



# LES POMPES A CHALEUR

**Eric MICHEL**



6 rue Lavoisier – ZI St Christophe  
04 000 DIGNE LES BAINS

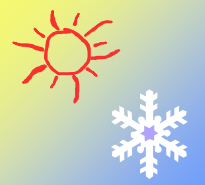
04 92 31 08 25

[e.michel@acd2.com](mailto:e.michel@acd2.com)

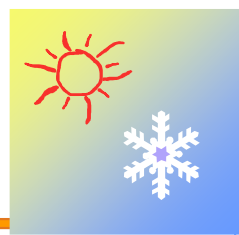
[www.acd2.com](http://www.acd2.com)



# Plan

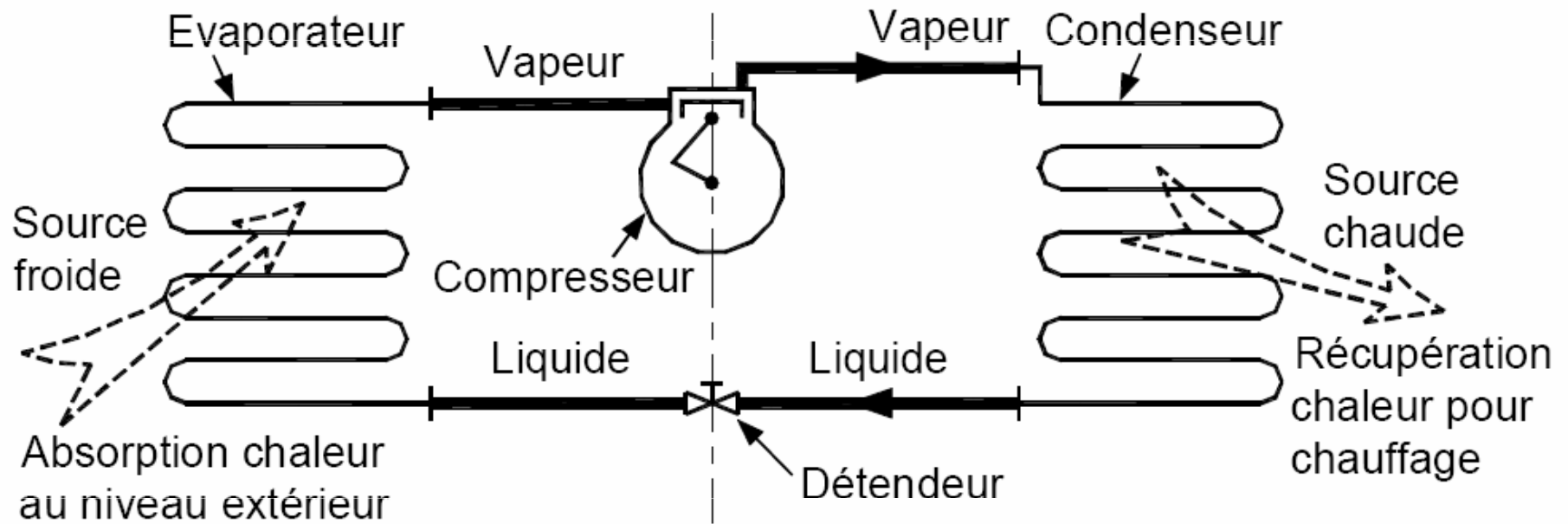
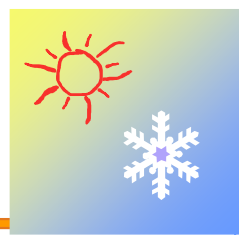


- Principes
- Performances
- Différentes technologies
- Dimensionnement
- Critères environnementaux
- Mise en œuvre



# PRINCIPES

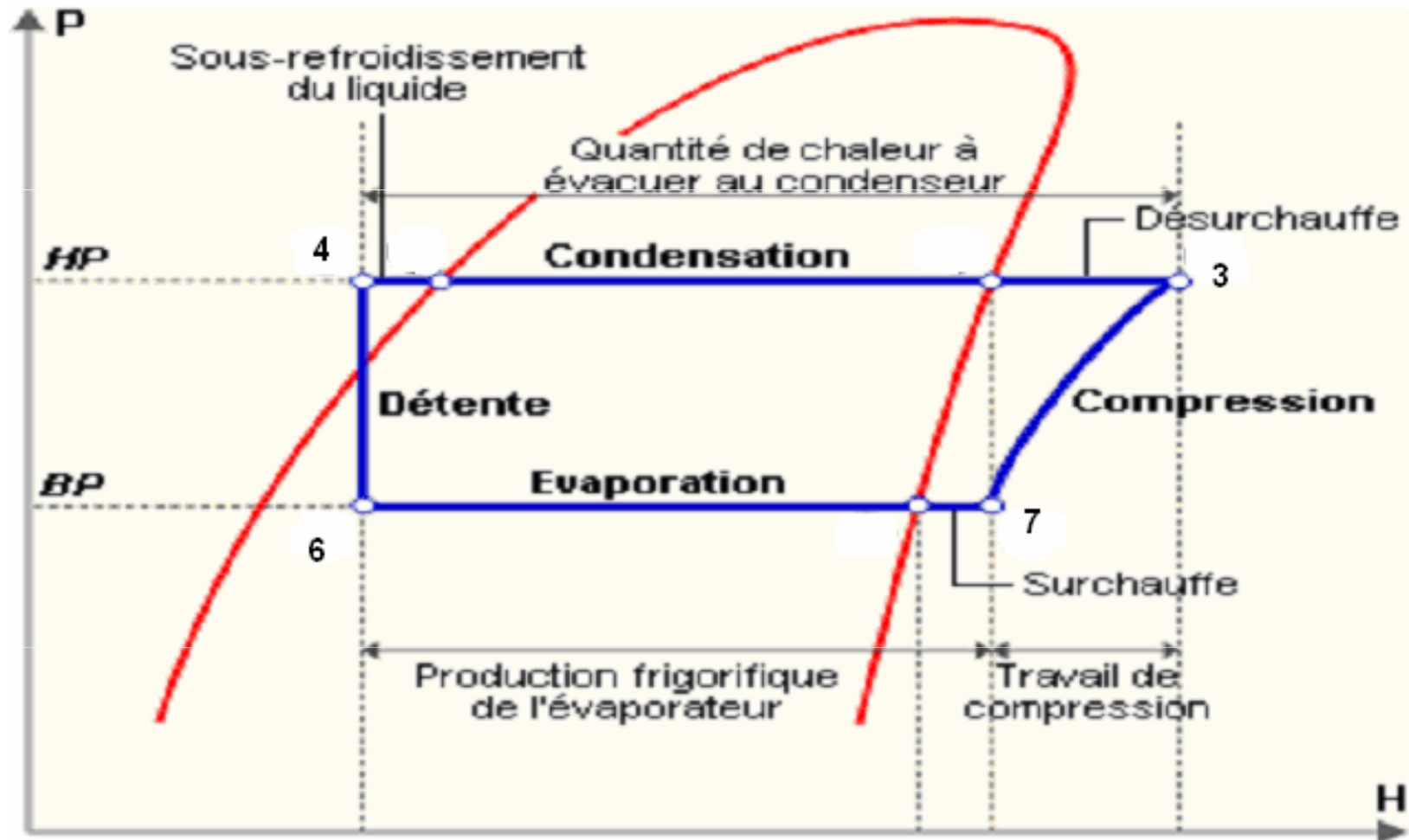
# Principe de fonctionnement d'une Pompe à Chaleur



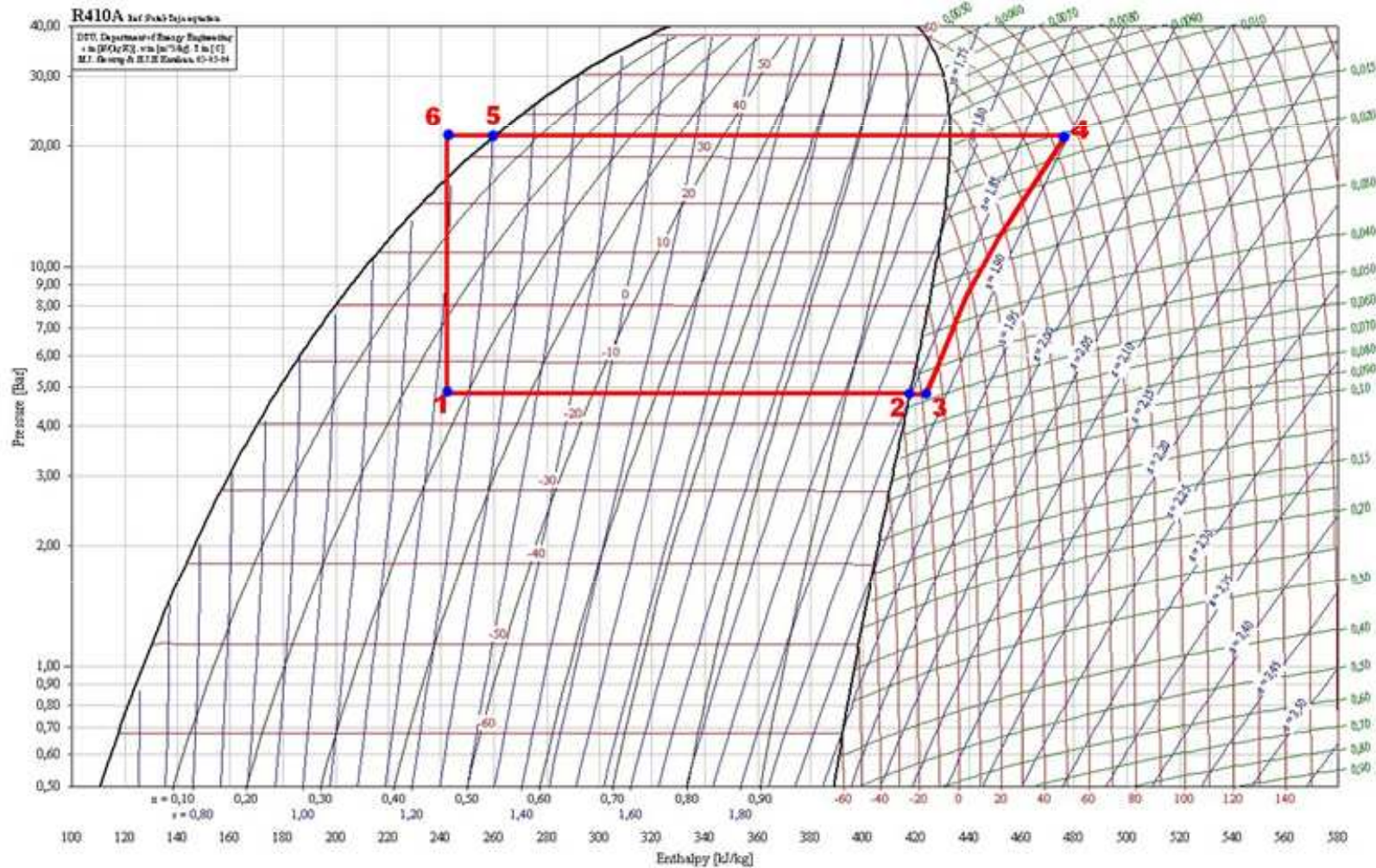
Source COSTIC



# Diagramme enthalpique du cycle frigorifique : diagramme de Mollier



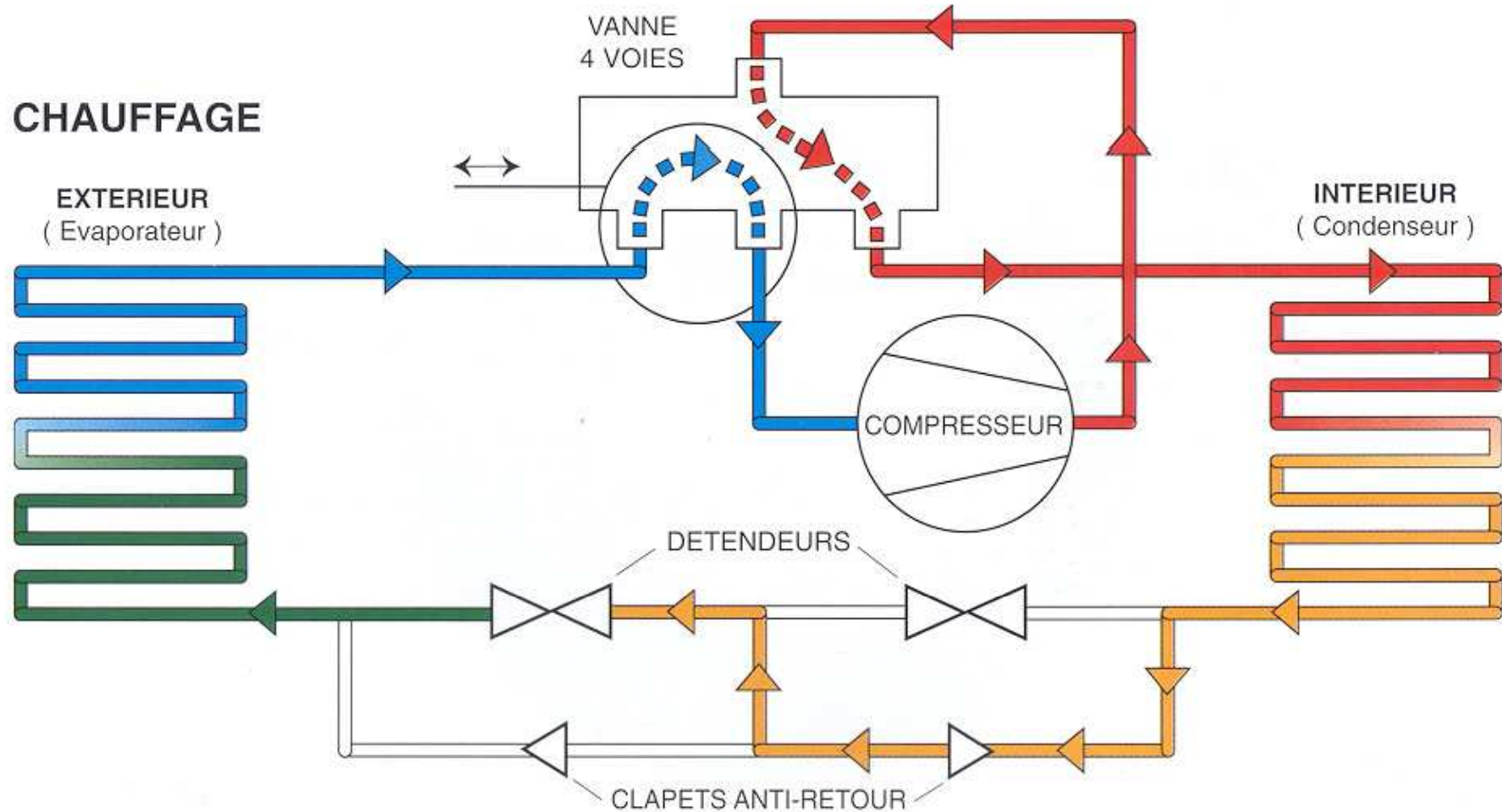
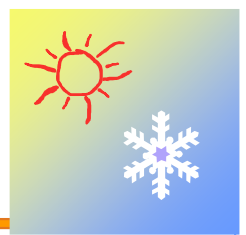
# Diagramme anthalpique du R410a





# Principe de fonctionnement

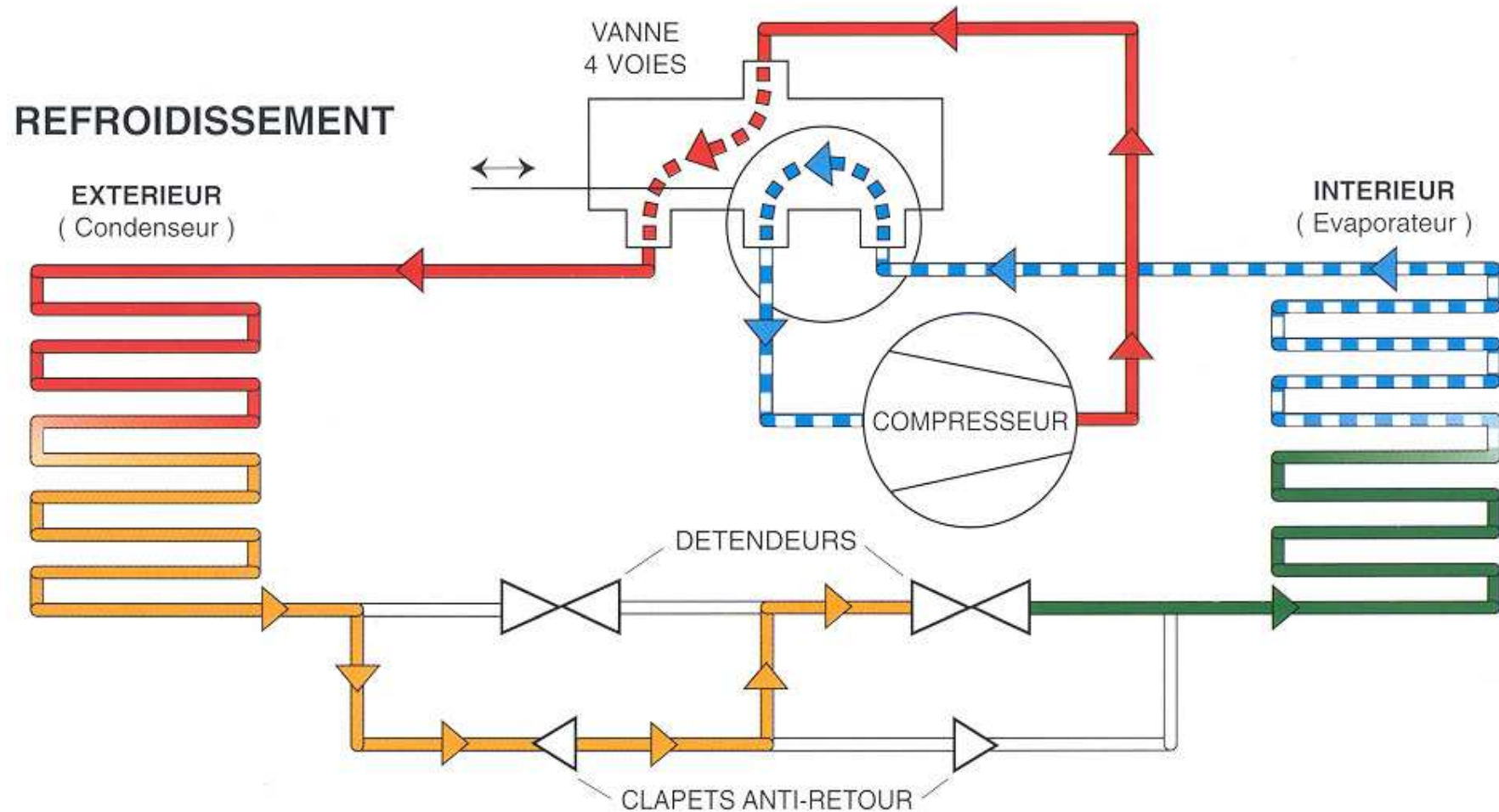
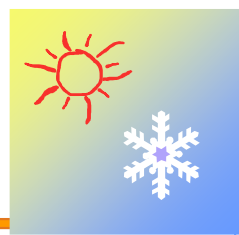
## Mode chaud



Source COSTIC

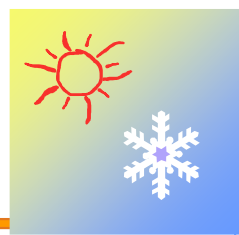
# Principe de fonctionnement

## Mode froid



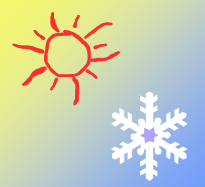
Source COSTIC





# PERFORMANCES

# Coefficient de performance (C.O.P.) et efficacité



La machine frigorifique est caractérisée par son coefficient de performance et son efficacité.

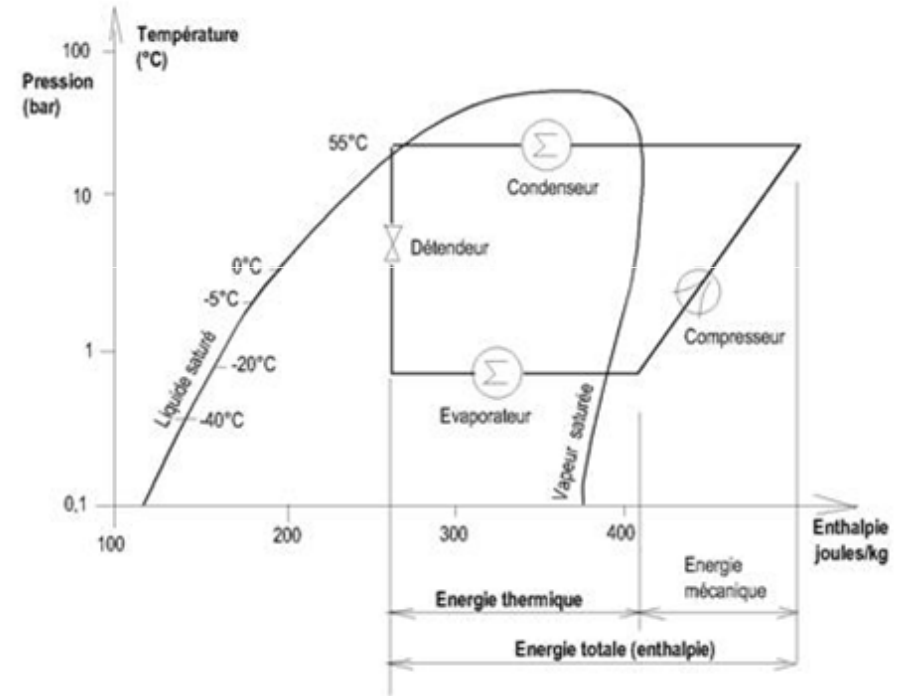
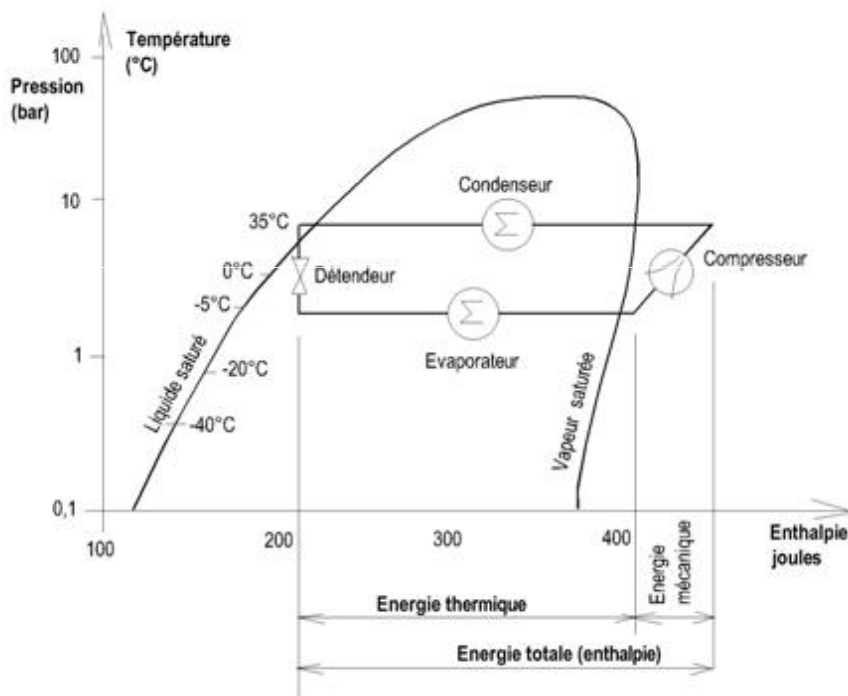
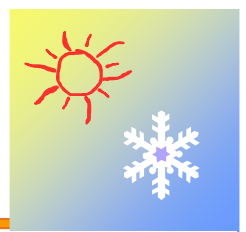
Dans le cadre d'une machine produisant du froid, on parle d'efficacité (ou bien COP froid). Il s'agit du rapport de la puissance froide produite sur la puissance fournie au compresseur :

$$\text{Efficacité} = \frac{P_{\text{frigorifique}}}{P_{\text{électrique}}} = \text{COP}_{\text{froid}}$$

Dans le cadre d'une pompe à chaleur, il s'agit du rapport de la puissance calorifique produite sur la puissance fournie au compresseur :

$$\text{COP} = \frac{P_{\text{calorifique}}}{P_{\text{électrique}}} = \text{COP}_{\text{chaud}}$$

# COP



Lorsque la température de la source chaude (condenseur) est proche de la température de la source froide (évaporateur), l'énergie mécanique fournie par le compresseur est plus faible et le COP (énergie frigorifique / énergie mécanique) est plus élevé.

# COP



**Le COP machine** : niveau de performance déterminé en laboratoire, donc dans des conditions d'essais qui peuvent être éloignées de la réalité.

**Le COP système** : prend en compte tous les éléments du système : la pompe à chaleur mais aussi circulateurs, pompes de relevage de l'eau, accessoires divers... Plus près de la réalité, mais encore théorique.

**Le COPA ou COP annuel** : il s'agit du COP système enregistré sur une saison de chauffe. C'est celui qui donne le rendement réel de l'installation. Selon la qualité de l'installation, il peut y avoir une grande différence entre le COP machine et le COPA.

# COP



On a d'après l'équation des gaz parfaits :

$$W_c = P_c.V_c = R.T_c$$

$$W_f = P_f.V_f = R.T_f$$

où  $R$  est la constante universelle des gaz parfaits ( $8,314 \text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ )

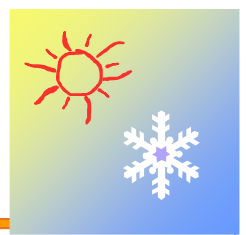
Le principe de la conservation de l'énergie permet d'écrire :

$$W_c = W_m + W_f$$

$$W_m = W_c - W_f = P_c V_c - P_f V_f = R (T_c - T_f)$$

$$\mathbf{COP_{id} = W_c / W_m = T_c / (T_c - T_f)}$$

# COP



Le COP global diffère du COP réel de la machine, car il faut tenir compte des pompes de circulation d'eau, des ventilateurs d'air, de l'énergie de dégivrage, etc.... En ajoutant les diverses consommations pour faire fonctionner ces accessoires, on définit le COP global de l'installation ou COP système par :

$$\text{COP}_g = k \cdot \text{COP}_{id} = k [T_c / (T_c - T_f)]$$

où  $k$  est un facteur qui dépend du type d'installation :

$k = 0,4$  à  $0,45$  pour de toutes petites machines (de la taille d'un climatiseur individuel)

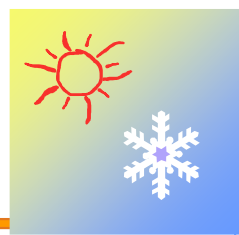
$k = 0,5$  à  $0,55$  pour une machine de moyenne puissance (de la taille d'une pompe à chaleur de maison individuelle)

$k = 0,6$  pour les machines de plusieurs dizaines ou centaines de kW

$k = 0,7$  à  $0,75$  pour les machines de très grandes puissances (plusieurs milliers de kW)

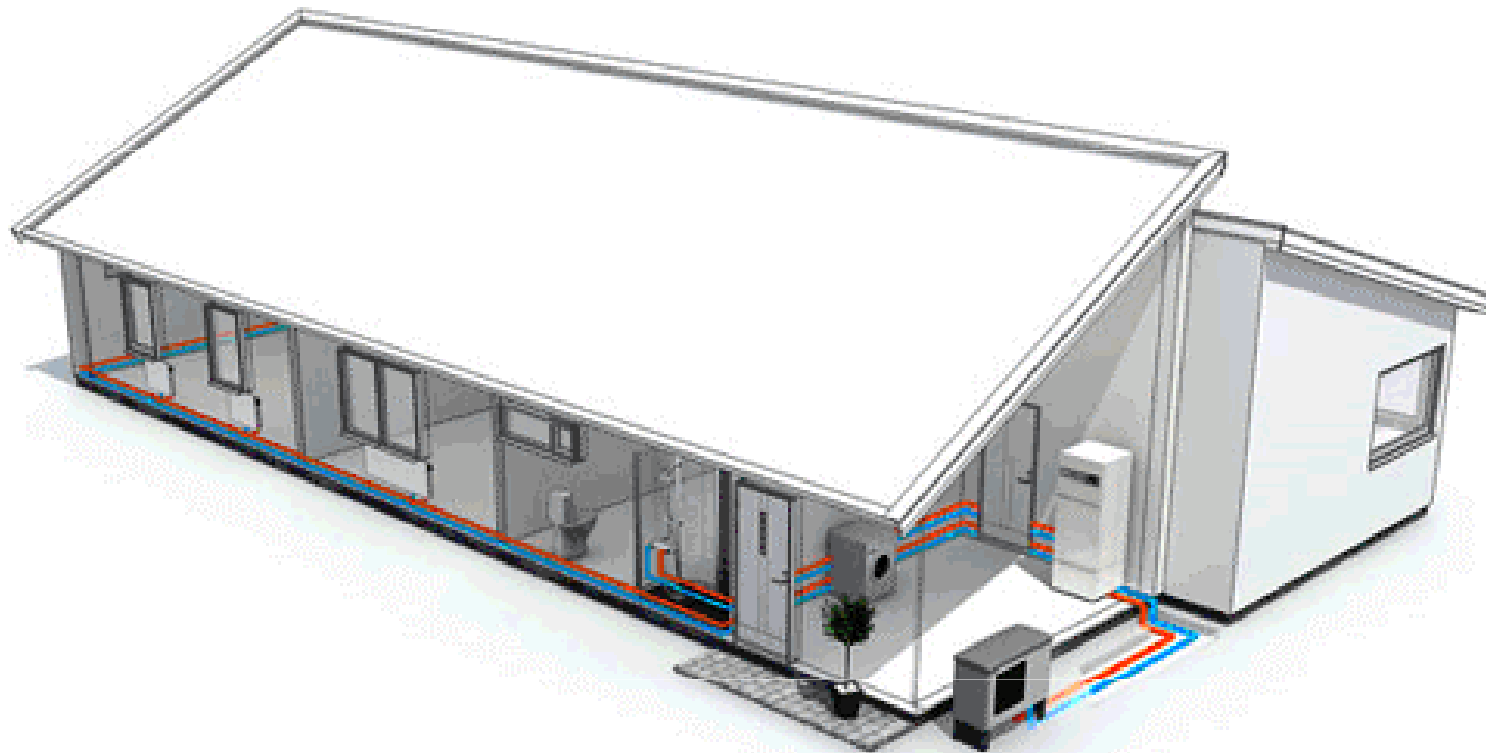
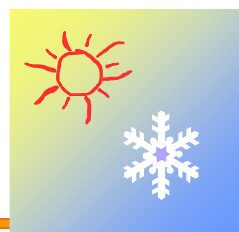
Ce COP n'intègre ni les pertes de chaleur dans les conduites, ni la consommation du chauffage d'appoint (quand il existe).





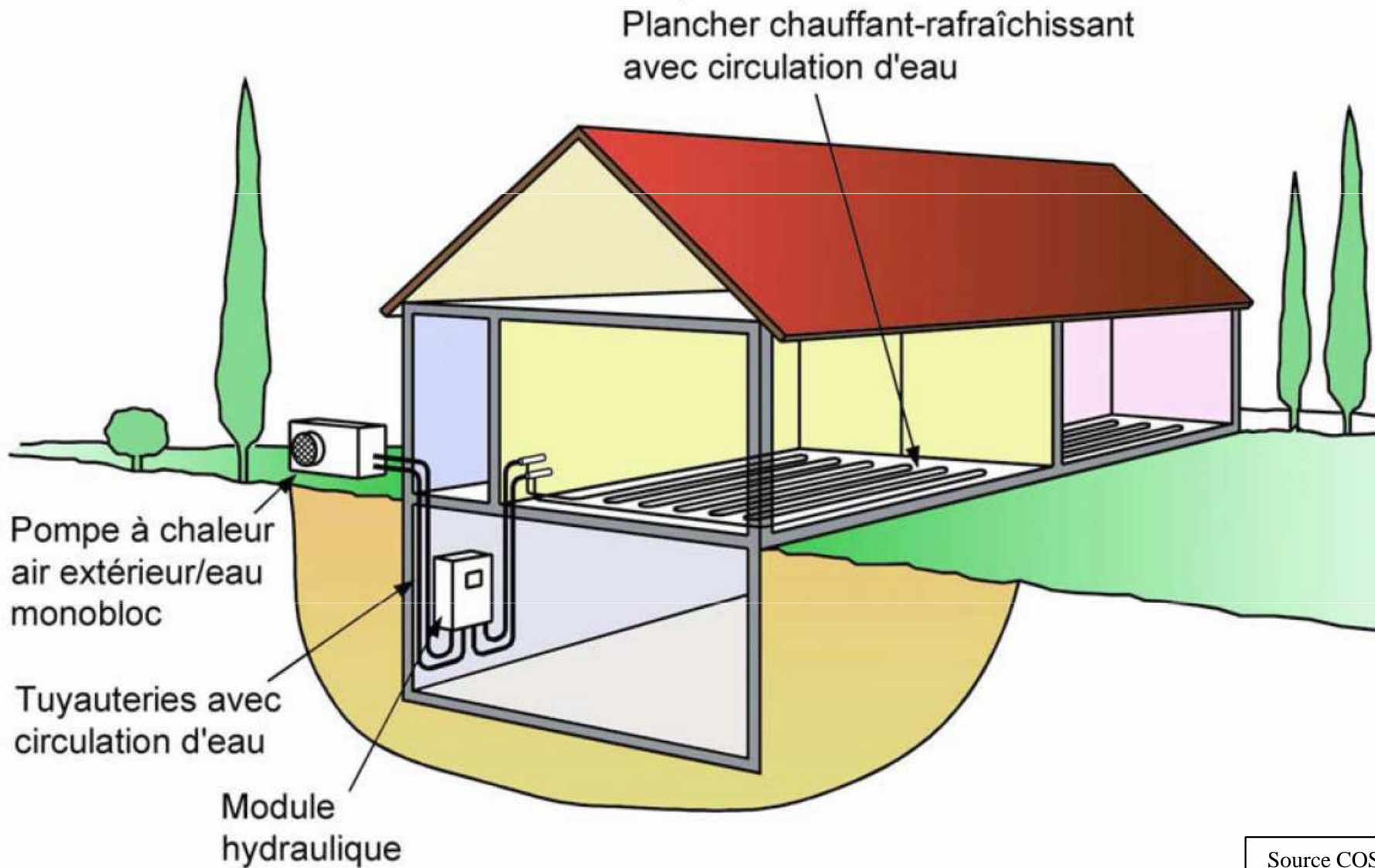
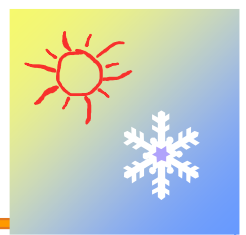
# LES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES

# PAC Air / Air



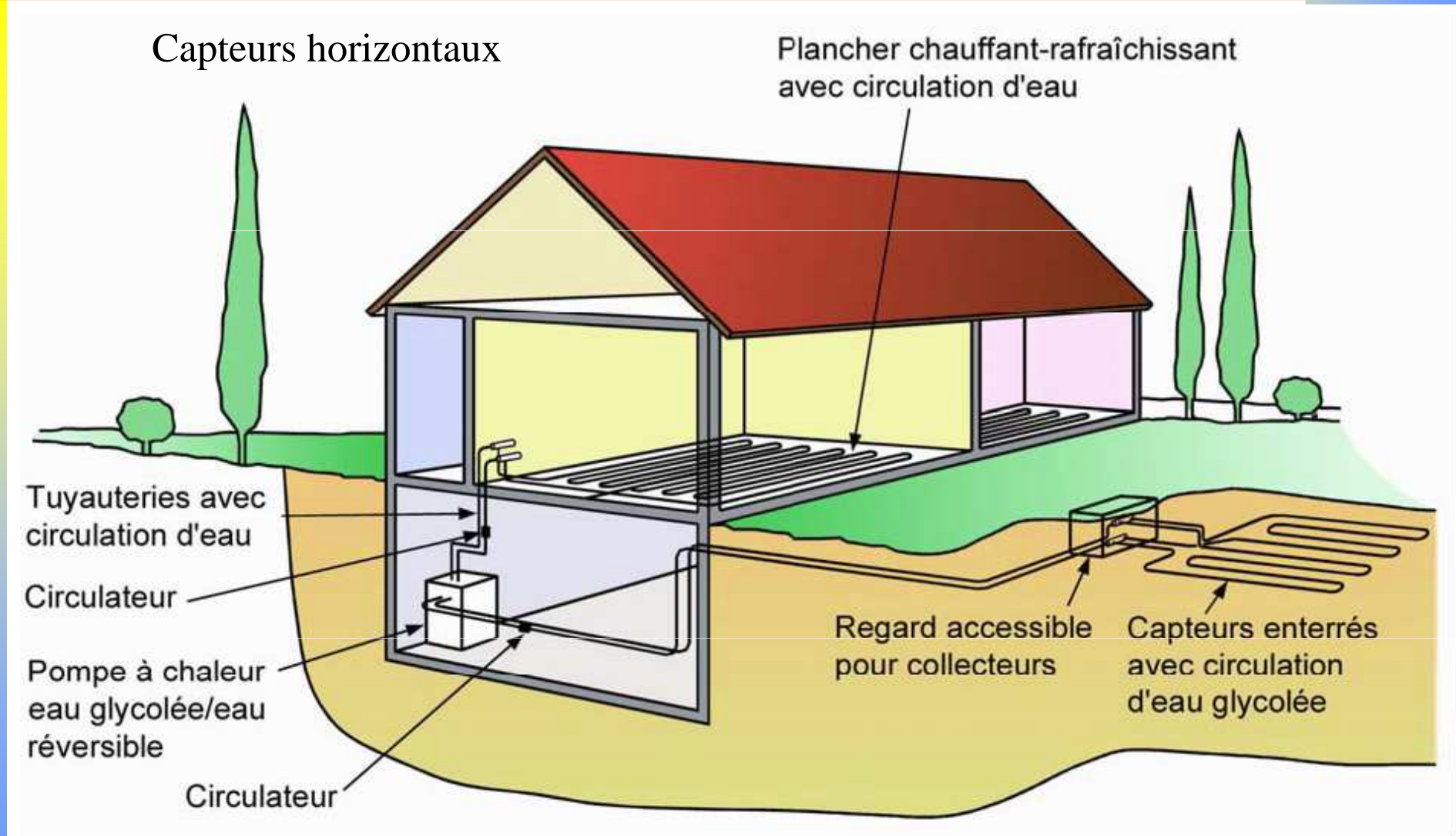
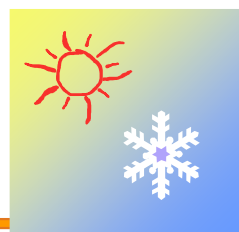
[www.schemapompeachaleur.fr](http://www.schemapompeachaleur.fr)

# PAC Air / Eau



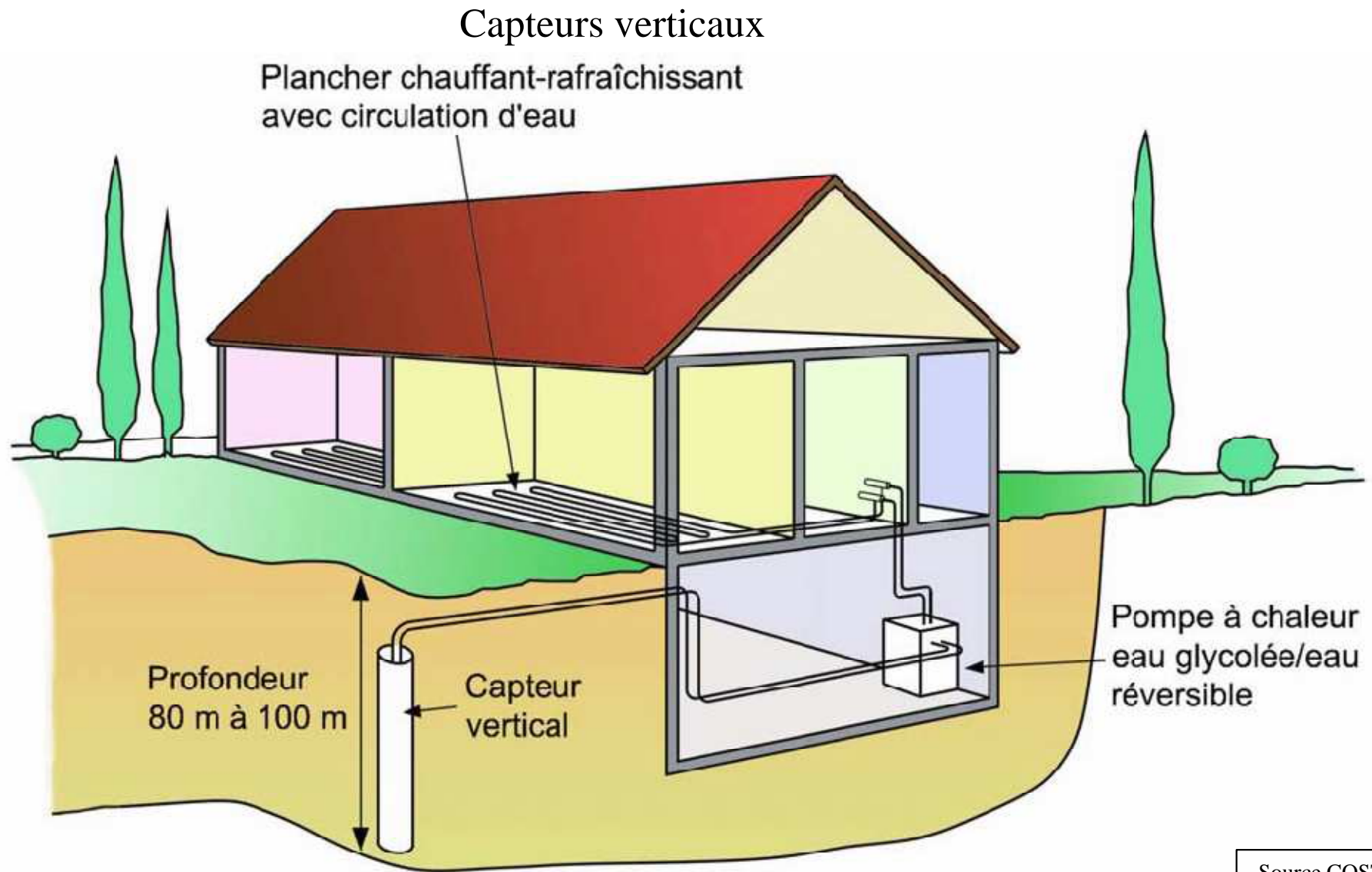
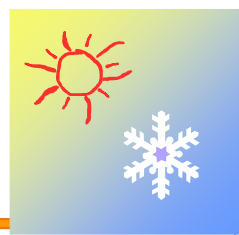
Source COSTIC

# PAC Eau glycolée / Eau



Source COSTIC

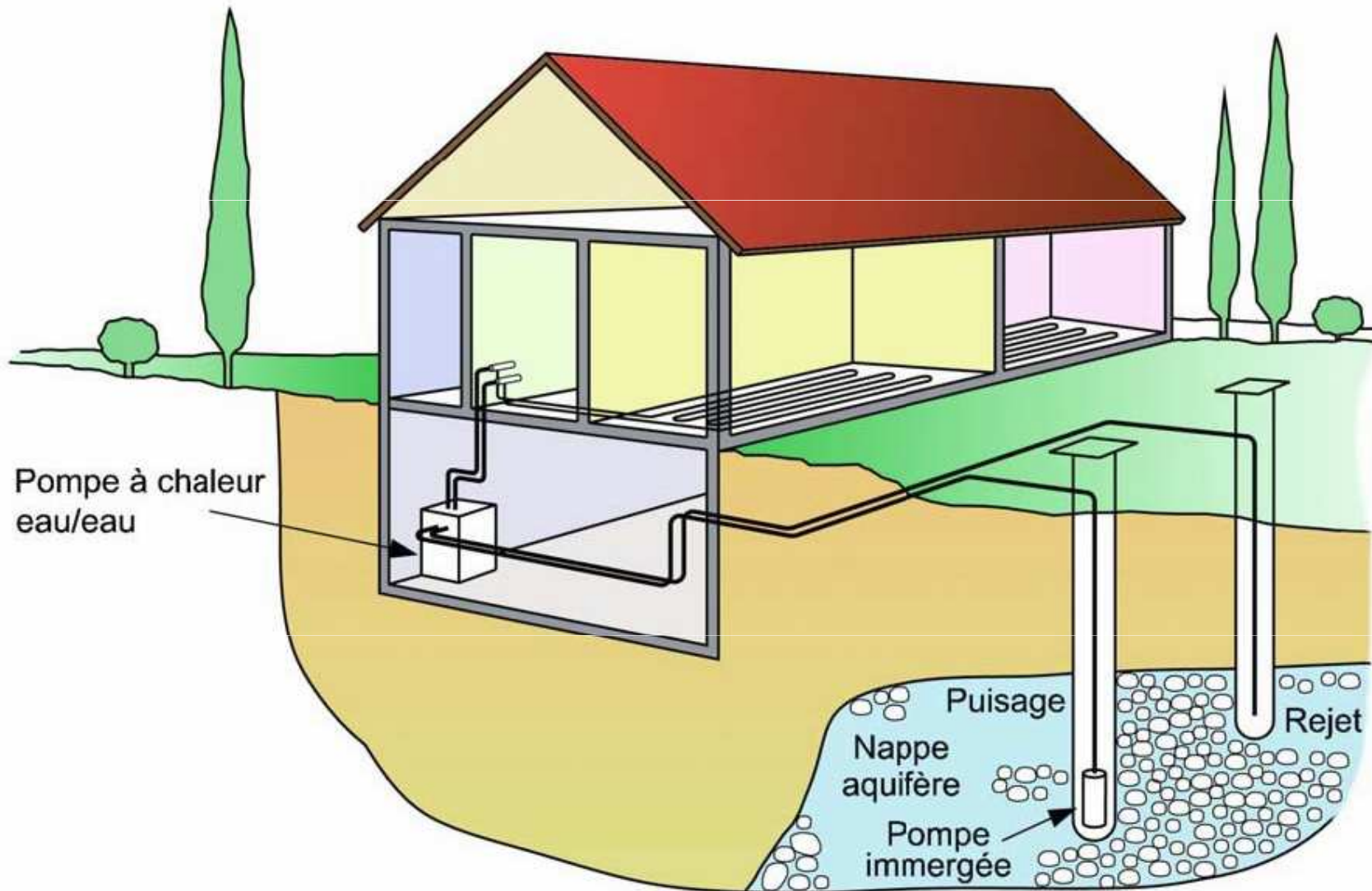
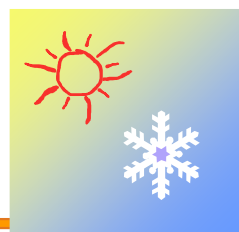
# PAC Eau glycolée / Eau



Source COSTIC



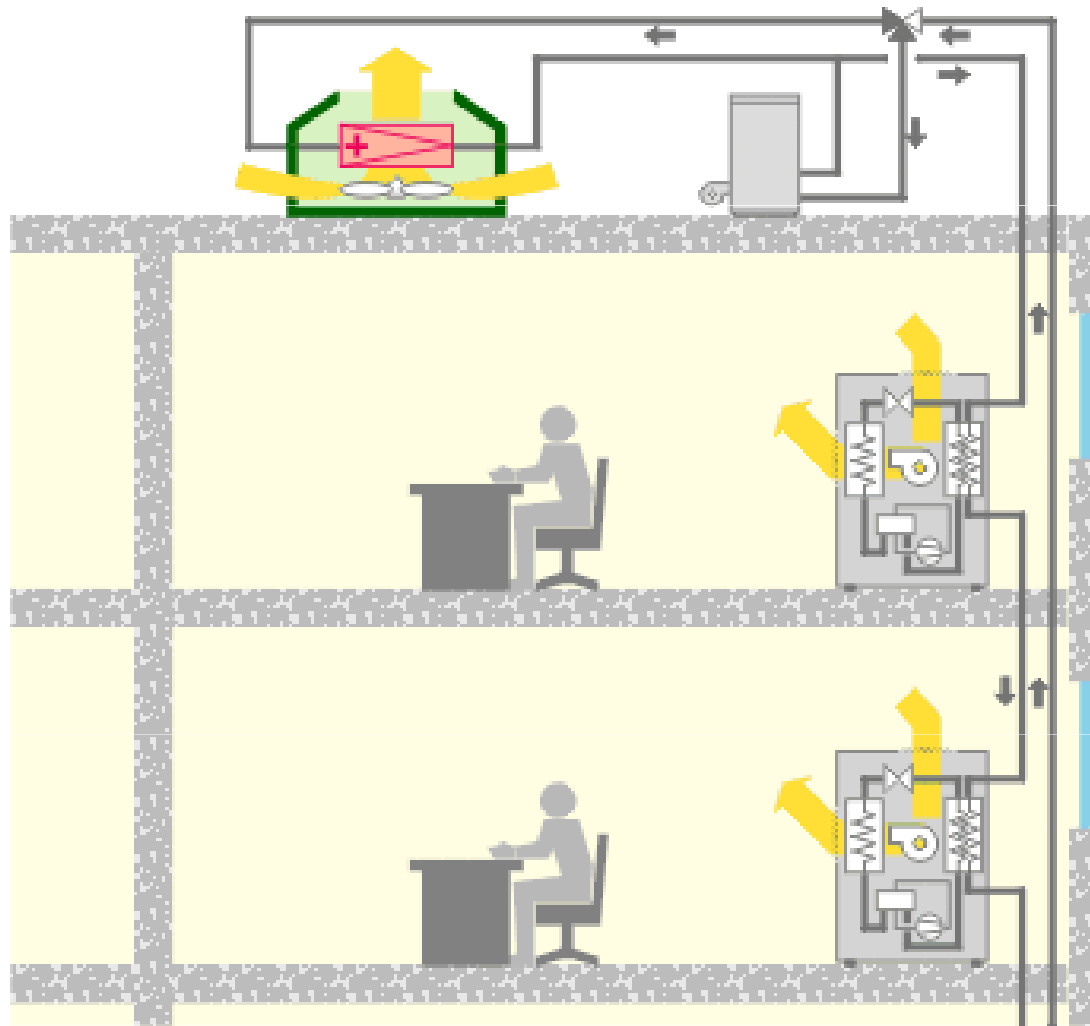
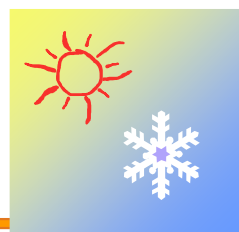
# PAC Eau / Eau : Eau de nappe



Source COSTIC

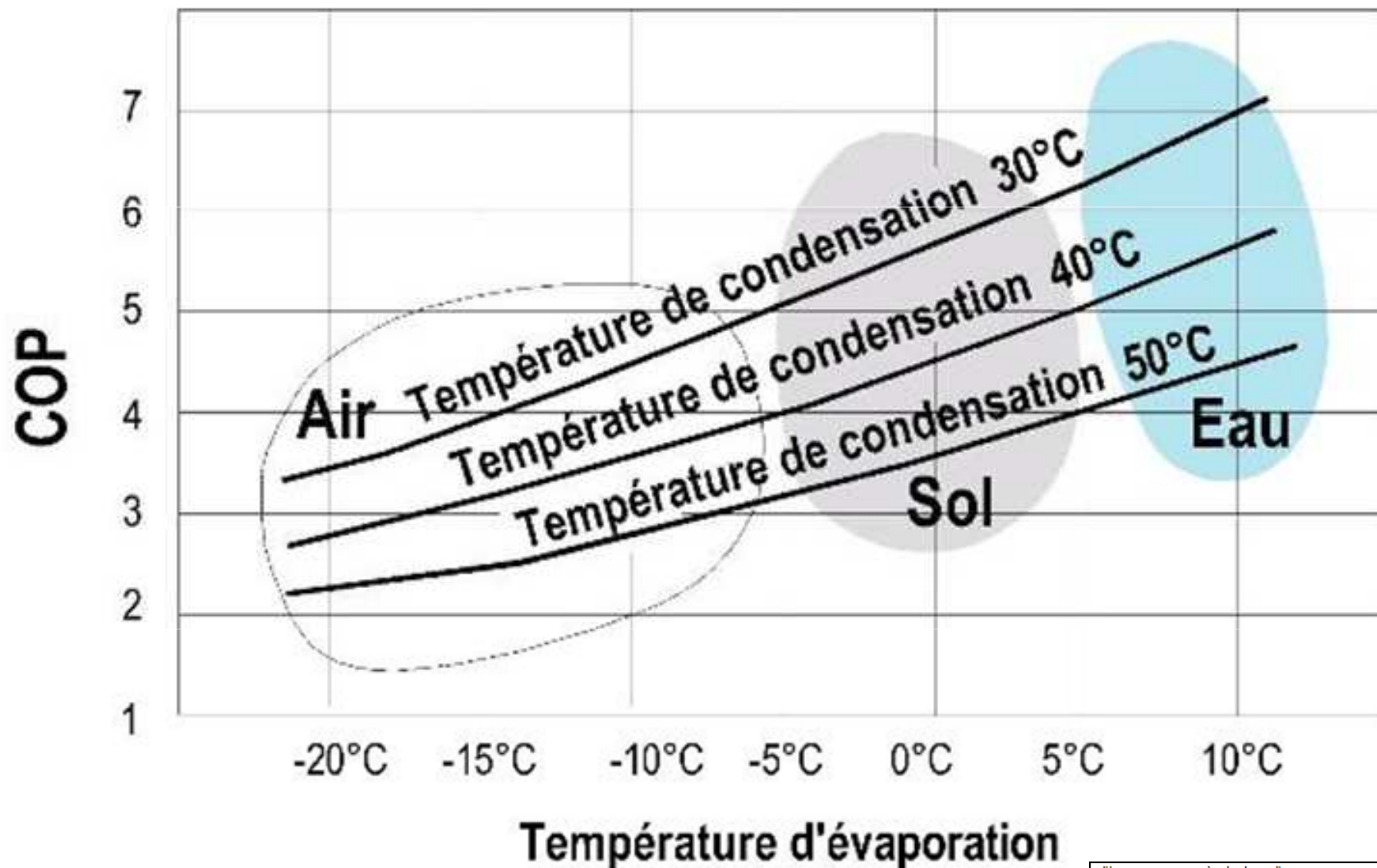
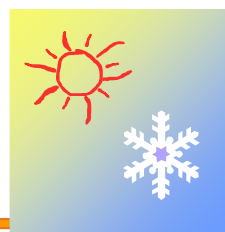


# PAC sur boucle d'eau



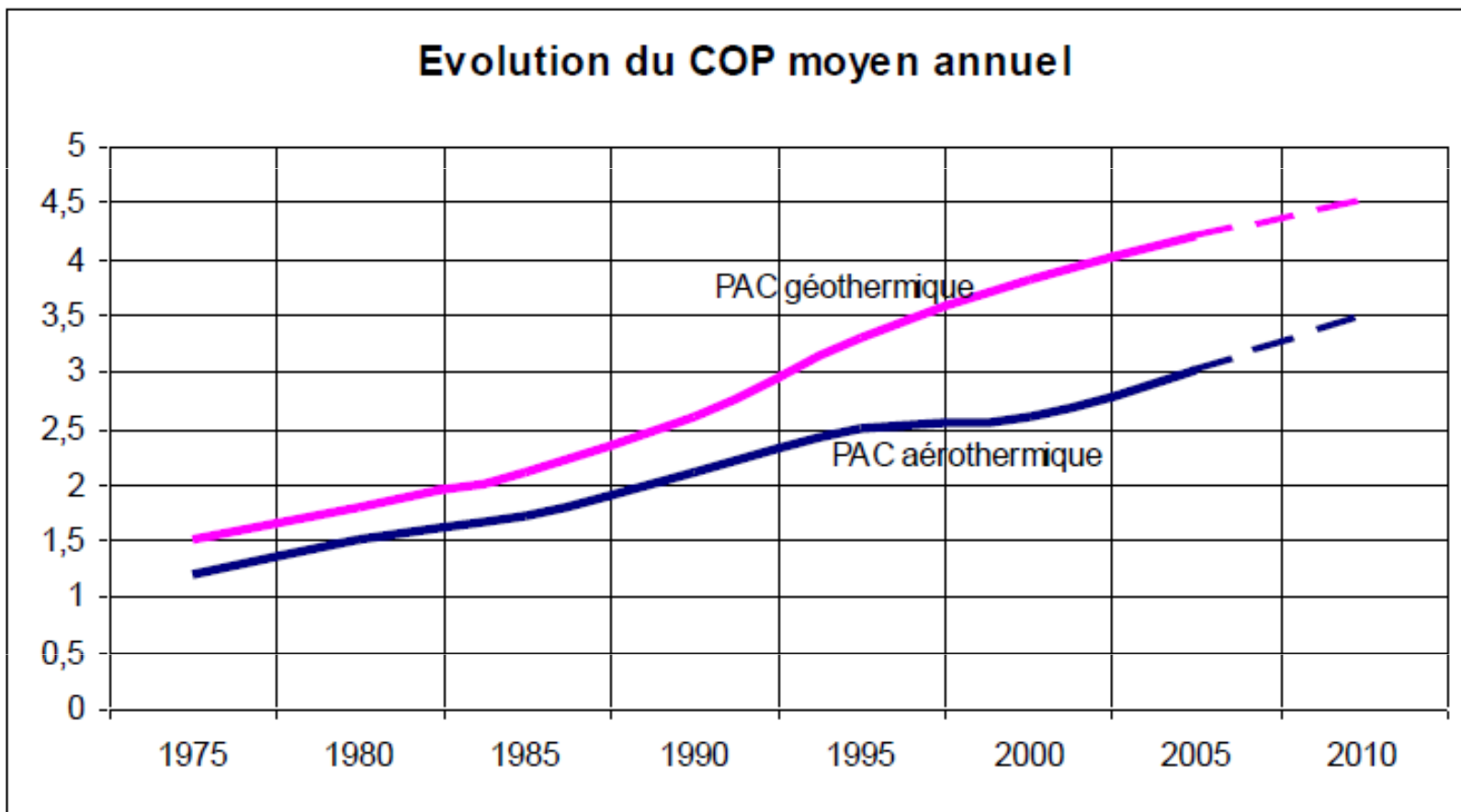
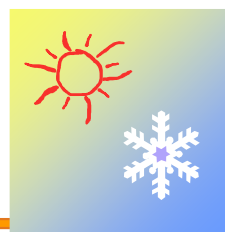
[www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)

# Evolution du COP de la PAC



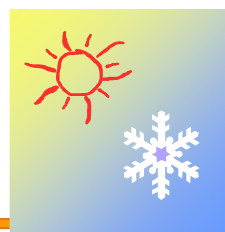
"Les pompes à chaleur"  
de Bruno Béranger des éditions Eyrolles (2ème édition)

# L'évolution des performances



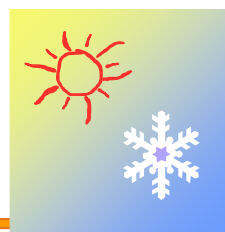
Jacques Bernier  
AIRPAC International

# Comparaison des différents systèmes (1)



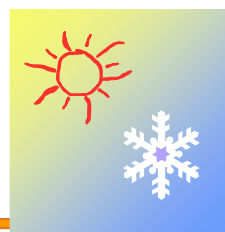
Type	Avantages	Inconvénients
Aérothermie AIR/AIR	Nécessite peu de travaux d'installation	<ul style="list-style-type: none"><li>- Le COP est très sensible à la température extérieure</li><li>- Fonctionne rarement en dessous de 0°C</li><li>- Attention au bruit</li><li>- COP faible (entre 2 et 3)</li></ul>
Aérothermie AIR/EAU	Peu de travaux extérieurs Raccordable à une installation existante	<ul style="list-style-type: none"><li>- Le COP varie en fonction de la température extérieure</li><li>- Attention au bruit</li><li>- COP faible (entre 2 et 3)</li></ul>

# Comparaison des différents systèmes (2)



Type	Avantages	Inconvénients
Géothermie Eau glycolée/EAU sur capteurs horizontaux	COP supérieur à une AIR/EAU (supérieur à 3)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reste sensible aux variations de température extérieure</li><li>- Surcoût du terrassement et des capteurs</li><li>- Pénalise le terrain</li><li>- Difficilement applicable aux grandes surfaces</li></ul>
Géothermie Eau glycolée/EAU sur capteurs verticaux (ou sondes géothermiques)	COP indépendant de la température extérieure COP élevé (souvent proche de 4) Ne pénalise pas le terrain	<ul style="list-style-type: none"><li>- Surcoût du forage et de la pose des sondes</li></ul>

# Comparaison des différents systèmes (3)



Type	Avantages	Inconvénients
Géothermie SOL/SOL (aussi appelé GAZ/GAZ)	COP supérieur à une AIR/EAU (environ 3)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Surcoût du terrassement</li><li>- Surcoût important des capteurs et du plancher chauffant (en cuivre)</li><li>- Répartition de la chaleur mal maîtrisée (le plancher chauffant sert de condenseur)</li><li>- Pénalise le terrain</li><li>- Il est impossible de réutiliser le plancher chauffant pour autre chose que le gaz d'origine</li></ul>
Aquathermie EAU/EAU	Système ayant le COP le plus élevé (supérieur à 4)	<ul style="list-style-type: none"><li>- Présence d'une nappe d'eau courante avec un débit minimum requis pour le bon fonctionnement de la PAC</li><li>- Profondeur de forage et puissance de la pompe de relevage variable suivant la profondeur de la nappe</li><li>- Nécessite deux forages distants d'au minimum 10 mètres</li></ul>



# Inverter

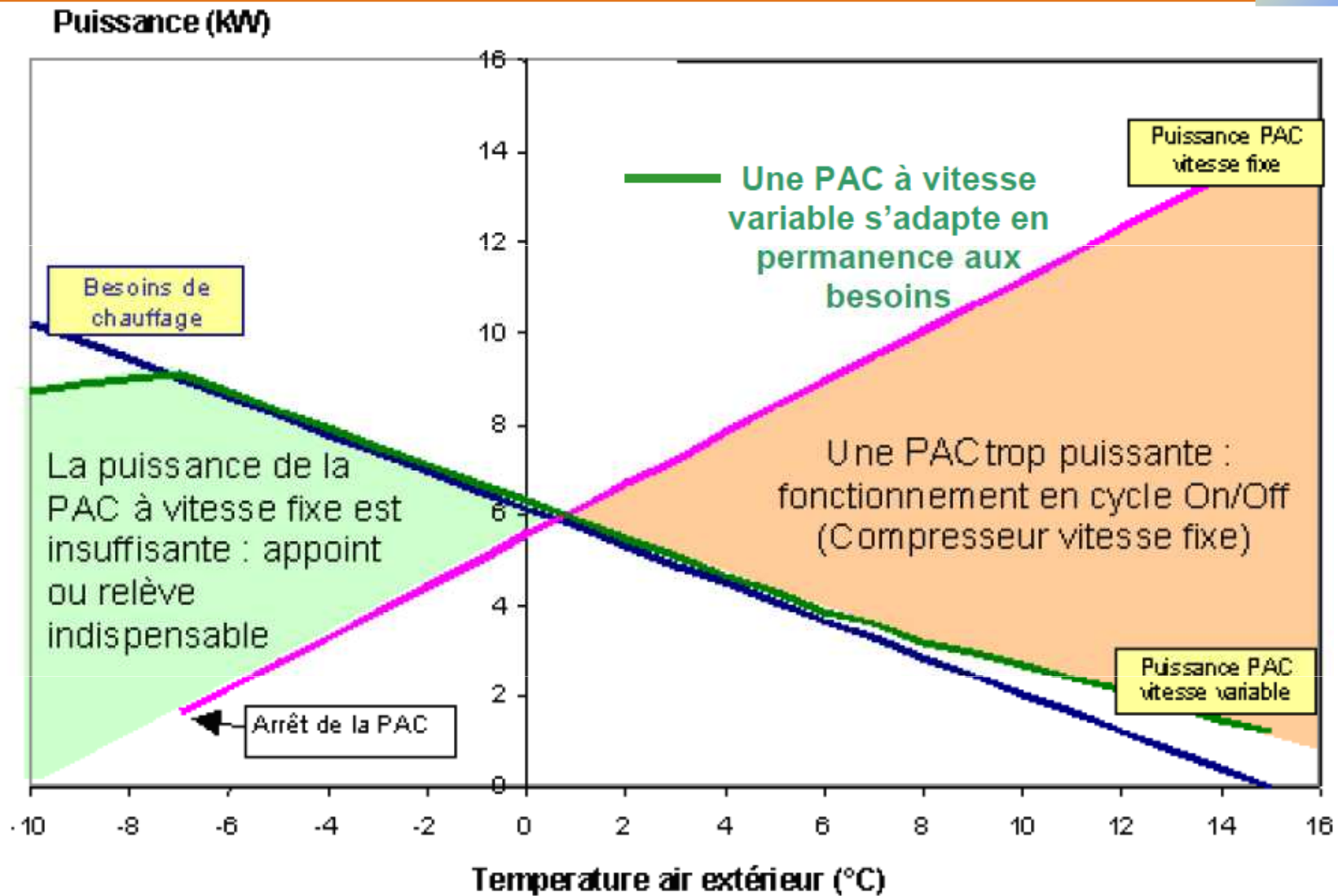
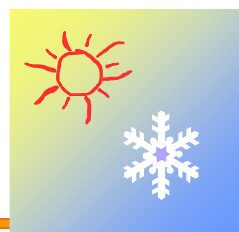


- L'Inverter permet de réguler la puissance de la machine en modulant la vitesse de rotation du moteur du compresseur.
- Il dispose d'un système de régulation en continu de la puissance du compresseur en fonction de la température demandée.  
Le compresseur d'un climatiseur inverter fonctionne en permanence pour assurer une meilleure régulation de température.  
A l'inverse, un climatiseur réversible classique fonctionne en tout ou rien.



- La technologie INVERTER permet d'ajuster précisément la puissance du climatiseur en fonction des besoins réels. Ainsi, lorsque les besoins sont importants, le climatiseur peut délivrer jusqu'à 130% de sa puissance et lorsque les besoins sont faibles, il peut ne produire que 30% de sa puissance, contrairement au système traditionnel où l'appareil s'impose des cycles de «tout ou rien». Il en résulte ainsi d'importantes économies (*jusqu'à 30% d'économie d'énergie*), un confort maximum ainsi que des performances optimisées.

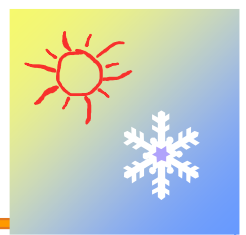
# Inverter



Besoins d'un logement et puissance d'une PAC (valeurs fictives pour illustration)

SéQuélec

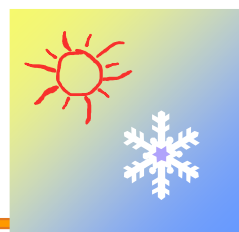
# PAC à moteur à gaz



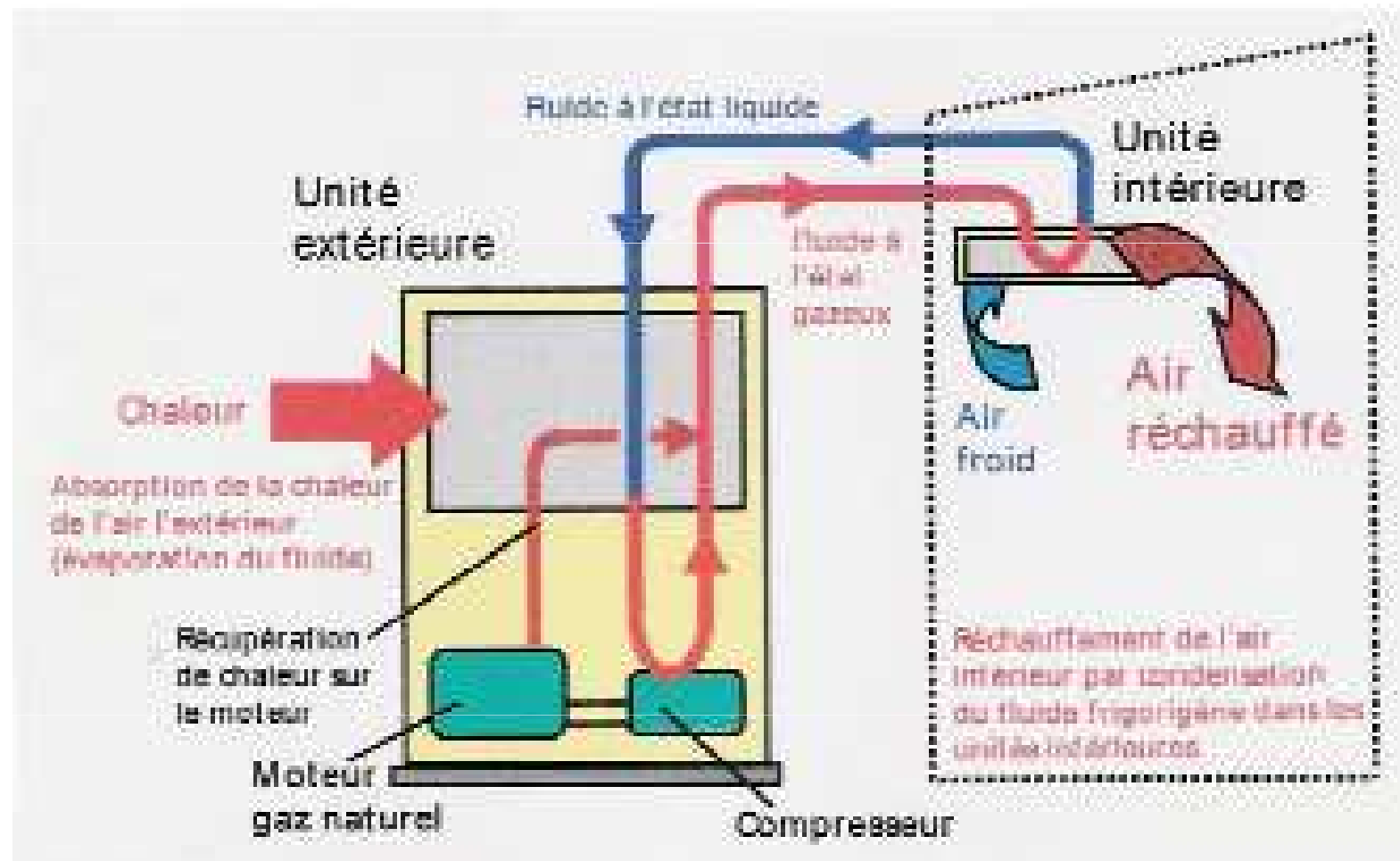
La pompe à chaleur (PAC) à moteur gaz naturel est très similaire d'aspect à une PAC à compression électrique. Elle fonctionne sur le même cycle thermodynamique associant compresseur, condenseur, évaporateur.

Seule change l'énergie qui alimente le moteur d'entraînement du compresseur. La valorisation de la chaleur émise par le moteur thermique en fait sa spécificité. On peut ainsi obtenir un COP de 1,4 à 1,7



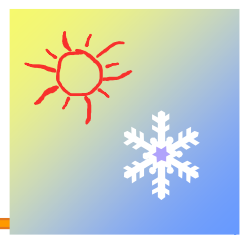


# PAC à moteur à gaz



ef4.be

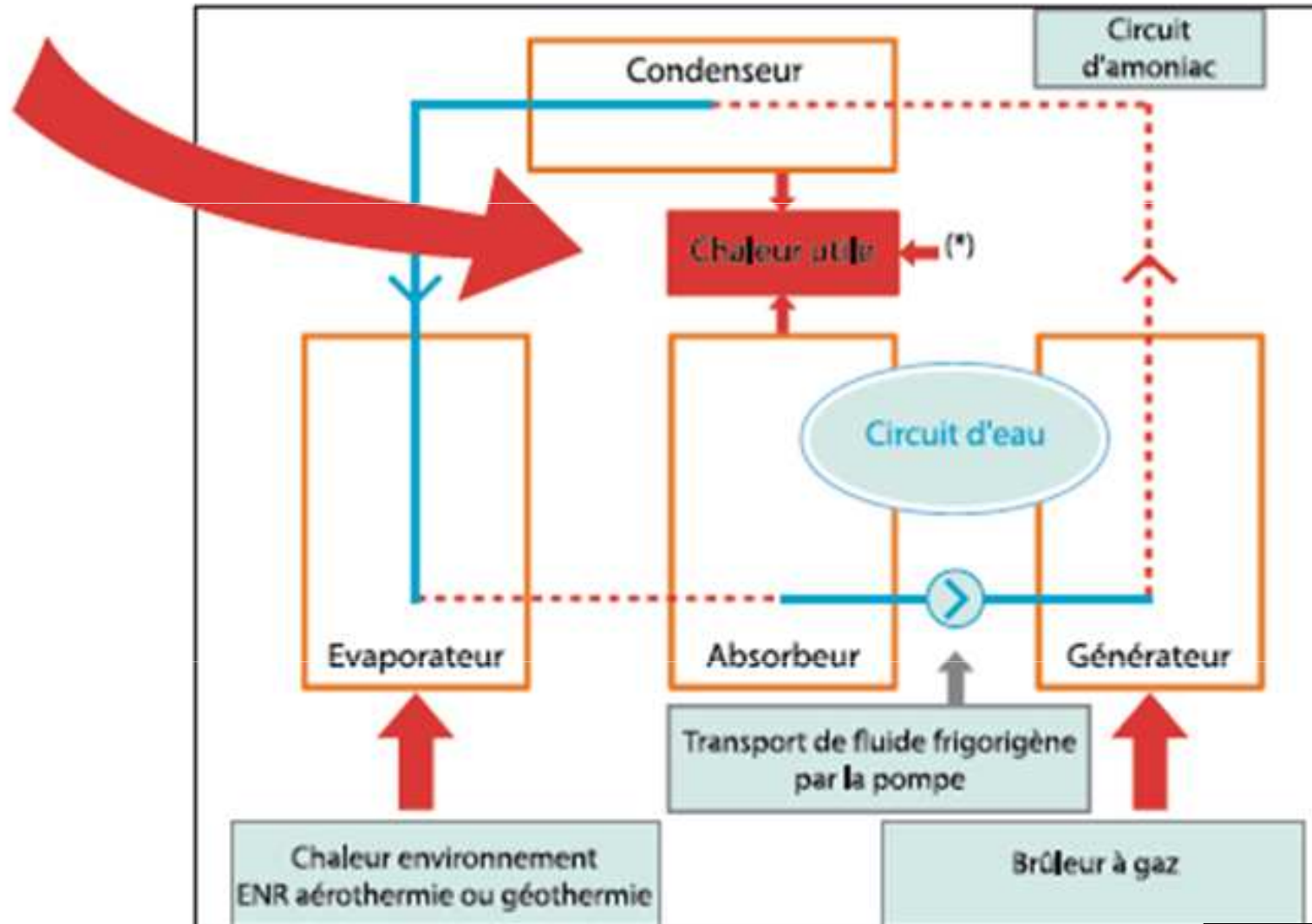
# PAC à absorption Gaz



La pompe à chaleur gaz fonctionne sur le principe de l'absorption. Le chauffage direct au gaz permet le transfert de chaleur d'une source froide vers une source chaude via un fluide frigorigène, comme la pompe à chaleur électrique. Le cycle n'est pas à compression mécanique comme pour la pompe à chaleur électrique, mais de type thermochimique. Le fluide frigorigène est tout d'abord un fluide composé d'un mélange eau/ammoniac, sans impact sur l'effet de serre, et le compresseur est si l'on peut dire remplacé par un brûleur gaz identique à une chaudière..

Le rendement est de l'ordre de 140 % à 170 % sur PCI et est relativement stable en fonction des conditions extérieures.

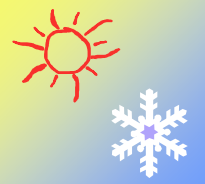
# PAC à absorption Gaz



Philippe NUNES - XPAIR



# Avantages de la pompe à chaleur gaz



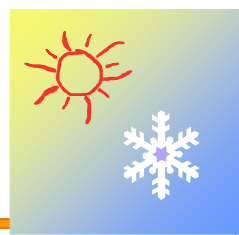
Le principal avantage d'une pompe à chaleur gaz de type air/eau est qu'**elle conserve de bonnes performances même par températures extérieures basses**, au contraire d'une pompe à chaleur électrique de même type.

Une pompe à chaleur gaz de type air/eau peut ainsi être autonome, contrairement à une pompe à chaleur air/eau électrique qui nécessite un chauffage d'appoint.

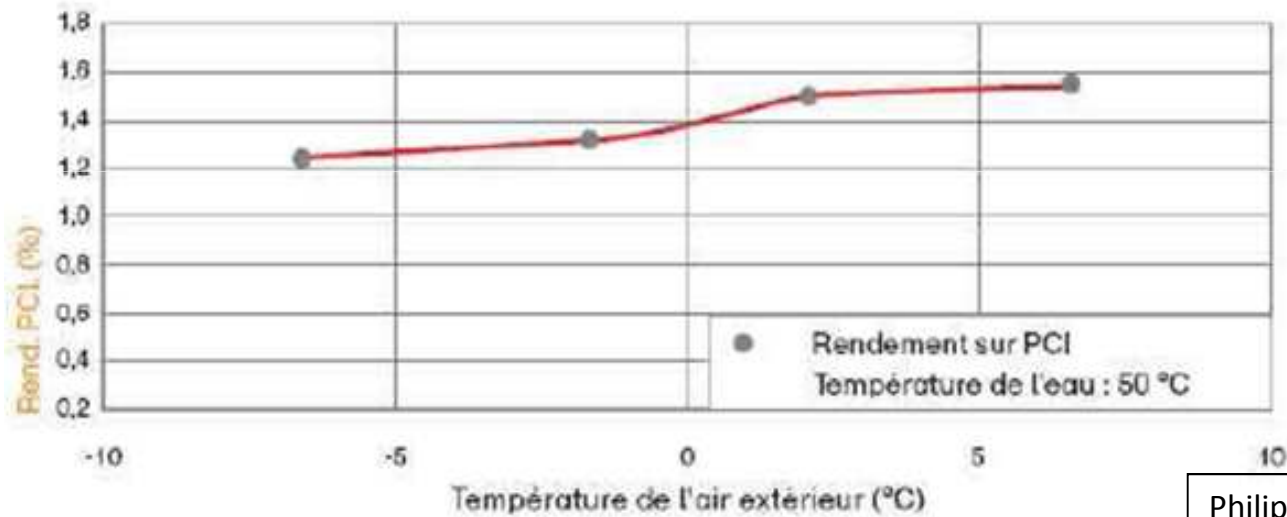
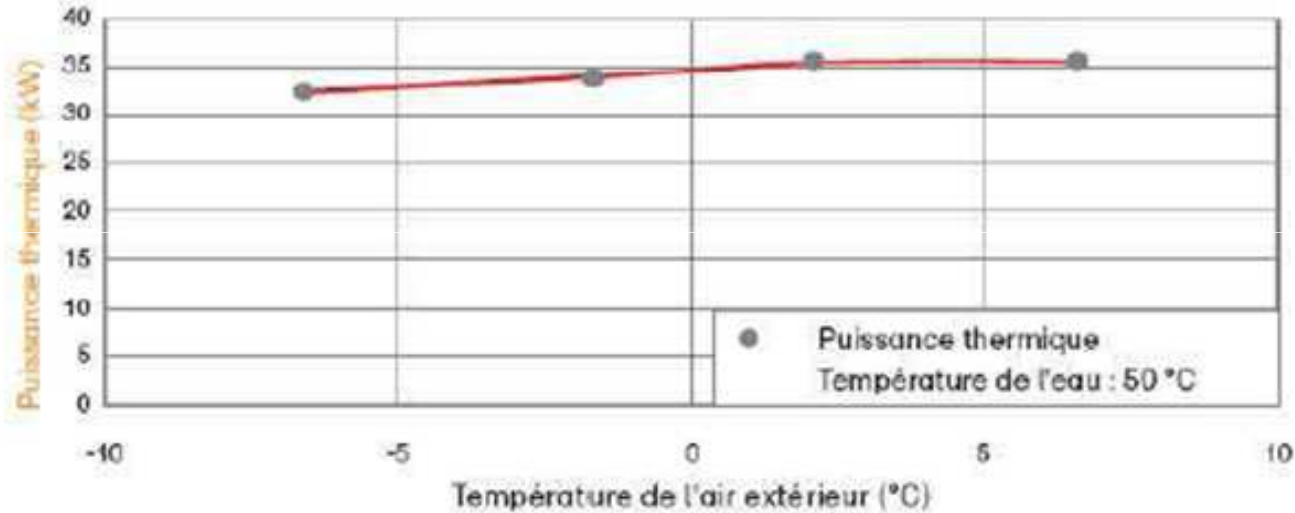
La pompe à chaleur à gaz de type eau/eau nécessite quant à elle moins de surface de capteurs thermiques qu'une pompe à chaleur électrique.

Ces avantages sont dus au dégagement de chaleur entraîné par le moteur à gaz ou la réaction d'absorption.

La pompe à chaleur à gaz est peu bruyante.

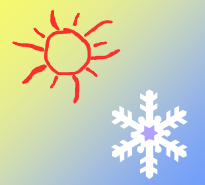


# Pompe à chaleur gaz



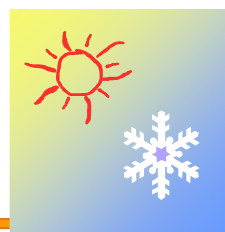
Philippe NUNES - XPAIR

# Inconvénients de la pompe à chaleur gaz



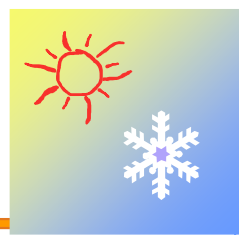
- encore récente, d'où le peu d'offres présentes sur le marché
- assez encombrante

# Performances



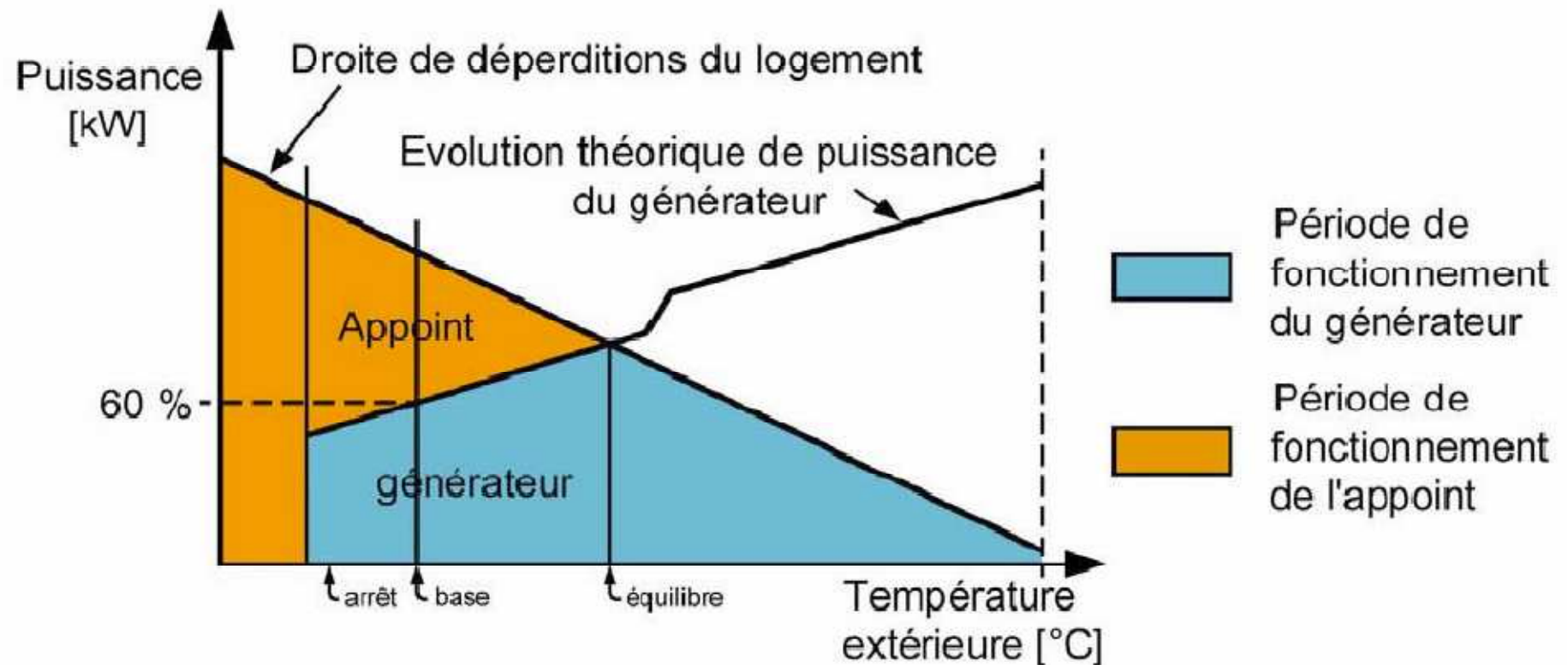
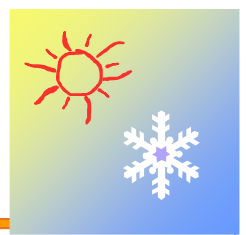
## Certification NF-414 PAC

Type de systèmes	Performances en refroidissement	EER	Performances en chauffage	COP
PAC air / eau + PCR	Air ext. ts=35 °C / th=24 °C Eau entrée 23°C / sortie 18 °C	2,5	Air ext. ts=7 °C / th=6 °C - Eau 35 °C	3,4
			Air ext. ts=-7°C / th=-8°C - Eau 35 °C	2,1
PAC air / eau + UTE 2 tubes	Air ext. ts=35 °C / th=24°C Eau entrée 12°C / sortie 7 °C	2,5	Air ext. ts=7 °C / th=6 °C - Eau 45 °C	2,7
			Air ext. ts=-7°C / th=-8°C - Eau 45 °C	1,6
PAC eau glycolée / eau + PCR	Eau glycolée 30°C/35°C Eau entrée 23°C / sortie 18 °C	3	Entrée / sortie eau glycolée 0°C/-3°C - Eau 35 °C	3,6
PAC eau glycolée / eau + UTE 2 tubes (ou mixtes)	Eau glycolée 30°C/35°C Eau entrée 12°C / sortie 7 °C	3	Entrée / sortie eau glycolée 0°C/-3°C - Eau 45 °C	2,8
PAC sur eau de nappe + PCR	Eau 30°C/35°C Eau entrée 23°C / sortie 18 °C	3,2	Entrée / sortie eau 10°C/ 7°C - Eau 35 °C	4,5
PAC sur eau de nappe + UTE 2 tubes (ou mixtes)	Eau 30°C/35°C Eau entrée 12°C / sortie 7 °C	3,2	Entrée / sortie eau 10°C/ 7°C - Eau 45 °C	3,5
PAC sol / eau + PC	-	-	T évap. = -5°C - Eau 35 °C	3,4
			T évap. = -5°C - Eau 45 °C	2,7
PAC sol / sol + PC	-	-	T évap. = -5°C - Eau 35 °C	3 ,4
Systèmes à air	Air ext. ts=35 °C / th=24 °C Air int. ts =27 °C / th=19 °C	2,5	Air ext. ts=7 °C / th=6 °C - Air int20 °C	3,4
			Air ext. ts=-7°C / th=-8°C - Air int20 °C	2,0



# DIMENSIONNEMENT

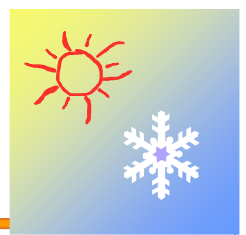
# Dimensionnement PAC AIR/EAU



**Périodes de fonctionnement générateur et appoint**

Source COSTIC

# Règles de dimensionnement de la PAC en mode chauffage



## - Température extérieure de base < -10 °C

La puissance calorifique de la pompe à chaleur doit être a minima supérieure à 50 % des déperditions du volume chauffé par la PAC pour une température de base de -10 °C.

## - Température extérieure de base $\geq$ -10 °C

La puissance calorifique de la pompe à chaleur doit être à minima supérieure à 50% des déperditions du volume chauffé par la PAC pour la température extérieure de base.

Un dimensionnement supérieur à 70% n'est pas préconisé par soucis de rentabilité d'investissement et de pérennité de fonctionnement.

Température extérieure de base	Dimensionnement
$T_b < -10 \text{ °C}$	$0,5 D_{(-10\text{°C})} \leq P_c < 0,7 D_{(-10\text{°C})}$
$T_b \geq -10 \text{ °C}$	$0,5 D_{(T_b)} \leq P_c < 0,7 D_{(T_b)}$

Source Règles techniques  
COSTIC-EDF



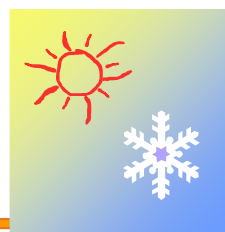
# Dimensionnement de l'Appoint



Température extérieure de base	Puissance Appoint
$T_b < -7 \text{ °C}$	$P(\text{Appoint}) = 1,0 \text{ D}$
$T_b \geq -7 \text{ °C}$	$P(\text{PAC} + \text{Appoint}) = 1,2 \text{ D}$ $P(\text{appoint}) \text{ mini} = 0,7 \text{ D}$

Source Règles  
techniques  
COSTIC-EDF

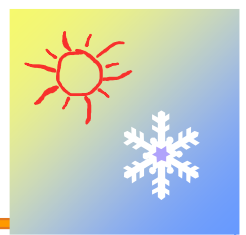
# PAC utilisée en chaud et en froid



Température extérieure de base	Dimensionnement en zone climatique H1	Dimensionnement en zones climatiques H2 et H3
$T_b < -10\text{ °C}$	$0,5 D_{(-10\text{°C})} \leq P_c < 0,7 D_{(-10\text{°C})}$	Pf = Charges du bâtiment et $P_c \geq 0,5 D_{(-10\text{°C})}$
$T_b \geq -10\text{ °C}$	$0,5 D_{(T_b)} \leq P_c < 0,7 D_{(T_b)}$	Pf = Charges du bâtiment et $P_c \geq 0,5 D_{(T_b)}$

Source Règles techniques COSTIC-EDF

# Dimensionnement de l'Appoint



Puissance au point nominal froid	$P < 40 \text{ kW}$	$40 \text{ kW} \leq P < 120 \text{ kW}$		$120 \text{ kW} \leq P < 250 \text{ kW}$
Caractéristiques PAC	1 circuit et 1 compresseur	1 circuit frigorifique et à minima 2 étages	1 circuit frigorifique et à minima 2 étages	1 circuit frigorifique et à minima 2 étages
$T_b < -7 \text{ °C}$	<b>P (appoint) = 1,0 D</b> 2 niveaux de puissances minimum	<b>P (appoint) = 1,0 D</b> 3 niveaux de puissances minimum	<b>P (appoint) = 1,0 D</b> 3 niveaux de puissances minimum	<b>P (appoint) = 1,0 D</b> 4 niveaux de puissances minimum
$T_b \geq -7 \text{ °C}$	<b>P (PAC + appoint) = 1,2 D</b>  P(appoint) mini = <b>0,7 D</b> 2 niveaux de puissances minimum	<b>P (PAC + appoint) = 1,2 D</b>  P(appoint) mini = <b>0,7 D</b> 3 niveaux de puissances minimum	<b>P (PAC + appoint) = 1,2 D</b>  P(appoint) mini = <b>0,45 D</b> 3 niveaux de puissances minimum	<b>P (PAC + appoint) = 1,2 D</b>  P(appoint) mini = <b>0,45 D</b> 4 niveaux de puissances minimum

Source Règles techniques COSTIC-EDF

# Dimensionnement PAC géothermiques



## Emetteur avec circulation d'eau glycolée

$$0,8 D_{(Tb)} \leq P_c < 1,2 D_{(Tb)}$$

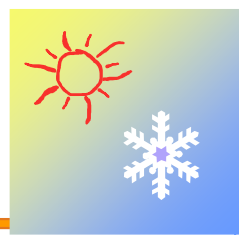
$$\text{Puissance (PAC + appoint)} = 1,2 D_{(Tb)}$$

## Emetteur avec circulation d'un fluide frigorigène

$$P_c \geq 1,2 D_{(Tb)}$$

Pas d'appoint électrique

Source Règles  
techniques  
COSTIC-EDF



# CRITÈRES ENVIRONNEMENTAUX

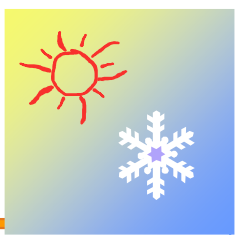
# Critères environnementaux



L'impact environnemental d'une pompe à chaleur est principalement lié à l'énergie primaire utilisée pour alimenter le compresseur (énergie électrique ou gaz) et les différents auxiliaires (énergie électrique) de la pompe à chaleur.

Dans une certaine mesure, cet impact est également lié au fluide frigorigène qui est utilisé dans le circuit frigorifique de la pompe à chaleur.

# Indices d'impact des fluides



Pour établir l'impact des fluides frigorigènes sur la couche d'ozone et l'effet de serre, trois indices principaux ont été définis :

## **ODP (Ozone Depletion Potential)**

C'est un indice qui caractérise la participation de la molécule à l'appauvrissement de la couche d'ozone. On calcule la valeur de cet indice par rapport à une molécule de référence, à savoir soit R11 ou R12 qui ont un ODP = 1.

## **GWP (Global Warming Potential)**

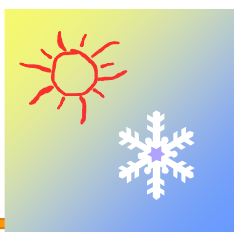
C'est un indice qui caractérise la participation de la molécule à l'effet de serre. On calcule la valeur de cet indice par rapport à une molécule de référence, à savoir le CO<sub>2</sub>, et pour des durées bien déterminées (20, 100, 500 ans). Le CO<sub>2</sub> à un GWP = 1.

## **TEWI (Total Equivalent Warming Impact)**

Le TEWI est un concept permettant de valoriser le réchauffement planétaire (global warming) durant la vie opérationnelle d'un système utilisant un fluide frigorigène déterminé en tenant compte de l'effet direct dû aux émissions de fluide frigorigène et à l'effet indirect dû à l'énergie requise pour faire fonctionner le système.

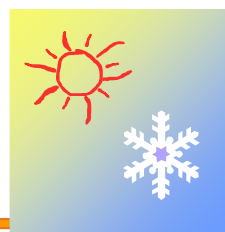


# Effet sur l'environnement



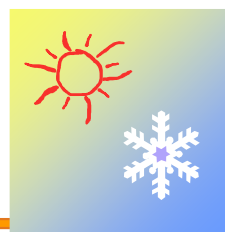
Type	Fluide frigorigène	ODP	GWP [kg CO <sub>2</sub> /kg]	Durée de vie (années)
CFC	R11	1,00	3 800	61
	R12	0,90	8 100	121
	R502	0,229	5 490	493
HCFC	R22	0,05	1 500	15
HFC	R134a	0	1 300	-
	R404A	0	3 260	-
	R407C	0	1 530	-
	R410A	0	1 730	-
HC	R290	0	3	
NH3	R717	0	0	
CO2	R744	0	1	

# Fluides frigorigènes



Fluides frigorigènes	Statut	Utilisation
Chlorofluorocarbures (CFC) : R11, R12, R13, R113, R114, R115, R500, R501, R502, R13B1	Interdits	Uniquement les fluides frigorigènes purifiés provenant d'installations hors service et rééquipées faisant partie d'usines déjà existantes
Hydrochlorofluorocarbures (HCFC) : R22, R401, R402, R403, R408 et R409	Fluides frigorigènes de transition. Peu à peu supprimés d'ici 2015 au sein de l'U. E.	Ne sont plus utilisés dans les nouveaux appareils depuis 2004. Que des fluides recyclés après 2010. Interdits après 2015.
Hydrofluorocarbures (HFC) : R134a, R152a, R32, R125, R507	Fluides frigorigènes de remplacement à long terme. Contribuent toujours au réchauffement de la planète.	Fluides frigorigènes dépourvus de chlore remplaçant les R12, R22 et R502
Mélanges de deux HCFC purs ou plus	Fluides frigorigènes de transition ou des solutions à moyen terme	Remplacent souvent les CFC
Mélanges de deux HFC purs ou plus et/ou d'hydrocarbures (propane)	Aucun ODP mais GWP	Le R410A et le R407C sont les deux mélanges les plus utilisés en PAC.
Fluides actifs naturels comme le NH <sub>3</sub> , les hydrocarbures (R290,R600), le CO <sub>2</sub>	Impacts négligeables sur l'environnement. Certains sont inflammables ou toxiques	Des mesures de sécurité sont à considérer lors des différentes phases de vie de l'installation

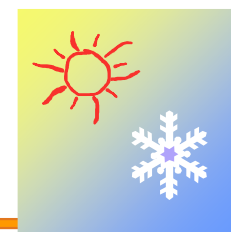
# Ecolabel européen



- Système d'étiquetage européen qui concerne les produits et les services adhérant à des critères stricts en matière d'environnement et de performance
- Association européenne pour les pompes à chaleur travaillant en collaboration avec l'UE pour inclure les pompes à chaleur dans la liste des produits étiquetés

# Ecolabel européen « pompes à chaleur électriques, à gaz ou à absorption à gaz »

# COP



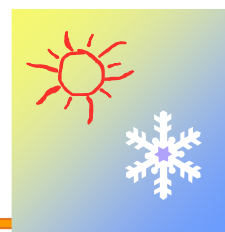
Type de pompe à chaleur Source chaude/ source froide	Unité extérieure [°C]	Unité intérieure [°C]	COP min.	COP min.	PER min.
			Pompe à chaleur électrique	Pompe à chaleur à gaz	
Air/air	Bulbe sec entrée: 2 Bulbe humide entrée: 1	Bulbe sec entrée: 20 Bulbe humide entrée: 15 max	2,90	1,27	1,16
Air/eau	Bulbe sec entrée: 2 Bulbe humide entrée: 1	Température entrée: 30 Température sortie: 35	3,10	1,36	1,24
		Température entrée: 40 Température sortie: 45	2,60	1,14	1,04
Saumure/air	Température entrée: 0 Température sortie: - 3	Bulbe sec entrée: 20 Bulbe humide entrée: 15 max	3,40	1,49	1,36
Saumure/eau	Température entrée: 0 Température sortie: - 3	Température entrée: 30 Température sortie: 35	4,30	1,89	1,72
		Température entrée: 40 Température sortie: 45	3,50	1,54	1,40
Eau/eau	Température entrée: 10 Température sortie: 7	Température entrée: 30 Température sortie: 35	5,10	2,24	2,04
		Température entrée: 40 Température sortie: 45	4,20	1,85	1,68
Eau/air	Température entrée: 15 Température sortie: 12	Bulbe sec entrée: 20 Bulbe humide entrée: 15 max	4,70	2,07	1,88
	(source de la boucle d'eau) Température entrée: 20 Température sortie: 17	Bulbe sec entrée: 20 Bulbe humide entrée: 15 max	4,40	1,93	1,76

PER min. : Rapport énergétique primaire

[www.certita.org](http://www.certita.org)

# Ecolabel européen « pompes à chaleur électriques, à gaz ou à absorption à gaz »

# EER



Type de pompe à chaleur Source chaude/ source froide	Unité extérieure [°C]	Unité intérieure [°C]	EER min.		PER min.
			Pompe à chaleur électrique	Pompe à chaleur à gaz	
Air/air	Bulbe sec entrée: 35 Bulbe humide entrée: 24	Bulbe sec entrée: 27 Bulbe humide entrée: 19	3,20	1,41	1,3
Air/eau	Bulbe sec entrée: 35 Bulbe humide entrée: —	Température entrée: 23 Température sortie: 18	2,20	0,97	0,9
		Température entrée: 12 Température sortie: 7	2,20	0,97	0,9
Saumure/air	Température entrée: 30 Température sortie: 35	Bulbe sec entrée: 27 Bulbe humide entrée: 19 max	3,30	1,45	1,3
Saumure/eau	Température entrée: 30 Température sortie: 35	Température entrée: 23 Température sortie: 18	3,00	1,32	1,2
		Température entrée: 12 Température sortie: 7	3,00	1,32	1,2
Eau/eau	Température entrée: 30 Température sortie: 35	Température entrée: 23 Température sortie: 18	3,20	1,41	1,3
		Température entrée: 12 Température sortie: 7	3,20	1,41	1,3
Eau/air	Température entrée: 30 Température sortie: 35	Bulbe sec entrée: 27 Bulbe humide entrée: 19	4,40	1,93	1,8

PER : Rapport énergétique primaire

[www.certita.org](http://www.certita.org)

# PER



- Le rapport énergétique primaire (PER) correspond à :  
**COP x 0,40 (ou COP / 2,5)** pour les PAC électriques,
- **COP x 0,91 (ou COP / 1,1)** pour les PAC à gaz ou à absorption,  
0,40 est le rendement européen moyen de production d'électricité,  
0,91 le rendement européen moyen du gaz, pertes de distribution comprises.

*Directive 2006/32/CE du Parlement européen et du Conseil du 5 avril 2006 relative à l'efficacité énergétique dans les utilisations finales et aux services énergétiques.*

# Impact sur l'effet de serre



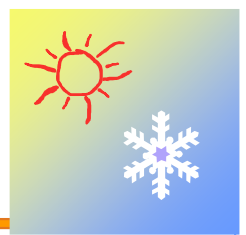
La norme EN 378 (Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur – Exigences de sécurité et d'environnement) définit l'indice «TEWI» (Total Equivalent Warming Impact).

Le TEWI est défini comme étant la somme de l'incidence directe des émissions de fluides frigorigènes et de l'incidence indirecte des émissions de CO<sub>2</sub> (dus à l'énergie primaire utilisée pour le fonctionnement de la pompe à chaleur).

Les émissions de CO<sub>2</sub> liées à l'utilisation d'une pompe à chaleur proviennent essentiellement de l'énergie nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur.



# Impact sur l'effet de serre



**L'électricité** ne produit pas de CO<sub>2</sub> lors de son utilisation mais elle en génère lors de sa production. En France, l'électricité n'est pas seulement produite par des centrales nucléaires ou hydrauliques. Pendant les périodes de pointe, notamment liées au chauffage, les centrales thermiques sont fortement sollicitées pour produire de l'électricité.

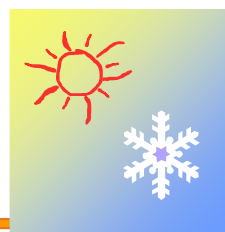
Un coefficient de conversion est appliqué pour déterminer la quantité d'énergie primaire utilisée dans la centrale électrique pour disposer d'une unité d'énergie finale (à l'utilisation). Pour une consommation finale de 1kWh, la consommation d'énergie primaire est de 2,58 kWh.

*Emissions de CO<sub>2</sub> des énergies de chauffage*

Contenus en g eqCO <sub>2</sub> /kWh	Charbon	Fioul domestique	Gaz propane	Réseaux de chaleur	Gaz naturel	Bois	Electricité
Emissions liées à l'utilisation (combustion)	342	270	230	de 20 à 373	205	≈ 0	0
Emissions totales (combustion, production, transport...)	384	300	274	pas de valeur disponible	234	13	Entre 180 et 600 selon les méthodes de calcul

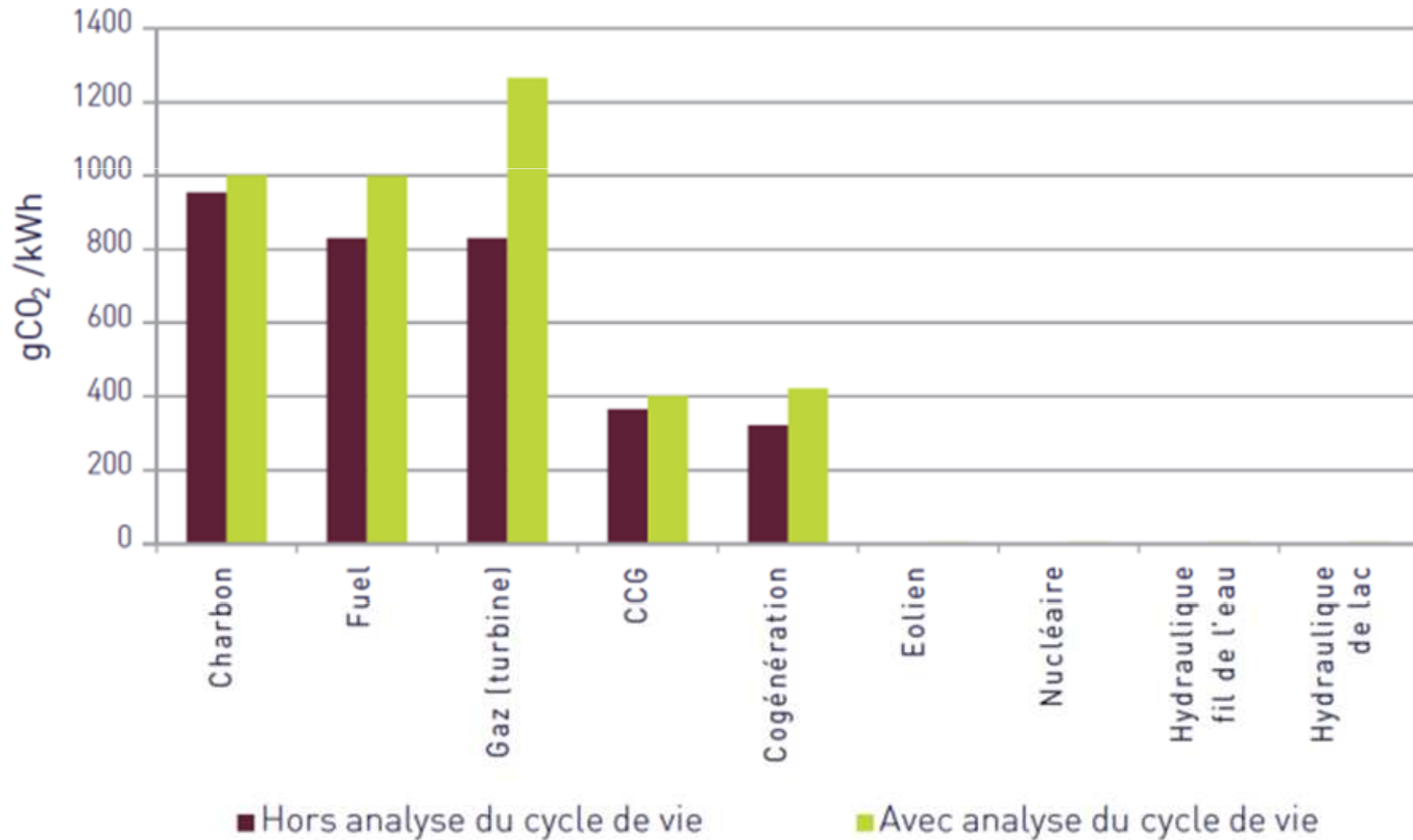
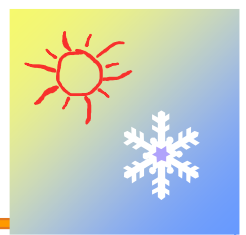


# Emissions de CO<sub>2</sub> de l'électricité

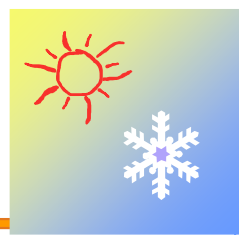


Emissions annuelles de CO <sub>2</sub> en g/kWh	Approche « moyenne saisonnière » (pour parc existant)	Approche « marginale » (pour nouveaux équipements)
Chauffage électrique direct	180	500 à 600
PAC électrique	60 (avec un COP moyen annuel de 3)	170 à 200 (avec un COP moyen annuel de 3)
Chaudière à condensation		
Gaz naturel		230
Gaz propane		270
Fioul domestique		300
Chauffage urbain (selon système et combustible)		200 à 370
Pompe à chaleur Gaz		164 g (avec un COP moyen de 1,4)

# Niveau d'émissions de CO<sub>2</sub> par filière de production d'électricité

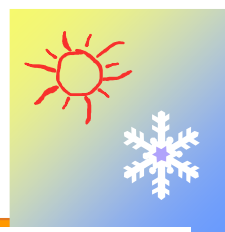


[www.observatoire-electricite.fr](http://www.observatoire-electricite.fr)



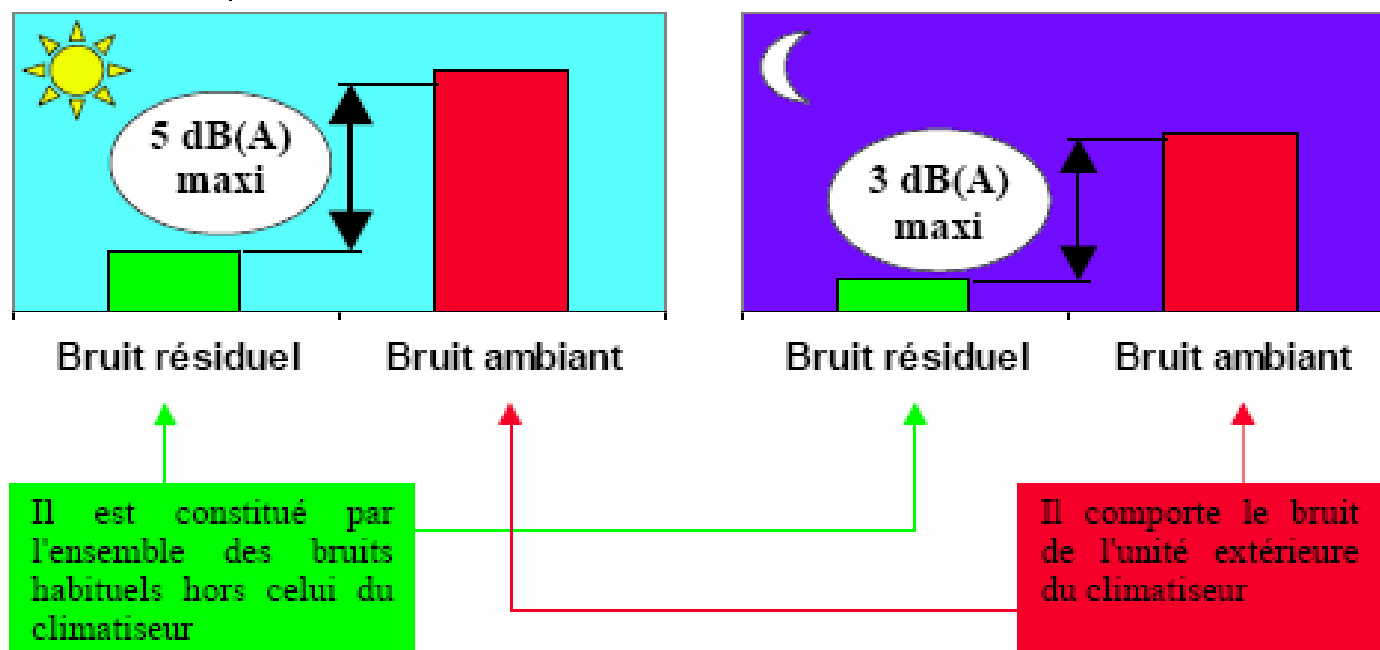
# MISE EN OEUVRE

# Mise en œuvre PAC Air / Eau

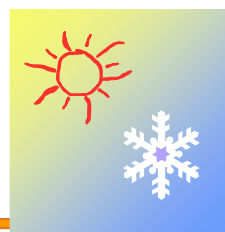


Le bruit des pompes à chaleur est concerné par le décret n° 95- 408 du 18 avril 1995 (paru au J.O du 19 avril 1995), relatif à la lutte contre les bruits de voisinage. Il a pour but de sauvegarder la tranquillité du voisinage et fixe :

- la définition de l'émergence. C'est la différence entre les niveaux de pression acoustique avec et sans l'équipement concerné,
- les valeurs d'émergence maximales admises en période de nuit et en période de jour sont données dans la figure suivante :



Source COSTIC



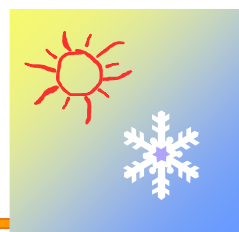
## IMPLANTATION DE L'UNITE EXTERIEURE

Il faut prévoir son intégration, soit à l'extérieur, soit dans un local semi-ouvert ou fermé, traité de manière à éviter la propagation de bruit au logement ou à l'environnement. Pour cela, il faut choisir judicieusement les emplacements de l'entrée et de la sortie d'air.

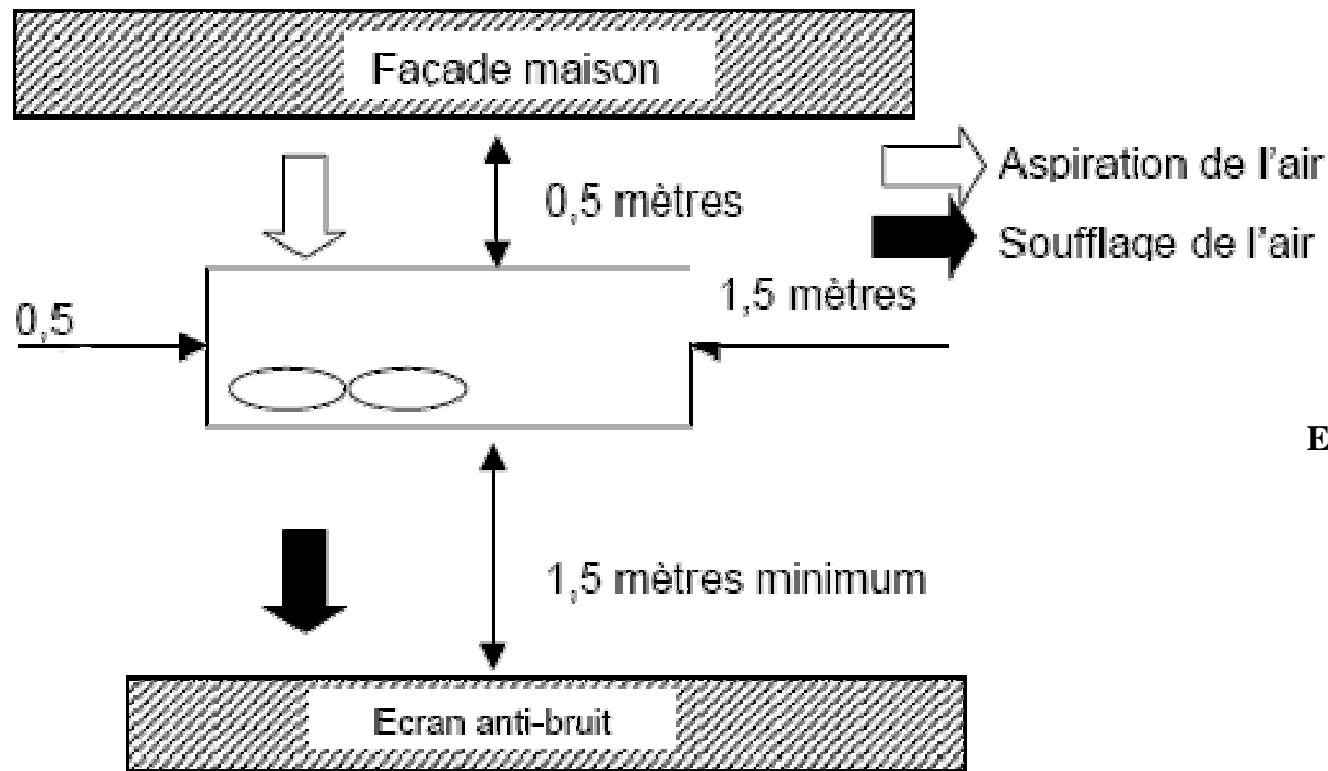
Si la pompe à chaleur est installée à l'extérieur, elle est placée de telle façon que le bruit généré par la machine soit le moins gênant possible pour l'utilisateur et le voisinage.

Elle est posée sur un support pour sa mise hors d'eau avec des plots antivibratoires si nécessaires. Il convient également de tenir compte des vents dominants pouvant perturber le fonctionnement du ventilateur.

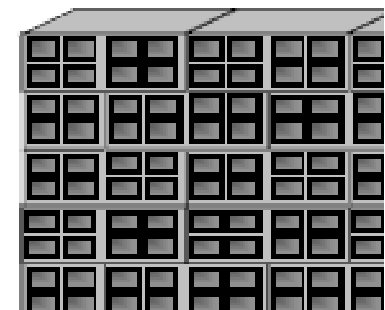
# Mise en œuvre PAC Air / Eau



## IMPLANTATION DE L'UNITE EXTERIEURE



Exemple d'implantation d'un mur écran



Exemple de mur écran en parpaing

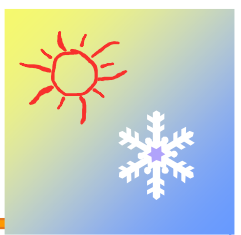


Autre exemple d'écran acoustique

Source COSTIC



# Mise en œuvre PAC Air / Eau



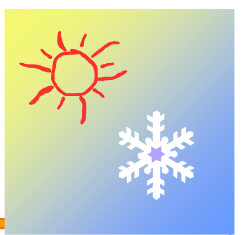
Dans certains cas, des précautions complémentaires sont nécessaires du fait, par exemple, d'une distance trop faible par rapport au voisinage. Il convient alors d'affiner l'étude d'un point de vue acoustique.

A partir de la puissance acoustique de l'unité extérieure, du bruit de fond du lieu considéré et de la distance entre la source et le voisinage, on peut déterminer si l'émergence est satisfaisante avec ou sans écran acoustique.

**A titre indicatif, on peut retenir les distances suivantes pour une unité de 65 dB(A) :**

- Au-delà de 20 m, la réglementation peut être respectée sans écran acoustique
- Entre 12 m et 20 m, un écran acoustique est nécessaire
- En dessous de 12 m, la réglementation est difficilement respectée, même avec un écran acoustique.

# Puissances acoustiques



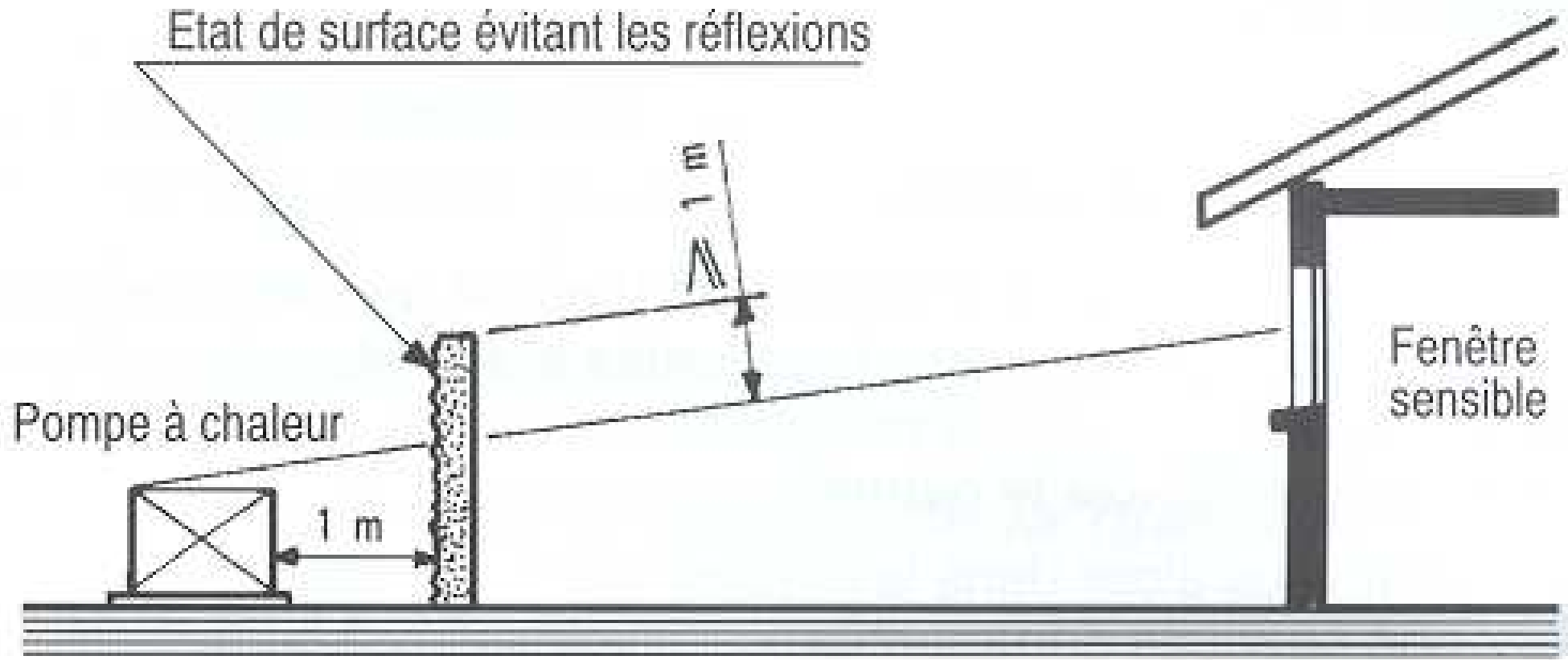
A partir du 1<sup>er</sup> janvier 2012, les puissances acoustiques doivent respecter les seuils suivants :

Puissance calorifique [en kW]	Puissance acoustique [en dB(A)]
$0 < \text{puissance} \leq 10$	$\leq 70$
$10 < \text{puissance} \leq 20$	$\leq 73$
$20 < \text{puissance} \leq 50$	$\leq 78$
$50 < \text{puissance} \leq 100$	Pas de seuil

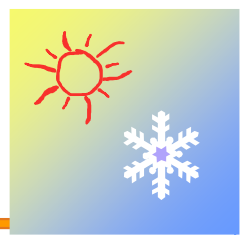
d'après Référentiel certification NF 414 PAC  
Source : [www.certita.org](http://www.certita.org)



## IMPLANTATION DE L'UNITE EXTERIEURE

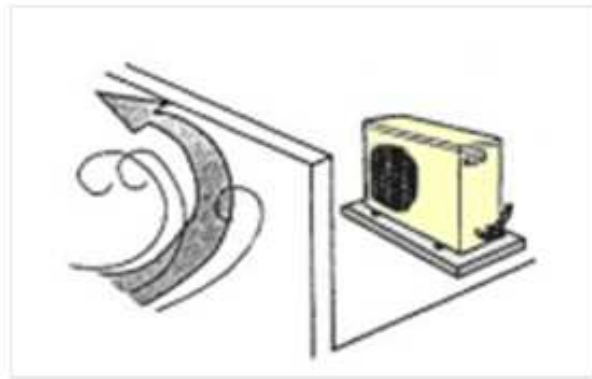


Source COSTIC

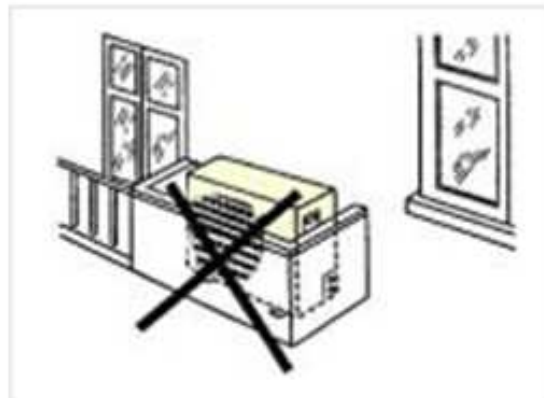


## IMPLANTATION DE L'UNITE EXTERIEURE

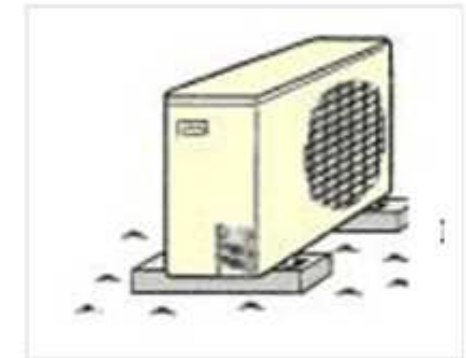
Exemples d'implantation d'une pompe à chaleur air extérieur / eau :



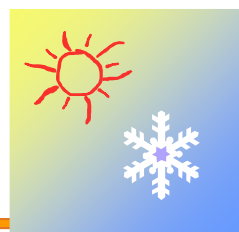
Éviter ou se protéger des vents dominants



Attention aux obstacles trop proches, obstruction de l'aspiration ou du refoulement d'air

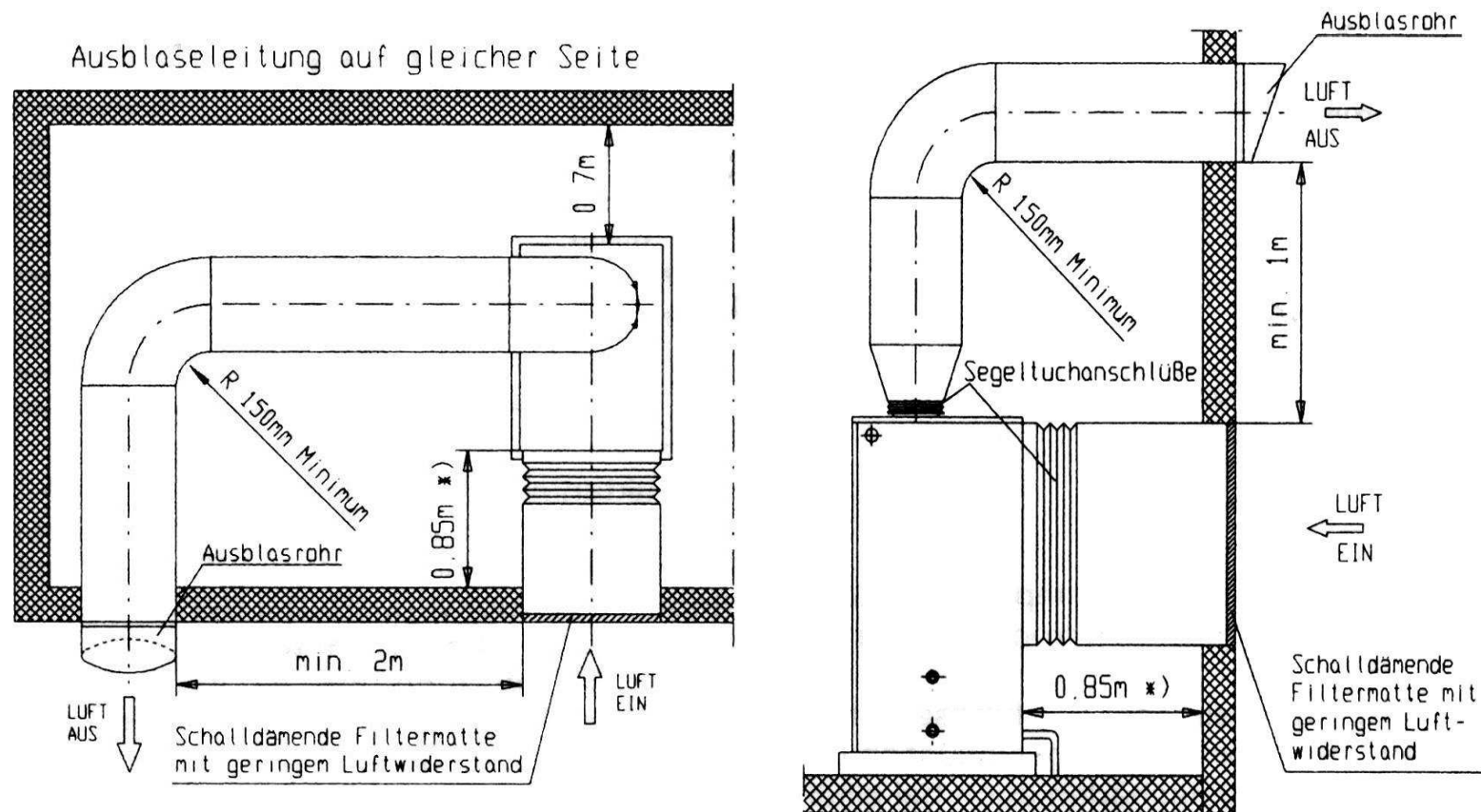


Surélever l'appareil du sol pour l'évacuation des condensats et la garde de neige



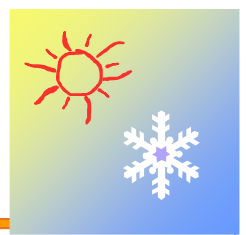
## Implantation PAC monobloc intérieure

Distance suffisante entre les conduites d'admission et d'échappement pour éviter tout court-circuit dans le débit d'air



Source COSTIC

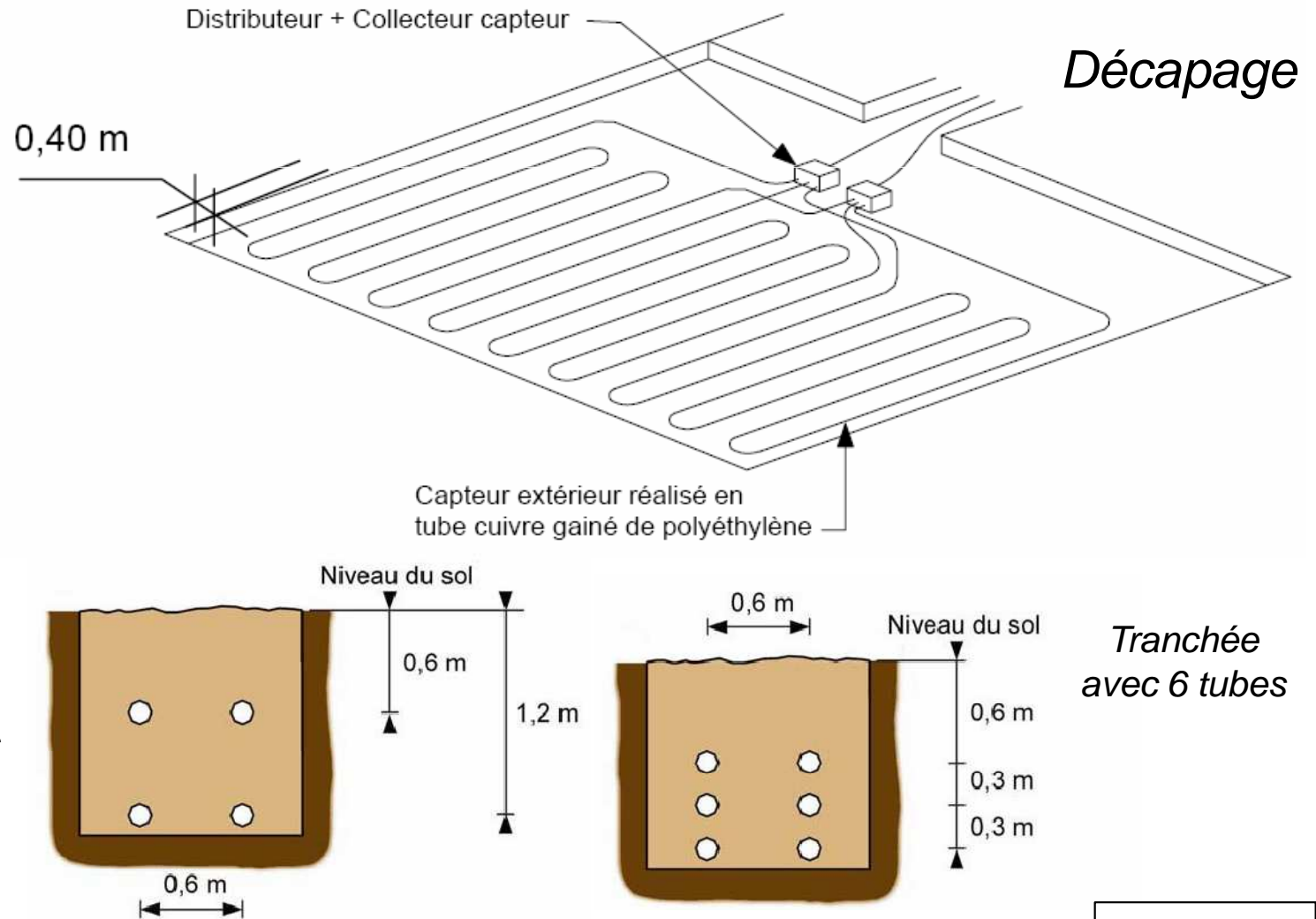
# Mise en œuvre PAC Eau glycolée / Eau



Les tubes sont disposés à une profondeur de 0,60 m, après avoir enlevé la terre sur toute la surface du terrain.

L'espacement entre chaque tube est au minimum de 0,4 m.

## Capteurs horizontaux



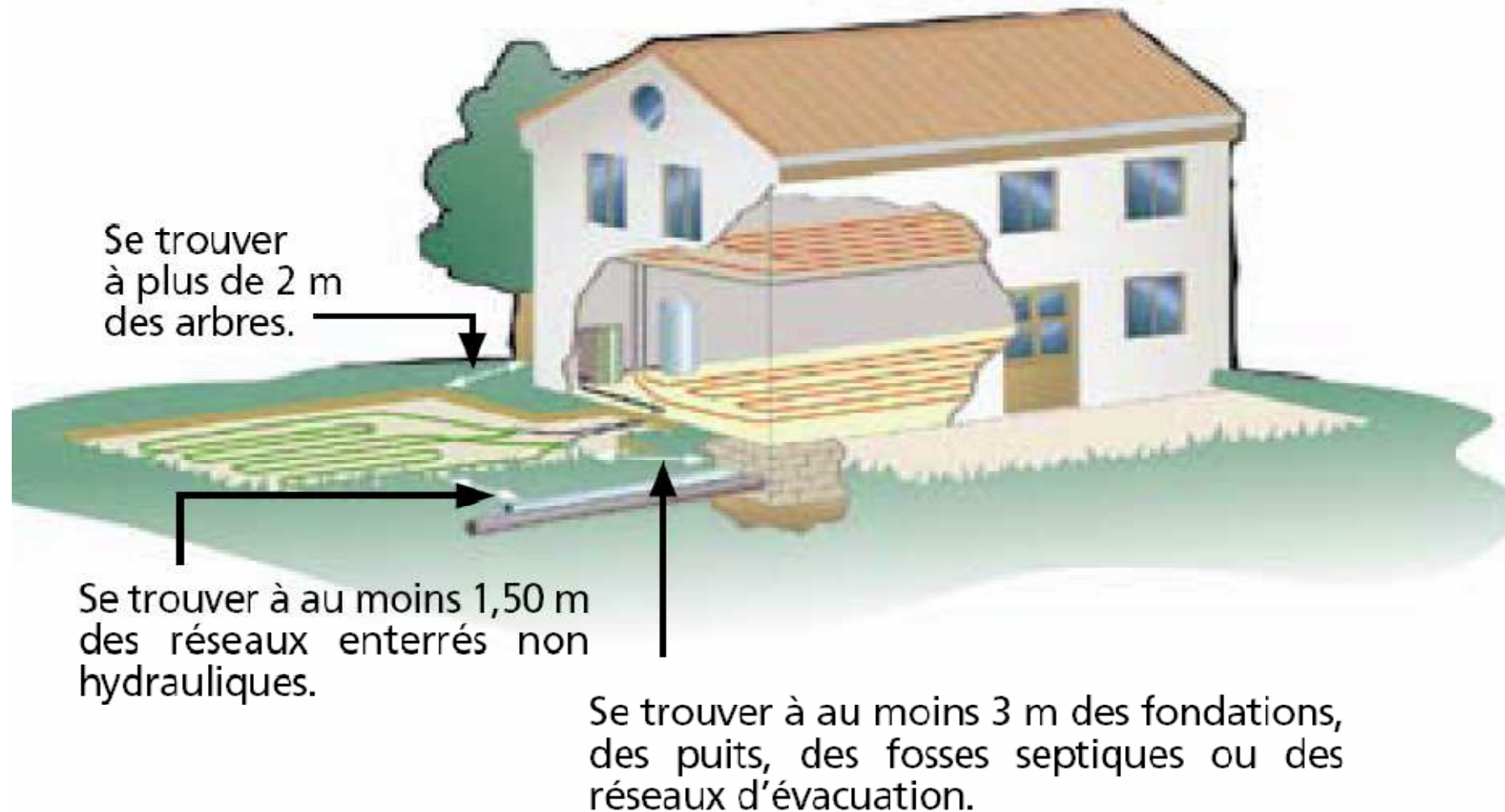
Source COSTIC



# Mise en œuvre PAC Eau glycolée / Eau



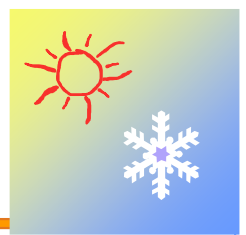
## Capteurs horizontaux



Source COSTIC

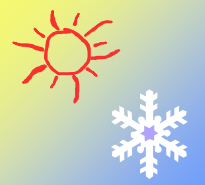


# Mise en œuvre PAC Eau glycolée / Eau



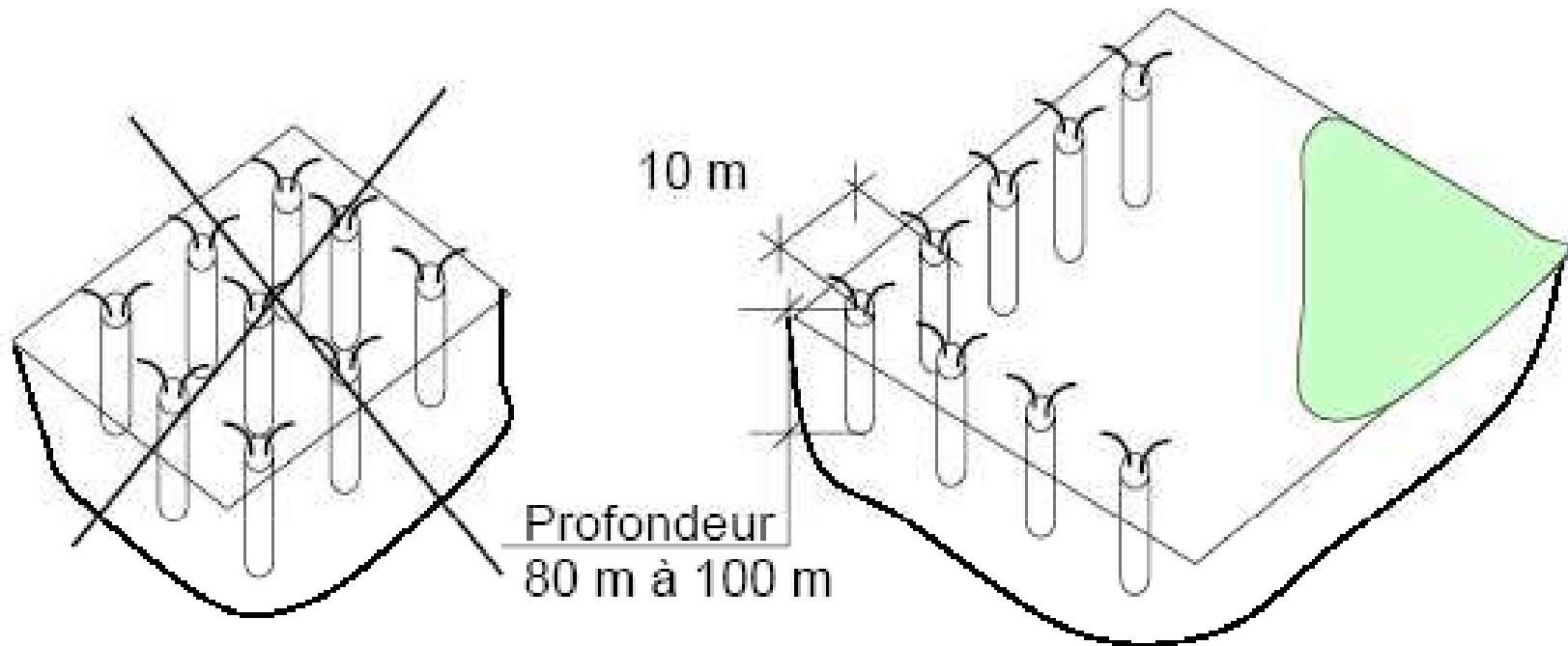
## *Capteurs horizontaux : Synthèse des points à respecter*

- Tranchées de 50 mètres de linéaire, profondes de 0,6 m à 1,2 m et espacées de 50 cm minimum.
- Nappes superposées distante de 60 cm mini.
- Aucune plantation avec des racines profondes ne pourra être réalisée sur la surface géothermique.
- Une surface engazonnée avec des plantes dont les racines sont inférieures à 50 cm.
- Terrain perméable à la pluie pour la reconstitution de la chaleur du sol.
- Tout réseau doit passer à 1,50 m minimum des tubes de capteurs géothermiques.
- Dans un sol rocheux ou argileux, il est préférable d'installer les capteurs sur un lit de sable.
- Etude de l'implantation des capteurs en fonctions des réseaux existants et futurs, ainsi qu'aux ouvrages en projet : piscine, arbres avec racines profondes.

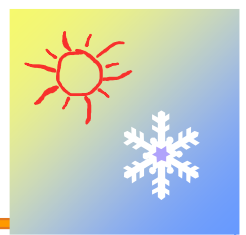


## Capteurs verticaux

L'espacement entre deux capteurs est d'au moins 10 m. Il est préférable d'aligner les capteurs plutôt que de les grouper.

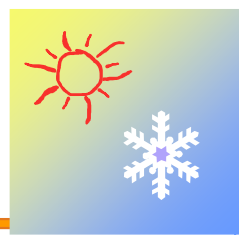


Source COSTIC



## **Capteurs verticaux : Synthèse des points à respecter**

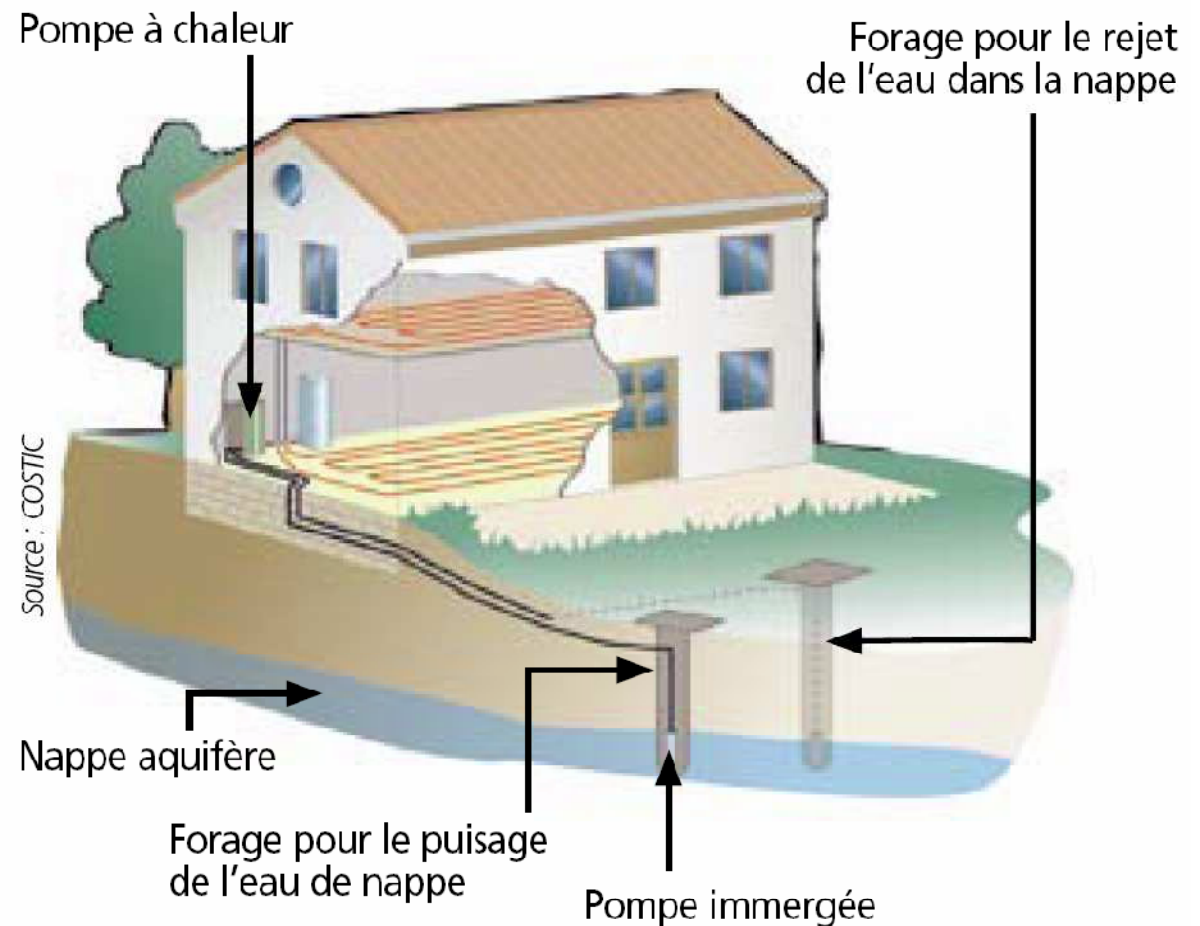
- Au-delà de 100 mètres, les contraintes réglementaires sont contraignantes plutôt opter pour 2 forages de 70 mètres distants de 10 mètres (le minimum d'espacement étant 8 mètres)
- Disposer du minimum de place pour réaliser les opérations de forage vertical.
- Introduire les sondes géothermiques en tube polyéthylène en U dans les puits par groupes de conduites aller/retour.
- Mise en œuvre des forages à faire réaliser par des entreprises spécialisées assurant la réalisation forage + pose des capteurs. Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières – BRGM — gère une liste de foreurs engagés dans une démarche de qualité
- Nécessité de s'adresser avant tout à la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) ou auprès de la préfecture, l'installation étant soumise, selon les cas, à déclaration ou à autorisation préalable.



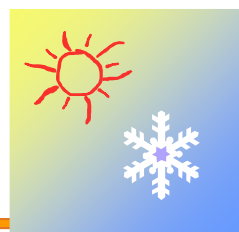
## Quantité d'eau

- Test du puits pendant 2 ou 3 jours
- Environ 200 litres/heure pour une capacité de chauffage de 1 kW (DT = 4 K)
- Niveau de la nappe phréatique < 15 m

Pompe à chaleur eau/eau  
Exemple d'une pompe à double forage



# Mise en œuvre PAC Eau / Eau



## Qualité d'eau

Appraisal criterion	Range of concentration (mg/l)	Appraisal	Appraisal criterion	Range of concentration (mg/l)	Appraisal
Ammonia NH3	< 2	+	pH-value	< 7,5	0
	2 to 20	0		7,5 to 9	+
	> 20	-		> 9	0
Chloride	< 300	+	O2-content	< 2	+
	> 300	0		> 2	0
Conductivity	< 10 $\mu$ S/cm	0	Hydrogen sulphide H2S	< 0,05	+
	10 till 500 $\mu$ S/cm	+		> 0,05	-
	> 500 $\mu$ S/cm	-	HCO3-/SO4 <sup>2-</sup>	< 1	0
Iron (Fe) dissolved	< 0,2	+		> 1	+
	> 0,2	0	Hydrogen Carbonate (HCO3-)	< 70	0
Carbonic acid (aggressive)	< 5	+		70 till 300	+
	5 till 20	0		> 300	0
	> 20	-	Aluminium (Al) dissolved	< 0,2	+
Manganese (Mn) dissolved	< 0,1	+		> 0,2	0
	> 0,1	0	Sulphate	< 70	+
Nitrate NO3 dissolved	< 100	+		70 till 300	0
	> 100	0		> 300	-
Chlorine	<1	+	Sulphite (SO3), free	<1	+
	1 till 5	0			
	> 5	-			

Table 4.1 Acceptable water quality for plate heat exchangers - manufacturer-dependent values

"+" normally good resistance to corrosion

"0" Problems with corrosion could occur, especially if more than one factors are rated with 0

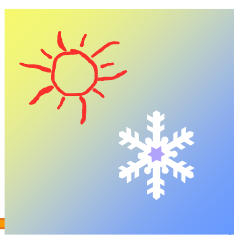
"-" this water should not be used






## *Eau de nappe*

- La législation concernant les travaux de forage est très vaste (code minier, loi sur l'eau, ...) et peut être complétée par des textes réglementaires locaux (arrêtés préfectoraux ou arrêtés municipaux).
- Il est préférable de consulter préalablement à toute opération l'ensemble des administrations concernées et surtout de faire appel à un hydrogéologue (le BRGM ou un bureau d'études «sous-sol») spécialisé qui connaît bien les démarches administratives.

# Couverture du risque hydrogéologique




- Géothermie très basse énergie
- Garantie du débit de la ressource
- Garantie de la pérennité de la ressource
- Restrictions :
  - PAC > 30kW
  - Profondeur < 100 m
- Etudes et installation (mat. et m.o.) spécifiques sous –sol = la boucle géothermale
- Montant couverts : 115 k€



Agence de l'Environnement  
et de la Maîtrise de l'Énergie

**GARANTIE DES FORAGES D'EAU  
ALIMENTANT DES POMPES A CHALEUR**



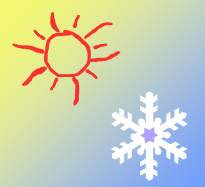
**GARANTIE SUR LA RESSOURCE  
EN EAU SOUTERRAINE  
A FAIBLE PROFONDEUR  
UTILISEE A DES FINS ENERGETIQUES**

Les nappes d'eau souterraines de faible profondeur  
recèlent un potentiel énergétique utilisable grâce aux pompes à chaleur.  
Cependant, il peut exister une incertitude sur les conditions d'utilisation de la ressource naturelle qui  
dépend des caractéristiques géologiques locales.

La garantie AQUAPAC, créée par l'ADEME, le BRGM et EDF prend en charge la couverture  
financière de ce risque géologique.

*Gestion administrative et financière du système de garantie :*  
SAF-ENVIRONNEMENT  
191, Boulevard Saïnt Germain  
75007 PARIS  
Tel : 01 58 50 76 76  
Fax : 01 58 50 04 80  
Hervé.rainbank@caisse-desdepots.fr





## *Eau de rivière / Eau de source*

Il est possible d'utiliser l'eau d'une rivière ou d'une source pour faire fonctionner une pompe à chaleur.

Selon le débit prélevé par la pompe, le débit d'étiage du cours d'eau et le type de cours d'eau (domanial ou non), cet usage peut être soumis à déclaration ou à autorisation et assujetti à une redevance du domaine public (rivières domaniales).

Pour plus de renseignements, contacter la direction départementale de l'agriculture et de la forêt. C'est auprès d'elle que se font les démarches nécessaires.