

# FORMATION BATIMENT DURABLE

## CHAUFFAGE ET EAU CHAUDE SANITAIRE : CONCEPTION

AUTOMNE 2022

### **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**

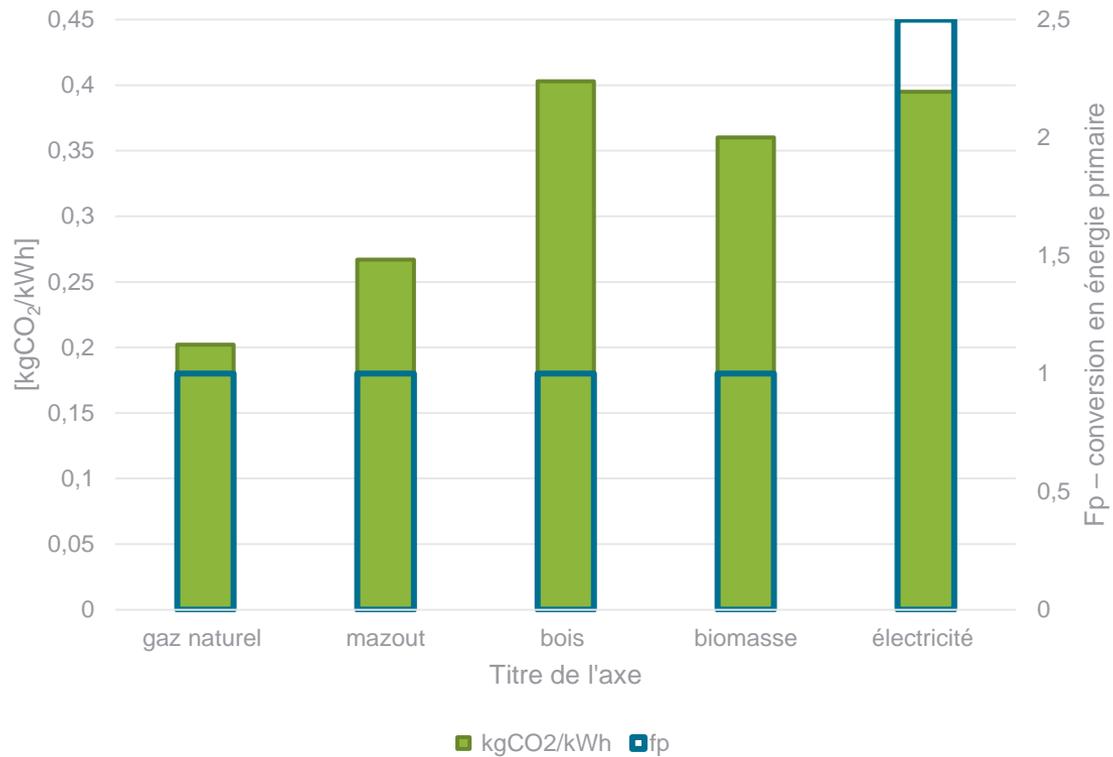
A COMBUSTION

THERMODYNAMIQUE

SOLAIRE



## Facteurs de conversion

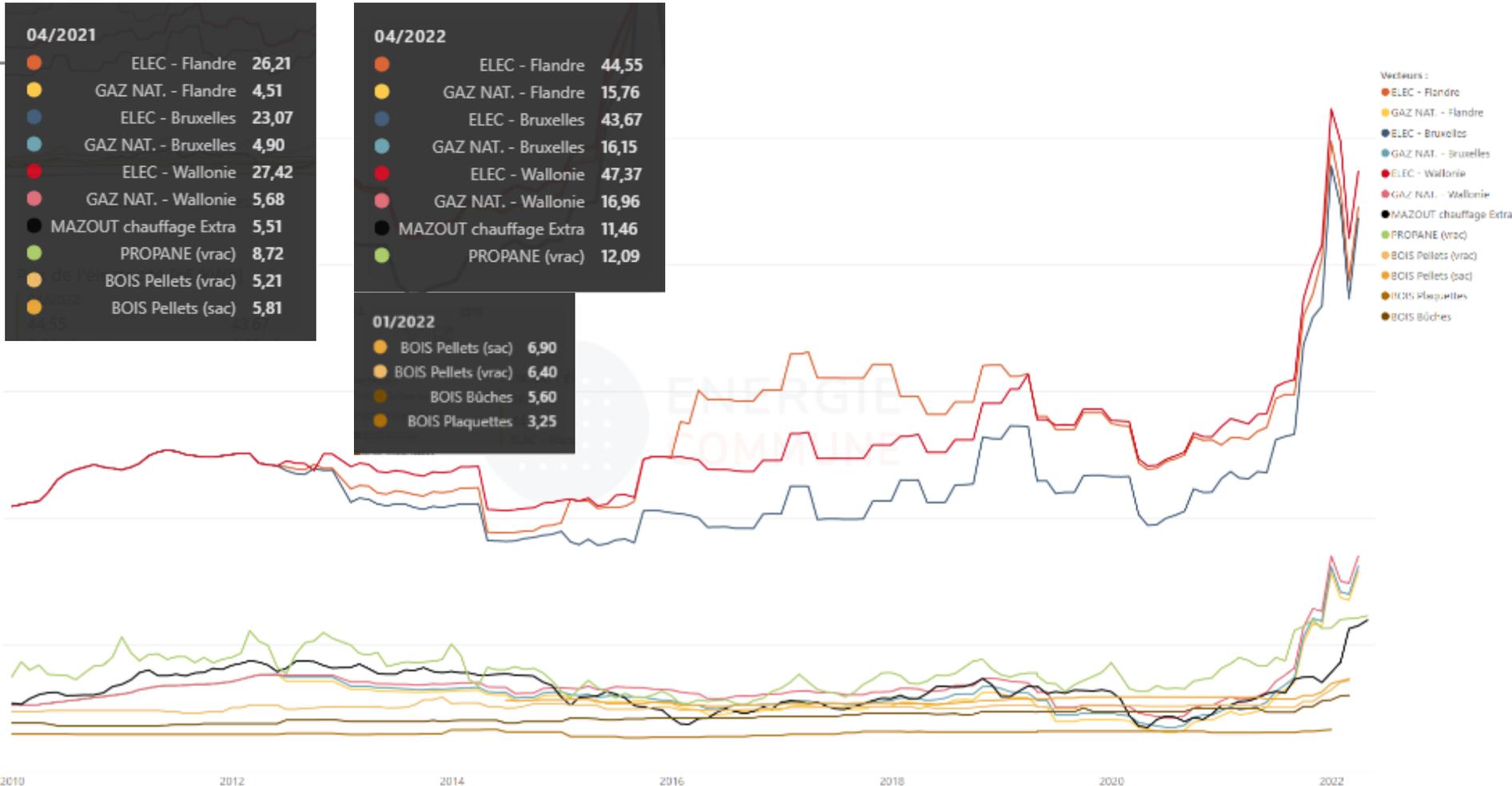


Source : AGBC



# CHOISIR UNE SOURCE D'ENERGIE

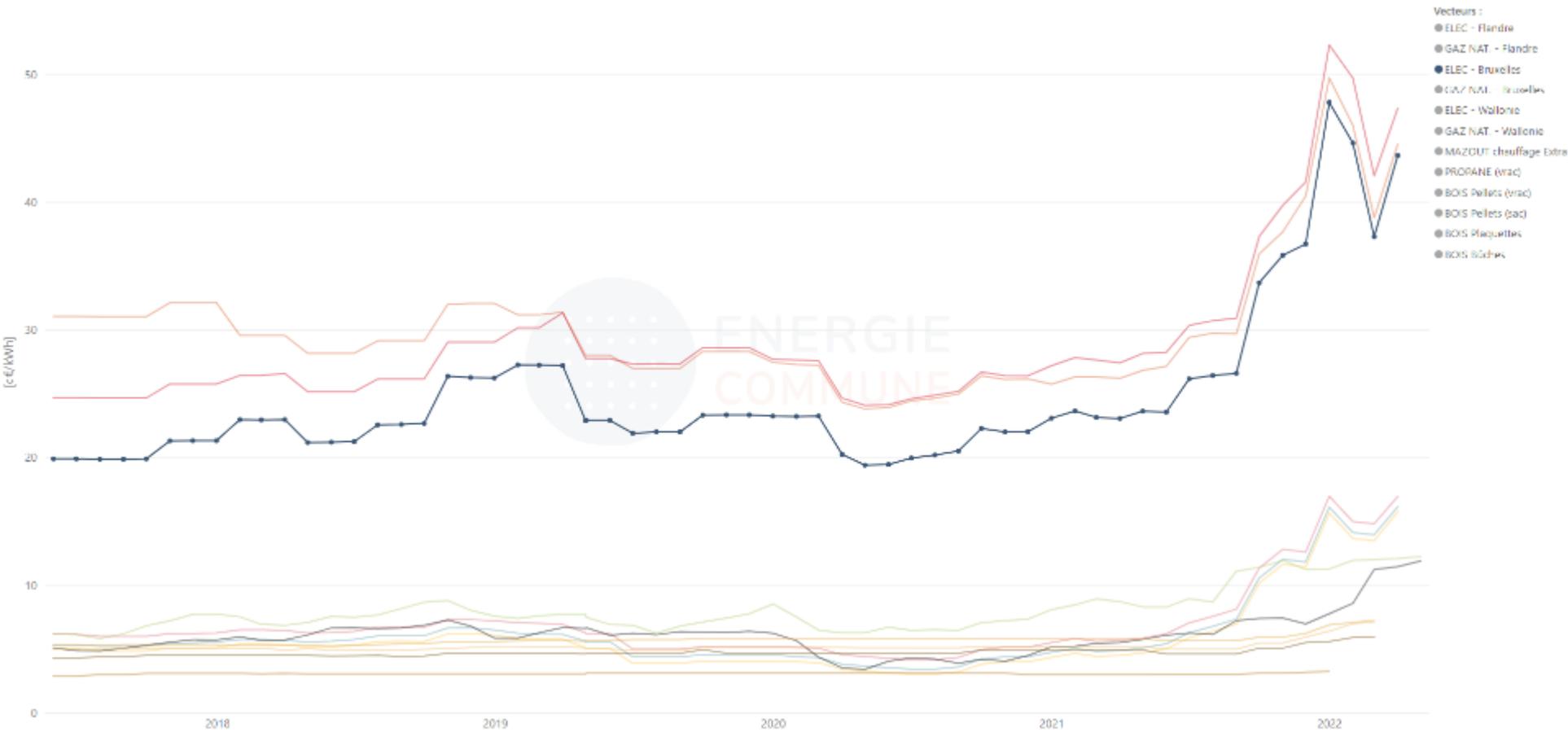
## Evolution des prix de l'énergie pour les ménages



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/>



## 8 CHOISIR UNE SOURCE D'ÉNERGIE

## 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



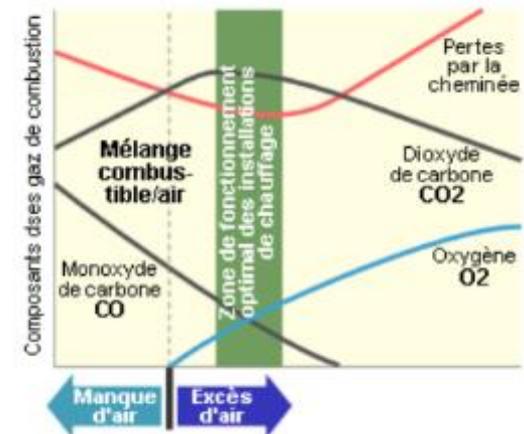
## Combustion et combustible

- ▶ Réaction de la combustion :



- ▶ Hydrocarbures < gaz, fuel, bois, charbon, ...
- ▶ Air : N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, ...
  - L'azote contenu dans l'air forme des NO<sub>x</sub> dans certaines conditions

	Production de CO <sub>2</sub>	Production de H <sub>2</sub> O
1 m <sup>3</sup> de gaz	~ 2 kg / m <sup>3</sup>	~ 1,7 kg/m <sup>3</sup>
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	
<b>Gaz naturel</b>	~ 10 kWh/m <sup>3</sup>	~ 11,11 kWh/m <sup>3</sup>	+ 11,11 %
<b>Mazout</b>	~ 10 kWh/l	~ 10,64 kwh/l	+ 6,4 %
<b>Propane</b>	~ 6,6 kWh/l	~ 7,2 kWh/l	+ 9 %
<b>Charbon</b>	~ 8,7 kWh/kg	~ 9 kWh/kg	+ 3,5 %
<b>Bois</b>	~ 2,5 à 4 kwh/kg	~ 2,7 à 4,3 kwh/kg	+ 7,5 %
<b>Pellets</b>	~ 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

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

- ▶ 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**

### - 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

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

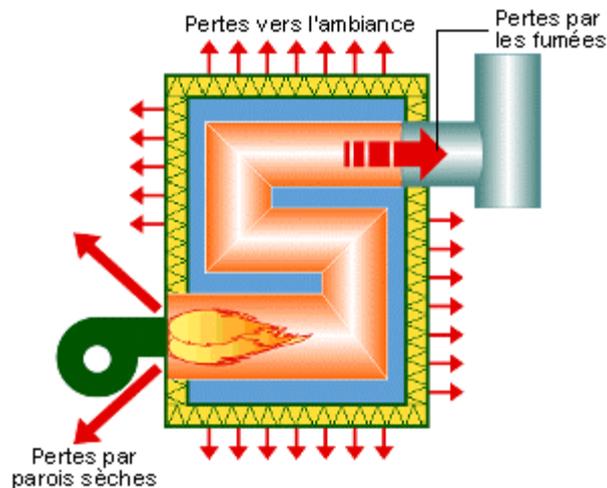
Avec,

- $T_{\text{fumées}}$  = la température des fumées à la sortie de la chaudière [°C] > **mesurable**
- $T_{\text{amb}}$  = 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



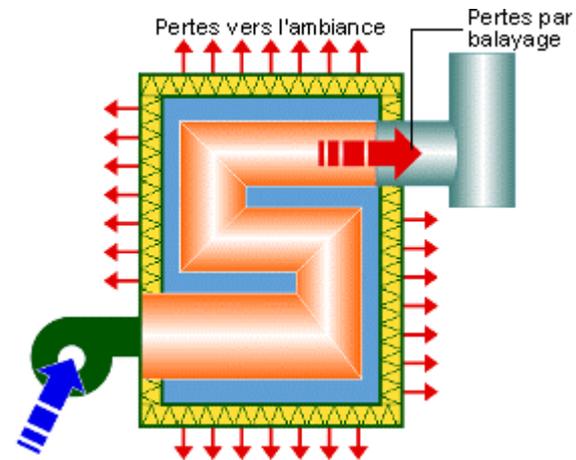
## Rendement saisonnier

- ▶ 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 !**



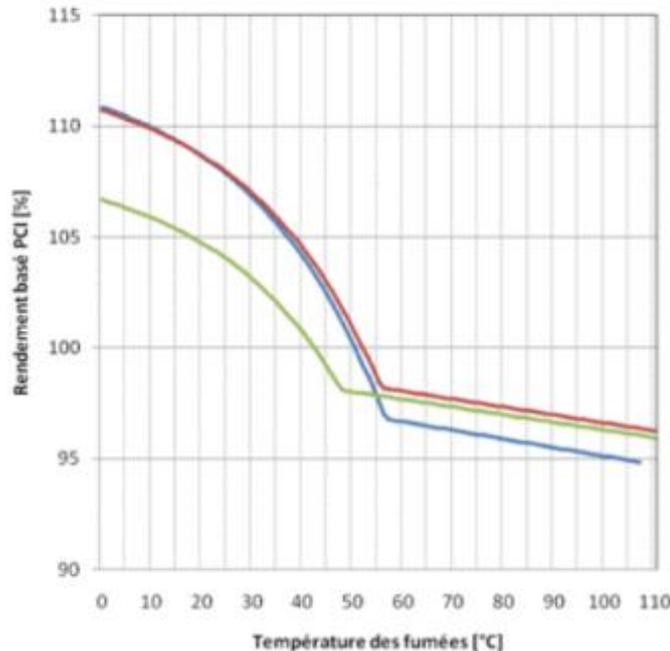
### Chaudière à brûleur pulsé

- ▶ 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 !)

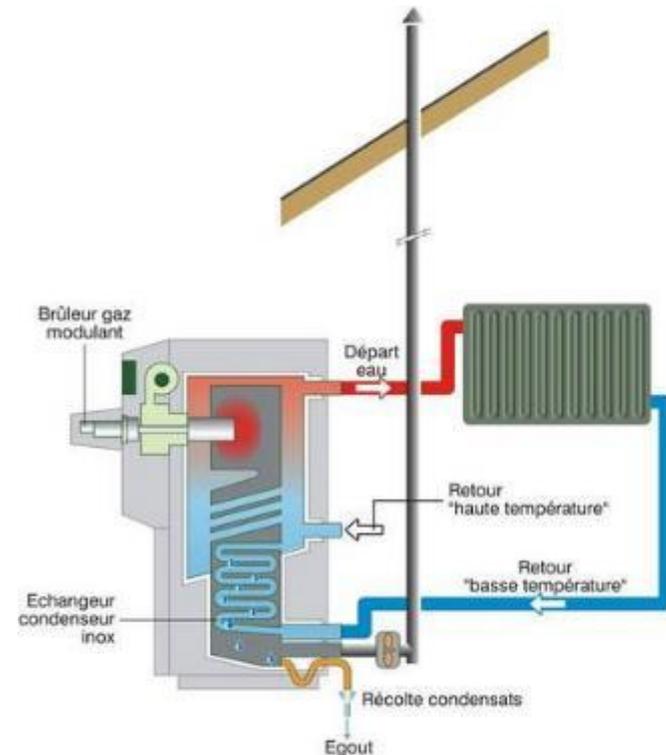


## Chaudière à condensation

- ▶ 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



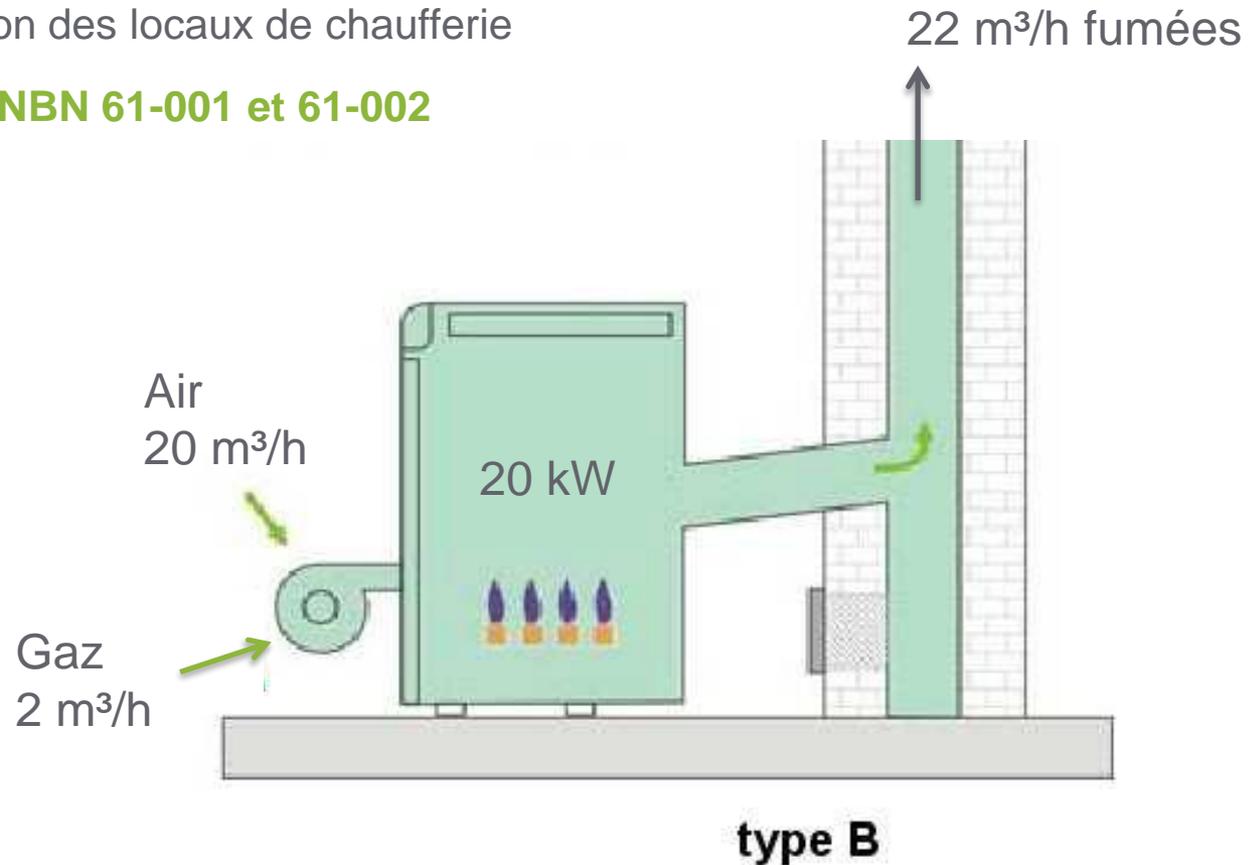
Source/Bron : Vaillant



### Chaudière non étanche

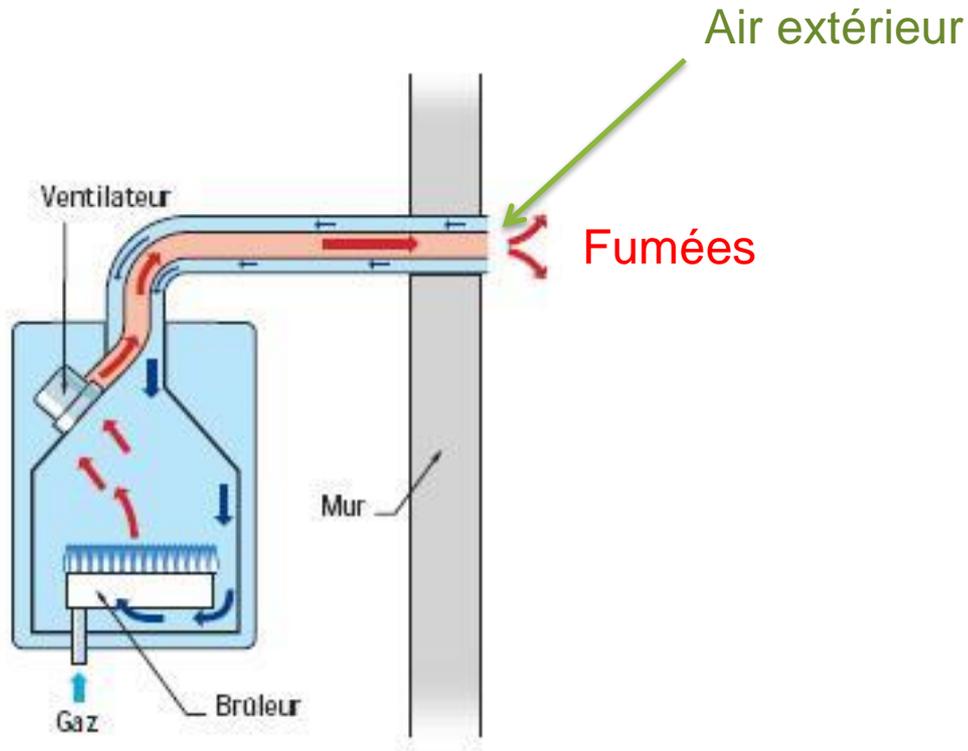
- ▶ Une chaudière est dite « non-étanche » lorsqu'elle prélève l'air dans le local de chaufferie
- ▶ Classification de la chaudière: type B
- ▶ Prévoir la ventilation des locaux de chaufferie

⇒ Normes NBN 61-001 et 61-002

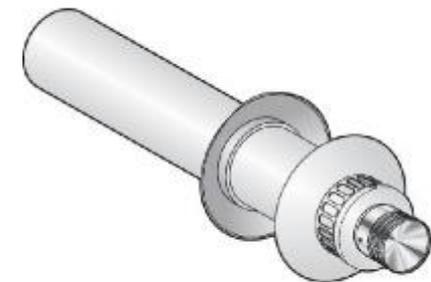


## Chaudière étanche

- 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

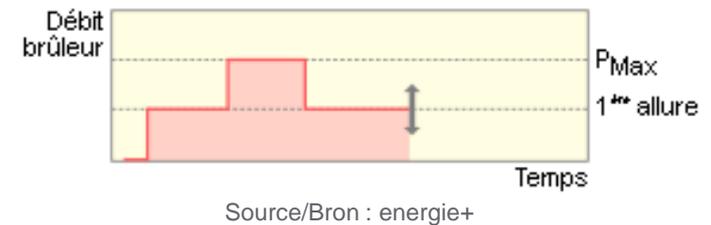


## Brûleur on/off

- ▶ « 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 »

+	-
<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Technologie fiable et concurrentielle</li><li>▶ Rendement élevé (condensation)</li><li>▶ Coût d'entretien modéré</li><li>▶ Large gamme de puissance</li><li>▶ Large plage de température de production (BT, HT et ECS)</li><li>▶ Modulation de puissance aisée</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Coût du combustible dépendant du marché</li><li>▶ Energie fossile</li><li>▶ Intégration cheminée</li><li>▶ Stockage (mazout)</li><li>▶ Réglementation (chaufferie)</li></ul>



## Boiler gaz à condensation

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

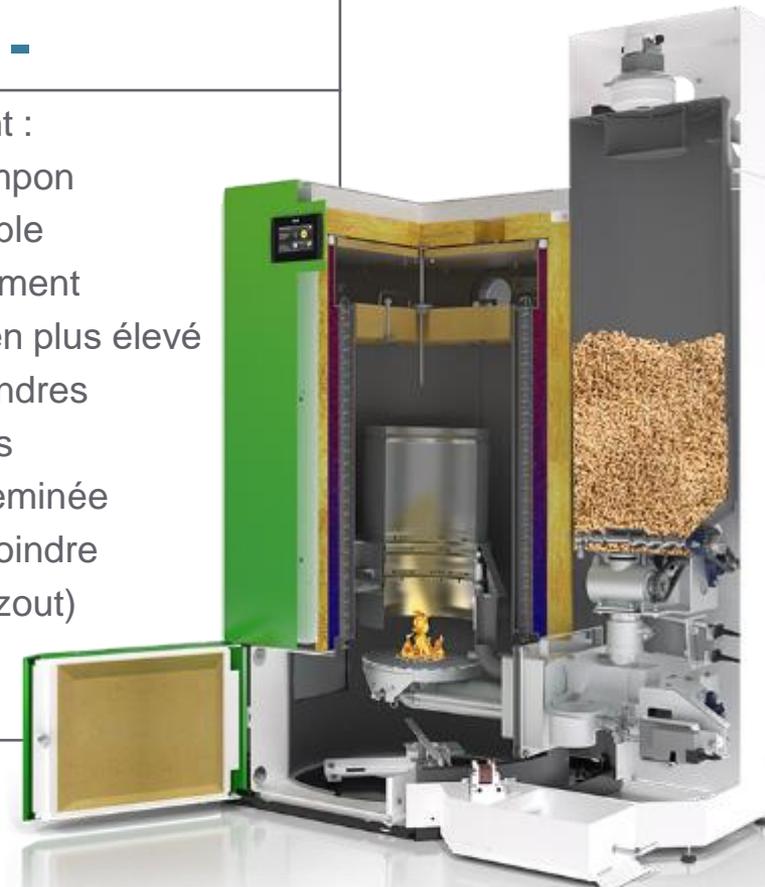
+	-
<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Production d'ECS indépendante du chauffage</li><li>▶ Rendement élevé (favorise la condensation)</li><li>▶ Coût d'entretien modéré</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Au gaz uniquement</li><li>▶ Encombrement</li><li>▶ Pertes de stockage</li><li>▶ Intégration cheminée</li></ul>



## Chaudière biomasse

« Peu adapté dans un contexte urbain »

+	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Large gamme de puissance</li> <li>▶ Large plage de température de production (BT, HT et ECS)</li> <li>▶ Modulation de puissance</li> <li>▶ Combustible renouvelable</li> <li>▶ Revalorisation des déchets de bois (si local)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Encombrement :               <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Ballon tampon</li> <li>▶ Combustible</li> </ul> </li> <li>▶ Approvisionnement</li> <li>▶ Coût d'entretien plus élevé</li> <li>▶ Evacuation cendres</li> <li>▶ Particules fines</li> <li>▶ Intégration cheminée</li> <li>▶ Rendement moindre (&lt;&gt; gaz et mazout)</li> </ul>



## Chaudière pellet - Stockage



## Poêle pellet

« Comme agrément ou pour logements très performants »

+	-
<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Comme agrément</li><li>▶ <u>OU</u> Peut remplacer un système de chauffage central dans des logements très performants</li><li>▶ Modulation de puissance</li><li>▶ Existe en version « hydraulique » pour l'alimentation de corps de chauffe ou la production d'eau chaude (prévoir complément en été)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Approvisionnement et stockage combustible</li><li>▶ Evacuation cendres</li><li>▶ Particules fines</li><li>▶ Intégration cheminée</li></ul>



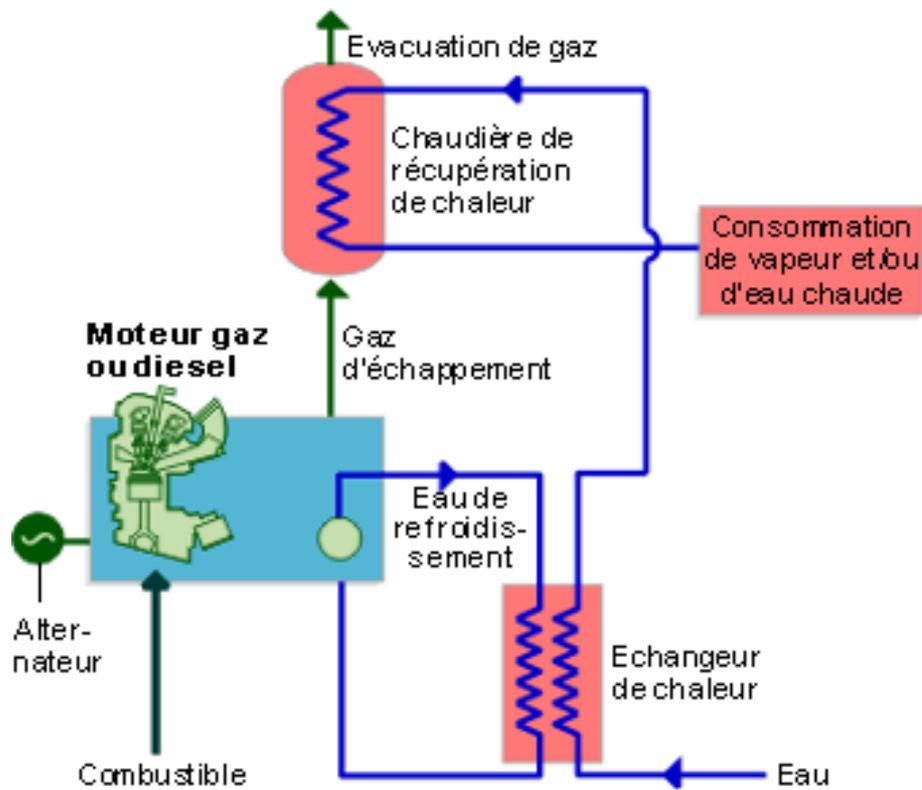
## Cogénération

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

+	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Production simultanée de chaleur et d'électricité</li> <li>▶ Multi-combustible : gaz, mazout, biomasse</li> <li>▶ A partir de 5kWth</li> <li>▶ Economie d'énergie par rapport à production indépendante (de chaleur ou d'électricité)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Coût élevé</li> <li>▶ Maintenance élevée</li> <li>▶ Encombrement (ballon)</li> <li>▶ Nécessite des besoins de chaleur et d'électricité simultanés et réguliers</li> <li>▶ Intégration cheminée</li> <li>▶ Acoustique plus complexe</li> <li>▶ Nécessite un système de production complémentaire</li> </ul>



## Cogénération



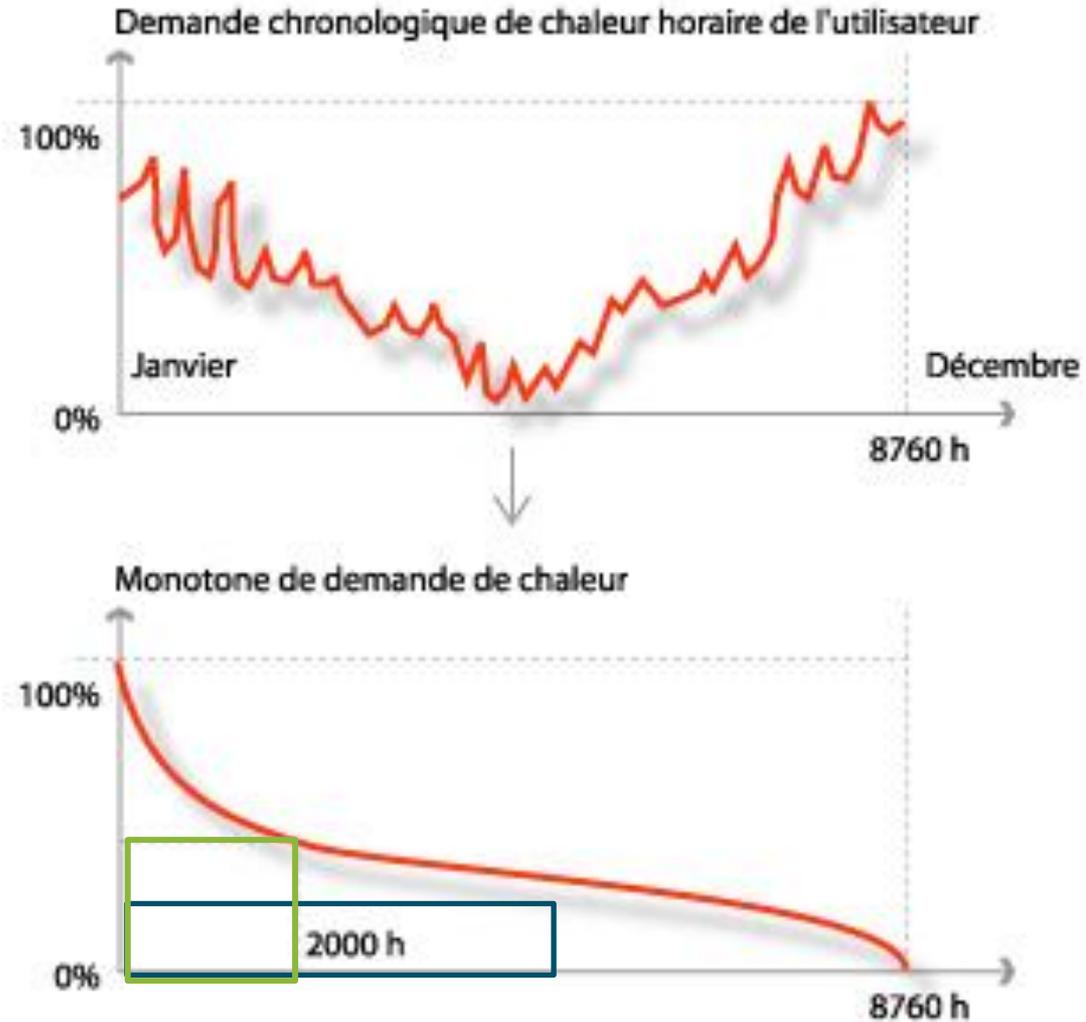
Source : ICEDD



Source : Enersol



## Cogénération



SOURCE D'ÉNERGIE

A COMBUSTION

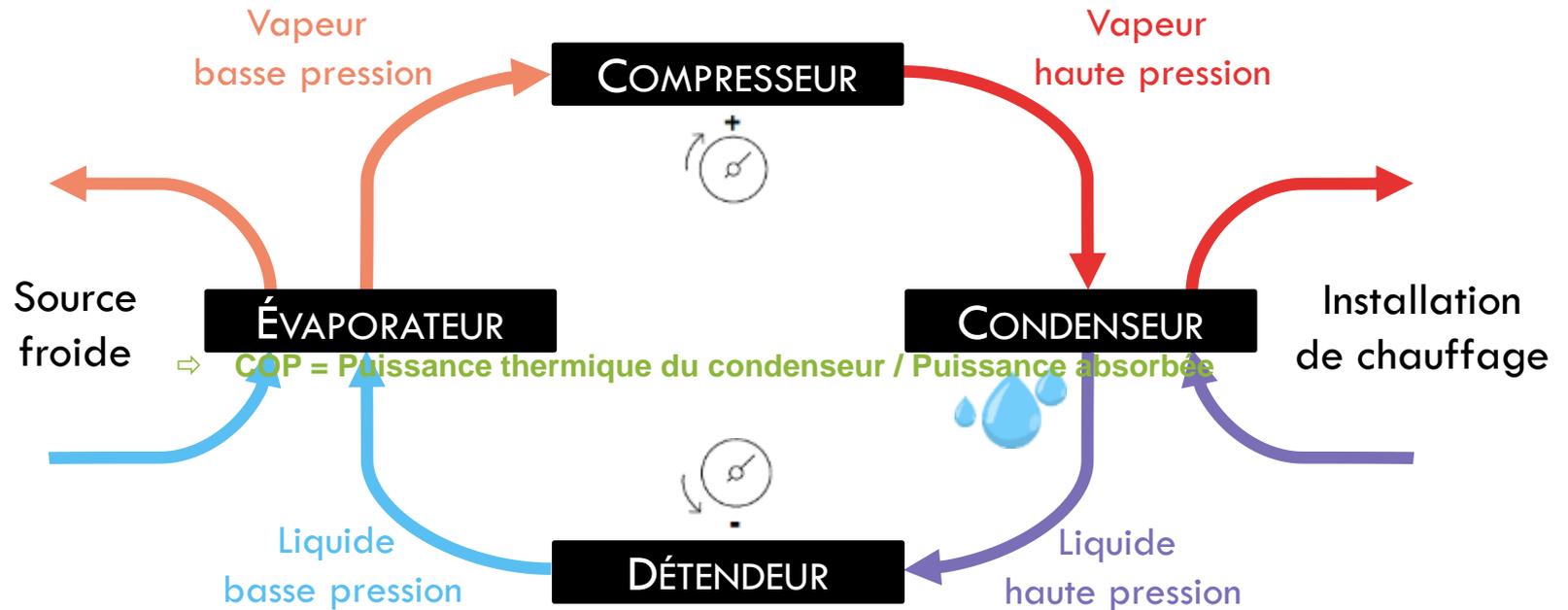
**THERMODYNAMIQUE**

SOLAIRE



### Pompe à chaleur

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



## 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

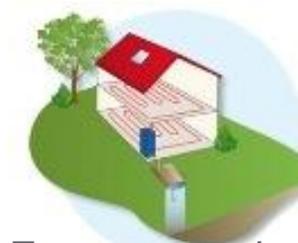


Captage vertical

### PAC hydrothermique



Eau de surface

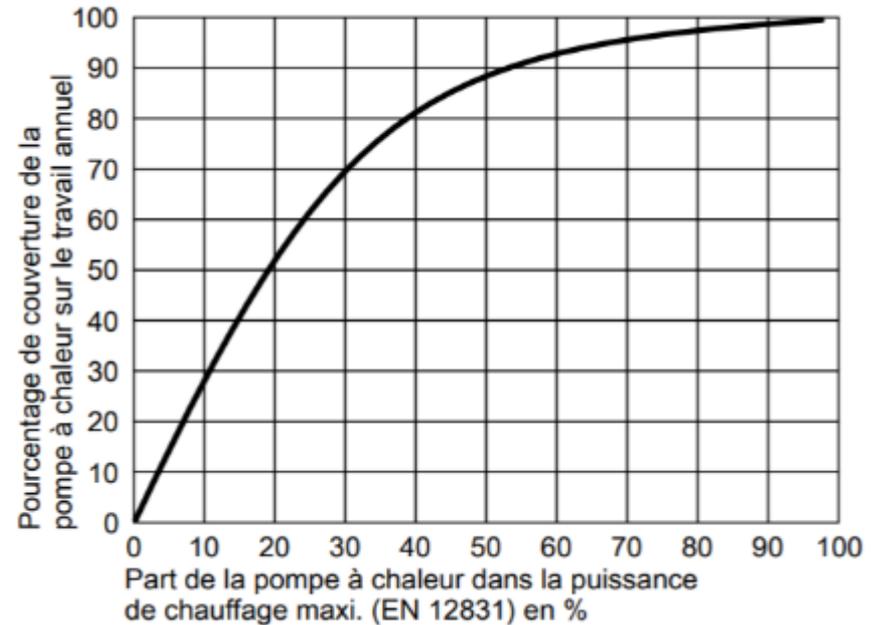
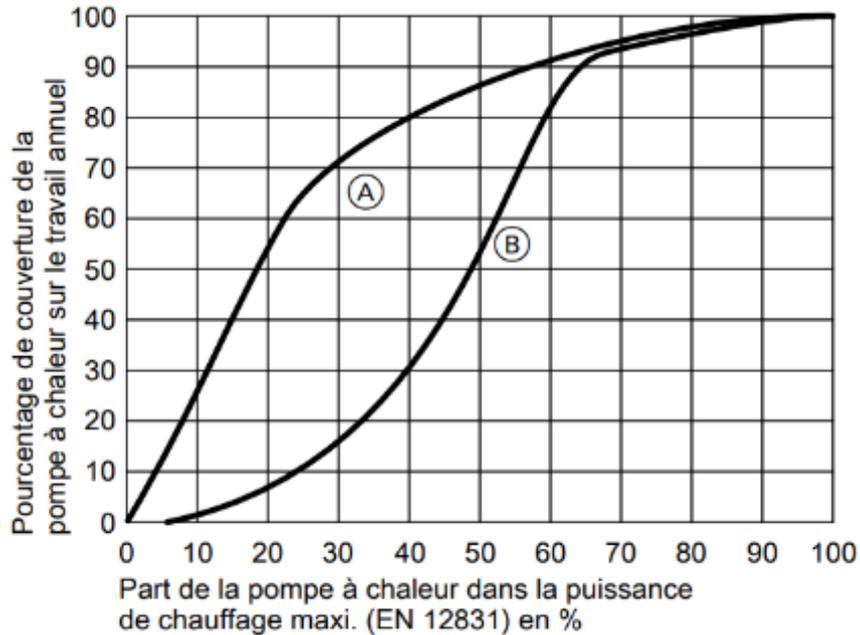


Eau souterraine



## Pompe à chaleur – Types de fonctionnement

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



## Pompe à chaleur aérothermique

### « Facilité de mise en œuvre »

+	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Possibilité de fonctionner à basse ou haute température</li> <li>▶ Réversible</li> <li>▶ Pas de cheminée</li> <li>▶ Pas d'amenée de combustible</li> <li>▶ Large gamme de puissance</li> <li>▶ Peut être combiné à du PV</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Investissement plus élevé qu'une chaudière</li> <li>▶ Utilisation de fluides frigorigènes (effet serre)</li> <li>▶ Nécessite réseau électrique adapté</li> <li>▶ Appoint souvent nécessaire</li> <li>▶ Performance et puissance dépendantes des températures sources chaudes et froides, en baisse avec la T° ext.</li> </ul> <p style="margin-left: 40px;">→ La performance et la puissance sont moindres lorsque la demande est importante.</p>



## Pompe à chaleur aérothermique

Version monobloc



Source / Bron : Aermec

Grande puissance (200 kWth)



Source / Bron : Aermec



## Pompe à chaleur aérothermique

Version hybride PAC aérothermique/chaudière gaz



Source / Bron : Daikin

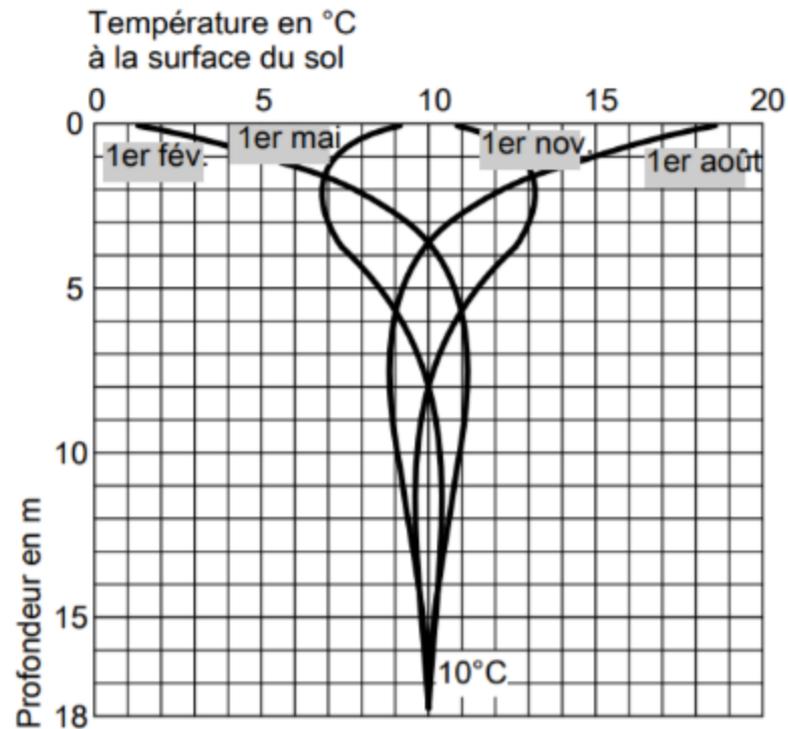
## Echangeur statique



Source / Bron : HelioPac



## 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 »

+	-
<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Efficacité élevée et « constante »</li><li>▶ Plus silencieux à l'extérieur</li><li>▶ Potentiel de geocooling</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Emprise échangeur extérieur</li><li>▶ Puissance limitée à la surface de terrain disponible</li><li>▶ Coût des sondes</li><li>▶ Dimensionnement délicat (attention épuisement sol)</li></ul>



## Pompe à chaleur géothermique – Panier, sondes horizontales

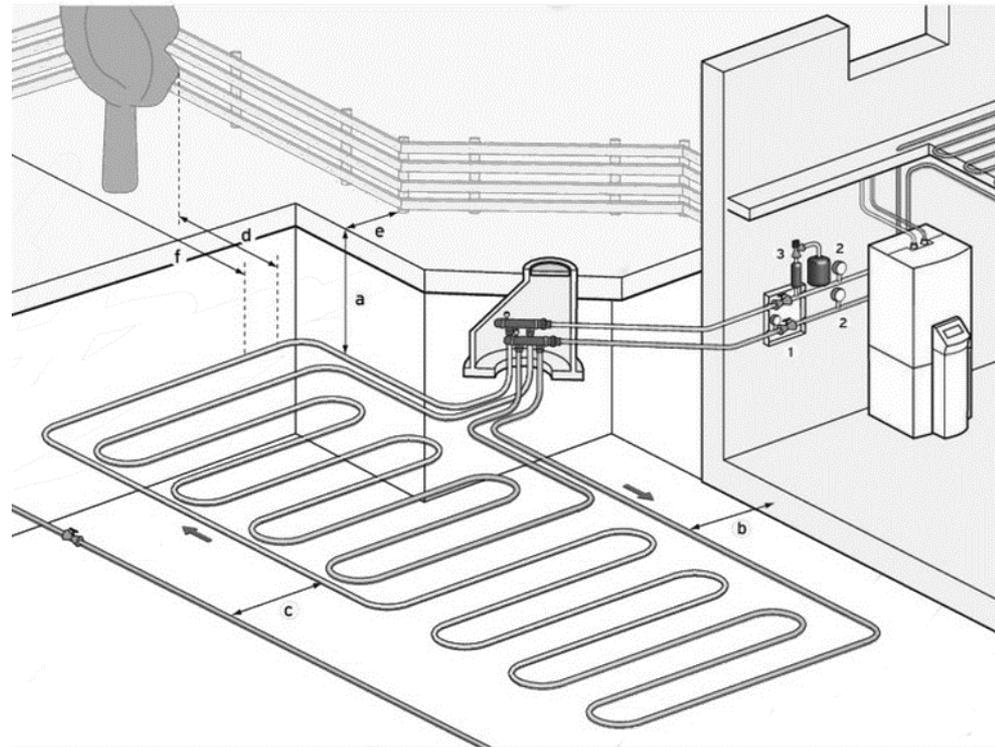
- ▶ 0,6 → 1,2 m sondes horizontales, → 5 m corbeilles



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



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

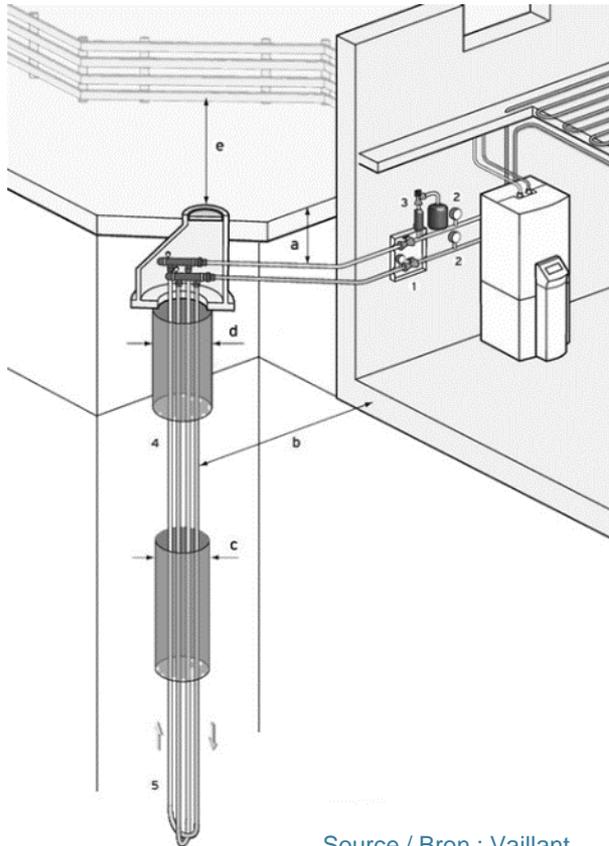


Source / Bron : Vaillant



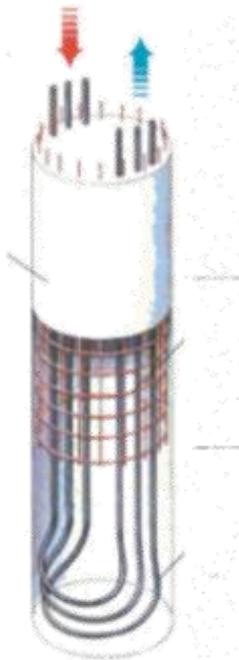
## Pompe à chaleur géothermique – Sondes verticales

► → 100-300 m



## Pompe à chaleur géothermique – Pieux géothermiques

- ▶ → 10-30 m



Crèche de l'île aux oiseaux de Mons



Source / Bron : EnergiePlus



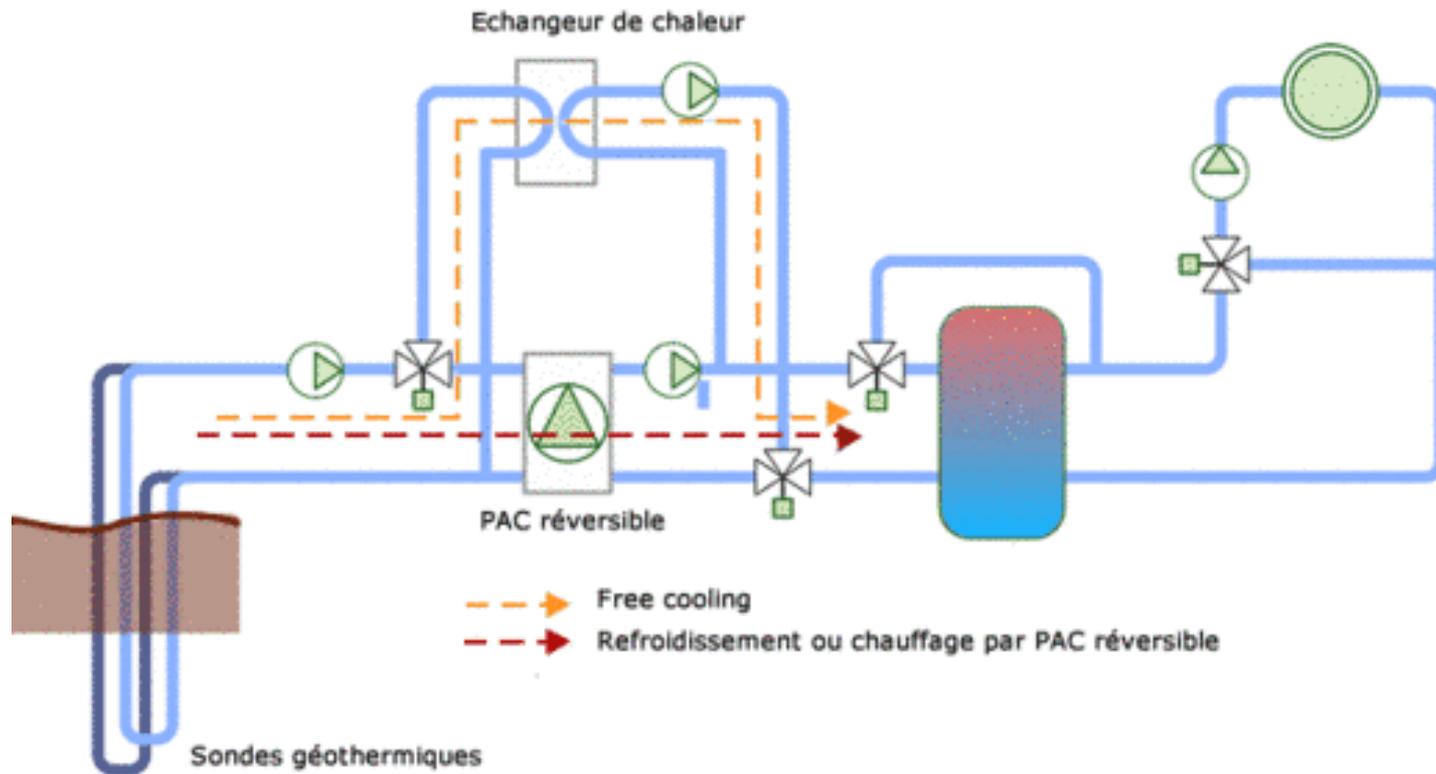
## Pompe à chaleur géothermique, géothermie ouverte

« Pour les grandes puissances »

+	-
<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Pour les puissances élevées (collectivités, chauffage urbain)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Coût des études</li><li>▶ Coûts des forages</li><li>▶ Nécessite une distance importante entre forages</li></ul>



## Pompe à chaleur – Geocooling (freecooling)



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



## Pompe à chaleur – Chauffe-eau thermodynamique

« Une alternative au traditionnel boiler électrique »

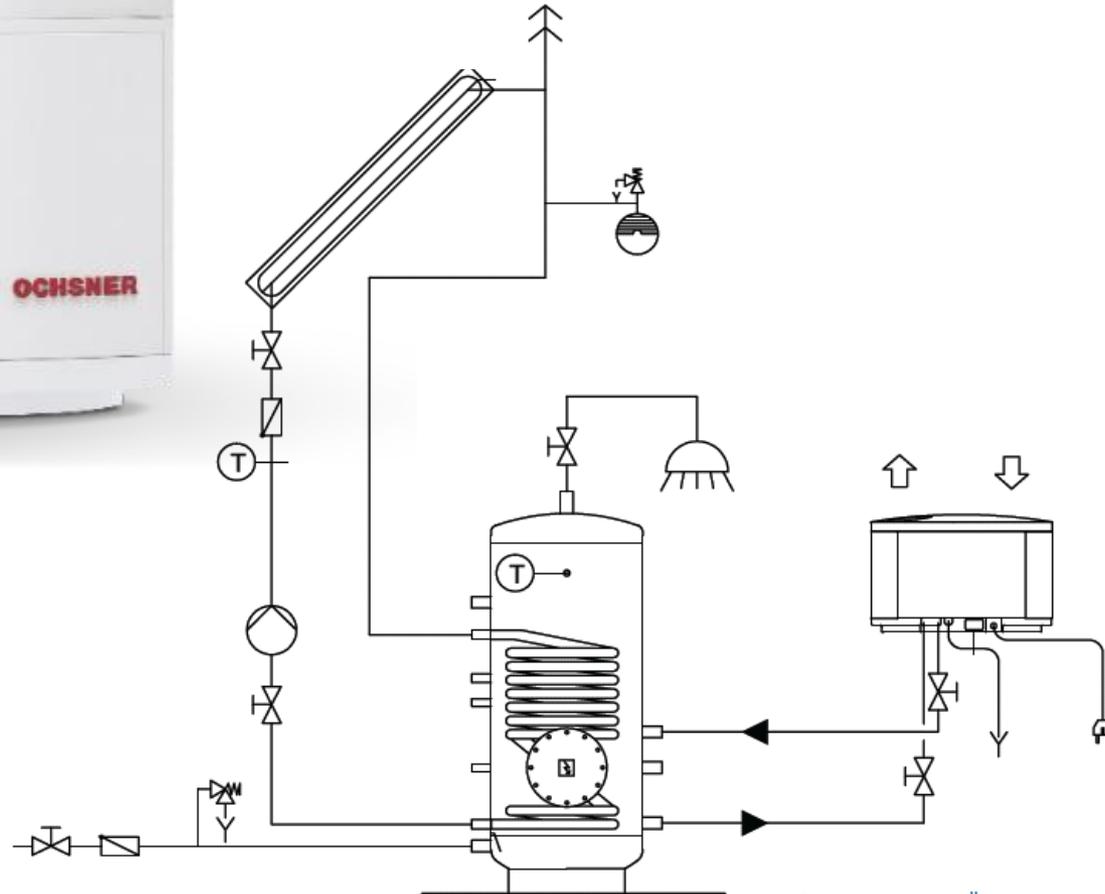
+	-
<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Rendement élevé (comparé à un boiler électrique)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▶ Encombrement</li><li>▶ Besoins ECS limités</li><li>▶ Fonctionne sur l'air ambiant (refroidit l'ambiance), ou sur l'air extérieur si gainé.</li><li>▶ Plus bruyant qu'un boiler électrique</li></ul>



Source / Bron : Öchsner



## Pompe à chaleur – Chauffe-eau thermodynamique



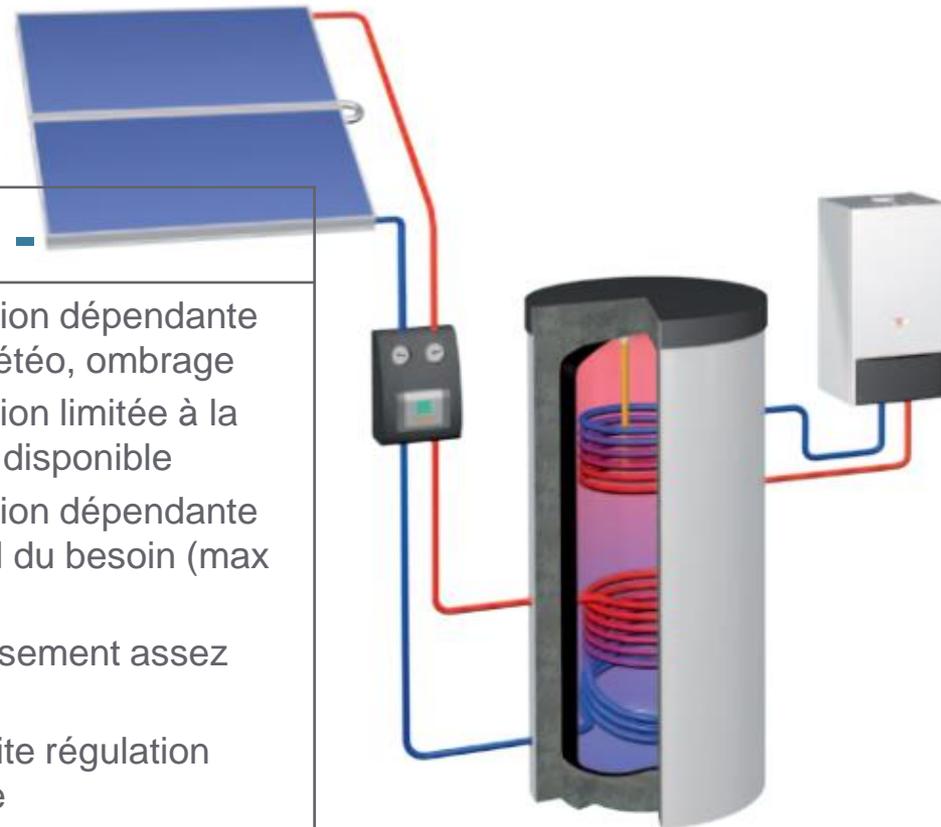
SOURCE D'ÉNERGIE  
A COMBUSTION  
THERMODYNAMIQUE  
**SOLAIRE**



## Panneaux solaires thermiques

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

+	-
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Source renouvelable « à disposition »</li> <li>▶ Couplage avec un autre système</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Production dépendante de la météo, ombrage</li> <li>▶ Production limitée à la surface disponible</li> <li>▶ Production dépendante du profil du besoin (max 50 %)</li> <li>▶ Investissement assez élevé</li> <li>▶ Nécessite régulation adaptée</li> </ul>







- ▶ Le système de production et la configuration adéquate des système 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](http://www.guidebatimentdurable.brussels)

► **Thème ENERGIE**

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

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

Dossier | Concevoir une installation de chauffage efficace



## Sites internet

► **Formations Bâtiment durable**

<https://environnement.brussels/thematiques/batiment/les-bonnes-pratiques-pour-construire-et-renover/pour-vous-aider/formations-116>

Pour aller plus loin:

- Pompe à chaleur : conception
  - Diagnostique pour la rénovation
  - Energie : principes fondamentaux
- **CSTC** : Infofiche - Rendements système (PEB)

► **EnergiePlus**

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



**Pierre GUSTIN**

Ingénieur projet  
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ [info@ecorce.be](mailto:info@ecorce.be)



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

