

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

ENERGIES
RENOUVELABLES

AUTOMNE 2025

Focus sur la pompe à chaleur

Présentation

des différentes technologies et des combinaisons possibles à
d'autres systèmes

Juliette DEMBOUR

écorce
INGÉNIERIE CONSULTANCE



- ▶ Rappel des principes fondamentaux de la pompe à chaleur
- ▶ Présentation des différentes technologies (types de pompe à chaleur, source chaude, source froide, réversibilité et simultanéité...) et cas particulier de l'eau chaude sanitaire.
- ▶ Définition du rôle et de l'influence de la régulation sur la performance des pompes à chaleur
- ▶ Présentation du contexte réglementaire dans lequel s'inscrivent les pompes à chaleur ainsi que les démarches nécessaires à leur intégration dans un projet



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRE

RÉGULATION

RÉVERSIBILITÉ

RÉGLEMENTATIONS



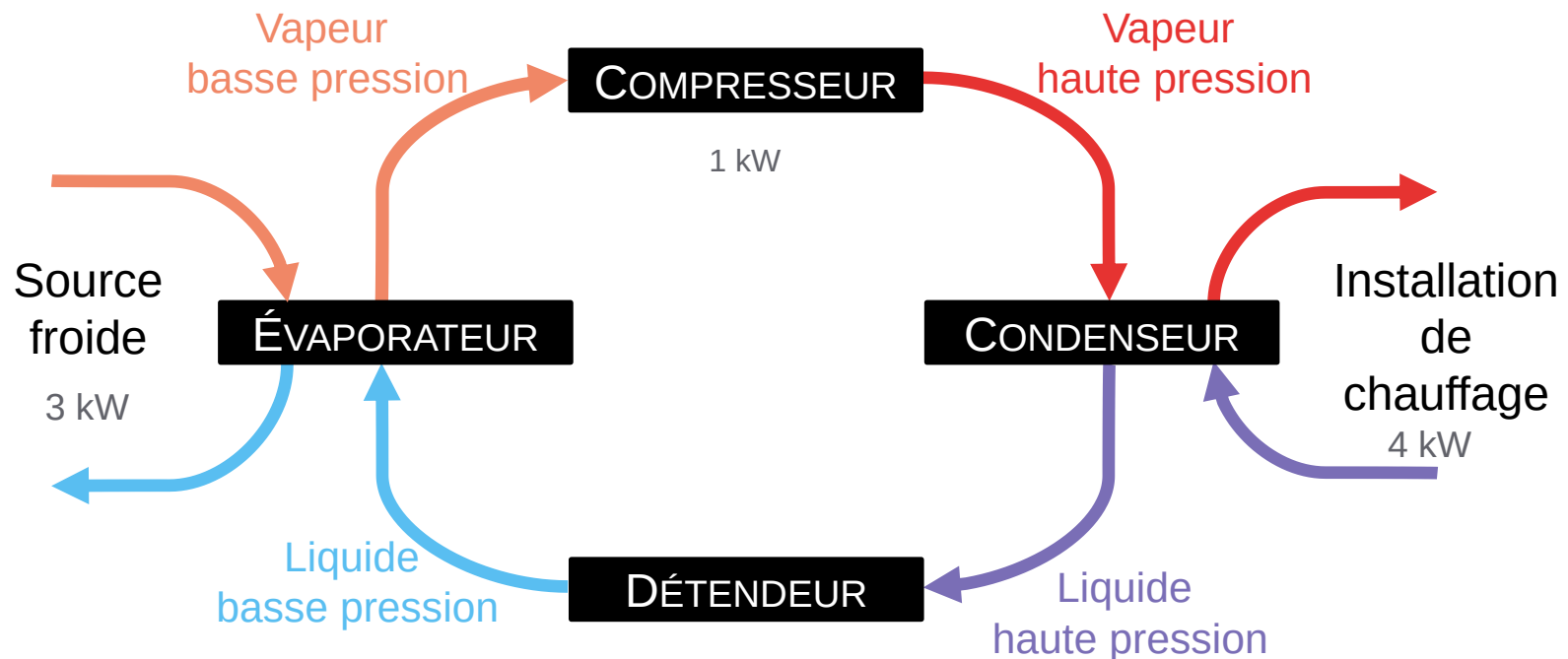
Il y a de la chaleur dans l'air, l'eau et le sol.

- ▶ Il est possible de récupérer cette énergie « inépuisable » et de s'en servir pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire grâce aux pompes à chaleur.
- ▶ La conception d'une installation intégrant une pompe à chaleur diffère des installations « traditionnelles » de la phase de sélection jusqu'à son fonctionnement.
- ▶ La mise en œuvre de la pompe du système complet (capteur, pompe à chaleur, émetteur de chaleur) a également une influence majeure sur sa performance.



Principe de fonctionnement

- ▶ Soutire de la chaleur d'une « source froide » (sol, air extérieur...)
> nécessite une consommation d'électricité
- ▶ Augmente son niveau de température
- ▶ Restitue cette chaleur à une température plus élevée



Définition du coefficient de performance COP:

$$\text{COP} = \frac{\text{Résultat souhaité}}{\text{Ce qui coûte}}$$

$$\text{COP} = \frac{\text{Energie transmise à la source chaude}}{\text{Energie mécanique dépensée}}$$

Coefficient de performance théorique/idéal (cycle de Carnot):

$$\text{COP}_{\text{idéal}} = \frac{T_{\text{source chaude}} + 273,15}{(T_{\text{source chaude}} + 273,15) - (T_{\text{source froide}} + 273,15)}$$

Dans la pratique :

- ▶ COP réel est réduit de 30 à 60 % :
 - Diverses irréversibilités dans le cycle,
 - Consommation des auxiliaires (dispositif antigel, pompes et ventilateurs, etc...)



Le COP sera d'autant plus élevé que l'écart de température entre la source et le milieu à chauffer sera faible.

► Exemple :

- $T_{source\ chaude} = 35^{\circ}\text{C}$ et $T_{source\ froide} = 0^{\circ}\text{C}$

$$\text{COP}_{\text{idéal}} = \frac{308,15}{308,15 - 273,15} = 8,8$$

- $T_{source\ chaude} = 35^{\circ}\text{C}$ et $T_{source\ froide} = 10^{\circ}\text{C}$

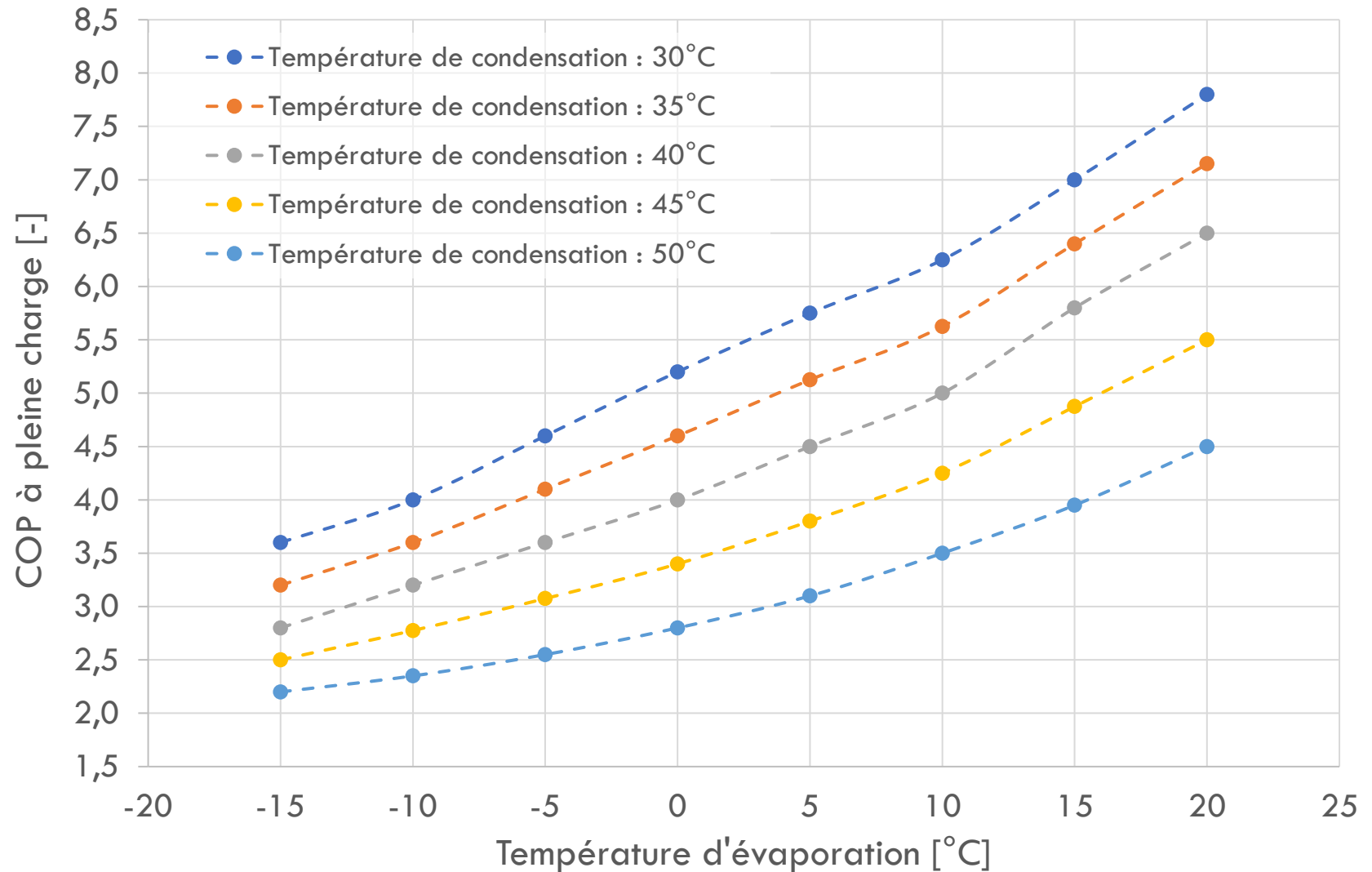
$$\text{COP}_{\text{idéal}} = \frac{308,15}{308,15 - 283,15} = 12,3$$

- $T_{source\ chaude} = 45^{\circ}\text{C}$ et $T_{source\ froide} = 0^{\circ}\text{C}$

$$\text{COP}_{\text{idéal}} = \frac{318,15}{318,15 - 273,15} = 7,1$$

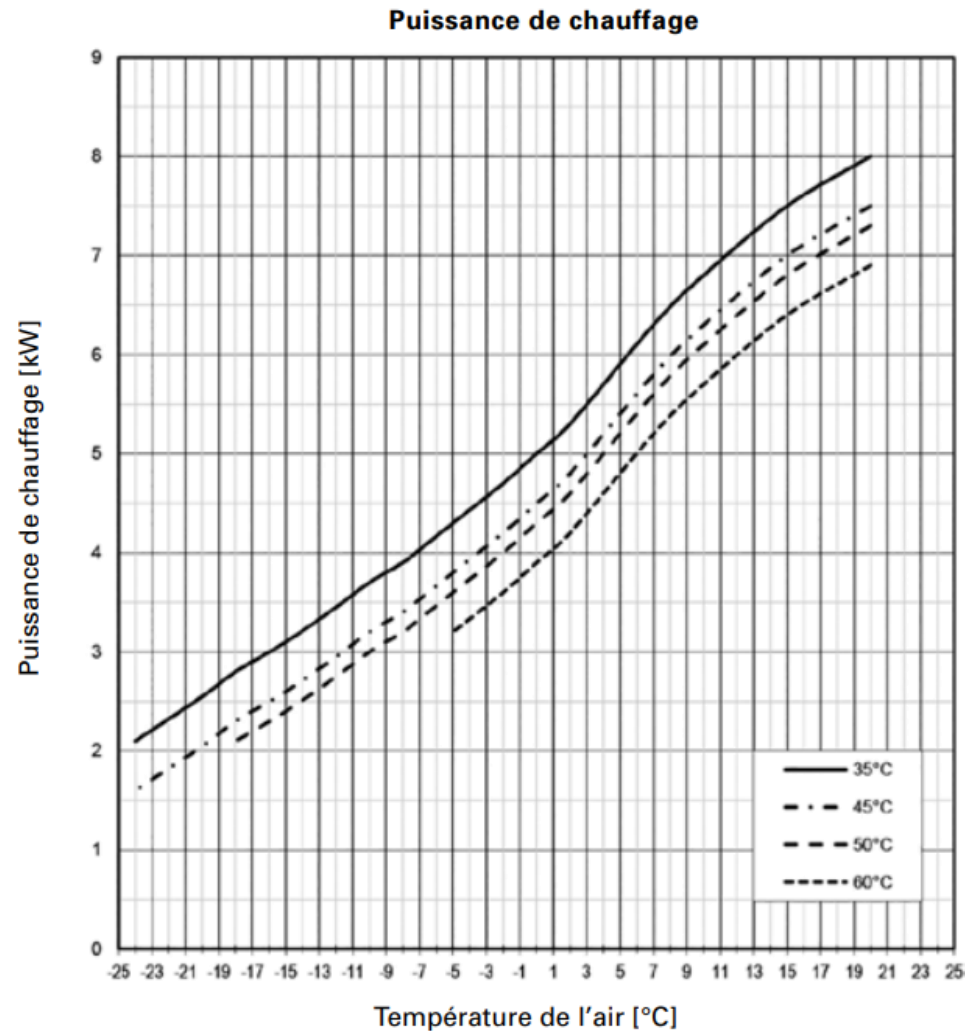


INFLUENCE DES TEMPÉRATURES DE SOURCES



INFLUENCE DES TEMPÉRATURES DE SOURCES

La puissance d'une PAC dépend également des conditions de température



Source : Ochsner AIR 7 C11A



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

► Types

- Sources froides
- PAC aérothermique
- PAC géothermique
- Circuits et dénominations

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRES

RÉGULATION

RÉVERSIBILITÉ

RÉGLEMENTATIONS



Compresseur à moteur électrique :

- ▶ Compresseur Scroll / Compresseur à pistons / Compresseur à vis
- ▶ Variation électronique de vitesse amélioration les performances :
Modulation de puissance entre 20 et 120 % de la valeur nominale

⇒ **Economie pouvant aller jusqu'à 30 %**

Compresseur à moteur gaz :

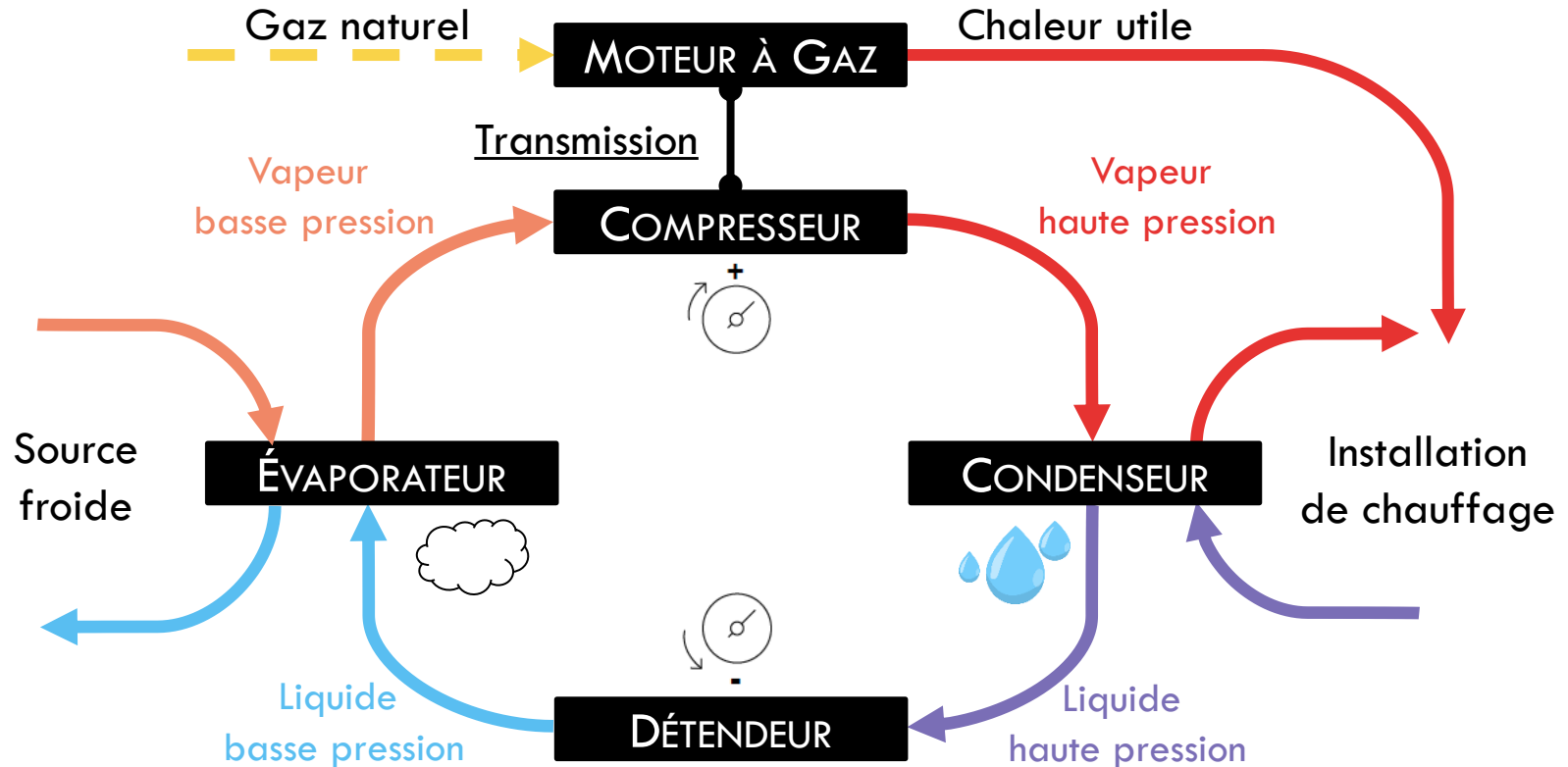
- ▶ Compresseur entraîné par un moteur à combustion par l'intermédiaire d'un arbre de transmission.
- ▶ Possibilité de récupérer de la chaleur sur les gaz d'échappement et sur l'eau de refroidissement du moteur.

Compression thermochimique

- ▶ L'énergie est apportée au système sous forme de chaleur et non sous forme d'énergie mécanique
- ▶ Basé sur l'affinité d'un fluide frigorigène pour un autre liquide (l'ammoniac et l'eau)



12 TYPE : PAC À COMPRESSION : MOTEUR GAZ



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

- Types
- **Sources froides**
- PAC aérothermique
- PAC géothermique
- Circuits et dénominations

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRES

RÉGULATION

RÉVERSIBILITÉ

RÉGLEMENTATIONS



Sources froides

- ▶ 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



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

- Types
- Sources froides
- **PAC aérothermique**
- PAC géothermique
- Circuits et dénominations

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRES

RÉGULATION

RÉVERSIBILITÉ

RÉGLEMENTATIONS



- Pompe son énergie dans l'air

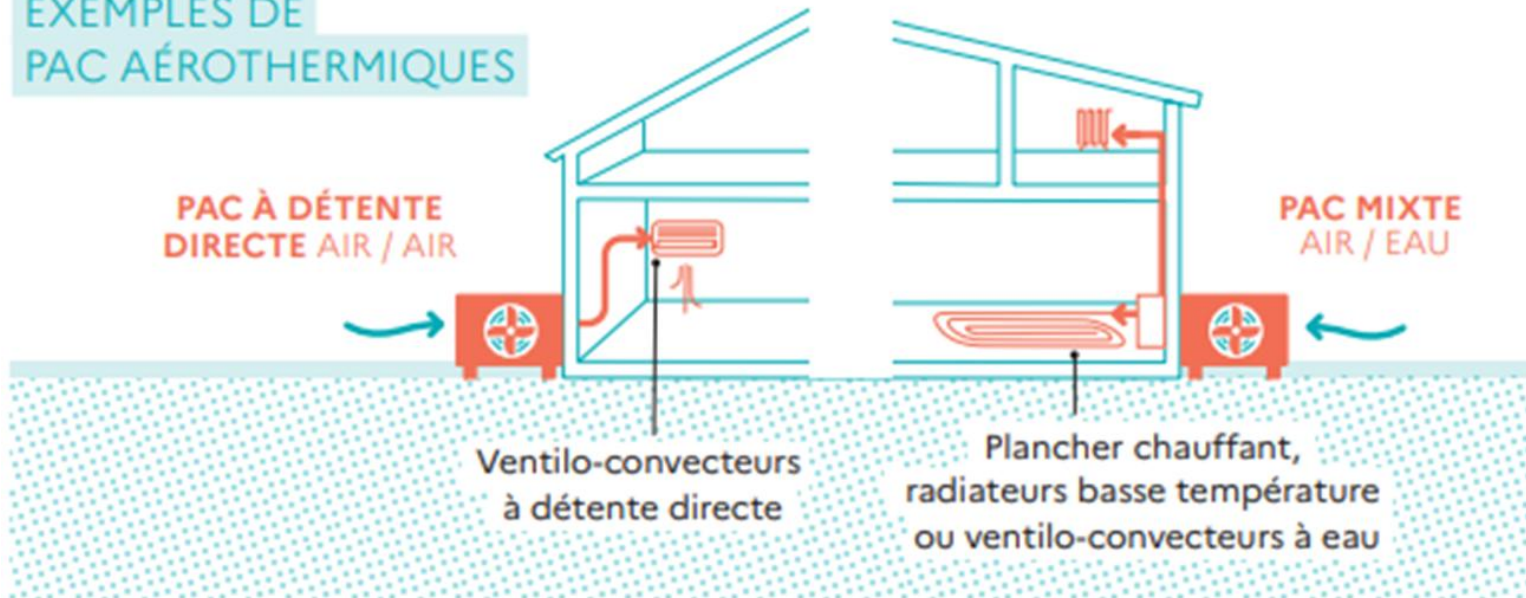
+	-
► Possibilité de fonctionner à basse ou haute température ► Réversible ► Pas de cheminée ► Pas d'amenée de combustible ► Large gamme de puissance ► Peut être combiné à du PV	► Investissement plus élevé qu'une chaudière ► Utilisation de fluides frigorigènes (effet serre) ► Nécessite réseau électrique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



Variantes PAC aérothermiques

- air/air ou air/eau

EXEMPLES DE PAC AÉROTHERMIQUES



Source : ADEME



Variantes PAC aérothermiques

► Air-air

Unité intérieure murale →



← Unité intérieure d'allège



Unité extérieure



Unité intérieure de plafond (intégrée) →



Unité intérieure gainable (faux plafond) →



← Unité intérieure de plafond (apparente)

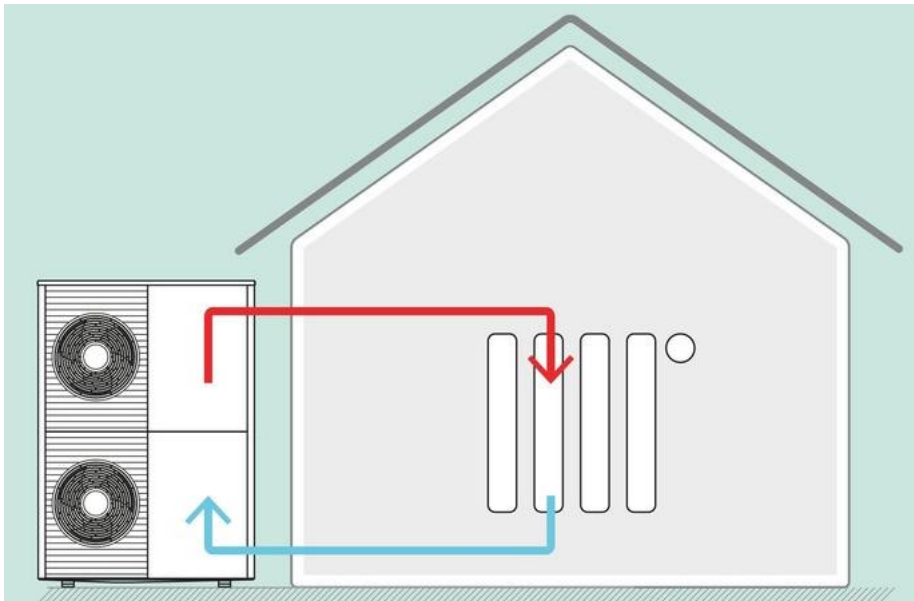


Variantes PAC aérothermiques

- Monobloc ou split

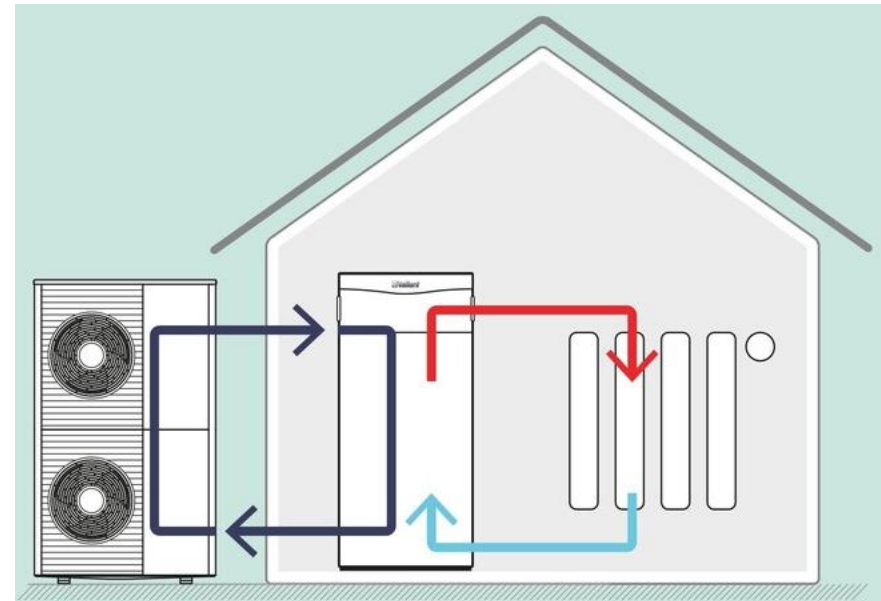
Monobloc

- Tous les composants sont intégrés dans un seul appareil.
- Installation est simple



Split

- Composants sont « splitter » en deux unités à l'extérieur et à l'intérieur
- Conduites de réfrigérant doivent être installées par un professionnel



Source : Vaillant



Variantes PAC aérothermiques

- Split air/eau

Petite puissance ➔



Source : Aermec

Grande puissance ➔



Source : Öchsner



Variantes PAC aérothermiques

- Monobloc

Petite puissance →



Source : Vaillant

Grande puissance →

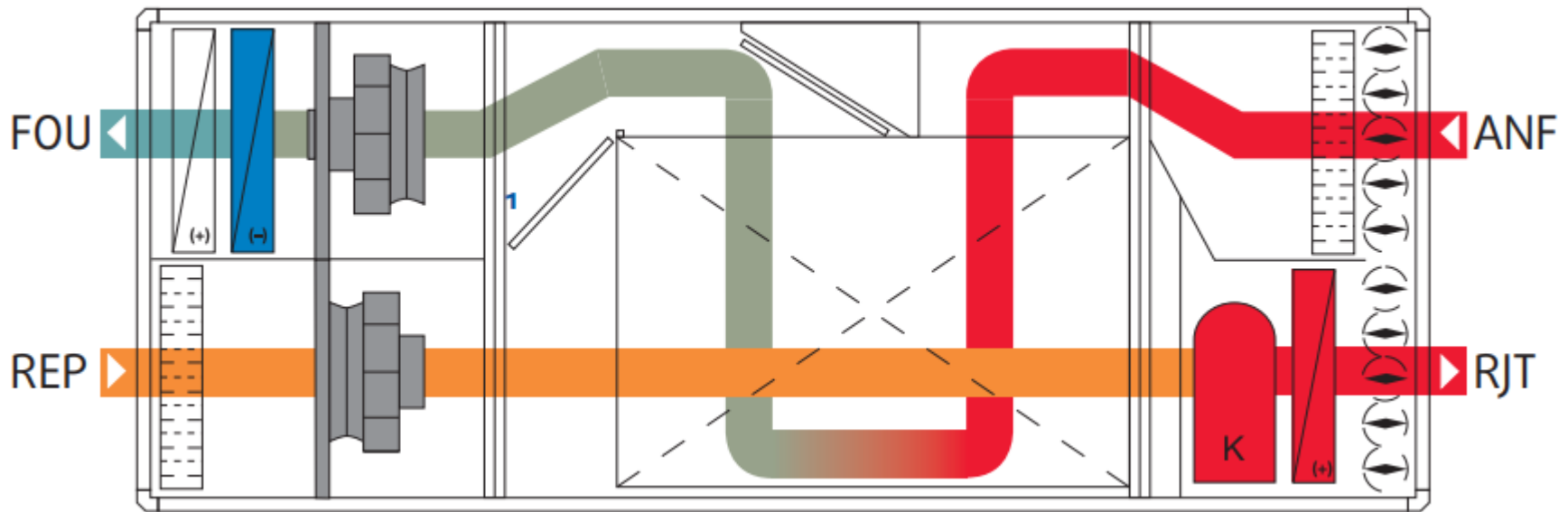


Source : Aermec



Variantes PAC aérothermiques

- Pompe à chaleur à détente directe dans une centrale de traitement d'air



Source : Menerga



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

- Types
- Sources froides
- PAC aérothermique
- **PAC géothermique**
- Circuits et dénominations

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRES

RÉGULATION

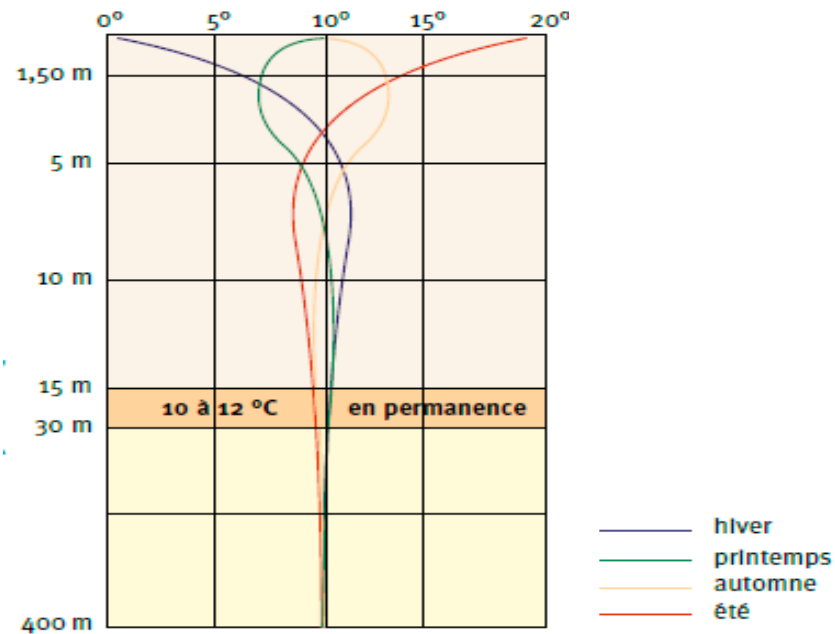
RÉVERSIBILITÉ

RÉGLEMENTATIONS



Sources froides (sol)

- Température du sol :



Source: Buildwise-NIT 259



Différents moyens de capter l'énergie du sol

- ▶ Capteurs horizontaux:
- ▶ Corbeilles géothermiques:
- ▶ Capteurs verticaux
 - Géothermie fermée
 - Géothermie ouverte

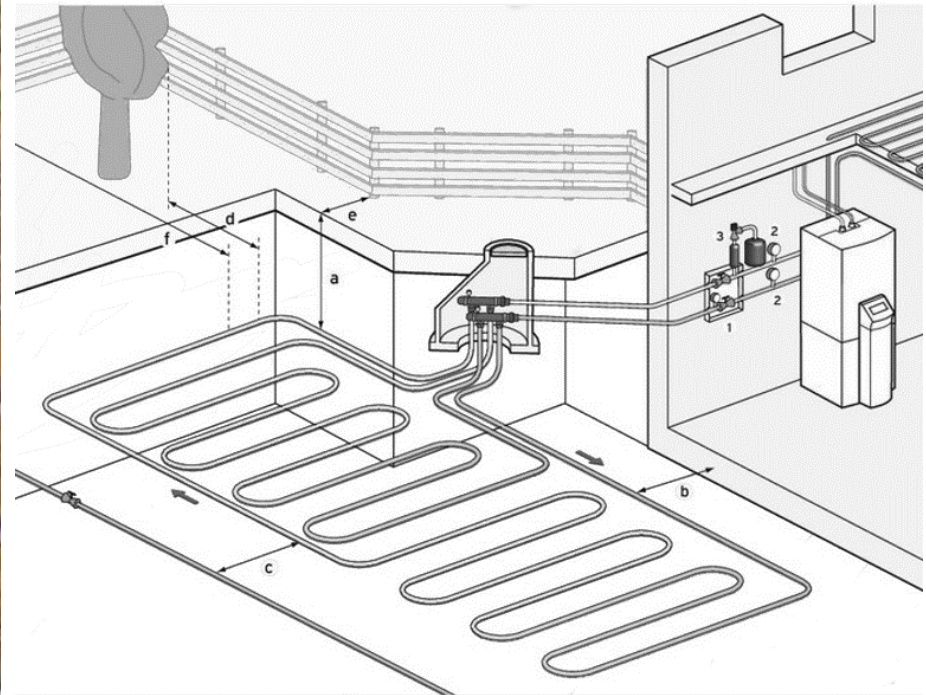


Pompe à chaleur géothermique – Sondes horizontales

- 0,6 → 1,2 m sondes horizontales



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



Source : Vaillant

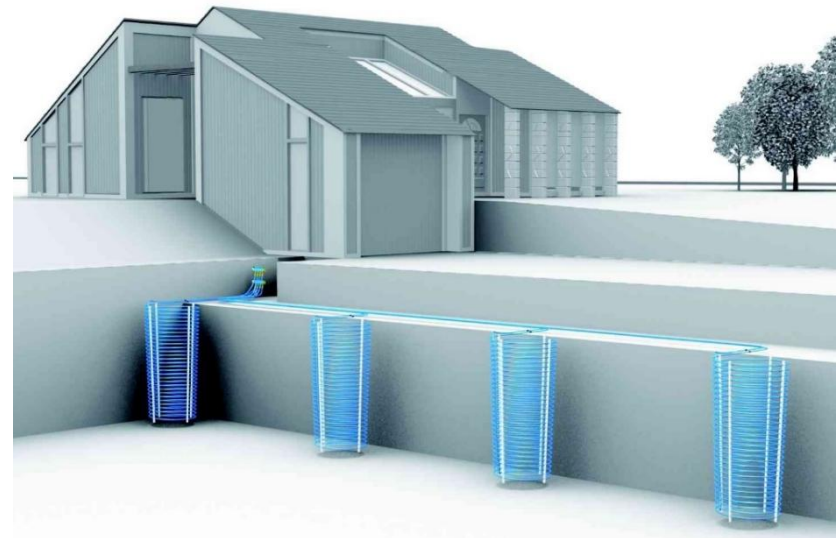


Pompe à chaleur géothermique – Corbeille

→ 5 m

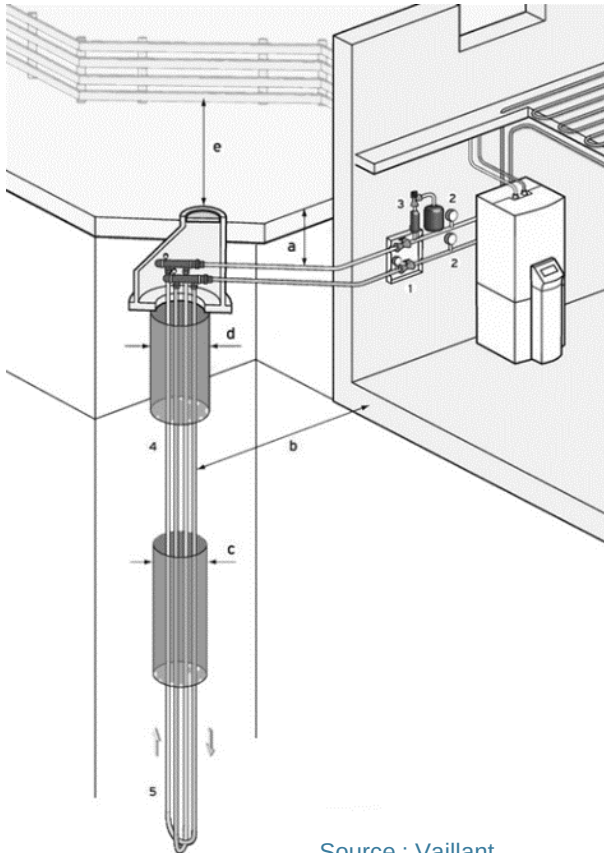


Source : <http://www.af-sa.ch/>



Pompe à chaleur géothermique – Sondes verticales

► → 100-300 m



Source : Vaillant



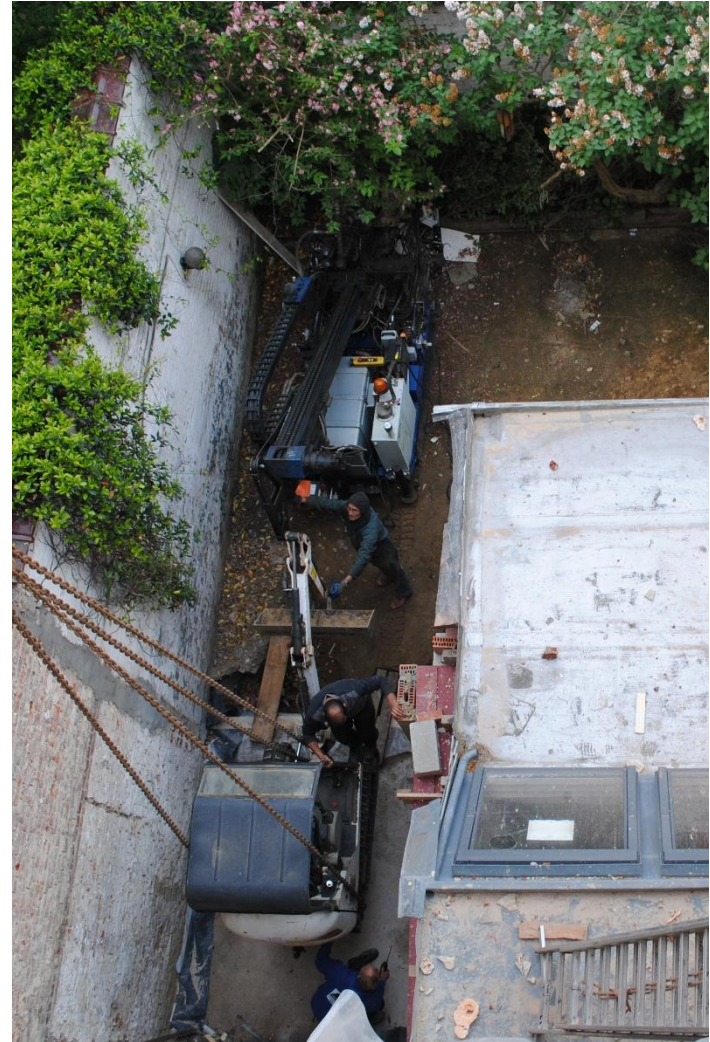
Source : écorce



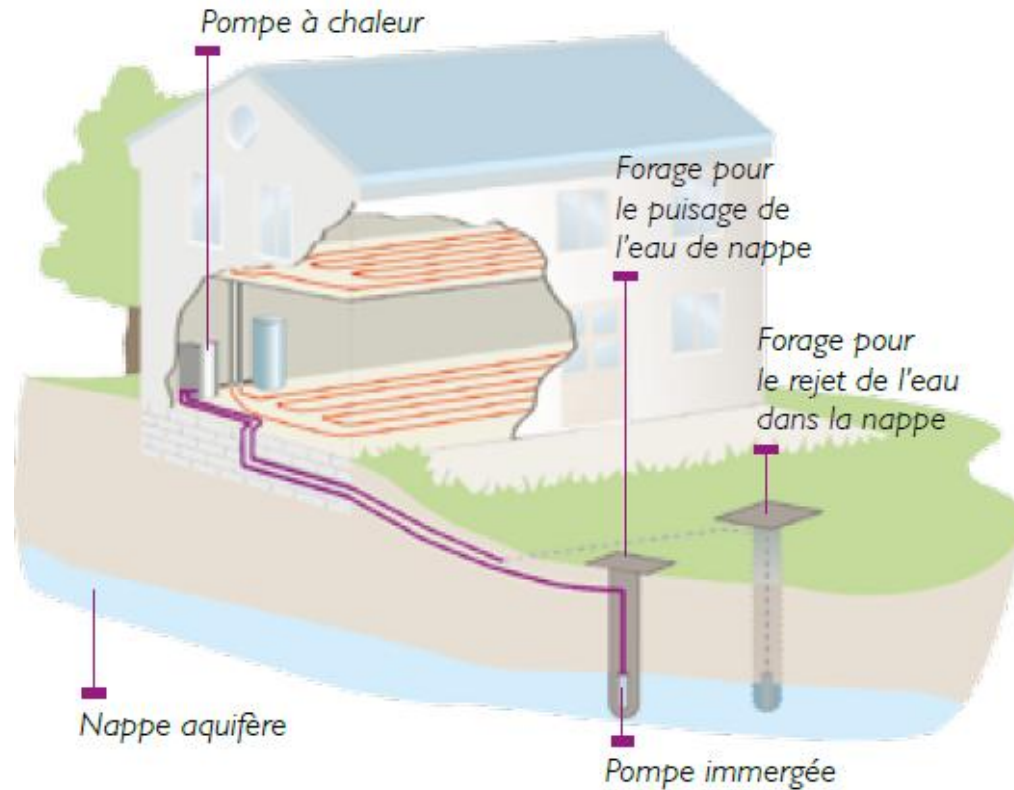
Pompe à chaleur géothermique – Sondes verticales



Pompe à chaleur géothermique – Sondes verticales



Pompe à chaleur géothermique – Sondes verticales sur nappe phréatique



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

- Types
- Sources froides
- PAC aérothermique
- PAC géothermique
- **Circuits et dénominations**

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRES

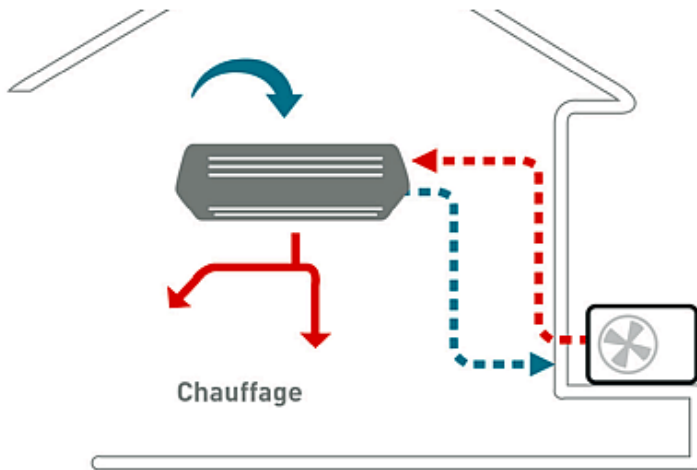
RÉGULATION

RÉVERSIBILITÉ

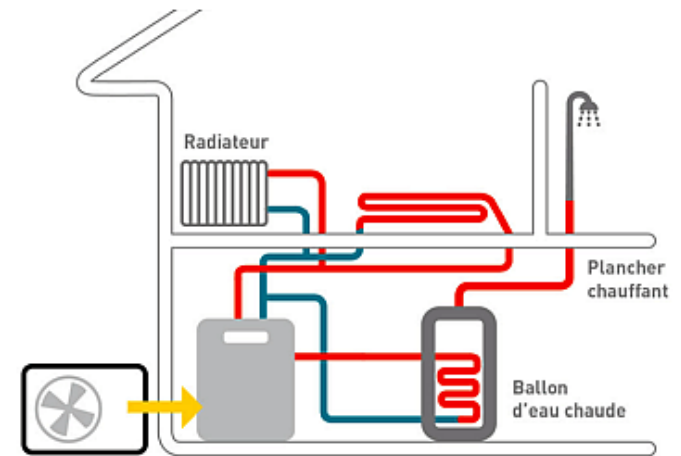
RÉGLEMENTATIONS



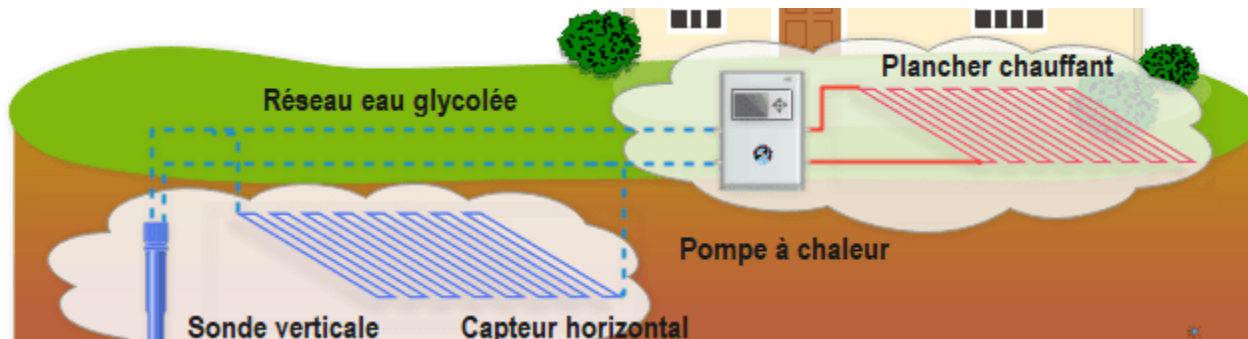
Différentes configurations de PAC:



A détente directe



Mixtes



A fluides intermédiaires



Nomenclature PAC

- ▶ **AIR** : échange direct air - fluide frigo
- ▶ **SOL** : échange direct terrain – fluide frigo
- ▶ **EAU** : échange eau « pure » – fluide frigo
- ▶ **EAU GLYCOLEE** : échange eau glycolée – fluide frigo

SOURCE FROIDE/SOURCE CHAUDE	Détente directe	Mixte	A fluides intermédiaires
AIR/AIR	x		
AIR/EAU		x	
SOL/SOL	x		
SOL/EAU		x	
EAU/EAU		x	x
EAU GLYCOLEE/EAU			x



35 FACTEUR DE PERFORMANCE SAISONNIER

On peut s'attendre aux SPF suivants pour des installations correctement dimensionnées et régulées avec PAC modulante :

TYPE DE POMPE A CHALEUR	FPS (HT:55°C)	Rendement sur énergie primaire	FPS (BT:35°C)	Rendement sur énergie primaire
AIR – AIR	/	/	4	160%
AIR – EAU	3,1	124%	4,2	168%
SOL _H – EAU	3,2	128%	4,6	184%
SOL _V – EAU	4,3	172%	5,1	204%

Attention : plusieurs manières de calculer/mesurer le FPS !

Sources : Valeurs des FPS W35DT5K et W55DT5K issues des données de plusieurs fabricants selon les conditions de tests de la EN14511 et selon la EN14825 pour la méthode de calcul des rendements saisonniers.



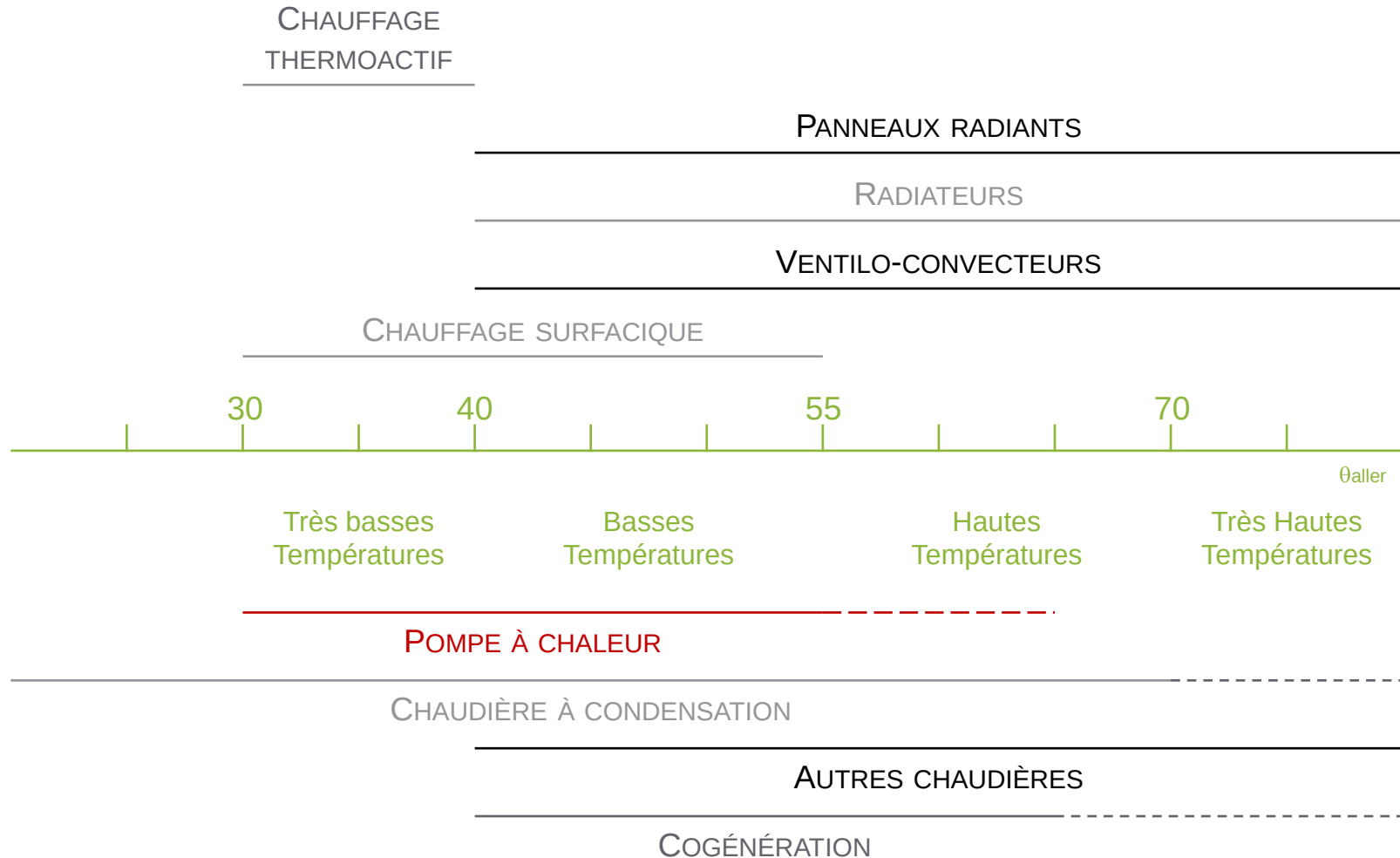
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES

EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRES
RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ
RÉGLEMENTATIONS



Compatibilité émission / production



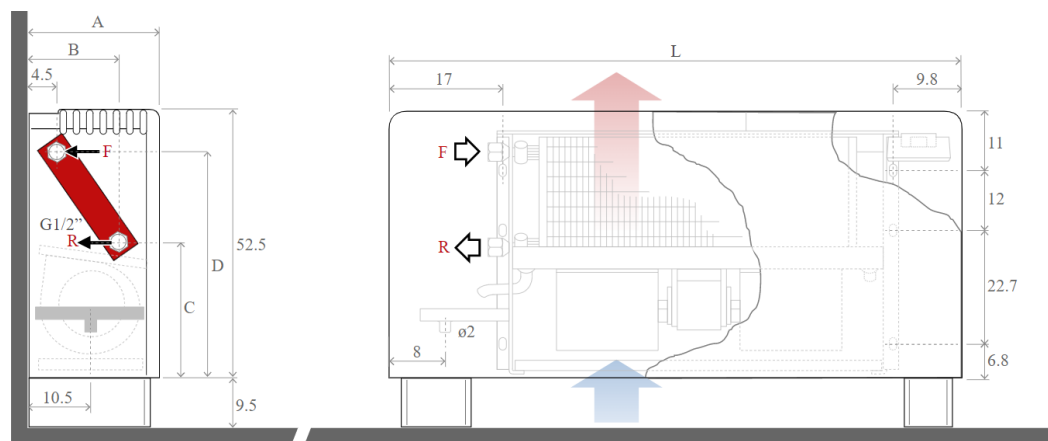
Et en refroidissement ?

- ▶ Il existe habituellement 2 régimes de température :
 - 7/12°C « refroidissement »,
 - ⇒ production de condensats
 - 16/18°C → « rafraichissement »,
 - ⇒ sans production de condensat,
 - ⇒ puissance limitée,
 - ⇒ compatible au refroidissement passif
- ▶ Emetteurs compatibles :
 - Identiques au chauffage excepté les radiateurs,
 - Doivent être prévus et dimensionnés pour la production de froid, et éventuellement la gestion des condensats,
 - Éventuellement réversibles chaud/froid, bi-tube ou 4-tubes



Dimensionnement ?

- La température de départ a une forte influence sur la puissance d'émission.
- Exemple pour un ventilo-convecteur réversible :



Type	Hauteur [cm]	Longueur [cm]	Largeur [cm]	Position	CHAUFFER 75/65/20 [Watts]	CHAUFFER 55/45/20 [Watts]	CHAUFFER 45/35/20 [Watts]	CHAUFFER 35/30/20 [Watts]	LIGHT COOLING Non condensant 16/18/27 50% R.V. [Watts]	DEEP COOLING Total 7/12/27 50% R.V. [Watts]	DEEP COOLING sensible 7/12/27 50% R.V. [Watts]
02	Tous	Tous	Tous	max	4000	2386	1571	990	769	1833	1304

Source : Jaga



Dimensionnement ?

- La température de départ a une forte influence sur la puissance d'émission.
 - ⇒ En rénovation, le passage d'un système de production à haute température vers une pompe à chaleur implique de s'assurer que le système d'émission est suffisamment puissant.
- Exemple pour les radiateurs :

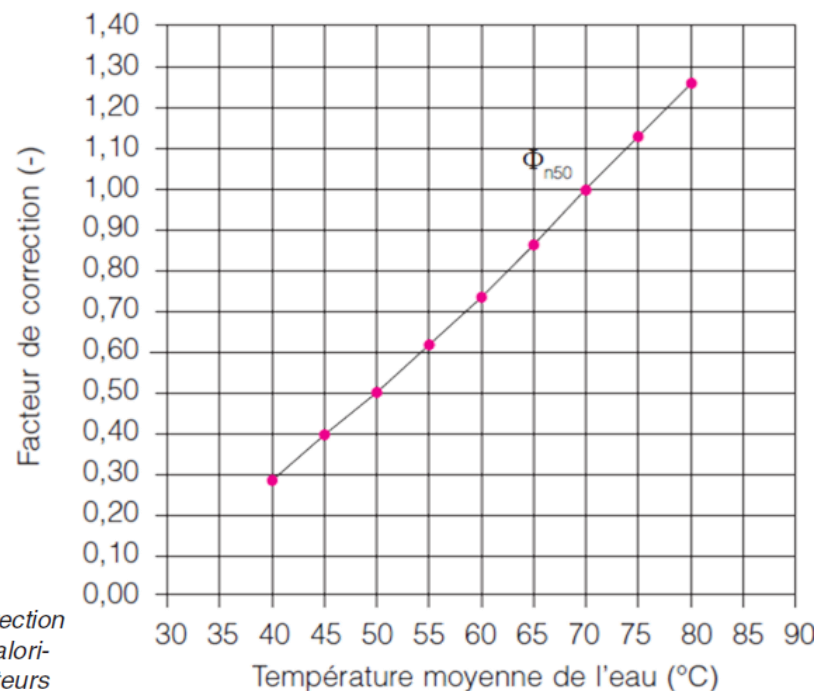
Tableau D.1 Valeurs de Φ/Φ_{n50} à diverses températures ambiantes et diverses températures d'eau pour un débit nominal (exposant $n = 1,3$) (suite).

Température de l'eau de départ θ_{wJ} (°C)	Température ambiante θ_a (°C)	Température de l'eau de retour θ_{wR} (°C)											
		30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
55	24	0,21	0,29	0,36	0,42	0,48							
	22	0,26	0,33	0,40	0,47	0,53							
	20	0,30	0,38	0,45	0,51	0,57							
	18	0,35	0,42	0,49	0,56	0,62							
	16	0,40	0,47	0,54	0,60	0,67							
50	24	0,19	0,26	0,32	0,37								
	22	0,23	0,30	0,36	0,42								
	20	0,27	0,34	0,40	0,46								
	18	0,31	0,38	0,44	0,50								
	16	0,36	0,42	0,49	0,55								
45	24	0,16	0,22	0,27									
	22	0,20	0,26	0,31									
	20	0,24	0,30	0,35									
	18	0,28	0,34	0,40									
	16	0,32	0,38	0,44									

Source : CSTC, Rapport 14

Fig. 11

Facteur de correction de l'émission calorifique des radiateurs d'un local à 20 °C.



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
EMISSION

EAU CHAUDE SANITAIRE

RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ
RÉGLEMENTATIONS



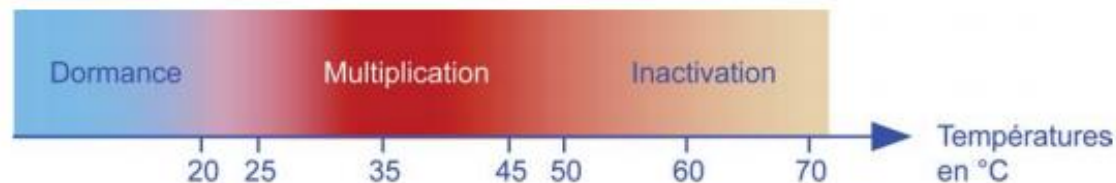
Particularités de la production d'ECS

► Besoin :

	Evier	Lavabo	Bain	Douche
Température de puisage (NBN 345)	55°C	40°C	40°C	40°C
Débit de puisage (DIN 1988-300)	4,2 l/min	4,2 l/min	9 l/min	9 l/min

► Hygiène : limiter la prolifération des légionnelles

La température est un facteur essentiel conditionnant le développement des légionnelles



▲ **Figure 13** : La croissance des légionnelles en fonction de la température. L'optimum de croissance se situe entre 25 et 45°C environ.

Source : Guide installations d'eau chaude sanitaire, règles de l'art Grenelle Environnement 2012

⇒ **Température de production ~ 60°C**



Différentes solutions existent :

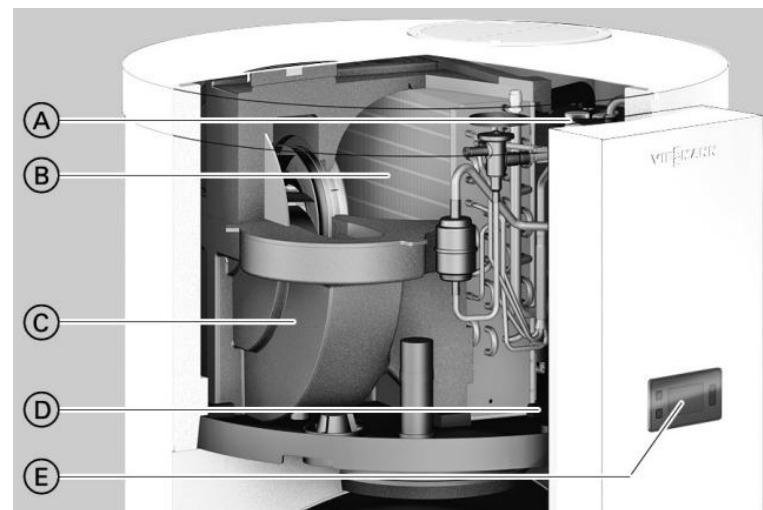
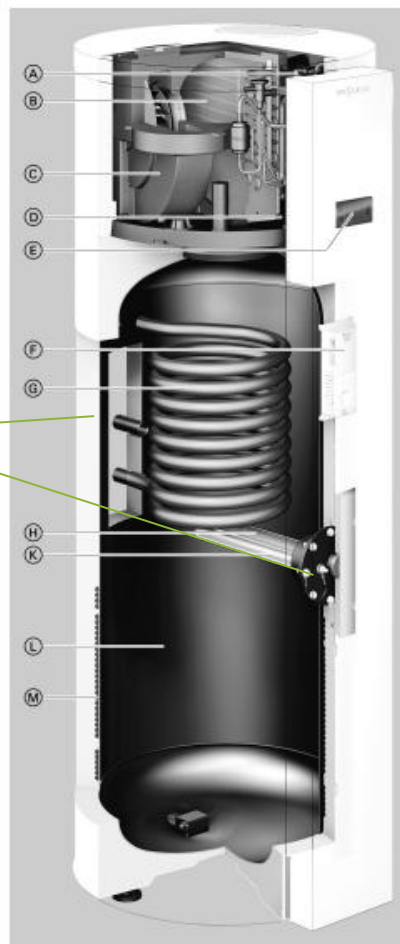
- ▶ le ballon thermodynamique,
- ▶ la PAC haute température dédiée (aéro- ou géo- thermique),
- ▶ la PAC mixte chauffage/ECS



Ballon thermodynamique - Principe

- Équipement indépendant de production d'eau chaude sanitaire (ECS) associant un volume de stockage et une petite PAC dédiée au chauffage de cette eau.

Peut-être combiné à
du solaire thermique
ou photovoltaïque



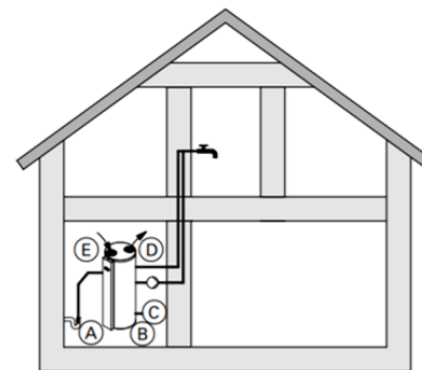
- (A) Compresseur
- (B) Evaporateur
- (C) Ventilateur
- (D) Séparateur de liquide
- (E) Module de commande
- (F) Régulation de pompe à chaleur
- (G) Type T2H-ze uniquement :
échangeur de chaleur pour le raccordement d'un générateur de chaleur externe
- (H) Système chauffant électrique (intégré pour le type T2E-ze,
accessoire pour le type T2H-ze)
- (K) Anode de protection au magnésium
- (L) Préparateur d'eau chaude sanitaire
- (M) Condenseur



Ballon thermodynamique - Source froide

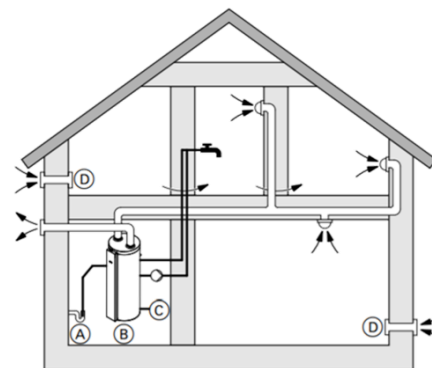
- ▶ **Air ambiant d'un local non chauffé :**
 - Profite en hiver de T° plus élevées que sur air extérieur
 - MAIS prélève une partie de l'énergie en volume chauffé (car l'espace adjacent non chauffé (EANC) est indirectement chauffé par le volume adjacent)

Représentation système pour une utilisation sur air ambiant



Exemple avec le type T2E-ze

Représentation système pour une utilisation sur air évacué



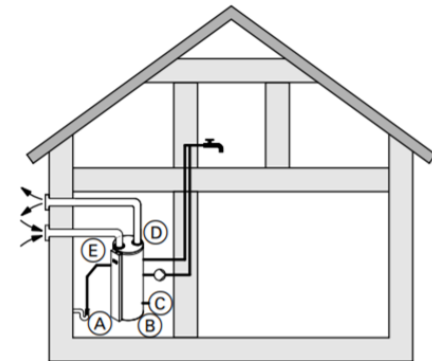
- ▶ **Air extrait de la ventilation :**
 - Lié à la ventilation → débit d'air plus faible que pour les autres types d'appareils (200 m³/h à 350 m³/h)
 - T° moyenne de la source froide plus élevée



Ballon thermodynamique - Source froide

- ▶ **Air extérieur :**
 - Débit d'air non limité
 - T° moyenne de la source froide plus faible en hiver (performance moindre)
 - Pas d'incidence sur l'ambiance du bâtiment

Représentation système pour une utilisation sur air extérieur

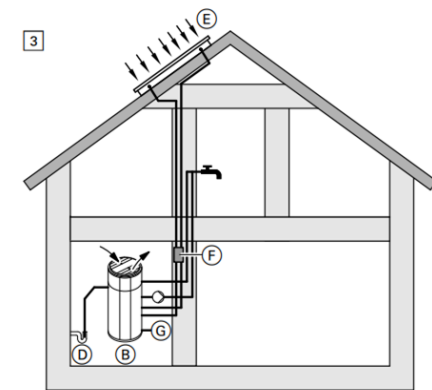


Exemple avec le type T2E-ze

Solaire thermique

- ▶ Exemple : 6m² de capteurs plans pour un volume de 300 litres

Type WWKS (avec utilisation de l'énergie solaire)



Boiler thermodynamique – Exemple



Source : Ecorce



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
EMISSION
EAU CHAUDE SANITAIRE
RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ
RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS



Fonctionnement monovalent:

- ▶ La PAC est l'unique producteur de chaleur
- ▶ La PAC couvre tous les besoins en énergie de chauffage du bâtiment

Fonctionnement bivalent:

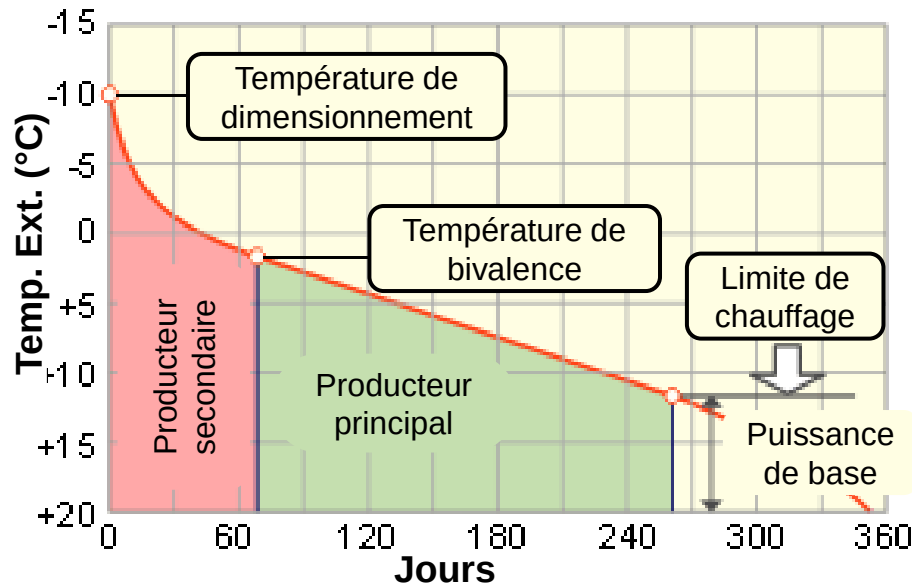
- ▶ En plus de la PAC, un producteur de chaleur supplémentaire est à disposition (chaudière, résistance électrique...)
- ▶ Bivalent-parallèle: $T_{\text{ext}} < T_{\text{bivalence}} \rightarrow 2$ producteurs travaillent parallèlement
 - Si point de bivalence situé à 50 % de la puissance de dimensionnement, 80 à 90 % du besoin annuel de chaleur peut être couvert par la PAC
- ▶ Bivalent-alternatif = $T_{\text{ext}} < T_{\text{bivalence}} \rightarrow$ basculement entre les 2 producteurs



51 PRINCIPE DE MONOVALENCE ET DE BIVALENCE

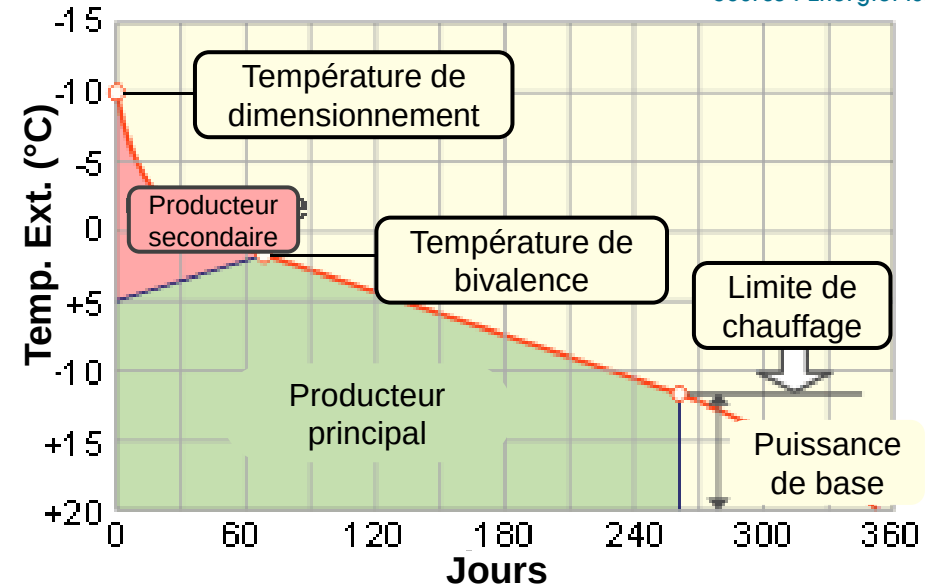
Modes de fonctionnement

Alternatif



Parallèle

Source : EnergiePlus

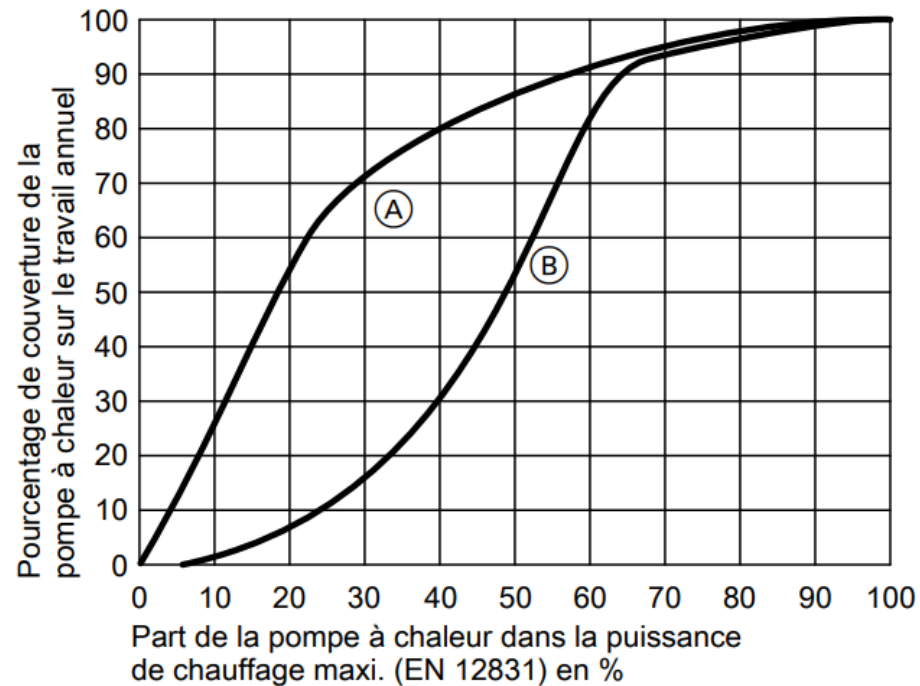


- ▶ Producteur secondaire dimensionné sur la puissance totale
- ▶ Performance importante nécessaire du système secondaire (pas d'électricité)
 - ⇒ Gros bâtiment (investissement dans 2 systèmes)
 - ⇒ Ajout d'une PAC dans une installation existante

- ▶ Producteur secondaire considéré comme « appoint »



Part de production



A : Fonctionnement parallèle

B : Fonctionnement alternatif

Source : Viessmann

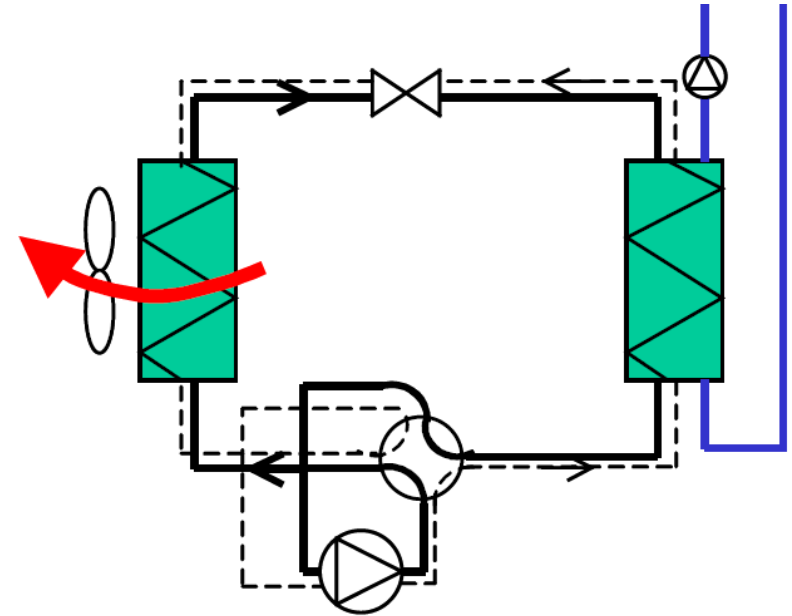
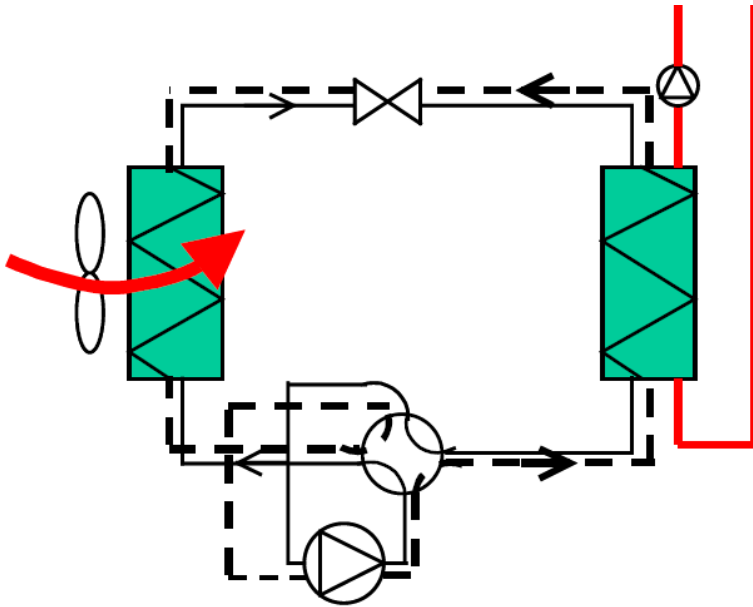


PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
EMISSION
EAU CHAUDE SANITAIRE
RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ
RÉGLEMENTATIONS ET SOUTIENS



Réversibilité:

- ▶ PAC peut fonctionner:
 - En chauffage
 - En refroidissement/rafraîchissement
- ▶ Utilisation d'une vanne 4 voies (vanne d'inversion de cycle)



PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT
PRÉSENTATION DES TECHNOLOGIES
SOURCES CHAUDES
EAU CHAUDE SANITAIRES
RÉGULATION
RÉVERSIBILITÉ
RÉGLEMENTATIONS



Différentes réglementations applicables

- ▶ Label & Ecodesign :
 - Label : étiquetage des équipements selon les performances thermiques et acoustiques
 - Ecodesign : exigences minimales en termes de performance énergétique
- ▶ PEB Chauffage et Climatisation : définit les contrôles et entretiens nécessaire en fonction du type d'équipement et de sa puissance
- ▶ Guide d'exploitation des installations de réfrigération : présente l'ensemble des obligations applicables en RBC (d'un point de vue réfrigérant)
- ▶ Règlementation acoustique : Arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la lutte contre le bruit de voisinage
- ▶ Permis d'environnement





Primes 2024

J4 - Chauffage et chauffe-eau: Chauffage via pompe à chaleur

<https://renolution.brussels/fr/aidesfinancieres/j4-chauffage-et-chauffe-eau-chauffage-pompe-chaleur>

J5 – Chauffage et chauffe-eau : Radiateurs basse température

<https://renolution.brussels/fr/aidesfinancieres/j5-chauffage-et-chauffe-eau-radiateurs-basse-temperature>

J6 – Chauffage et chauffe-eau : Régulation thermique

<https://renolution.brussels/fr/aidesfinancieres/j6-chauffage-et-chauffe-eau-regulation-thermique>

J9 - Chauffage et chauffe-eau: Chauffe-eau via pompe à chaleur

<https://renolution.brussels/fr/aidesfinancieres/j9-chauffage-et-chauffe-eau-chauffe-eau-pompe-chaleur>

Déductions fiscales pour entreprises : investissements économiseurs d'énergie

<https://environnement.brussels/pro/services-et-demandes/primes-et-aides-financieres/realisez-des-investissements-en-economie-denergie>





Fonctionnement

- ▶ Performances d'une PAC varient fortement en fonction des choix posés en matière de :
 - Type de PAC
 - Dimensionnement de la PAC, de la source chaude et de la source froide
 - Régulation du système
 - Régimes de température nominaux et instantanés

⇒ Bien définir les besoins et les possibilités d'un projet avant de sélectionner son système
- ▶ L'installation d'une PAC demande généralement de respecter certaines exigences fixées par la réglementation (PE, PU, inventaire sols, ...)





Guide bâtiment durable

- Thème Energie

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

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

Dossier I Choisir les meilleurs modes de production de refroidissement renouvelable

Solution | Pompe à chaleur



Formations

- Pompe à chaleur : choix et conception





Sites internet

- ▶ Réglementation
 - [Réglementation PEB chauffage et climatisation](#)
 - [Réglementation systèmes géothermiques](#)
 - [Ecodesign \(811/2013 / 814/2013\)](#)
 - [Permis d'environnement et installations classées](#)
 - [Installations de réfrigération](#)
- ▶ Facilitateur
 - [Facilitateur PAC RW](#)
 - [Facilitateur RBC](#)
- ▶ Outils
 - [Application BrugeoTool](#)
 - [Présentation de l'outil BrugeoTool](#)
 - [Présentation « Pompes à chaleur » du CSTC](#)
 - [SmartGeotherm](#)



Juliette DEMBOUR

Ingénieure projet
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

