



LA GÉOTHERMIE

(POMPES À CHALEUR, AÉROTHERMIE)

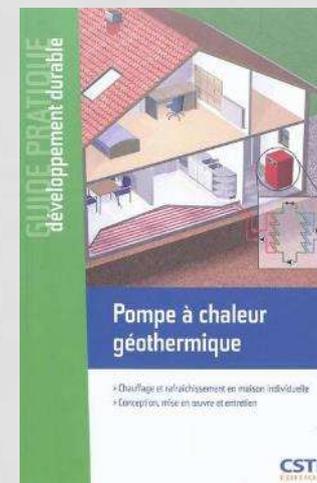
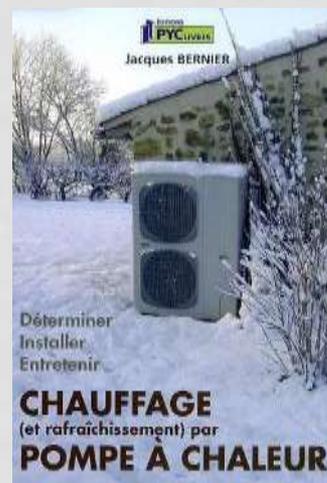
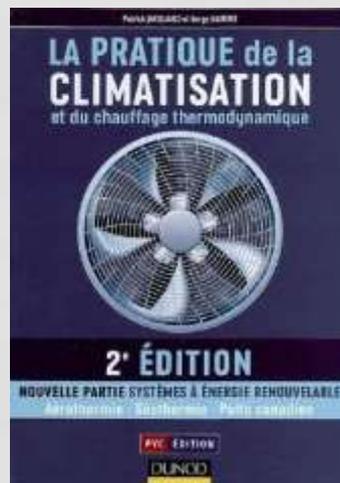
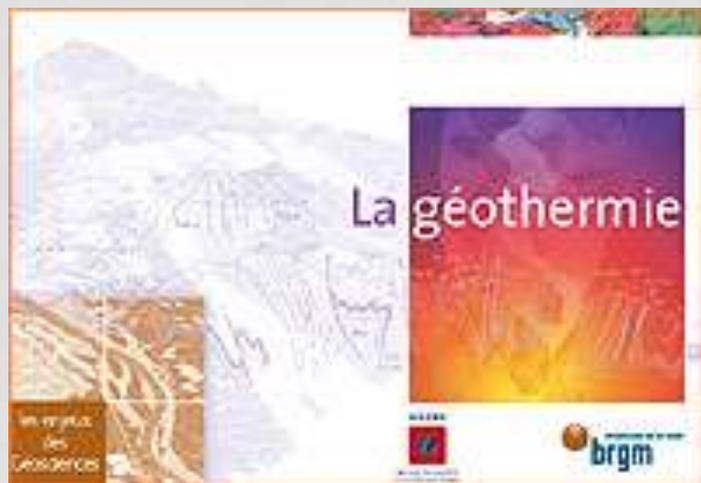
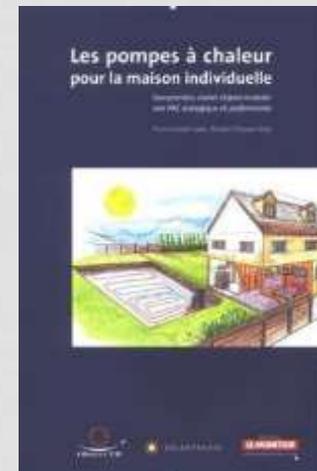
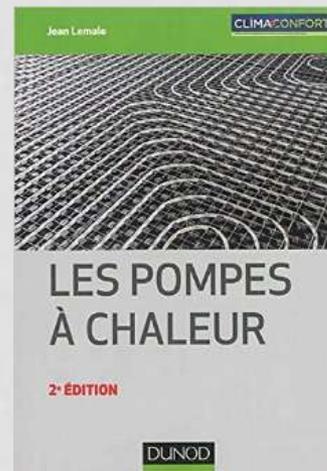
PRÉSENTATION : SYLVAIN DELENCLOS
2016-2017

AU SOMMAIRE ...

- Bibliographie
- Les différentes Pompes À Chaleur (PAC)
- Les constituants d'une installation
- Le dimensionnement
- Les autres systèmes géothermiques
- Les coûts et les aides

BIBLIOGRAPHIE ET WEBOGRAPHIE

- www.geothermie-perspectives.fr
- www.geothermie.net
- www.afpac.org
- www.brgm.fr



Téléchargeable sur le site du BRGM

Consultables à la BULCO

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Géothermie : du grec Gêo « Terre » et Thermos « chaleur »

- Présente sur tous les continents
- Ressource régulière indépendante du climat
- Ressource locale (peu de pertes)
- Coût d'exploitation faible (mais investissement élevé)
- Renouvelable

ORIGINE DE LA CHALEUR

- Gradient géothermal : en moyenne $+3,3^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$
 - France : $4^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$
 - Pyrénées : $2^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$
 - Alsace : $10^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$
- Origine de la chaleur : essentiellement désintégration des éléments radioactifs (Uranium, Thorium, Potassium)

LES DIFFÉRENTS TYPES DE GÉOTHERMIE

Très basse énergie

- Température < 30°C
- Chauffage et climatisation avec pompe à chaleur

Basse énergie

- Température de 30 à 100°C
- Chauffage urbain, balnéothérapie, pisciculture, serres ...

Moyenne énergie

- Température de 100 à 180°C
- Chauffage urbain, séchage, distillation d'eau douce, pâte à papier ...

Haute énergie

- Température > 180°C
- Production d'électricité à partir de vapeur

LES DIFFÉRENTS TYPES DE GÉOTHERMIE

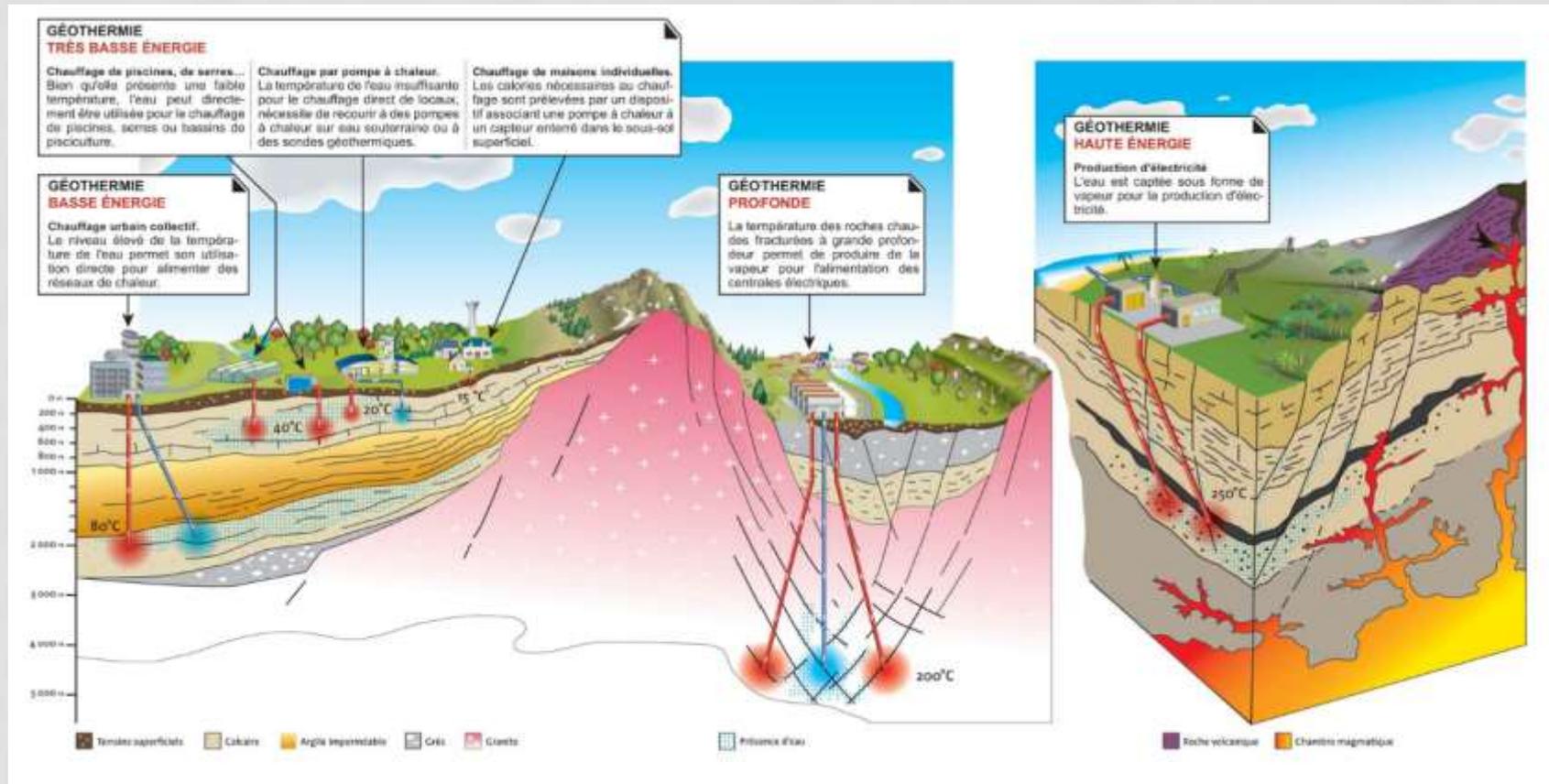


Illustration des différents types de géothermie (source : brgm)

LA GÉOTHERMIE TRÈS BASSE ÉNERGIE

Constituants

- Capteurs (source froide)
- Pompe à chaleur
- Emetteurs (source chaude)

Applications

- Chauffage urbain
- Chauffage de locaux
- Chauffage de serres
- Rafrachissement de locaux
- Production d'eau chaude sanitaire

CAPTAGE DE LA CHALEUR

SOURCE FROIDE

LE CAPTAGE DE LA CHALEUR (SOURCE FROIDE)

Sol

- Captage horizontal
- Captage vertical
- Fondations géothermiques

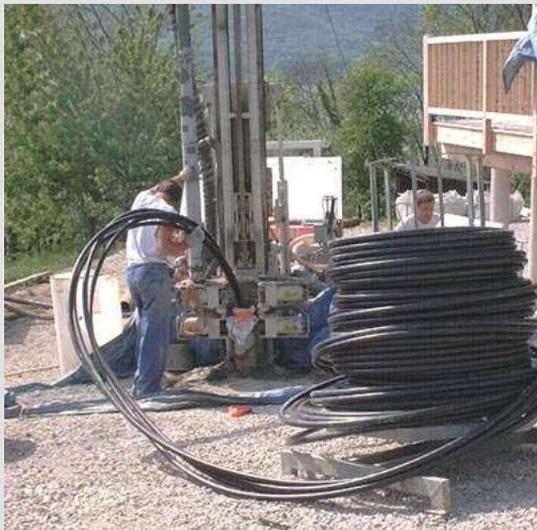
Eau

- Nappes aquifères
- Eau de rivière, étang
- Eau de mer
- Eaux usées

Air

- Air extérieur
- Air intérieur
- Air extrait

CAPTEURS GÉOTHERMIQUES EN IMAGES



Mise en place des sondes géothermiques



Forage



Sonde géothermique:
tuyaux PET haute densité
de 32 mm de diamètre et
2.9 mm d'épaisseur pour
une pression de 16 bars

CAPTEURS GÉOTHERMIQUES EN IMAGES

<http://www.archiexpo.fr>



Capteurs horizontaux

<http://www.archiexpo.fr>



Capteurs verticaux en corbeille

<http://www.sutmundo>



Capteurs en spirale (slinky)

<http://www.durableo.fr>



SONDES GÉOTHERMIQUES EN VIDÉO

Vidéo : <http://www.geoforage.fr/forage.php>



PRINCIPE GÉNÉRAL DES PAC

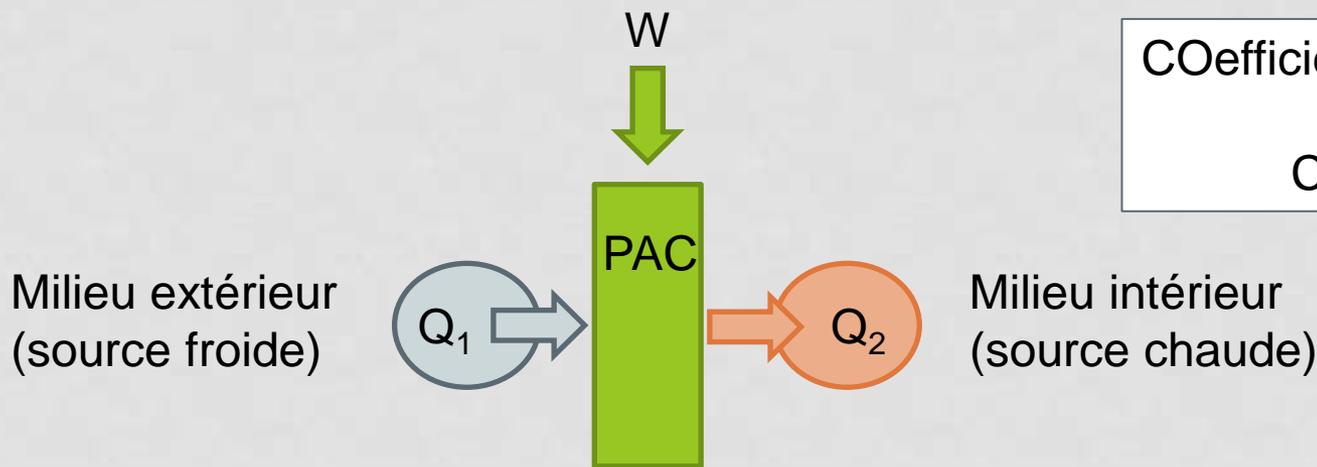
TYPES DE PAC

PRINCIPE GÉNÉRAL D'UNE POMPE À CHALEUR (PAC)

Evaporation d'un liquide = absorption de chaleur

Exemple : l'évaporation de l'éther au contact de la peau provoque une sensation de froid. L'éther s'évapore à 34°C et absorbe la chaleur.

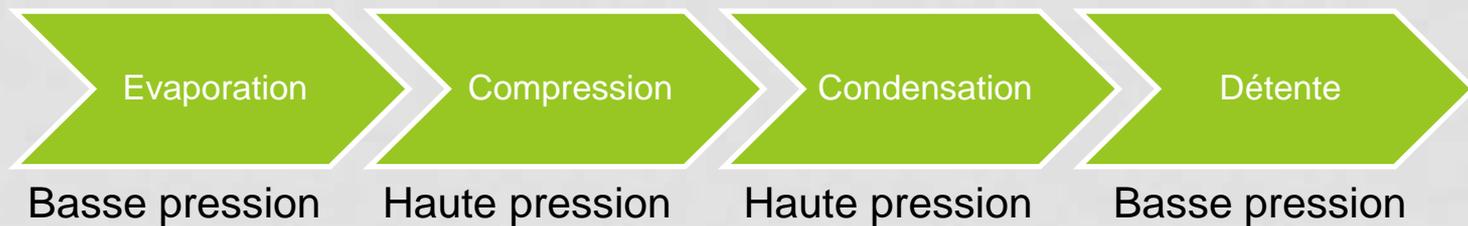
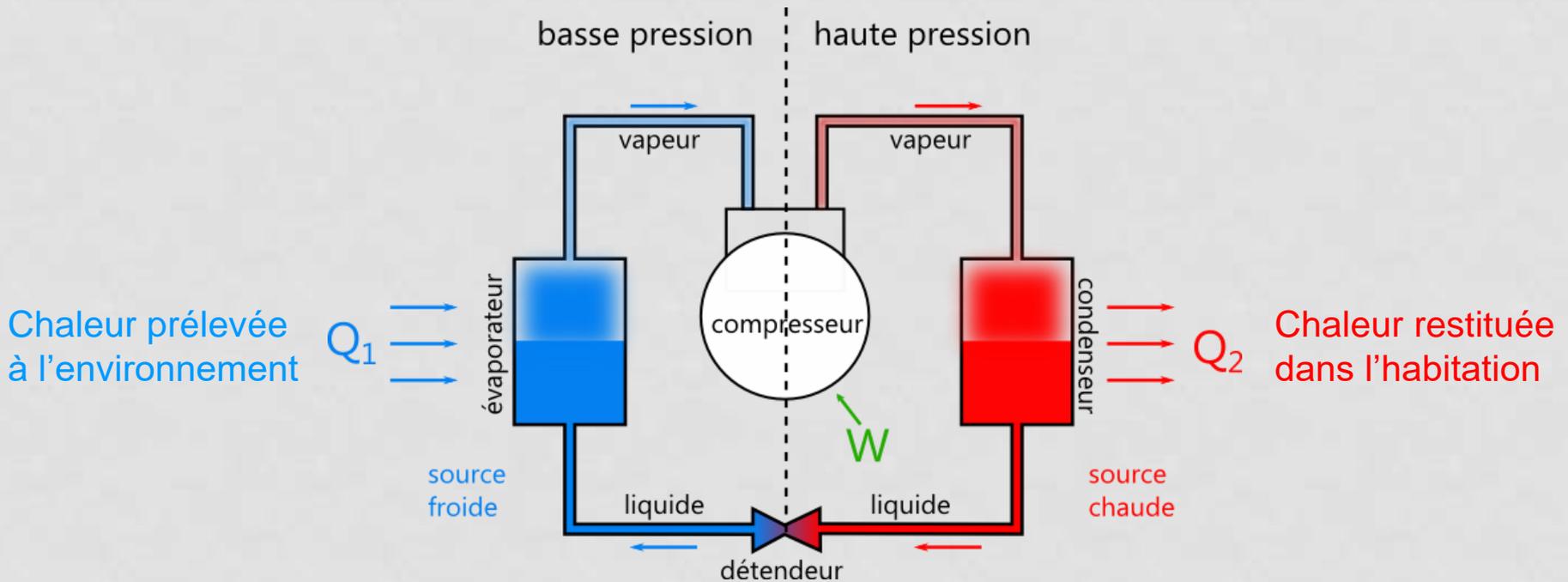
Un **liquide frigorigène** s'évapore à très basse température (-19 à -4°C). Il « aspire » les calories véhiculées par un fluide dit caloporteur.



COefficient de Performance :

$$\text{COP} = Q_2 / W > 1$$

PRINCIPE GÉNÉRAL D'UNE POMPE À CHALEUR À COMPRESSION (PAC)



LE COMPRESSEUR

- Organe essentiel de la pompe à chaleur
- Généralement alimenté par un moteur électrique (modulation de puissance aisée en fonction des besoins)
- Possibilité d'être entraîné par un moteur thermique (avec récupération de chaleur)
- Types courants de compresseurs :
 - Compresseurs volumétriques à pistons ou à vis
 - Compresseurs Scroll
 - Compresseurs Twin-Rotary



ÉVAPORATEUR, CONDENSEUR, DÉTENDEUR

Évaporateur et condenseur :

Ce sont des échangeurs de chaleur

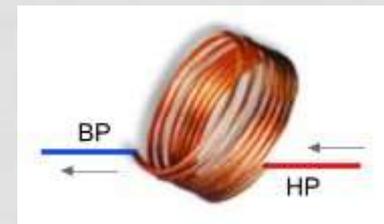
- Échangeurs à air (tube en serpentin)
- Échangeurs à eau
 - Tubes concentriques
 - Multitubulaires
 - Plaques

Détendeur :

- Tube capillaire (débit constant)
- Détendeur thermostatique (débit variable)



Évaporateur de PAC pour piscine



Tube capillaire

LES DIFFÉRENTS TYPES DE PAC GÉOTHERMIQUES

PAC à détente directe (PAC sol-sol)

- Même fluide frigorigène dans les capteurs, la PAC et les émetteurs

PAC mixte (PAC sol-eau)

- Fluide frigorigène dans les capteurs et la PAC
- Eau chaude dans les émetteurs

PAC à fluides intermédiaires (PAC eau glycolée-eau)

- Eau glycolée dans les capteurs
- Fluide frigorigène dans la PAC
- Eau chaude dans les émetteurs

LES OPTIONS POSSIBLES DES PAC GÉOTHERMIQUES

L'eau chaude
sanitaire

(PAC haute température)

Le chauffage de
piscine

(PAC air-eau de faible
puissance – 8 kW

Résistance au chlore de
l'échangeur)

Le
rafraîchissement
de l'habitation

(PAC réversible)

LES POMPES À CHALEUR À DÉTENTE DIRECTE

Evaporation

Compression

Condensation

Détente

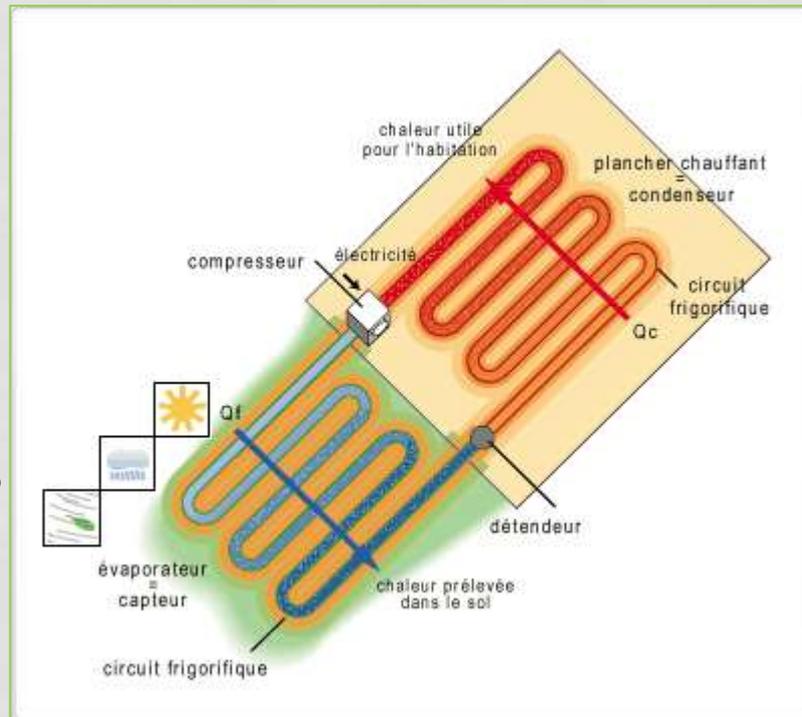
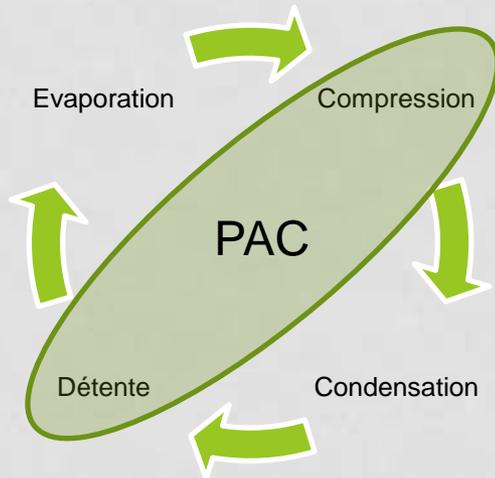


Schéma : www.géothermie.net

LES POMPES À CHALEUR À DÉTENTE DIRECTE



1. Evaporation du fluide dans les tubes enterrés
 - Tubes en PE ou en cuivre gainé de PE
 - Longueur : plusieurs centaines de mètres
 - Profondeur : 0,6 à 1,2 m
 - Surface : 1,6 à 1,8 fois la surface à chauffer
2. Compression dans la PAC
3. Condensation dans les émetteurs
 - Tubes noyés dans la dalle
4. Détente du fluide frigorigène dans la PAC
5. Organes de sécurité et de contrôle

LES POMPES À CHALEUR À DÉTENTE DIRECTE

Avantages

- Pas de chauffage d'appoint
- Coût de la PAC
- Appareil simple

Inconvénients

- Grande quantité de fluide frigorigène
- Etanchéité
- Pas de mode refroidissement

LES POMPES À CHALEUR MIXTES

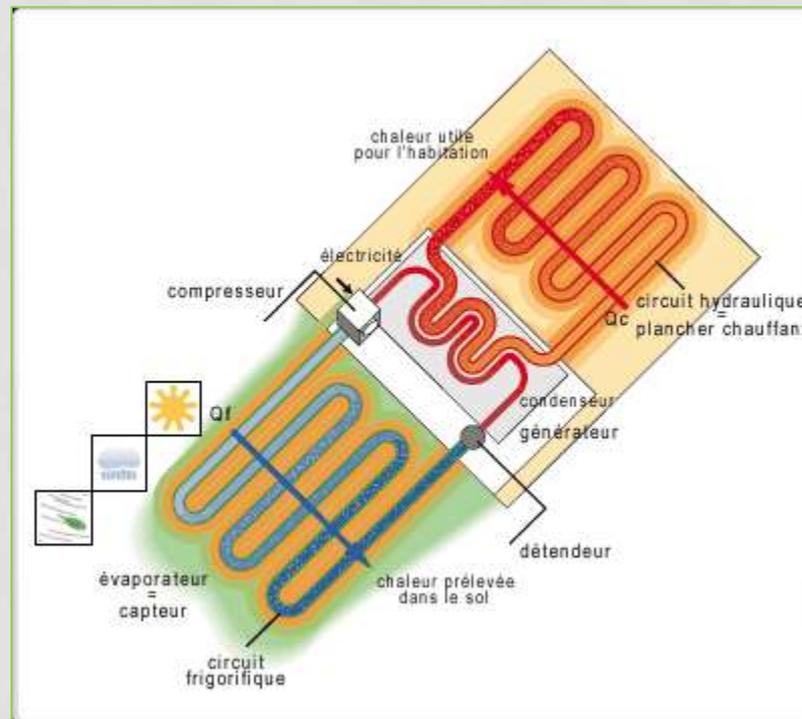
Evaporation

Compression

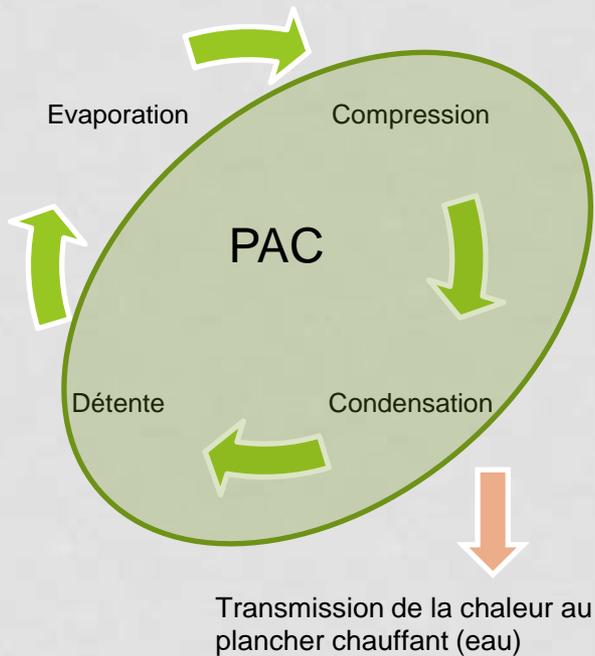
Condensation

Détente

Schéma : www.géothermie.net



LES POMPES À CHALEUR MIXTES



1. Evaporation du fluide dans les tubes enterrés
2. Compression dans la PAC
3. Condensation dans l'échangeur à plaques. De l'eau chaude circule dans le plancher
4. Détente du fluide frigorigène dans la PAC

LES POMPES À CHALEUR MIXTES

Avantages

- Pas de chauffage d'appoint
- Moins de fluide frigorigène que la PAC à détente directe
- Possibilité d'utiliser des radiateurs existants

Inconvénients

- Grande quantité de fluide frigorigène dans l'évaporateur
- Etanchéité

LES POMPES À CHALEUR À FLUIDES INTERMÉDIAIRES

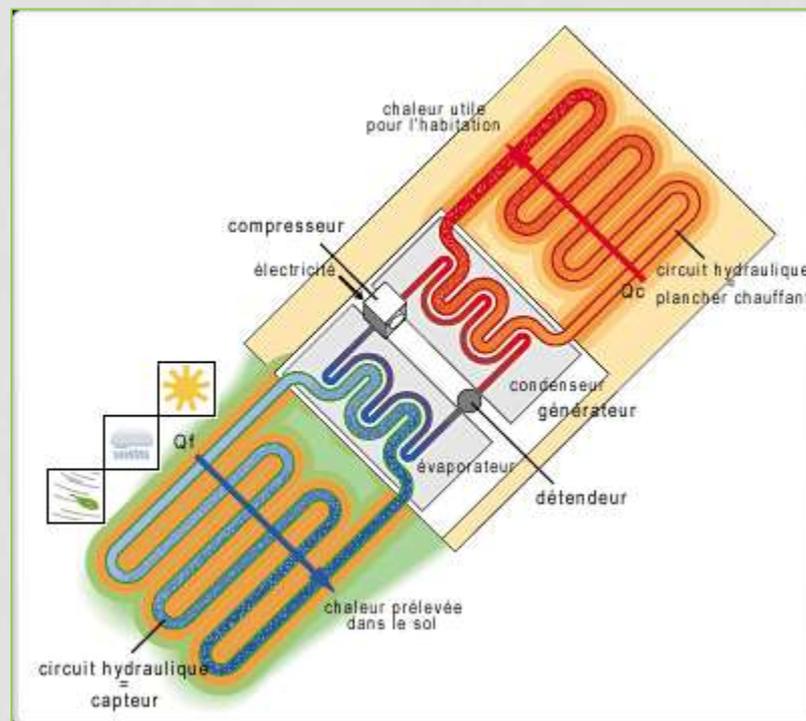
Evaporation

Compression

Condensation

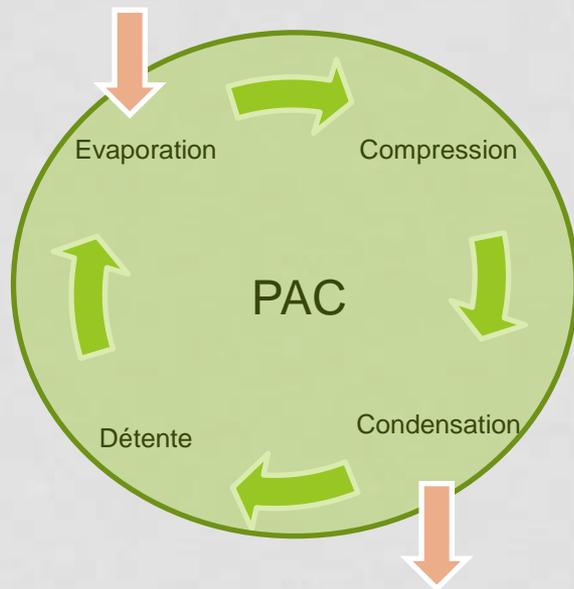
Détente

Schéma : www.géothermie.net



LES POMPES À CHALEUR À FLUIDES INTERMÉDIAIRES

Apport de chaleur du sol
(eau glycolée)



Transmission de la chaleur au
plancher chauffant (eau)

1. L'eau glycolée circule dans les tubes enterrés et capte la chaleur du sol
2. Evaporation du fluide frigorigène au niveau de l'échangeur à eau
3. Compression dans la PAC
4. Condensation dans l'échangeur à plaques. De l'eau chaude circule dans le plancher
5. Détente du fluide frigorigène dans la PAC

LES POMPES À CHALEUR À FLUIDES INTERMÉDIAIRES

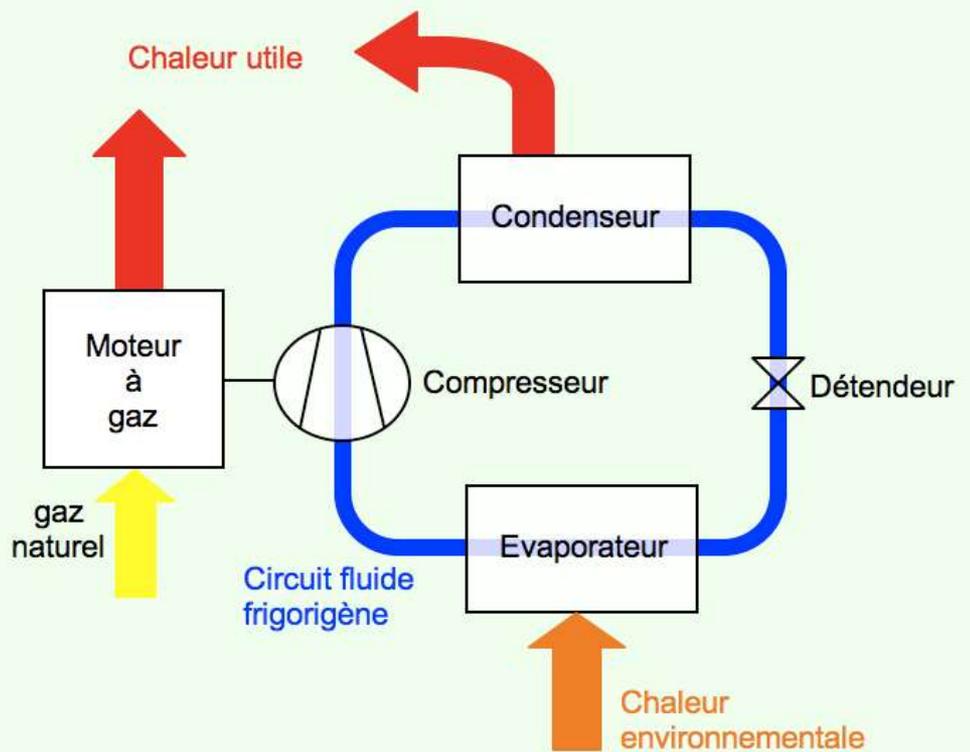
Avantages

- Pas de chauffage d'appoint
- Fluide frigorigène uniquement dans la PAC
- Captage vertical possible
- Possibilité de fonctionner en inverse (rafraîchissement)
- Possibilité d'utiliser des radiateurs existants

Inconvénients

- Surface horizontale supérieure à PAC à détente directe
- Rendement légèrement inférieur

LES POMPES À CHALEUR À MOTEUR GAZ



Compresseur entraîné par moteur à gaz (au lieu de l'électricité pour les PAC classiques)

Récupération de la chaleur du moteur à gaz

ÉMETTEURS DE CHALEUR

SOURCE CHAUDE

LES ÉMETTEURS

(SOURCE CHAUDE)

Radiateur basse température



Plancher chauffant



Ventilo-convecteur



LES ÉMETTEURS

(SOURCE CHAUDE)

Radiateur basse température

Consommation d'énergie moindre qu'un radiateur classique

Modification possible en rénovation

Bon confort thermique

Plus cher et moins esthétique (surface d'échange plus importante)

COP plus faible que plancher chauffant

Ballon de stockage intermédiaire nécessaire (limite les cycles)

Plancher chauffant

Confort thermique

Gain de surface habitable

Possibilité de climatiser

Diminution des cycles (inertie)

Régulation plus difficile (inertie)

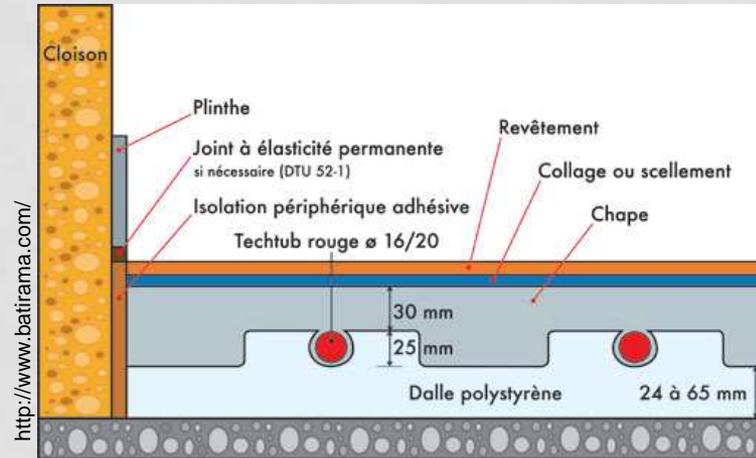
Difficile à mettre en œuvre en rénovation

Incompatible avec certains revêtements en refroidissement (moquette, parquet)

Assez cher

LES ÉMETTEURS

LE PLANCHER CHAUFFANT EN IMAGES



Le pas est variable selon le type de pièces à chauffer : de 15 à 40 cm
Mise à l'épreuve à 6 bars pendant 2 heures avant coulage de la dalle béton

LES ÉMETTEURS

(SOURCE CHAUDE)

Utilisation avec radiateurs existants (ancienne installation de chauffage central)

PAC haute température

PAC à deux
compresseurs

Deux fluides frigo en cascade : le condenseur de l'un est l'évaporateur de l'autre

PAC EVI
(Enhanced
Vapour
Injection)

Augmentation du taux de compression par réinjection de fluide frigo pris après le condenseur

CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

CONCEPTION D'UNE INSTALLATION

Avoir connaissance de :

- Caractéristiques du bâtiment (année de construction)
- Isolation présente
- Déperditions thermiques
- Besoins énergétiques (tant pour le chauffage que pour l'ECS)

DIMENSIONNEMENT

CALCUL DES BESOINS

- Première méthode (simplifiée) :

$$B_m(\text{kW}) = S_m(\text{m}^2) \cdot k(\text{kW} \cdot \text{m}^{-2})$$

Avec B_m les besoins en kW, S_m la surface à chauffer et k un coefficient dépendant de la maison

Type de maison	Basse énergie	Bien isolée	Moyennement isolée	Mal isolée
Coefficient k (kW.m ⁻²)	0,03	0,05	0,08	0,13

Exemple : maison de 185 m² bien isolée : $B_m = 185 \times 0,05 = 9,3 \text{ kW}$

DIMENSIONNEMENT

CALCUL DES BESOINS

Avant de dimensionnement la PAC, il faut engager si nécessaire des travaux d'isolation

- Réduction de la puissance installée
- Réduction du coût
- Amélioration du COP

DIMENSIONNEMENT

CALCUL DES BESOINS

- Deuxième méthode qui tient compte :
 - De l'isolation
 - Du renouvellement d'air
 - De l'occupation
 - Des conditions climatiques

$$B_m(\text{kW}) = G(\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}) \cdot V(\text{m}^3) \cdot (\theta_{int} - \theta_{ext})(^{\circ}\text{C})$$

Type de maison	Bioclimatique	Neuf isolé	Ancien isolé	Ancien mal isolé
Coefficient G ($\text{W}\cdot\text{m}^{-3}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$)	0,4 à 0,6	0,7 à 0,9	0,8 à 1,1	2 à 3

Exemple : maison de 185 m² bien isolée : $B_m = 0,8 \times 185 \times 2,5 \times (19 - (-9)) = 10,4 \text{ kW}$

DIMENSIONNEMENT

CALCUL DE LA LONGUEUR DE TUBE (CAPTAGE HORIZONTAL)

Paramètres à prendre en compte :

- Puissance thermique absorbée par mètre carré de tuyau
- Ecartement des tubes entre eux e
- Température de départ de l'eau chaude T_{ec}
- Température d'entrée d'eau glycolée T_{eg}
- Puissance électrique absorbée par la PAC : P_{elec}

DIMENSIONNEMENT

CALCUL DE LA LONGUEUR DE TUBE (CAPTAGE HORIZONTAL)

Puissance thermique absorbée par mètre carré de tuyau
en fonction de la nature du sol

Type de sol	λ (W/m ²)
Sablonneux (sec)	10 - 15
Sablonneux (humide)	16 - 20
Argileux (sec)	21 - 25
Argileux (humide)	26 - 30
Argileux (saturé en eau)	31 - 35

λ : Puissance thermique absorbée par mètre carré

DIMENSIONNEMENT

CALCUL DE LA LONGUEUR DE TUBE (CAPTAGE HORIZONTAL)

Ecartement des tuyaux en fonction de leur diamètre

Type de tube	Ecartement préconisé e (m)
PE 20 x 2,0 mm	0,33
PE 25 x 2,3 mm	0,50
PE 32 x 2,9 mm	0,70

Remarque : les boucles sont limitées à 100 m (limite les PdC)

DIMENSIONNEMENT

CALCUL DE LA LONGUEUR DE TUBE (CAPTAGE HORIZONTAL)

- Surface au sol : $S_{sol} = \frac{B_m - P_{elec}}{\lambda}$
- Longueur de tubes : $L = \frac{S_{sol}}{e}$
- Nombre de boucles : $N = \frac{L}{100}$

Photo : www.archiexpo.fr



DIMENSIONNEMENT

CALCUL DE LA LONGUEUR DE TUBE (CAPTAGE HORIZONTAL)

Exemple :

$$\left. \begin{array}{l} B_m = 10,4 \text{ kW} \\ T_{eg} = 0 \text{ °C} \\ T_{ec} = 35 \text{ °C} \end{array} \right\} \text{ Donnée constructeur : } P_{elec} = 2,1 \text{ kW}$$

Tubes en PE 25 x 2,3 mm, écartement de 0,5 m
Sol argileux sec : $\lambda = 21 \text{ W.m}^{-2} = 0,021 \text{ kW.m}^{-2}$

$$S_{sol} = \frac{10,4 - 2,1}{0,021} = 395 \text{ m}^2$$
$$L = \frac{395}{0,5} = 790 \text{ m}$$

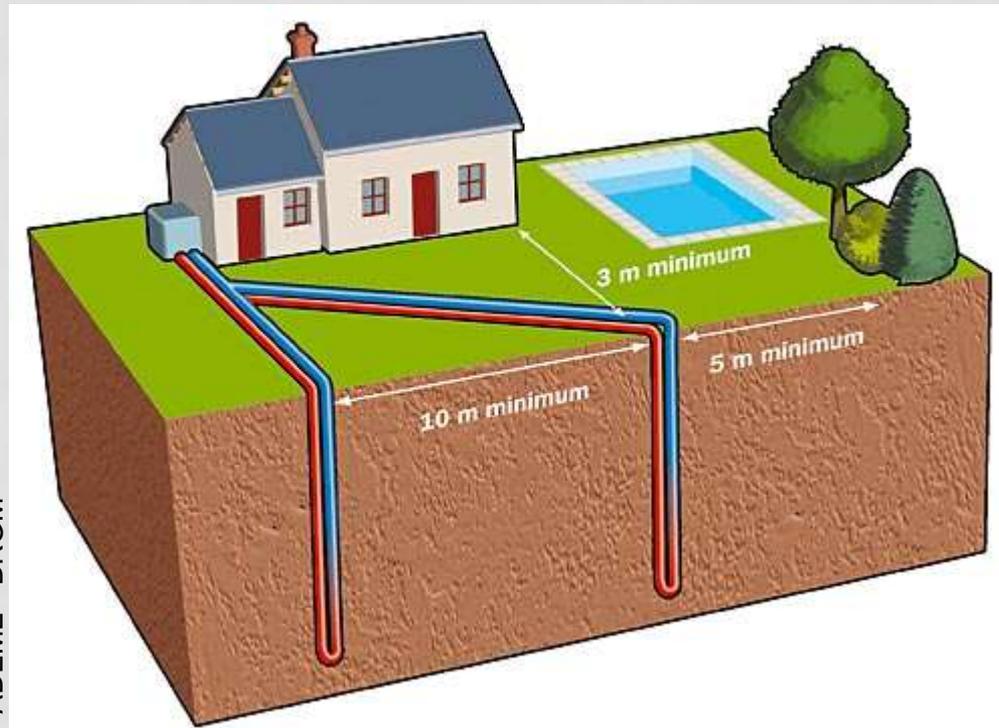
Soit 8 circuits de 100 m de longueur

DIMENSIONNEMENT

CALCUL DE LA LONGUEUR DE TUBE

(CAPTAGE VERTICAL)

Mêmes calculs que pour l'horizontal avec une puissance absorbée par mètre linéaire de 20 à 100 W



ADEME - BRGM

DIMENSIONNEMENT

CALCUL DE LA LONGUEUR DE TUBE (CAPTAGE VERTICAL)

En prenant une moyenne de 60 W/m :

$$L_{\text{sonde}} = \frac{8\,300}{60} = 138 \text{ m}$$

On préférera plutôt deux forages de 69 m de profondeur.

En général, deux sondes de 50 m permettent de chauffer une habitation de 120 m².

EXEMPLE DE FICHE TECHNIQUE D'UNE PAC GÉOTHERMIQUE (ATLANTIC)

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

	UNITÉ	GÉOLIS 5	GÉOLIS 8	GÉOLIS 12	GÉOLIS 15	GÉOLIS 17
RÉFRIGÉRANT						
Type		R407C	R407C	R407C	R407C	R407C
Charge	kg	1,4	2,3	2,2	2,4	2,4
CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES ⁽¹⁾						
Puissance calorifique 0°C / +35°C - PCR	W	4 650	8 150	11 600	15 420	16 890
Puissance absorbée 0°C / +35°C - PCR	W	1 130	1 840	2 720	3 630	4 100
COP 0°C / 35°C - PCR		4,12	4,44	4,27	4,25	4,12
Puissance calorifique 0°C / +45°C - Radiateurs BT	W	3 980	7 750	10 990	14 860	16 100
Puissance absorbée 0°C / +45°C - Radiateurs BT	W	1 210	2 180	3 200	4 250	4 680
COP 0°C / 45°C - Radiateurs BT		3,29	3,55	3,44	3,50	3,44
Puissance calorifique 0°C / +60°C - Radiateurs HT	W	3 010	7 440	10 780	14 620	15 880
Puissance absorbée 0°C / +60°C - Radiateurs HT	W	1 230	2 760	4 000	5 390	5 710
COP 0°C / +60°C - Radiateurs HT		2,45	2,70	2,69	2,71	2,78
Puissance appoint électrique série	W	7 000	7 000	7 000	9 000	9 000
MODULE						
Puissance acoustique ⁽²⁾	dB(A)	42	43	43	42	42
Niveau sonore ⁽²⁾	dB(A)	20	21	21	20	20
Dimensions h x l x p	mm	1 500 x 600 x 620				
Poids	kg	140	165	178	191	199
CARACTÉRISTIQUES HYDRAULIQUES						
Contenance vases expansion capteur / chauffage	l	3 / 12	3 / 12	3 / 12	3 / 12	3 / 12
Quantité en eau minimum du circuit chauffage	l	100	160	240	300	340
Débit mini. circuit chauffage ($\Delta T = 10^\circ C$)	l/h	400	700	1 000	1 300	1 450
Pression disponible circuit chauffage	kPa	voir courbes pompe				
Débit mini. circuit capteur ($\Delta T = 5^\circ C$)	l/h	600	1 080	1 530	2 020	2 200
Pression disponible circuit capteur	kPa	voir courbes pompe				

L'AÉROTHERMIE

L'AÉROTHERMIE

Deux types de PAC aérothermiques :

- Air/air
- Air/eau

Même principe que pour les PAC géothermiques :

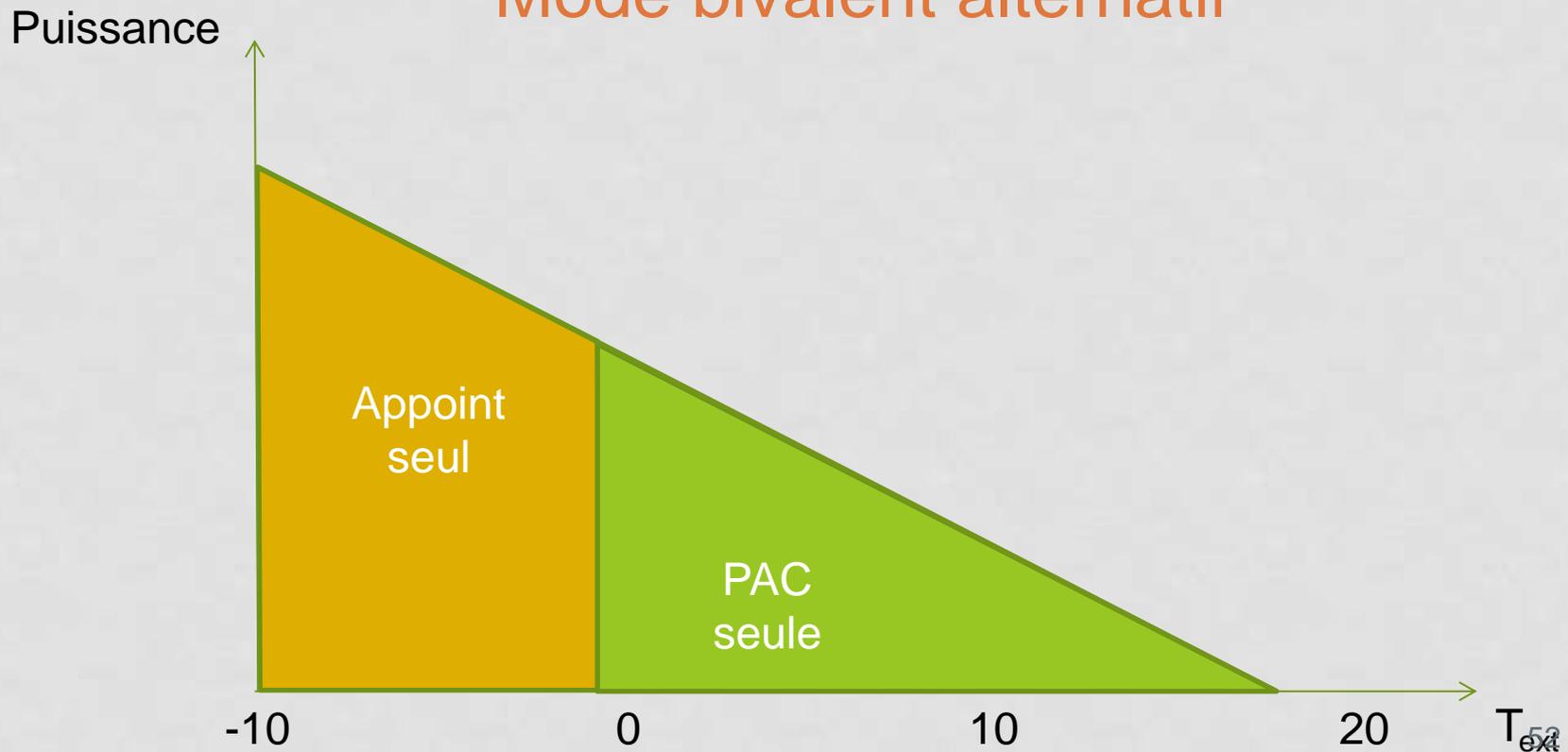


LES POMPES À CHALEUR

MODE BIVALENT

Puissance de la PAC < puissance demandée (temp. Ext. Trop basse)

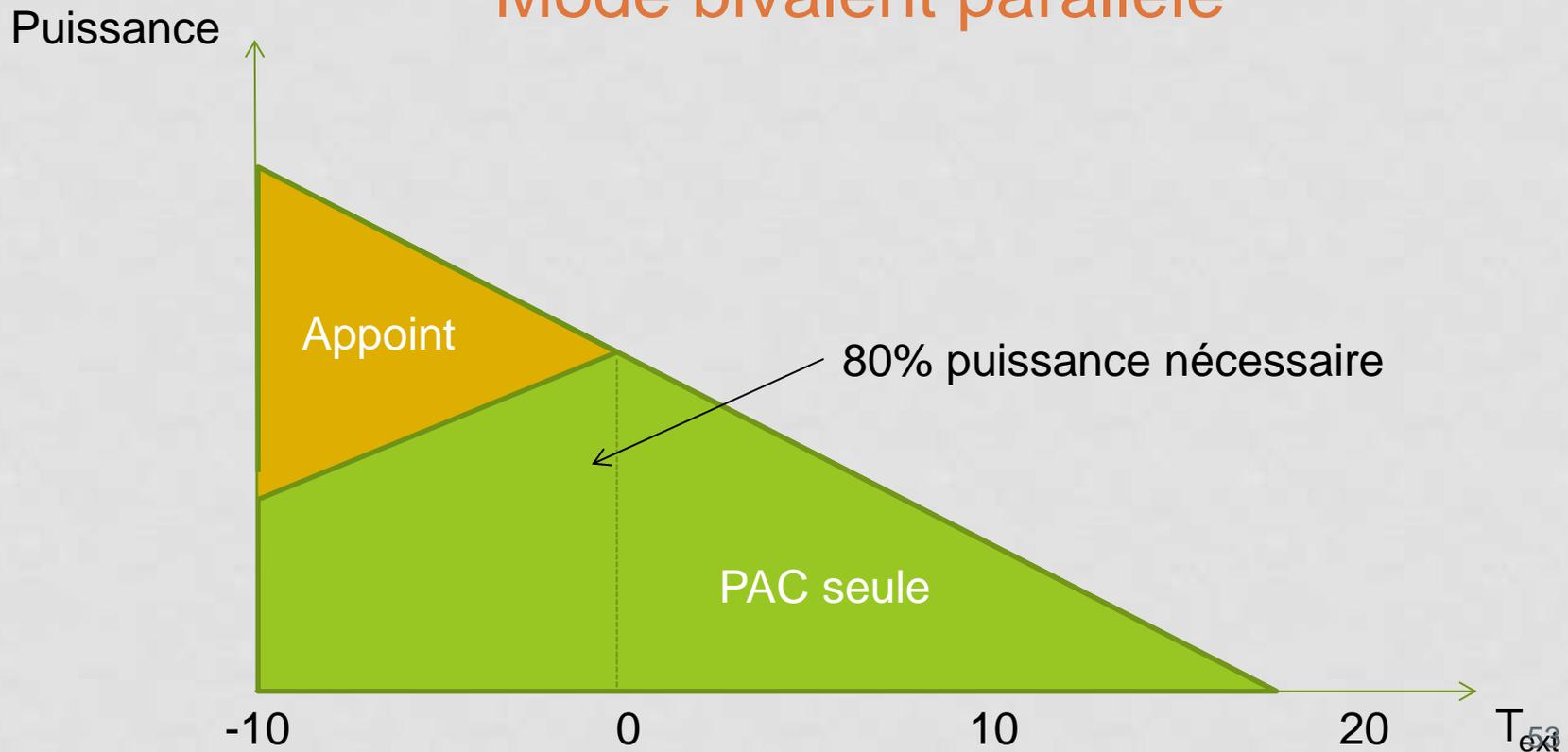
Mode bivalent alternatif



LES POMPES À CHALEUR MODE BIVALENT

Puissance de la PAC < puissance demandée (temp. Ext. Trop basse)

Mode bivalent parallèle



L'AÉROTHERMIE

Avantages

- Facilité de mise en œuvre (surface)
- Réversible (climatisation possible)
- Moins cher que la géothermie

Inconvénients

- Le COP diminue fortement avec la température
- Givrage de l'évaporateur à basse température
- Bruit et vibrations de l'installation
- Chauffage d'appoint nécessaire

À PROPOS DES COP

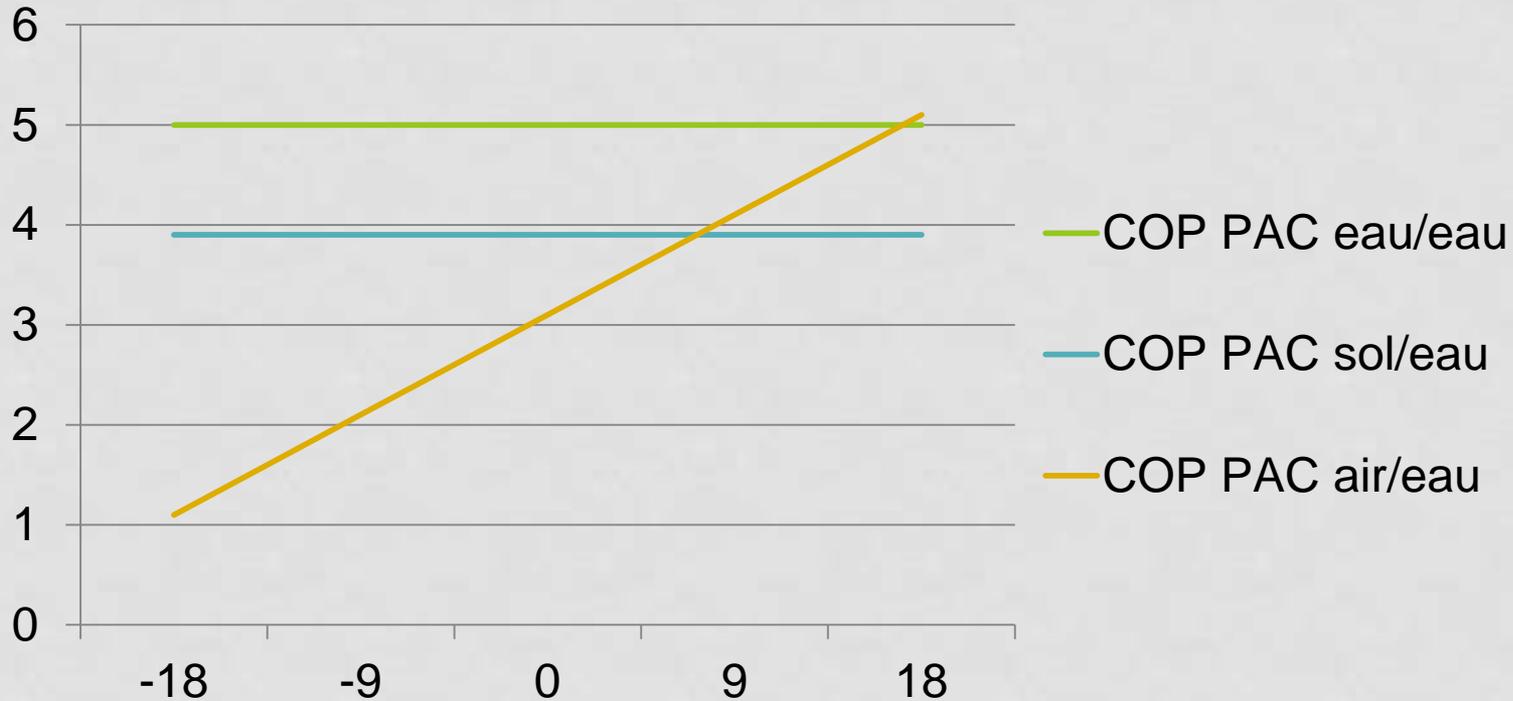
A PROPOS DES COP

- **COP machine** : concerne uniquement la PAC (sans considération des éléments auxiliaires) dans des conditions bien précises (exemple : COP=4 pour 7°C extérieur et sortie d'eau chaude à 35°C : norme EN 14511)
- **COP système** : prise en compte de l'énergie consommée par la PAC + circulateur + pompe (nappe) + appoint (autre système de chauffage) + ventilateurs (PAC air) + résistances de dégivrage (PAC air)
- **COPA ou COP Annuel** : moyenne du COP système sur l'année. Nécessite un système de mesure sur toutes les parties de l'installation
- En général, $COPA = COP\ machine - 1 \text{ à } -2$

A PROPOS DES COP

- Le COP dépend des conditions d'essai :
 - $T_{\text{ext}}=7^{\circ}\text{C}$ pour PAC air/air et air/eau
 - $T_{\text{eau}}=10^{\circ}\text{C}$ pour PAC eau/eau
 - $T_{\text{eau glyc}}=0^{\circ}\text{C}$ pour PAC eau glycolée/eau
- Pour des températures inférieures à ces conditions, le COP diminue

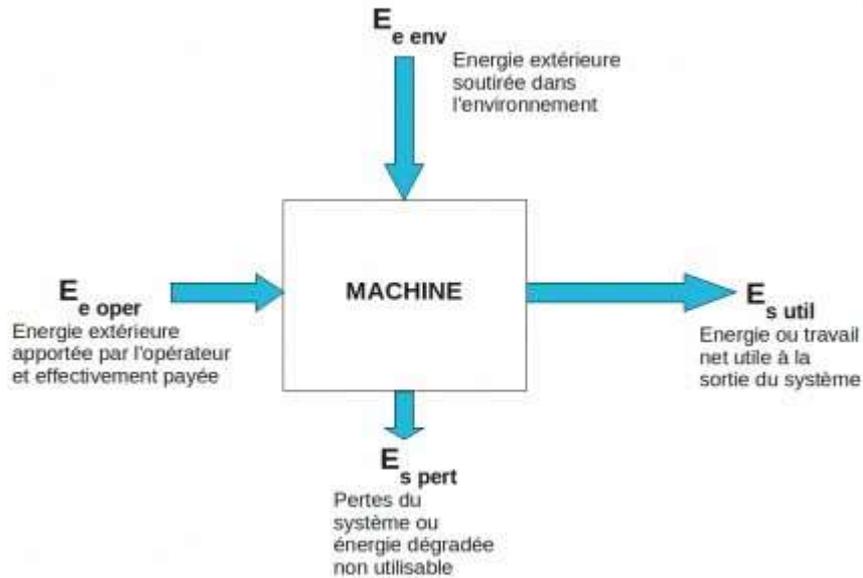
A PROPOS DES COP



COP de différents systèmes de PAC
(d'après les « pompes à chaleur » de Bruno Béranger)

Pour plus d'infos sur les COPA : étude Ground-Reach

COP ≠ RENDEMENT



<http://energythic.com>

En régime établi : flux entrants = flux sortants

$$E_{s \text{ util}} + E_{s \text{ pert}} = E_{e \text{ oper}} + E_{e \text{ env}}$$

Rendement :

$$\eta = \frac{E_{s \text{ util}}}{E_{e \text{ oper}} + E_{e \text{ env}}} = \frac{E_{s \text{ util}}}{E_{s \text{ util}} + E_{s \text{ pert}}}$$

COP :

$$COP = \frac{E_{s \text{ util}}}{E_{e \text{ oper}}} = \frac{E_{s \text{ util}}}{E_{s \text{ util}} + E_{s \text{ pert}} - E_{e \text{ env}}}$$

LES COÛTS ET LES AIDES

LES COÛTS ET LES AIDES

D'après l'ADEME :

85 € TTC à 135 € TTC par m² chauffé pour capteurs horizontaux

145 € à 185 € TTC par m² chauffé pour capteurs verticaux (autorisation de la DRIRE nécessaire si > 100 m ou sur nappe phréatique (géothermie-perspectives.com))

Coût de fonctionnement : 2,3 à 3,5 € (TTC) par m² par an

Coût d'un forage : environ 50 € le mètre linéaire

LES COÛTS ET LES AIDES

Crédit d'Impôt pour la Transition Energétique (CITE) :

- 30 % du coût du matériel
- Montant maximal des dépenses éligibles au CITE :
 - 8000 € célibataire
 - 16000 € couple
 - 400 € supplémentaire / enfant à charge

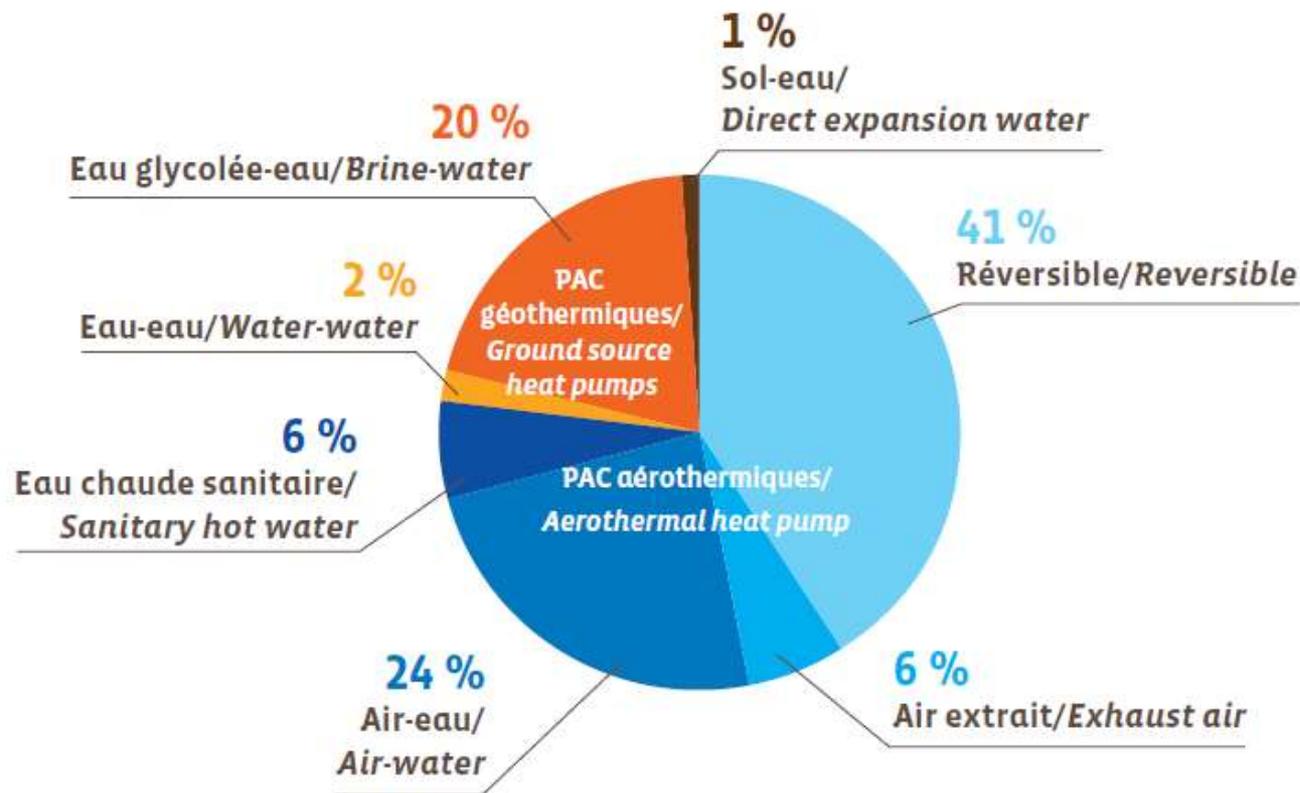
Conditions d'obtention :

- COP \geq 3,4
- Présentation d'une facture unique comprenant la vente et l'installation d'une pompe à chaleur
- Travaux réalisés par une entreprise « RGE » (reconnu garant de l'environnement)
- Valable uniquement dans l'habitation principale

LE MARCHÉ DES PAC

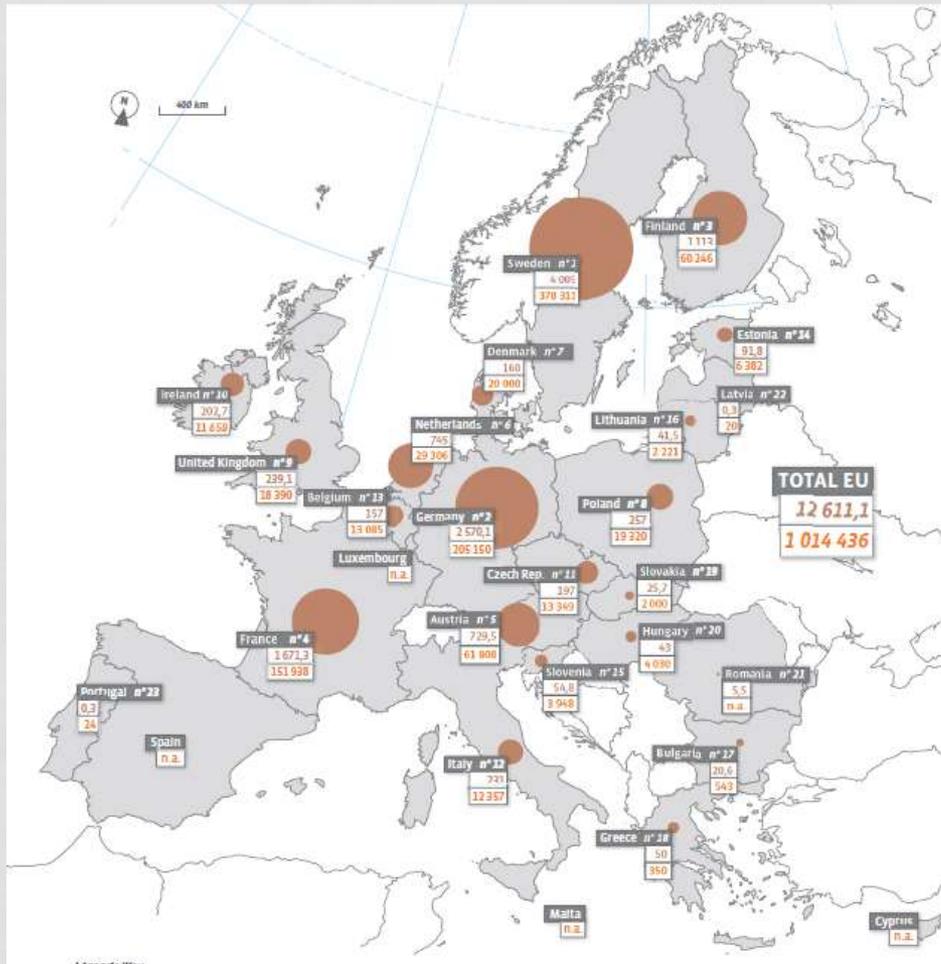
MARCHÉ DES PAC EN EUROPE

Différents segments du marché des pompes à chaleur en Europe (en %)
Market differentiation of the heat pump technologies in Europe (in %)



Source : eurobser'ER

MARCHÉ DES PAC EN EUROPE



Leader en Europe : la Suède

MAINTENANCE ET PANNES

LA MAINTENANCE*

- Effectuée par une entreprise qualifiée
- Pour les PAC contenant plus de 2 kg de fluide frigo
 - Contrôle périodique d'étanchéité
 - Registre contenant les quantités et types de fluides ajoutés ou récupérés
 - Après détection d'une fuite, contrôle un mois après la mise en pression
 - Le recyclage, la régénération ou la destruction du fluide à la charge de l'exploitant

LA MAINTENANCE

- Vérification annuelle :
 - Etanchéité du circuit frigorifique
 - Serrage des alimentations électriques
 - Dosage et pH du mélange eau/glycol
 - Encrassement des filtres d'eau
 - Fuites d'eau (baisse de pression) et d'huile
 - Sécurités haute et basse pression du circuit frigorifique
 - Bon fonctionnement des pompes de circulation, vannes de régulations
 - Vérification des températures
 - Présence d'obstacles entravant la circulation d'air pour les PAC Air
 - Nettoyage, peinture antirouille ...
 - Vibrations et niveau sonore (PAC air), supports

Un contrat d'entretien est fortement conseillé

CAUSES DE DÉFAILLANCE*

« L'émetteur de chaleur ne chauffe pas »

- Présence d'air dans le circuit hydraulique
- Blocage de la pompe de circulation
- Défaut de sonde de température
- Circuit hydraulique encrassé
- Défaut de la vanne mélangeuse sur la boucle hydraulique

« La PAC ne fournit pas assez de puissance »

- Echangeurs encrassés (évaporateur ou condenseur)
- Manque de fluide frigorigène
- Débits insuffisants dans les circuits intérieurs ou extérieurs (pompes défectueuses)
- Vanne d'inversion coincée
- Température des échangeurs trop basse (mode chauffage) ou trop élevée (mode rafraîchissement)

CAUSES DE DÉFAILLANCE

« Problème d'alimentation électrique »

- Alimentation électrique interrompue (disjoncteur)
- Mode délestage actif
- PAC en arrêt (programmation)
- PAC interrompue par un défaut (mesure, commande)
- Relais ou commandes défectueux
- Régulateur de la PAC défectueux
- Coupure du relais de protection contre les surintensités

« Le compresseur ne démarre pas »

- Débits côté échangeurs ou émetteurs insuffisants
- Pompe bloquée
- Filtres encrassés
- Pressostat déclenché ou défectueux
- Vanne d'arrêt fermée

AUTRES SYSTÈMES GÉOTHERMIQUES

AUTRES SYSTÈMES

LE Puits CANADIEN

Utilisé pour la ventilation de l'habitation

Systèmes de ventilation actuels :

- VMC simple flux (débit d'air constant toute l'année)
- VMC hygroréglable (débit d'air fonction du taux d'humidité intérieure)
- VMC double flux (récupération d'une partie des calories de l'air extrait)

Hiver : l'air neuf refroidit le logement ⇒ augmentation des dépenses énergétiques

Le **puits canadien** permet de réchauffer l'air neuf.

AUTRES SYSTÈMES

LE PUIITS CANADIEN - PRINCIPE

Principe : échangeur air/sol.

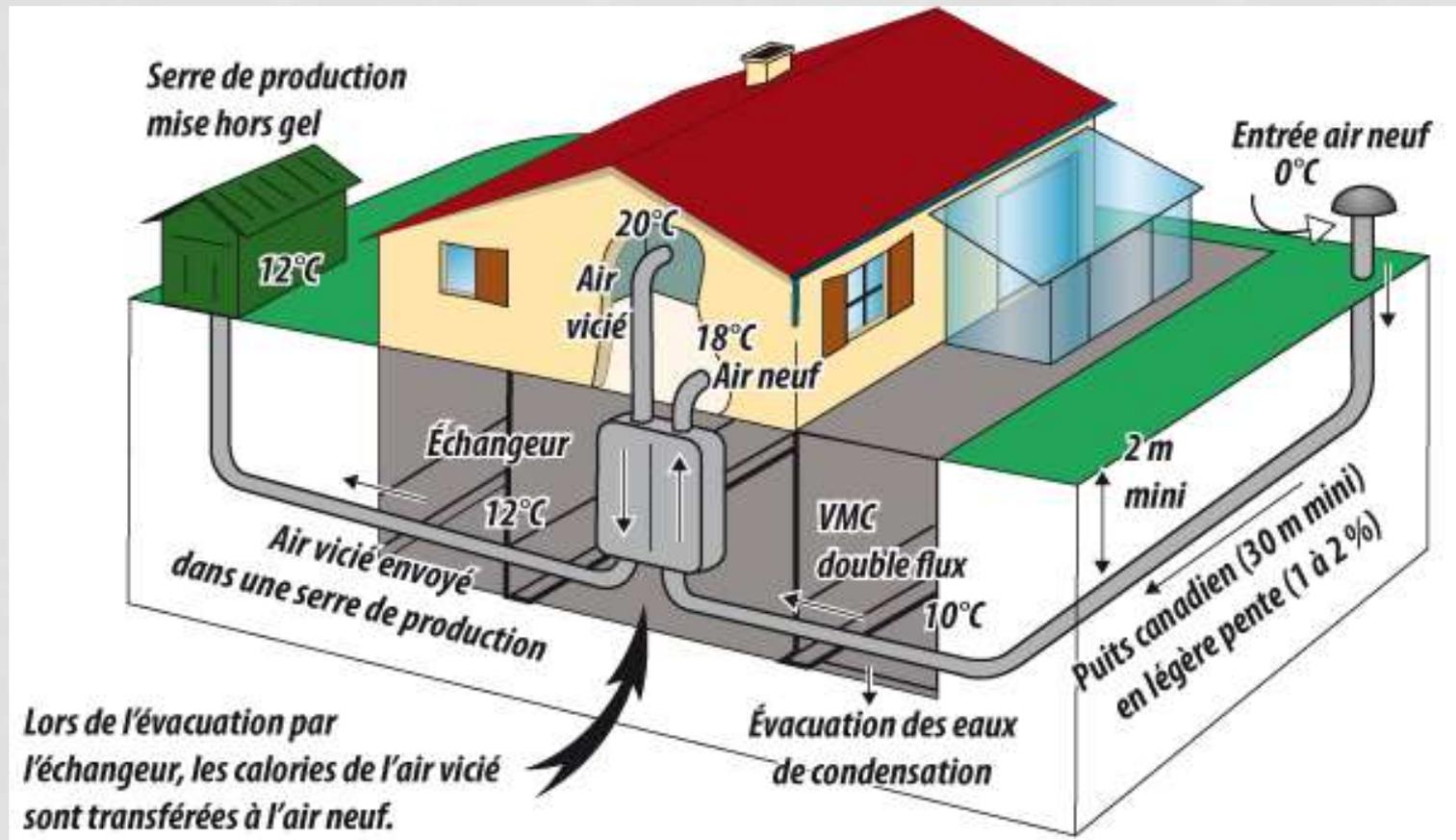
Tubes enterrés (15 cm de diamètre, 30 mètres de long, 1,2 à 2,5 m de profondeur) dans lesquels circule l'air extérieur (2 à 3 m/s) avant d'arriver dans l'habitation.

En hiver, pour une entrée d'air à -7°C , on atteint une température de sortie de 10 à 13°C

En été, l'air chaud extérieur à 30°C se refroidit dans les tubes pour atteindre en sortie une température de 18 à 20°C : [puits provençal](#)

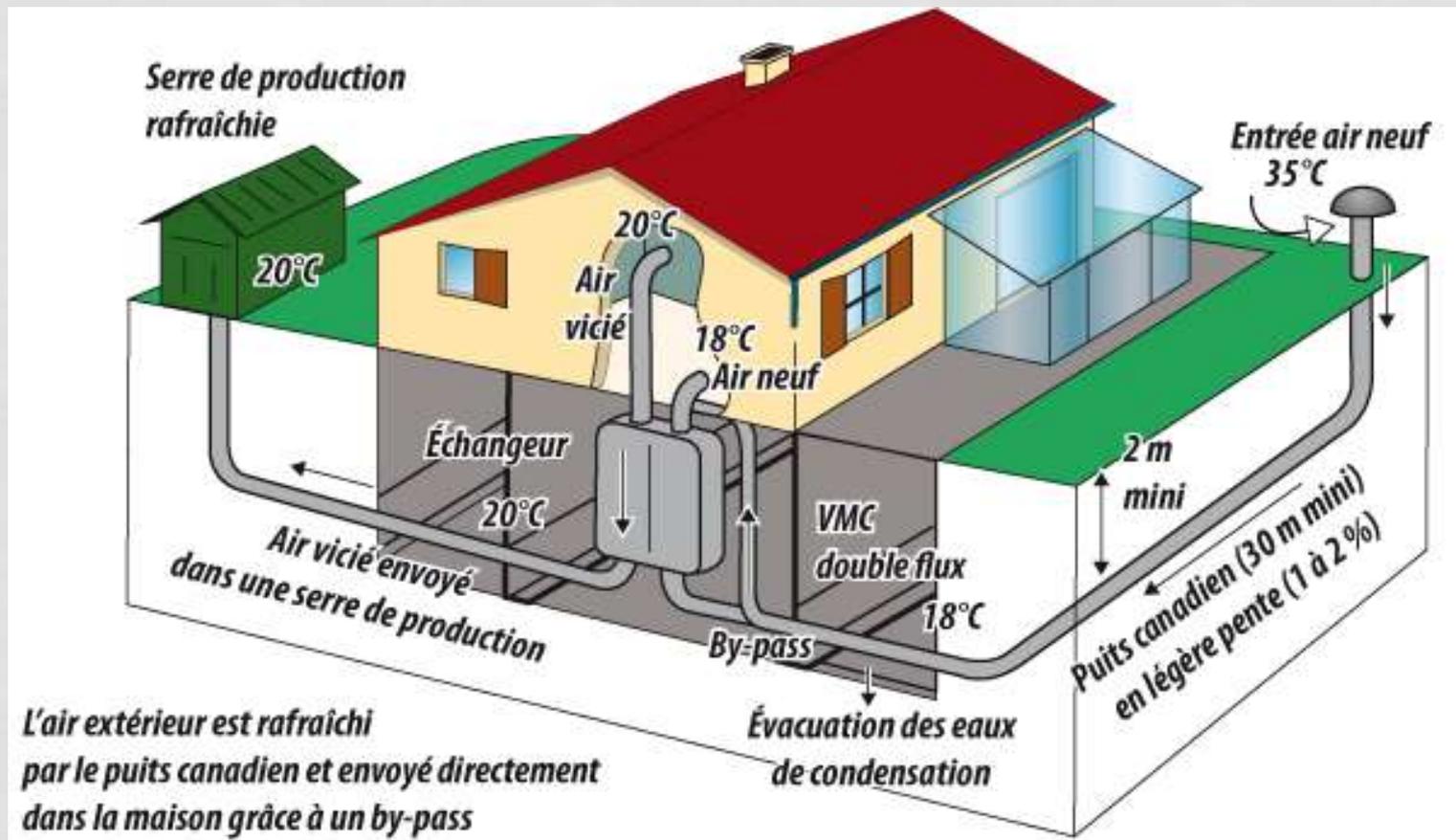
AUTRES SYSTÈMES

LE Puits CANADIEN - PRINCIPE



AUTRES SYSTÈMES

LE Puits CANADIEN - PRINCIPE



AUTRES SYSTÈMES

PUITS CANADIEN

Avantages

- Préchauffage et rafraîchissement de l'air
- Pas de fluide frigorigène
- Pas besoin d'énergie supplémentaire si couplé à une VMC

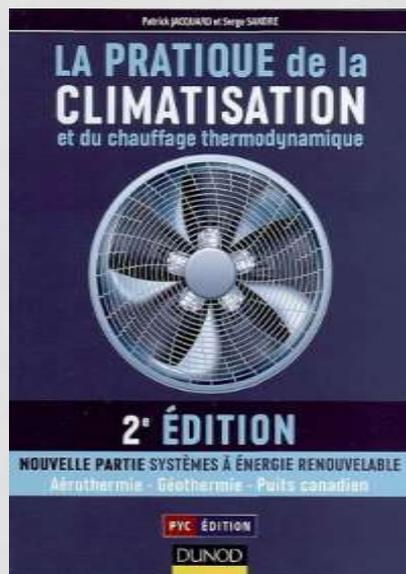
Inconvénients

- Importants travaux de terrassement

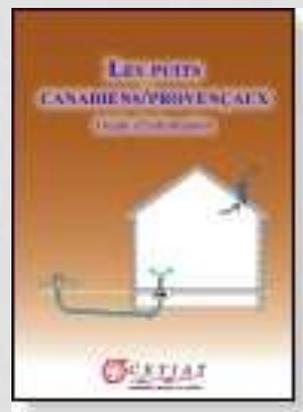
AUTRES SYSTÈMES

LE Puits CANADIEN – RESSOURCES DOCUMENTAIRES

- <http://puits-canadien.autoconstruction.info>
- <http://www.puitscanadien.com>



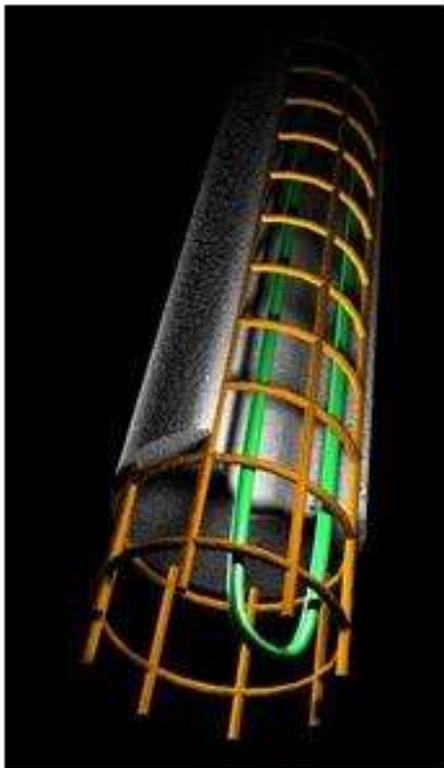
LES Puits CANADIENS/PROVENÇAUX
Guide d'information
Edition CETIAT (www.cetiat.fr)



AUTRES SYSTÈMES

LES FONDATIONS GÉOTHERMIQUES

Principe : association des fondations d'un bâtiment avec des échangeurs géothermiques verticaux



Pieux > 10 m de profondeur

Conductivité thermique du sol > $1,3 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Tubes en PEHD de 25 mm de diamètre

1 m de fondation ~ 2 m^2 chauffés

AUTRES SYSTÈMES

LES FONDATIONS GÉOTHERMIQUES

Avantages

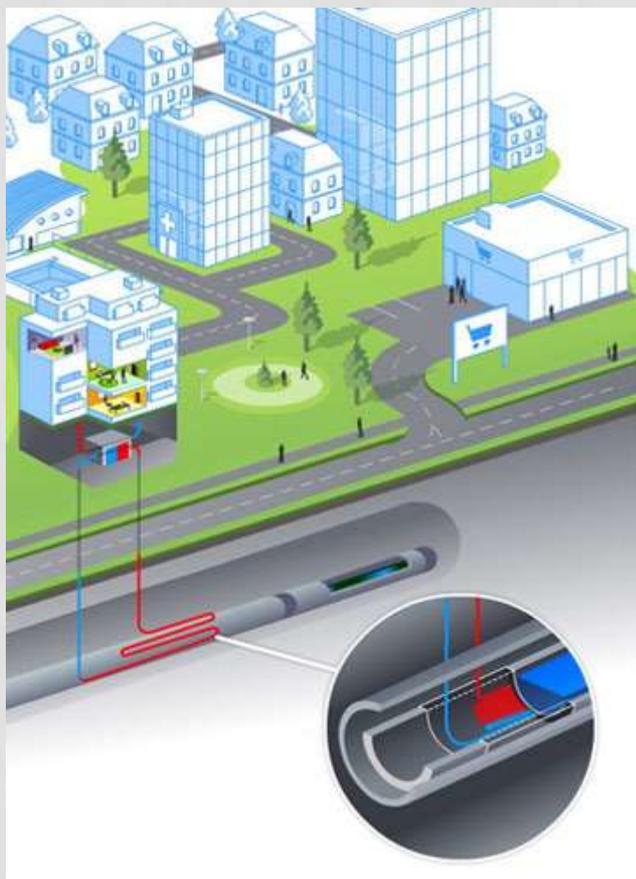
- Intégration parfaite au bâtiment
- Aucun chauffage d'appoint nécessaire
- Energie fiable et stable dans le temps

Inconvénients

- Impossible à réaliser en rénovation

AUTRES SYSTÈMES

LA VALORISATION DES EAUX USÉES



<http://fr.ekopedia.org/>

Principe de fonctionnement



Échangeurs intégrés

- Débit minimum : 15 L/s
- Au moins 5 000 habitants raccordés à la canalisation
- Installation d'au moins 150 kW (50 lgts)

AUTRES SYSTÈMES

LA VALORISATION DES EAUX USÉES

Avantages

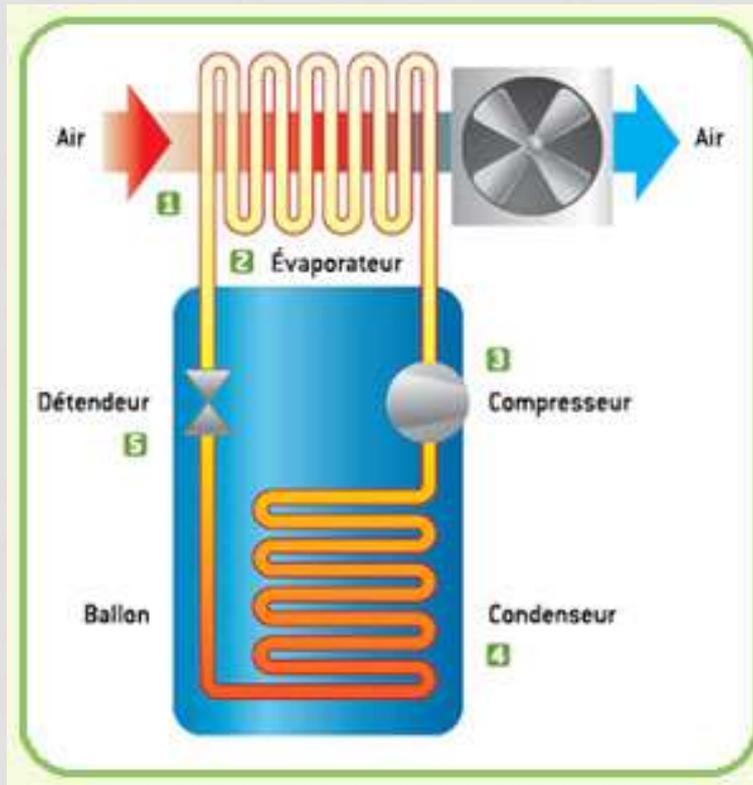
- Énergie renouvelable en milieu urbain
- Température des eaux usées quasi constante toute l'année
- Pas d'influence sur le traitement des eaux

Inconvénients

- Milieu urbain dense (rentabilité de l'installation)
- Usagers proches des grandes canalisations

LE CHAUFFE-EAU THERMODYNAMIQUE

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT



<http://www.les-energies-renouvelables.eu/>

Air extrait dans une pièce à température modérée en hiver (garage, cellier, buanderie)

COP = 3 à 4

CIDD : 30% en 2015

Coût : 1500 à 2500 €

Principe du chauffe-eau thermodynamique monobloc

L'ÉLECTRICITÉ PAR LA GÉOTHERMIE

LA GÉOTHERMIE POUR LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ EN VIDÉO



MERCI DE VOTRE ATTENTION

DES QUESTIONS ?