

- Solaire thermique en appoint du chauffage et de l'ECS
- En combinaison d'un poêle hydraulique, permet d'être autonome en été pour l'ECS



Source / Bron : <https://www.solaire-bois.fr/>





- ▶ Le système de production et la configuration adéquate des systèmes sont dépendants du profil des besoins et de la configuration du bâtiment.
- ▶ Chaque composant doit être réfléchi et optimisé afin de réduire la consommation finale en énergie tout en garantissant le confort.
- ▶ Il n'y a pas de solution toute faite, c'est à étudier au cas par cas.





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels

- Thème ENERGIE

Dossier I Optimiser la production et le stockage pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire

Dossier I Garantir l'efficacité des installations de chauffage et ECS (distribution et émission)

Dossier I Concevoir une installation de chauffage efficace



Sites internet

- Buildwise Infofiche - Rendements système (PEB)

- EnergiePlus

<https://energieplus-lesite.be/>



Formations et séminaires

- Consultez tous les supports gratuitement !

Pour aller plus loin

Pompe à chaleur : Choix et conception

Energie : Principes fondamentaux



Pierre GUSTIN

Ingénieur projet
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

