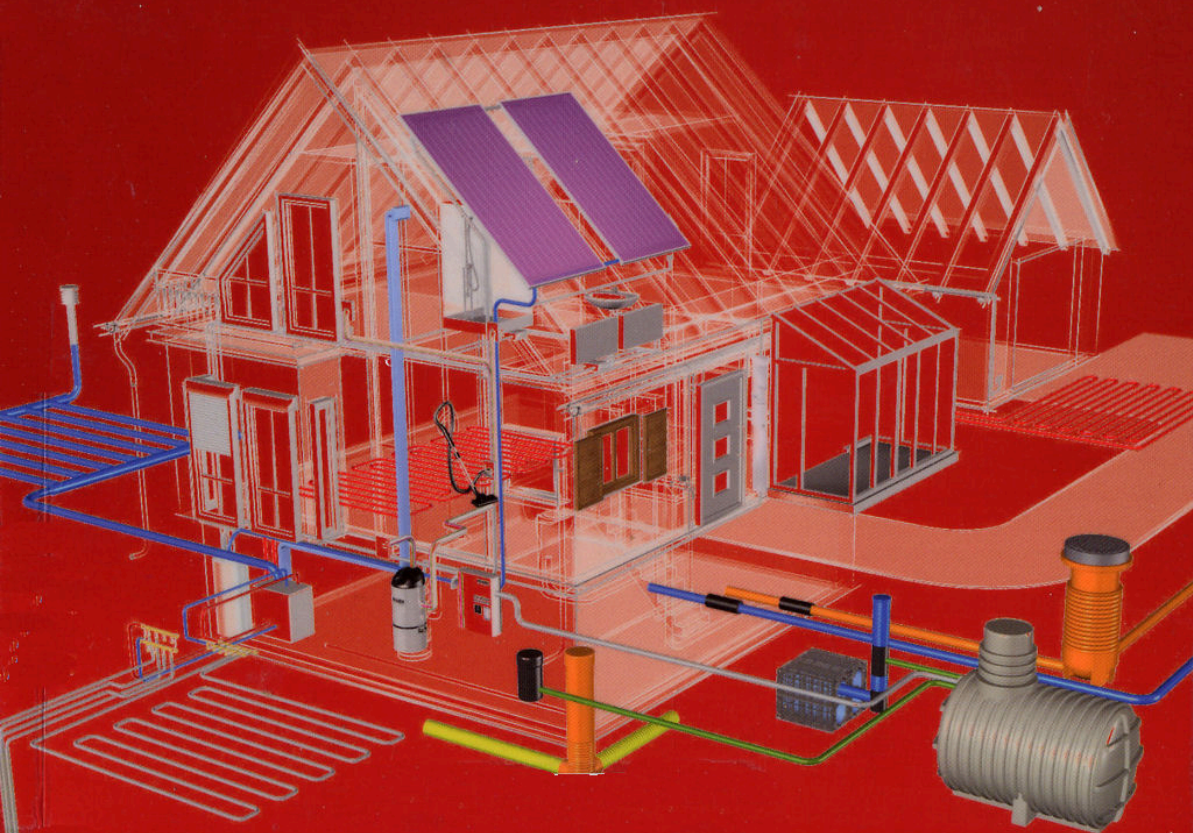


Jean-Marc
Percebois



LE GUIDE DU CHAUFFAGE GÉOTHERMIQUE



EYROLLES

LES GUIDES DE
L'HABITAT
DURABLE

LE GUIDE DU CHAUFFAGE GÉOTHERMIQUE

Jean-Marc Percebois

EYROLLES



ÉDITIONS EYROLLES
61, bld Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

Crédits :

p. 6-7 : © Vera Kailova Lukic - fotolia.com
p. 14-15 : © Michel Gatti - fotolia.com
p. 44-45 : © Jean-Claude Drillon - fotolia.com
p. 86-87 : © Galyna Andrushko - fotolia.com
p. 110-111 : © Cédric Basset - fotolia.com
p. 126-127 : © Pascal Eisenschmidt - fotolia.com
p. 154-155 : © Angélique Pauvin - fotolia.com



Achévé d'imprimer : EMD S.A.S.
N° d'éditeur : 8005
N° d'imprimeur : 22113
Dépôt légal : octobre 2009
Imprimé en France

Cet ouvrage est imprimé - pour l'intérieur - sur papier Satimat 115 g des papeteries Arjowiggins,
dont les usines ont obtenu la certification environnementale ISO 14001 et opèrent conformément aux normes ECF et EMAS



Le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée notamment dans les établissements d'enseignement, provoquant une baisse brutale des achats de livres, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans l'autorisation de l'Éditeur ou du Centre Français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands Augustins, 75006 Paris.

© 2009, Groupe Eyrolles, ISBN : 978-2-212-12435-4

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	5	LE DIMENSIONNEMENT DE LA POMPE À CHALEUR	39
		RÈGLE GÉNÉRALE	
		DE DIMENSIONNEMENT	39
ÉLÉMENTS DE CONTEXTE	6	LES TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES DE BASE	40
LE CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE	8	LE DIMENSIONNEMENT DANS LE NEUF	41
LE GAZ À EFFET DE SERRE	9	LE DIMENSIONNEMENT EN RÉNOVATION	42
LE CONTEXTE FRANÇAIS	11		
LE BÂTIMENT, PREMIER CONSOMMATEUR D'ÉNERGIE	12	LES CAPTEURS	44
LE BÂTIMENT ET LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE	12	LE CHOIX DU CAPTEUR	46
LE MARCHÉ DE LA PAC	13	LE CAPTEUR EXTÉRIEUR	46
		QUELLE SOURCE DE CHALEUR ?	46
		LE CAPTEUR HORIZONTAL	48
		LE SYSTÈME EAU GLYCOLÉE	48
LA POMPE À CHALEUR	14	LE SYSTÈME SOL (DÉTENTE DIRECTE)	55
		LA POSE	59
PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	16	CAPTEUR VERTICAL (FORAGE SUR SONDE GÉOTHERMIQUE)	61
UN CYCLE DE CHALEUR SIMPLE	17	LA TEMPÉRATURE DU SOUS-SOL	61
LES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS D'UNE POMPE À CHALEUR	19	LA TEMPÉRATURE DE FONCTIONNEMENT	62
		LE MARCHÉ	63
LE RENDEMENT	30	LA SONDE GÉOTHERMIQUE	64
LE COP (COEFFICIENT DE PERFORMANCE)	30	LES ASPECTS ADMINISTRATIFS	70
LE SPF (FACTEUR DE PERFORMANCE SAISONNIÈRE)	34	LES NORMES	71
LES MODES DE FONCTIONNEMENT	35	LE FORAGE OBLIQUE	72
		LA SONDE GÉOTHERMIQUE GAZ (DÉTENTE DIRECTE)	73

LE CAPTAGE SUR NAPPE PHRÉATIQUE	75	LE PLANCHER CHAUFFANT/ RAFRAÎCHISSANT	97	GARANTIES ET ENTRETIEN	126	LA POMPE À CHALEUR À EAU ET EAU	147
LES ASPECTS GÉNÉRAUX	75	UN PLANCHER CHAUFFANT POUR LA RÉNOVATION	99	LA MISE EN SERVICE ET L'ENTRETIEN	128	LA POMPE À CHALEUR DE SOL À SOL	148
LA CONSTITUTION D'UNE NAPPE PHRÉATIQUE	76	UN PLANCHER CHAUFFANT ÉCOLOGIQUE	100	LA RÉGLEMENTATION	128	LA POMPE À CHALEUR DE SOL ET EAU À CAPTEUR HORIZONTAL	149
LES TEMPÉRATURES DE FONCTIONNEMENT	77	LES RADIATEURS		LA MISE EN SERVICE	129	LES SUBVENTIONS DE L'ANAH	150
LA DISTANCE ENTRE LE PUISAGE ET LE REJET	78	ET LES VENTILO-CONVECTEURS	102	MAINTENANCE/ENTRETIEN	131	L'ÉCOSUBVENTION	150
LE CALCUL DU DÉBIT DE PRÉLÈVEMENT	78	LES RADIATEURS	102	LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE	132	L'ÉCO-PRÊT À TAUX ZÉRO	151
LA RELATION PUISSANCE ET DÉBIT	78	LES VENTILO-CONVECTEURS	106	LA RT DANS LE NEUF	132	CUMUL ÉCO-PRÊT ET CRÉDIT D'IMPÔT	152
LA FAISABILITÉ	79	LES PAC HAUTE TEMPÉRATURE EVI	107	LA RT DANS L'EXISTANT	134	L'ÉCO-PRÊT « DÉVELOPPEMENT DURABLE »	153
LE TEST DU DÉBIT	79			LE DPE	137	ANNEXES	154
LA QUALITÉ DE L'EAU	80	LES OPTIONS	110			LES SITES UTILES	156
LE MONTAGE HYDRAULIQUE	81			LABELS DE PERFORMANCE ET QUALIFICATION	138	LES INSTITUTIONNELS	156
LES ASPECTS ADMINISTRATIFS	83	L'EAU CHAUDE SANITAIRE	112	LES LABELS DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE	138	LES DIVERS ORGANISMES	156
LE CODE DE L'ENVIRONNEMENT	83	DIMENSIONNEMENT	113	LES QUALIFICATIONS	141	QUELQUES FABRICANTS	156
LES NORMES	84	LE SYSTÈME À ACCUMULATION	114	LES AIDES FINANCIÈRES	143	AUTRES SITES INTERNET INTÉRESSANTS	157
LA CONDITION DE REJET DE L'EAU	84	LE SYSTÈME À SEMI-ACCUMULATION	115	LE CRÉDIT D'IMPÔT	143	DOCUMENTS SOURCES	158
LES AUTRES SOURCES DE CAPTAGE D'EAU	85	LE SYSTÈME D'EAU CHAUDE INSTANTANÉE	116	LA POMPE À CHALEUR À EAU GLYCOLÉE ET CAPTEUR VERTICAL	145	GLOSSAIRE	159
LES ÉMETTEURS DE CHALEUR	86	LE CHAUFFAGE DE LA PISCINE	118	LA POMPE À CHALEUR À EAU GLYCOLÉE ET CAPTEUR HORIZONTAL	146	INDEX	164
QUEL MODE DE CHAUFFAGE CHOISIR ?	88	LE RAFRAÎCHISSEMENT	120			REMERCIEMENTS	166
LA SENSATION DE BIEN-ÊTRE	88	L'INVERSION DE CYCLE FRIGORIFIQUE	120				
INSTALLATION ET BALLON TAMPON	89	LE SYSTÈME FREE-COOLING	120				
LE PLANCHER CHAUFFANT	91	LA VENTILATION	122				
POUR QUELS AVANTAGES ?	91	LA VENTILATION DOUBLE FLUX	122				
LA RÉGULATION	92	LE PUIITS CANADIEN (OU PROVENÇAL)	124				
LA MISE EN ŒUVRE	92	LA VMC GÉOTHERMIQUE	125				
LA PARTICULARITÉ DES PLANCHERS CHAUFFANTS « GAZ »	96						
LES NORMES	97						

AVANT-PROPOS

Au vu de l'envolée des prix des énergies, il est aujourd'hui naturel, ou plutôt indispensable voire urgent, de s'interroger sur le mode de chauffage de sa maison.

Nous percevons tous les jours le changement climatique et, malheureusement, des images viennent régulièrement nous confirmer l'influence néfaste de l'homme sur sa planète.

On peut ainsi naturellement s'interroger sur l'impact environnemental de notre façon de consommer, de se déplacer, de se chauffer, etc., bref sur notre façon de vivre ensemble.

Cet ouvrage va donc, dans un premier temps, évoquer les enjeux environnementaux. Nous analyserons l'impact sur notre planète des choix énergétiques que nous devons faire pour nous et les générations futures.

Ensuite, nous étudierons les pompes à chaleur, leur mode de fonctionnement, leur mise en œuvre, leur coût. Nous nous attarderons plus précisément sur les choix techniques, et les besoins de votre habitat, l'installation et l'entretien.

Enfin nous vous donnerons toutes les clés pour une meilleure garantie de vos choix.

PARTIE 1

ÉLÉMENTS DE CONTEXTE



CHAPITRE I

LE CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE

L'énergie est le moteur de notre société, et elle est la clé de notre développement économique.

Cependant, nous nous heurtons actuellement à différents problèmes essentiels qui influenceront à coup sûr notre mode de consommation des énergies dans les futures années:

- absence de sécurité (politique nucléaire, etc.);
- approvisionnement des énergies;
- diminution des réserves de pétroles, de gaz;
- changement climatique;
- transport des énergies du lieu de fabrication vers son lieu d'utilisation;
- impact du choix de l'énergie sur le CO₂ tant en matière d'utilisation qu'en matière de fabrication et de transport.

Tous ces facteurs sont au cœur des politiques énergétiques internationales et nationales.

© LA LUTTE CONTRE LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

Nous sommes responsables, en tant que citoyens, de l'impact environnemental lié à notre mode de vie (transports, traitement des déchets, chauffage de notre maison, etc.). La lutte contre le changement climatique constitue un des enjeux majeurs des prochaines décennies.

En un siècle, la concentration des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère, principaux responsables du réchauffement climatique et des phénomènes météorologiques extrêmes, a augmenté de 30 %.

Nous sommes en train de vivre une période de transition énergétique. Progressivement, les sources d'énergies renouvelables vont remplacer les énergies fossiles, qui actuellement tiennent une place prépondérante dans la consommation énergétique.

La demande énergétique mondiale progresse inévitablement en raison de la croissance démographique et économique, notamment dans les pays en voie de développement. Il est donc important de modifier rapidement nos habitudes et modes de consommation en favorisant l'utilisation des énergies renouvelables.

LE GAZ À EFFET DE SERRE

Le renforcement de l'effet de serre est un phénomène préoccupant.

L'EFFET DE SERRE

La plus grande partie du rayonnement solaire traverse directement l'atmosphère pour réchauffer la surface du globe terrestre.

La Terre, à son tour, «renvoie» cette énergie dans l'espace sous forme de rayonnement infrarouge de grande longueur d'onde.

La vapeur d'eau, le gaz carbonique, et d'autres gaz absorbent ce rayonnement renvoyé par la Terre, empêchent l'énergie de passer directement de la surface du globe vers l'espace, et réchauffent ainsi l'atmosphère (15 °C étant la température moyenne sur Terre).

L'augmentation de la teneur atmosphérique en gaz à effet de serre peut se comparer à la pose d'un double vitrage : si les apports de rayonnements solaires à l'intérieur de la serre restent constants, la température s'élèvera.

La vapeur d'eau représente 70 % des émissions de GES et la quasi-totalité de ces émissions est d'origine naturelle (cycle de l'eau). Sa faible durée de vie dans l'atmosphère (pas plus d'une dizaine de jours) lui confère des effets locaux de courte durée (formation de brouillards ou de nuages bas).

Le problème est tout autre concernant les gaz qui favorisent l'effet de serre :

- le dioxyde de carbone (CO₂) ;
- le méthane (CH₄) ;
- le protoxyde d'azote (N₂O) ;
- les halocarbures (HFC, CFC, PFC...) ;
- l'ozone (O₃).

Ces gaz sont longs à disparaître (entre 20 ans et 50 000 ans selon les gaz) et la majorité de leur émission est d'origine humaine.

L'INCIDENCE DE «TROP» DE GAZ À EFFET DE SERRE

L'effet de serre naturel permet à notre planète d'avoir une température moyenne de 15 °C à sa surface.

Sans cela, il y ferait - 18 °C et toute vie serait alors impossible !

+ Gaz à effet de serre et réchauffement climatique

Notre mode de vie engendre des émissions de GES en quantité largement supérieure à ce que la planète peut recycler.

Une trop grande quantité de gaz à effet de serre a pour effet de «bloquer» les infrarouges et de les renvoyer sur Terre, ce qui a pour conséquence de réchauffer la planète.

Si nous ne réduisons pas rapidement nos émissions de GES, il sera très difficile de faire marche arrière et les conséquences seront sévères, même en France :

- élévation du niveau des océans menaçant de nombreuses régions du globe ;

- extinction massive d'animaux et de végétaux;
- développement de maladies et augmentation des événements météorologiques extrêmes faisant courir un risque à de nombreuses vies humaines.

🎯 LES POLITIQUES ÉNERGÉTIQUES EN DATES CLÉS

Quelques dates clés au niveau mondial

- 1987 : commission mondiale sur l'environnement et le développement durable (rapport Brundtland)
- 1992 : sommet de la Terre à Rio sur l'environnement
- 1997 : adoption du protocole de Kyoto sur la réduction des gaz à effet de serre
- 2002 : sommet de Johannesburg sur le développement durable
- 2007 : conférence de Bali sur les changements climatiques

Quelques dates clés en France et en Europe

- 2000 : plan national de lutte contre le changement climatique
- 2002 : directive européenne de performance énergétique des bâtiments
- 2003 : stratégie nationale de développement durable
- 2004 : plan climat 2004-2012 (actualisé en 2006)
- 2005 : loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique
- 2008 : Grenelle de l'environnement

Quelques dates clés de la réglementation thermique en France

- 1955-1958 : premières règles de construction
- 1969 : réforme (contrôle a posteriori des exigences)
- 1974 : prise en compte des déperditions (coef. G)
- 1982 : prise en compte des besoins de chauffage
- 1988 : consommation eau chaude sanitaire + chauffage
- RT2000 : performance énergétique chauffage + eau chaude sanitaire + éclairage ($< 100 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$)
- RT2005 : gain de 15 % par rapport à la RT2000 ($< 80 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$)

À venir...

- RT2012 : bâtiment basse consommation (BBC) ($< 50 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$ en moyenne, selon la zone climatique)
- RT2020 : bâtiment à énergie positive (qui produit plus d'énergie qu'il n'en dépense)

LE CONTEXTE FRANÇAIS

Dans le cadre du protocole de Kyoto, la France s'est engagée à maintenir en 2010 ses émissions de gaz à effet de serre à leur niveau de 1990 (soit 565 millions de tonnes équivalent CO_2).

Depuis peu, nous percevons enfin une évolution de la politique énergétique avec les orientations du Grenelle de l'environnement, qui a lancé des objectifs pour l'horizon 2012 et 2020.

Le principal objectif est d'atteindre d'ici 2020 une part de 20 %, voire 25 %, d'énergie renouvelable.

Cela suppose d'augmenter de 20 millions de tep (tonne équivalent pétrole) la part des énergies renouvelables dans le bouquet énergétique à l'horizon 2020.

Tout cela pourra être atteint grâce à un bouquet d'énergies renouvelables dont :

- la biomasse ;
- la géothermie ;
- l'éolien ;
- le solaire photovoltaïque ;
- l'hydraulique ;
- le solaire thermique.

🎯 LE «FACTEUR 4»

Le facteur 4 est un concept introduit en 1997 par Ernst Ulrich von Weizsäcker, fondateur de l'Institut Wuppertal pour le climat, l'environnement et l'énergie (Allemagne), avec Amory B. Hunter et L. Hunter Lovins, de l'Institut Rocky Mountain (États-Unis). Il préconise de produire autant avec quatre fois moins d'énergie et de matières premières. Dans cet esprit, la France s'est donné pour objectif de diviser par quatre ses émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'horizon 2050. Cet objectif a été validé par le Grenelle de l'environnement en 2007.

Le facteur 4 oblige à penser et à agir à long terme, dans un monde où tant de forces ont tendance à nous ramener vers le court terme.

CHAPITRE 2

LE BÂTIMENT,
PREMIER
CONSOMMATEUR
D'ÉNERGIE

Si l'on réalisait un micro-trottoir sur les systèmes qui sont les plus «énergétivores», la grande majorité des gens répondrait qu'il s'agit de l'industrie ou du transport.

La réalité est tout autre: c'est le bâtiment (nos logements) qui arrive en première place de la consommation de kilowattheures (kWh).

La consommation annuelle moyenne est de:

- 240 kWh EP/m²;
- 70 millions de tep;
- 1,1 tep/personne.

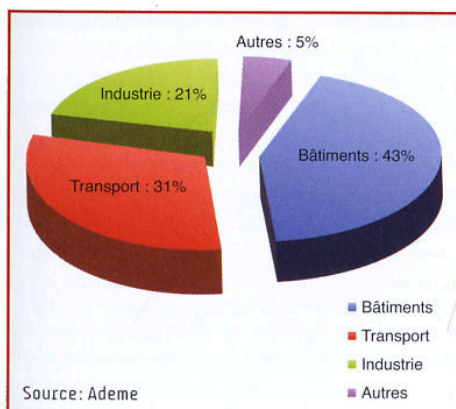
LE BÂTIMENT ET LES
ÉMISSIONS DE GAZ À
EFFET DE SERRE

Les émissions de gaz à effet de serre sont estimées sur une année à:

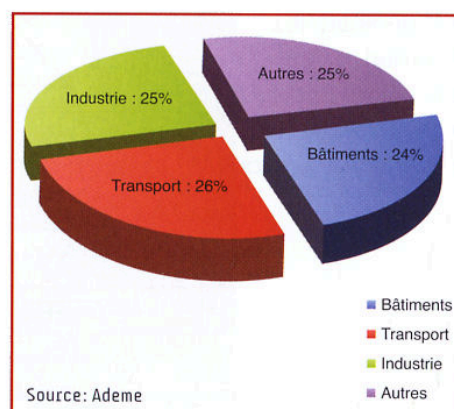
- 120 millions de tonnes de CO₂;
- 33 millions de tonnes de carbone;
- 0,5 t de carbone par personne.

Le gouvernement français entend:

- Promouvoir fortement les économies d'énergies en abaissant les seuils minimaux de performance énergétique globale, avec un objectif d'amélioration de 40 %. La RT2005



Répartition de la consommation d'énergie par secteur d'activité



Répartition des émissions de gaz à effet de serre par secteur d'activité

constitue une première étape significative avec une progression de 15 % par rapport à la RT2000.

- Favoriser les énergies et les solutions qui n'émettent pas de gaz à effet de serre, et en particulier l'utilisation des énergies renouvelables thermiques. Objectif d'augmentation de 50 % d'ici 2015.

La pompe à chaleur est une solution efficace et pertinente pour réduire les consommations d'énergies en valorisant les énergies renouvelables thermiques, ainsi que pour lutter contre les émissions de gaz à effet de serre.

ESTIMATION DU NOMBRE
DE PAC (PARC 2006)

	NOMBRE	PUISSANCE
Suède	270 111	2 431,0
Allemagne	90 517	995,7
France	83 856	922,4
Danemark	43 252	821,2
Finlande	33 612	721,9
Autriche	48 151	654,5
Pays-Bas	1 600	253,5
Italie	7 500	150,0
Pologne	8 300	106,6
République tchèque	5 173	83,0
Belgique	7 000	69,0
Estonie	5 000	49,0
Irlande	1 500	19,6
Hongrie	350	15,0
Royaume-Uni	550	10,2
Grèce	400	5,0
Slovénie	420	4,6
Lituanie	200	4,3
Slovaquie	8	1,4
Lettonie	10	0,2
Portugal	1	0,2
Total	599 511	7 328,3

Source: Eurobserv'ER 2007

LE MARCHÉ
DE LA PAC

Le marché de la pompe à chaleur (PAC) en Europe est en constante progression. La France est très loin d'être le dernier pays, contrairement à ce que l'on croit.

+ Le label Qualipac

L'AFPAC (Association française pour les pompes à chaleur) a mis en place depuis 2007 un label QualiPAC qui sert à qualifier la filière de la pompe à chaleur. Pour plus d'informations, consultez le site Internet www.afpac.org.

PARTIE 2

LA POMPE À CHALEUR



CHAPITRE 3

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

On devrait plutôt parler de «pompe de chaleur», car elle va d'abord puiser (ou pomper) de la chaleur.

Une pompe à chaleur extrait les calories (l'énergie) contenues dans un milieu froid (appelé source de chaleur) pour les transporter vers un autre milieu (émetteur de chaleur: plancher chauffant, radiateur, ventilo-convecteurs, etc.).

Pour prélever des calories dans un «milieu froid», il suffit de le refroidir. L'inverse est valable pour restituer les calories dans les émetteurs de chaleur: il faut les réchauffer.

En France, presque tout le monde possède une pompe à chaleur chez lui sans forcément le savoir: c'est le réfrigérateur!



Exemple de chaufferie: pompe à chaleur Waterkotte + ballon d'eau chaude sanitaire

⊙ PETITE EXPLICATION PHYSIQUE

Quand votre peau est mouillée, vous avez froid. En effet, dans ce cas, l'eau qui se trouve dessus s'évapore, et, pour cela, elle a besoin de chaleur. Chaleur qu'elle vous prend: vous avez froid. C'est comme cela que la sueur peut rafraîchir.

Quand au contraire de l'eau redevient liquide, elle cède de la chaleur. C'est la chaleur latente, et c'est ce qui explique qu'il fasse plus doux en général quand il pleut: la pluie est de la vapeur d'eau qui se transforme en liquide. Ce faisant, elle libère de la chaleur. Pour une pompe à chaleur, on utilise ces deux phénomènes.

UN CYCLE DE CHALEUR SIMPLE

LE CYCLE THERMODYNAMIQUE

Une pompe à chaleur est composée de plusieurs éléments dont les quatre principaux sont l'évaporateur, le compresseur, le condenseur et le détendeur.

Le cycle thermodynamique des pompes à chaleur se décompose en quatre étapes principales.

1 – Compression

La vapeur du fluide frigorigène est comprimée à une pression supérieure au moyen du compresseur électrique, ce qui entraîne une élévation de la température.

2 – Condensation

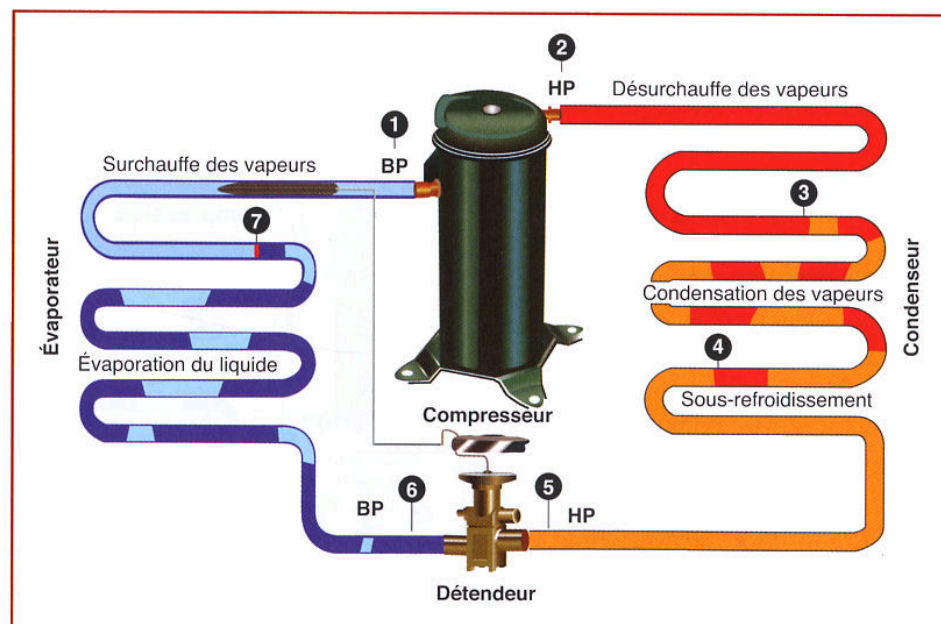
La vapeur du fluide frigorigène à haute pression (HP) est condensée à haute température par dissipation de sa chaleur dans l'émetteur (plancher chauffant, radiateurs, ventilo-convecteurs, etc.).

3 – Détendeur

Le fluide frigorigène liquide est détendu depuis une pression élevée (HP) à une pression basse (BP). Il s'en suit une chute de la température.

4 – Évaporation

Le fluide frigorigène est évaporé à basse pression (BP) et à basse température, en utilisant l'énergie de la source de chaleur (capteur horizontal, forage, eau de nappe).



Circuit frigorigère standard

LE DIAGRAMME DE MOLLIER

Le diagramme de Mollier permet de visualiser le cycle complet en fonction du fluide frigorigène utilisé par la pompe à chaleur. On l'appelle aussi le diagramme d'enthalpie car il représente une variation d'enthalpie (chaleur) sur l'axe des abscisses et une variation de pression sur l'axe des ordonnées.

L'ensemble du cycle peut être représenté dans le diagramme enthalpie-pression. Sous la courbe en cloche se situent les états de mélange liquide-vapeur :

- à gauche des points 4-5, le fluide est à l'état liquide ;
- à droite des points 7-3, le fluide est à l'état vapeur ;
- à l'intérieur de la cloche, le fluide frigorigène est dans un mélange d'états (liquide-gazeux).

Grâce à ce diagramme, il est possible de mesurer le rendement d'une pompe à chaleur.

- Points 1-2 : puissance absorbée par le compresseur.
- Points 6-1 : puissance frigorifique.
- Points 2-5 : puissance calorifique.

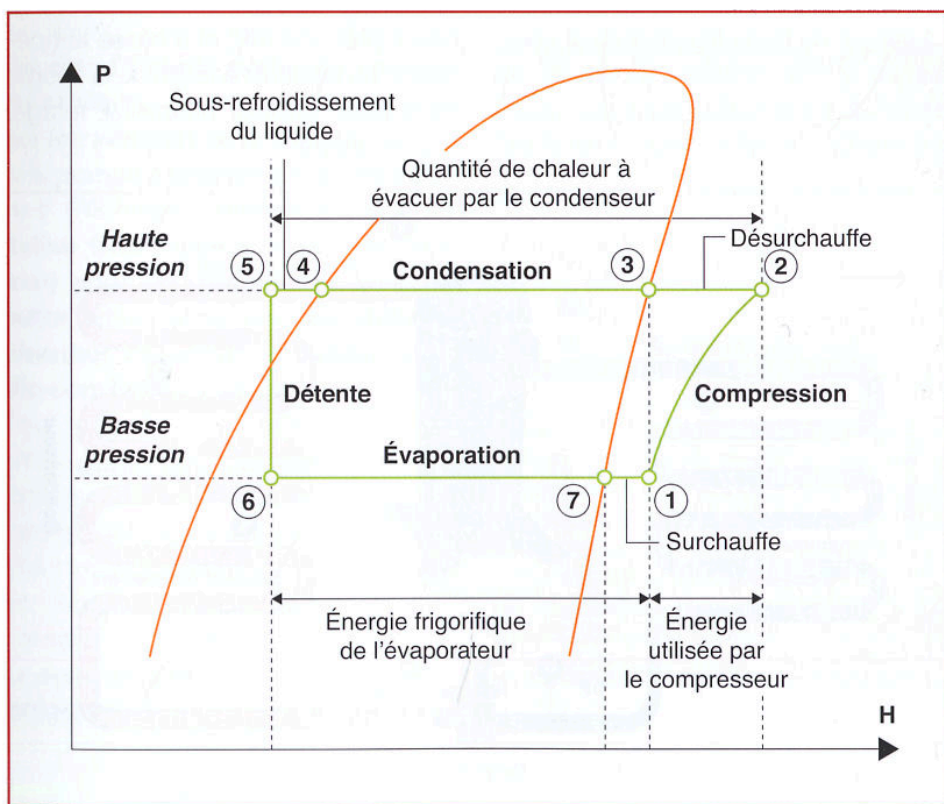


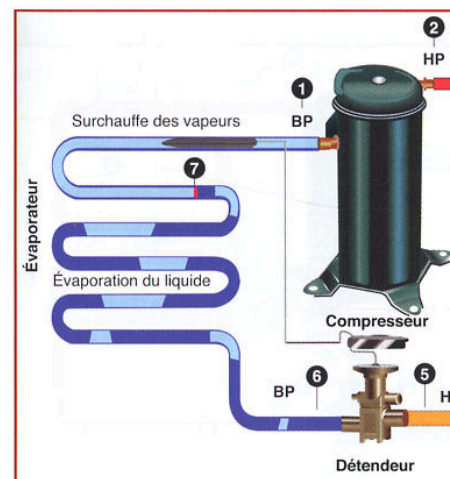
Diagramme d'enthalpie du cycle frigorifique

LES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS D'UNE POMPE À CHALEUR

LES ÉLÉMENTS INCONTOURNABLES

L'évaporateur

C'est un échangeur de chaleur dans lequel circule d'un côté le fluide frigorigène et de l'autre le fluide caloporteur du capteur extérieur qui puise les calories. En passant dans l'évaporateur, le fluide frigorigène est évaporé à basse pression et à basse température (80 % de l'énergie se situe à cet endroit). La fonction de l'évaporateur est d'extraire la chaleur de la source froide (capteur extérieur) et de transférer cette chaleur vers le fluide frigorigène afin de la diffuser par évaporation.



Détail de la partie évaporateur

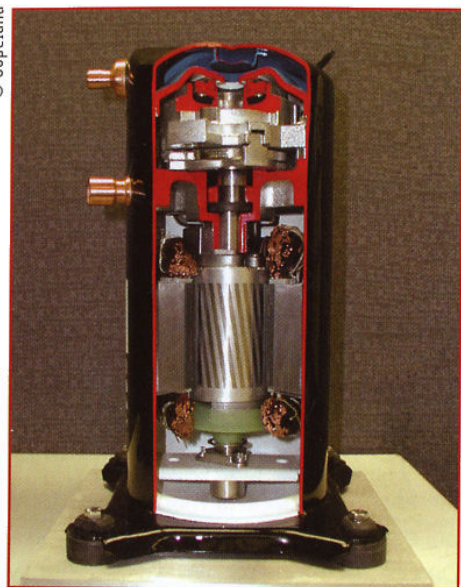
Le fluide frigorigène liquide entre en ébullition et s'évapore en absorbant la chaleur du fluide extérieur. Dans un deuxième temps, le gaz formé est encore légèrement réchauffé par le fluide extérieur. C'est ce qu'on appelle la phase de surchauffe (entre 7 et 1).

Le compresseur

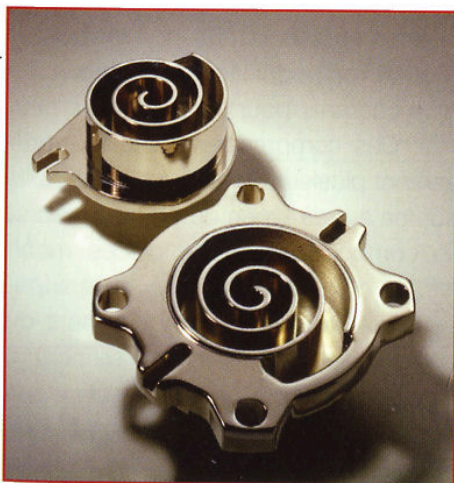
Il aspire le fluide frigorigène à l'état gazeux puis le comprime, ce qui permet d'élever sa température et sa pression (il passe en haute pression). Dans les pompes à chaleur destinées aux maisons individuelles et aux petits immeubles résidentiels, les compresseurs sont généralement de type **hermétique**, c'est-à-dire que le moteur électrique et le compresseur sont montés ensemble dans la même enveloppe qui est ensuite soudée. De cette manière, le fluide frigorigène ne peut pas s'échapper dans l'atmosphère.

Les compresseurs utilisant la **technologie « scroll »** sont les compresseurs les plus courants pour les pompes à chaleur. Ces compresseurs à spirale présentent plusieurs avantages significatifs sur les autres types de compresseurs : ils comportent peu de pièces mobiles, ce qui permet une longévité supérieure et surtout un comportement du compresseur relativement silencieux. Les compresseurs à spirale ont donc permis l'installation de pompes à chaleur dans des endroits où elles auraient autrement été « interdites » en raison du

bruit et des contraintes acoustiques. Un autre avantage du compresseur à spirale est sa bonne résistance à la pénétration de gouttes de liquide à l'intérieur de celui-ci.



Compresseur Copeland Scroll®

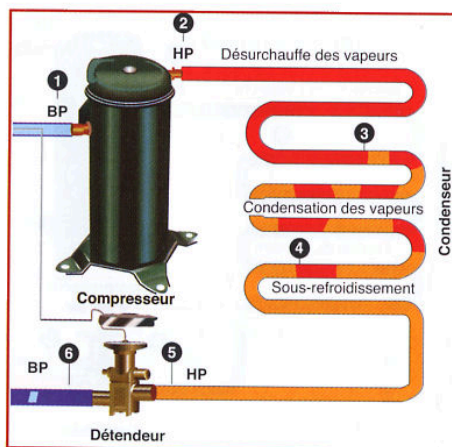


Coupe d'un jeu de Scroll

La durée de vie moyenne d'un compresseur de type « scroll » est d'environ 40 000 h, soit environ 20-22 ans avec une utilisation de 1 800 h/an (fonctionnement en mode chauffage).

Le condenseur

C'est un échangeur de chaleur. En passant dans le condenseur, le fluide frigorigène cède ses calories à la source chaude (plancher chauffant, radiateurs, etc.) et passe alors à l'état liquide, mais toujours en haute pression. Le gaz chaud provenant du compresseur va céder sa chaleur au condenseur. Les vapeurs de fluide frigorigène se refroidissent (ou « désurchauffent »), avant l'apparition de la première goutte de liquide (point 3). Puis la condensation s'effectue jusqu'à la disparition de la dernière bulle de vapeur (point 4). Le fluide liquide peut alors se refroidir de quelques degrés (sous-refroidissement) avant de quitter le condenseur.



Détail de la partie condenseur

Le condenseur se décompose en trois zones distinctes :

- la désurchauffe ;
- la condensation ;
- le sous-refroidissement.

Le détendeur

Le fluide frigorigène, à l'état liquide, arrive au détendeur qui fait chuter sa température et sa pression (il passe en basse pression).

Le détendeur fonctionne comme une vanne à ouverture variable, maintenant la différence de pression entre les côtés basse et haute pressions du circuit de fluide frigorigène.

La différence de pression entre le condenseur et l'évaporateur nécessite d'insérer un dispositif « abaisseur de pression » dans le circuit. C'est le rôle du détendeur. Le fluide frigorigène se vaporise partiellement dans le détendeur pour abaisser sa température.

Pour compenser la chute de pression dans l'évaporateur, un autre tube capillaire est souvent soudé dans le tuyau

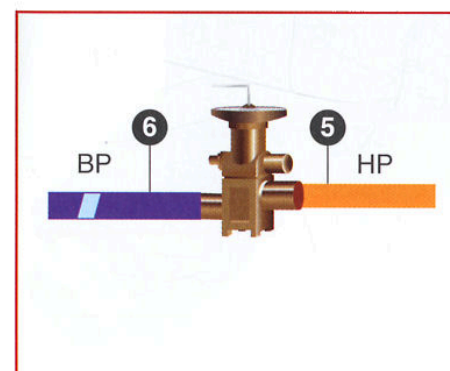


Détendeur

d'aspiration près du bulbe. On obtient ainsi un système d'égalisation externe de pression. À l'aide d'une vis de réglage qui serre un ressort dans la vanne de détente, la surchauffe peut être maintenue au niveau désiré. La vanne de détente est préréglée à approximativement 4-8 °C de surchauffe pendant la production.

LES COMPOSANTS SECONDAIRES

Outre les quatre principaux éléments, des composants secondaires viennent se greffer dans le circuit frigorifique. Suivant les fabricants, on retrouve des éléments de sécurité et de contrôles. Il est vrai qu'il y a beaucoup de façons de concevoir une pompe à chaleur ; on peut se contenter du minimum, mais la qualité de celle-ci dépendra de la présence de certains éléments de sécurité, de contrôles et de régulation.



Détail de la partie détendeur

Voici les principaux éléments secondaires d'une pompe à chaleur.

Le voyant de liquide

C'est un élément indispensable dans une pompe à chaleur.

Sa première fonction est de permettre de visualiser, à la sortie du condenseur, s'il ne reste plus une seule bulle de gaz, ce qui signifie que le fluide frigorigène est bien à l'état 100 % liquide.

La seconde fonction du verre-regard est d'indiquer la teneur en humidité du gaz frigorigène. Un indicateur d'humidité change de couleur en présence d'humidité.

Il se place à la sortie du condenseur.



© Danfoss

Le filtre déshydrateur

C'est également un élément de contrôle visuel dans une PAC.

Le filtre déshydrateur (cartouche solide) est comparable à une éponge permettant l'absorption et la rétention de l'eau.

Le tamis moléculaire et le silicagel (SiO_2) absorbent l'humidité, l'oxyde d'alumine activé (Al_2O_3) retient l'eau et l'acide. Il se place après le voyant liquide et avant le détendeur (ou après la bouteille liquide s'il y en a une).

Filtre déshydrateur



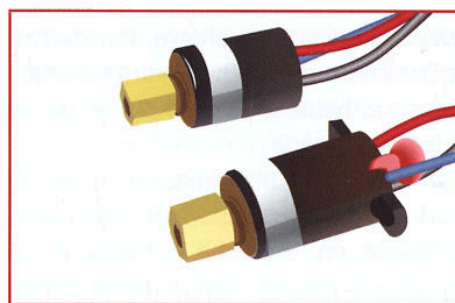
© Danfoss

Les pressostats de pressions

Une pompe à chaleur est normalement équipée de déclencheurs « pressostats » haute pression (HP) et basse pression (BP).

C'est un organe de protection qui permet de protéger l'installation en cas de pression trop élevée ou trop basse.

Il peut être à réarmement automatique ou à réarmement manuel.



© Danfoss

Pressostat fixe



© Danfoss

Pressostat réglable

Les transmetteurs de pressions

À la différence du pressostat, le transmetteur de pression permet de mesurer la pression afin de la lire.

Très peu de pompes à chaleur (< à 150 kW) sont pourvues de ce contrôleur. C'est bien dommage, car il permet de mesurer les pressions BP et HP sans avoir recours aux instruments de mesure et donc sans avoir besoin d'ouvrir le circuit frigorifique, avec le risque de laisser échapper du gaz à chaque manipulation.

+ Un gage de qualité!

Les pompes à chaleur de bonne qualité sont équipées de transmetteurs de pression. Ce n'est malheureusement pas le cas de toutes les PAC.



Transmetteur de pression

L'huile de lubrification

La principale fonction de l'huile est la lubrification des pièces en mouvement du compresseur.

L'huile est nécessaire pour le fonctionnement du compresseur, mais un peu d'huile (généralement 1 à 4 % du poids du fluide frigorigène) passe à travers l'orifice de refoulement du compresseur et atteint d'autres parties du circuit de la pompe à chaleur.

LE RETOUR D'HUILE

Le retour d'huile est un aspect important pour le bon fonctionnement de l'installation. Lorsque le fluide frigorigène est à l'état de vapeur, l'huile doit être renvoyée vers le compresseur par la vitesse du flux de fluide frigorigène à l'état de vapeur. Dans les petites unités assemblées en usine, il est rare de rencontrer des problèmes au niveau du retour du lubrifiant vers le compresseur. En revanche, dans le cas des boucles de fluide frigorigène sur mesure assemblées sur place, la question du retour d'huile doit être examinée avec attention.

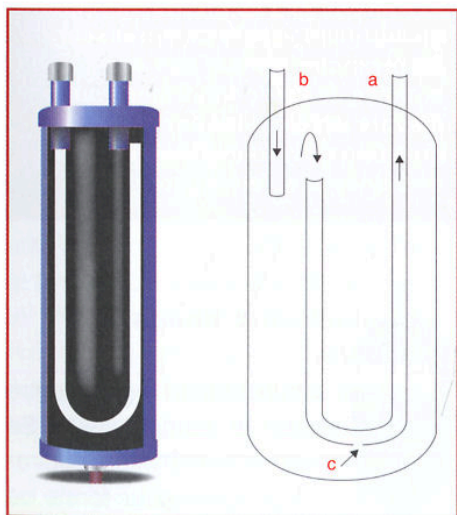
La bouteille anti-coups de liquide

Quand elle est utilisée, on la place entre l'évaporateur et le compresseur. Sa principale fonction est d'éviter l'aspiration de fluide frigorigène sous forme de liquide par le compresseur.

Cet organe est très utile principalement dans les pompes à chaleur de type aérothermique car, au moment de l'inversion de cycle (dégivrage), le compresseur aspire brusquement du liquide. De ce fait, le risque de coup de liquide est important. Elle est aussi largement utilisée dans les installations à faible surchauffe.

Son principe de fonctionnement est basé sur la séparation de la vapeur et du liquide.

- Le liquide qui tombe dans le fond de la bouteille par l'entrée (repère A sur le croquis ci-dessous) se vaporise petit à petit au contact de la bouteille.
- La vapeur est aspirée au niveau de la partie supérieure de la bouteille par la canne d'aspiration (B).
- Le retour d'huile est assuré par un orifice dans la partie inférieure de la canne d'aspiration (C).

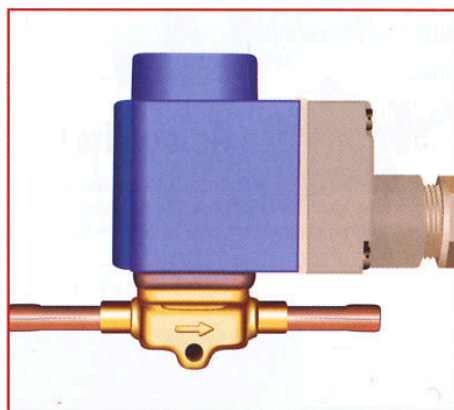


Bouteille anti-coups de liquide

L'électrovanne

L'électrovanne, également appelée «vanne électromagnétique», permet d'ouvrir ou de fermer le circuit frigorifique.

Elle est placée en amont du détendeur. Une utilisation courante est son installation sur la ligne liquide en amont du détendeur. Son rôle est alors d'éviter la migration du fluide frigorigène liquide vers l'évaporateur à l'arrêt du compresseur.



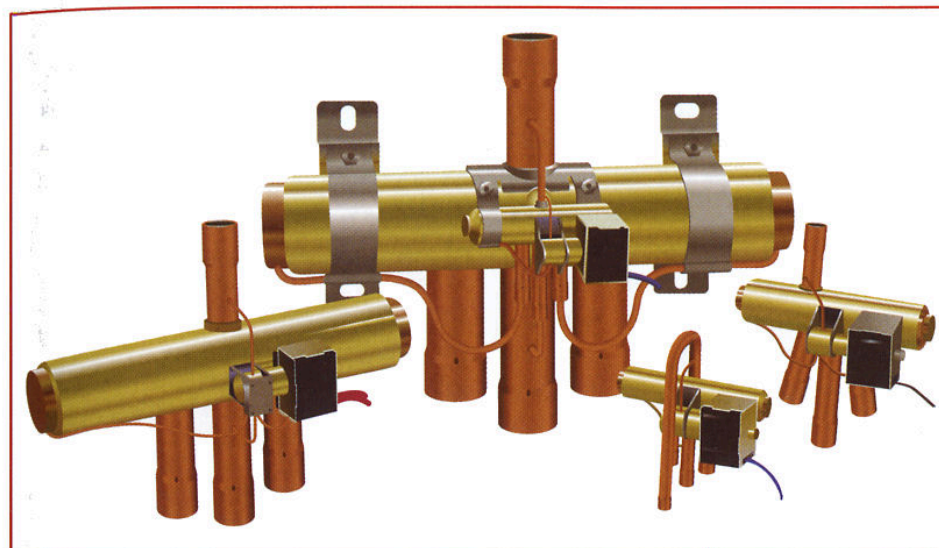
Électrovanne

La vanne d'inversion

Elle permet la réversibilité du système (mode rafraîchissement).

Cela veut dire que le circuit frigorifique est inversé, le condenseur «chaud» devient l'évaporateur «froid»: là où l'on faisait du chaud, on fait maintenant du froid (dans ce cas, le circuit frigorifique contient également des clapets antiretour).

Cela implique évidemment que le compresseur fonctionne.

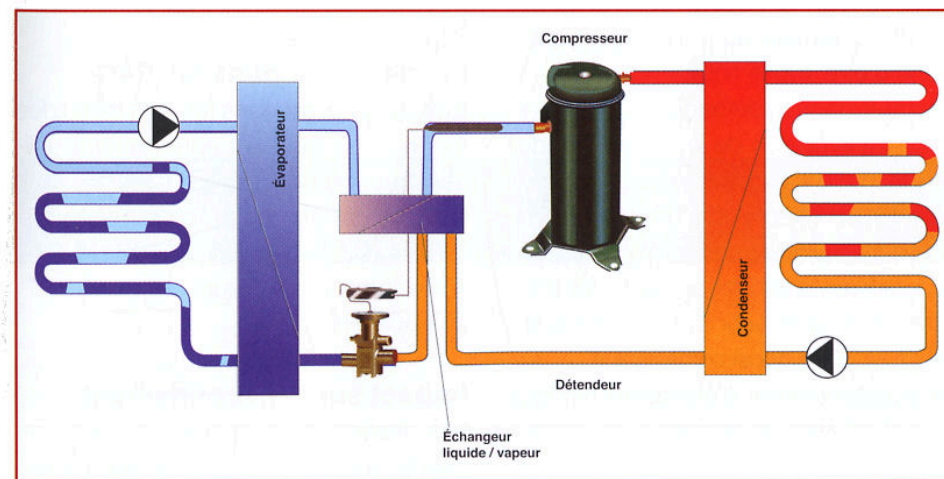


Vanne d'inversion 4 voies

Certains fabricants utilisent la technologie du «free-cooling», qui permet d'avoir le mode rafraîchissement sans que le compresseur fonctionne. Dans ce cas, cette vanne n'est plus nécessaire.

L'échangeur liquide/vapeur

Il assure simultanément le sous-refroidissement du fluide frigorigère liquide en amont du détendeur, et la surchauffe des vapeurs en amont du compresseur.



Système (échangeur de chaleur liquide/vapeur)

L'échangeur liquide/vapeur permet d'augmenter le coefficient de performance (COP).

Il évite aussi le phénomène de « flash gaz » (bulbes de vapeur sur la ligne liquide) en accentuant le sous-refroidissement du fluide frigorigère liquide.

Le principe repose sur l'insertion d'un échangeur qui permet de récupérer une partie de la chaleur encore présente à la sortie du condenseur (partie chaud) et ensuite de la transmettre à l'entrée du compresseur (partie froid).

- Côté froid : l'échangeur liquide/vapeur permet de vaporiser les gouttes de liquide qui ne l'auraient pas été dans l'évaporateur, évitant ainsi le phénomène de « coup de liquide ». En effet, comme tout le monde le sait, il est très difficile de comprimer du liquide ; il faut donc être dans cette partie du circuit 100 % vapeur.
- Côté chaud : l'échangeur liquide/vapeur permet d'augmenter le sous-refroidissement du fluide frigorigère afin d'être 100 % liquide avant de rentrer dans le détendeur.

Cette transmission de la chaleur conduit côté froid à une légère augmentation de la pression et côté chaud à une légère diminution de la pression. Grâce à la réduction de la différence de pression entre les deux côtés, le compresseur a moins de travail à effectuer, donc consomme moins.

La consommation d'électricité diminue et le coefficient de performance (rendement) de la pompe à chaleur augmente de 5 à 7 %.

LES FLUIDES FRIGORIGÈRES

Le fluide frigorigère est l'élément nécessaire pour transporter la chaleur de la source froide (capteur extérieur) à la source chaude (plancher chauffant, radiateurs, ventilo-convecteurs).

📌 À RETENIR !

Le fluide frigorigère circule dans le système, absorbe l'énergie de l'évaporateur à basse température et retransmet l'énergie au condenseur à haute température. Cela est réalisé au moyen de la transformation du fluide frigorigère de l'état liquide à l'état gazeux dans l'évaporateur et de l'état gazeux à l'état liquide dans le condenseur.

Il existe un nombre important de fluides frigorigères classés en différents groupes selon leur composition moléculaire. Les pompes à chaleur géothermiques destinées à l'habitat individuel contiennent généralement du R407c ou du R134a.

Fluide utilisé dans les PAC

Il existe deux grandes familles de fluides frigorigères qui sont actuellement utilisés dans les pompes à chaleur :

- fluides purs : R134a, R290 (propane), R744 (CO₂) ;
- mélanges zéotropiques : R404a, R410a, R407c.

Impact sur l'environnement

Les fluides frigorigères ont plus ou moins d'impact sur notre environnement suivant leur composition.

Composition des principaux fluides frigorigères

CFC - R11 - R12 - R114...	Chlorofluorocarbure Molécule entièrement halogénée (pas d'hydrogène), par exemple R12 (expliqué ultérieurement).	Interdit Arrêt de la production et de l'importation depuis le 01/01/1995.
HCFC - R22 - R141b - R142b...	Hydrochlorofluorocarbure Ce sont des chlorofluorocarbures incomplètement halogénés : certains atomes de chlore sont remplacés par des atomes d'hydrogène, par exemple R22.	Gaz de transition à court terme Arrêt de la production au 01/01/2004. Contrôle obligatoire des installations en 2002. Rechargement des installations avec des HCFC neufs interdit en 2010. Rechargement des installations avec des HCFC recyclés interdit en 2015.
HFC - R407c - R134a - R404a - R410a...	Hydrofluorocarbure Ce sont des chlorofluorocarbures incomplètement halogénés et sans chlore : certains atomes de fluor sont remplacés par des atomes d'hydrogène, par exemple R134a.	Gaz de transition à long terme Pas de prescription réglementaire particulière pour ces fluides, excepté le contrôle d'étanchéité annuel pour les installations contenant plus de 2 kg de fluide.
HC - R290 - R600a	Hydrocarbure Pas de chlore ni de fluor, tels le propane R290 et l'isobutane R600a.	Des fabricants expérimentent ces gaz.

+ À savoir...

Les fluides frigorigères les plus couramment utilisés aujourd'hui pour les pompes à chaleur géothermiques sont le R134a et le R407c.

Ils n'appauvrissent la couche d'ozone et ne réchauffent la planète que lorsqu'ils s'échappent dans l'atmosphère. La priorité est donc d'empêcher les fuites et les déversements accidentels. Pour cela, il faut entretenir correctement les appareils et manipuler convenablement les fluides frigorigères.

Quelques fluides frigorigères

TYPE	FLUIDE FRIGORIGÈRE	POTENTIEL D'APPAUVRISSMENT DE LA COUCHE D'OZONE ODP	POTENTIEL DE RÉCHAUFFEMENT DE LA PLANÈTE EN KG CO ₂ /KG DE FLUIDE FRIGORIGÈRE GWP
CFC	R11	1,00	3 800
	R12	0,9	8 100
	R502	0,229	5 490
HCFC	R22	0,05	1 500
HFC	R134a		1 300
	R404a		3 260
	R407c		1 530
	R410a		1 730
HC	R290		3

Les deux principaux impacts sont :

- le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone ;
- le potentiel de réchauffement de la planète exprimé en kg CO₂/kg de fluide frigorigène.

+ Quantité de fluide frigorigène

Le gros avantage des pompes à chaleur géothermiques utilisant la technologie « eau glycolée/eau » est que la quantité de fluide frigorigène est considérablement plus faible que dans les systèmes à détente directe type « sol/sol » ou « sol/eau ».

Les types de pompes à chaleur

Comme nous l'avons vu, une pompe à chaleur doit aller puiser des calories. Différents milieux contiennent de la chaleur, on distingue ainsi :

- **L'air extérieur** : la chaleur contenue dans l'air extérieur est prélevée par la pompe à chaleur pour être restituée dans l'air ambiant du logement ou dans l'installation de chauffage à eau chaude.
- **L'eau** : la chaleur contenue dans l'eau d'une nappe phréatique, d'un lac, etc., est prélevée par la pompe à chaleur. Elle est ensuite transférée par la pompe à chaleur dans l'installation de chauffage à eau chaude. Il est important de noter que l'exploitation des eaux est soumise à une réglementation.
- **Le sol** : la chaleur est prélevée dans la terre par l'enfouissement de tubes.

Elle est ensuite transférée par la pompe à chaleur dans l'installation de chauffage à eau chaude. Il existe deux solutions techniques pour installer ces tubes : capteur horizontal ou sonde géothermique verticale « forage ».

Pour nommer et classer les pompes à chaleurs, on cite en premier la source de chaleur, appelée aussi « capteur » (eau, eau glycolée, air, gaz, etc.) et en second la « partie chaude », c'est-à-dire le mode de restitution de chauffage (eau, air, gaz, etc.).

Voici les six principaux systèmes de pompe à chaleur :

- **La géothermie (système eau glycolée/eau).** C'est la solution technique de géothermie la mieux maîtrisée. Les calories sont prélevées dans la terre au moyen d'un circuit contenant de l'eau glycolée et, côté utilisation, elles sont restituées dans un circuit contenant de l'eau (plancher chauffant, radiateurs, ventilo-convecteurs, etc.).
- **La géothermie (système sol/eau).** Les calories sont prélevées dans la terre au moyen d'un circuit contenant un fluide frigorigène (gaz) et, côté utilisation, elles sont restituées dans un circuit contenant de l'eau (plancher chauffant, radiateurs, ventilo-convecteurs, etc.).
- **La géothermie (système sol/sol),** ou « détente directe ». Dans cette technologie, le fluide frigorigène (gaz) de la pompe à chaleur circule directement les capteurs

Tableau récapitulatif des différentes pompes à chaleur

		PAC AÉROTHERMIQUES		PAC GÉOTHERMIQUES		
		CAPTAGE DE LA CHALEUR DANS L'AIR EXTÉRIEUR	CAPTAGE DE LA CHALEUR DANS LE LOGEMENT	CAPTEURS ENTERRÉS HORIZONTAUX	CAPTEURS ENTERRÉS VERTICAUX	PAC SUR EAU DE NAPPE
Air	Air/eau	PAC mixte				
	Air/air	PAC à détente directe				
Sol	Sol/sol			PAC à détente directe		
	Sol/eau			PAC mixte		
	Eau glycolée/eau			PAC à fluides intermédiaires		
Eau	Eau/eau					PAC à fluides intermédiaires

Source : Ademe

géothermiques jusqu'au circuit de chauffage (plancher chauffant).

- **L'aquathermie (système eau/eau).** Les calories sont prélevées dans l'eau (nappe phréatique) et, côté utilisation, elles sont restituées dans un circuit contenant de l'eau (plancher chauffant, radiateurs, ventilo-convecteurs, etc.).
 - **L'aéothermie (système air/eau).** Les calories sont prélevées dans l'air, et côté utilisation, elles sont restituées dans un circuit contenant de l'eau (plancher chauffant, radiateurs, ventilo-convecteurs, etc.).
 - **La climatisation réversible (système air/air).** Les calories sont prélevées dans l'air et restituées dans l'air (split ou gainable).
- Il est important de faire le bon choix car il détermine le rendement (appelé coefficient de performance, ou COP), les possibilités et les évolutions de votre installation.

+ Attention

L'installation d'une pompe à chaleur est l'affaire d'un professionnel qualifié. Et, pour que le système garde toutes ses qualités, prévoyez un contrat de maintenance.

+ À retenir

Plus la température récupérée de la source de chaleur est élevée, plus le rendement (COP) de la PAC est élevé.

À l'inverse, plus la température récupérée est basse, plus le COP chute.

Dans cet ouvrage, nous allons traiter des pompes utilisant la terre et l'eau comme source de chaleur, que l'on appelle respectivement la géothermie et l'aquathermie.

CHAPITRE 4

LE RENDEMENT

LE COP (COEFFICIENT DE PERFORMANCE)

QU'EST-CE QUE LE COP ?

Le coefficient de performance (COP) permet d'indiquer le rendement et donc la performance d'une pompe à chaleur.

Il correspond au rapport entre la puissance restituée de la pompe à chaleur et la puissance absorbée (puissance électrique du compresseur).

📍 QUELQUES REPÈRES

Si une pompe à chaleur a un COP de 4, cela veut dire que pour 1 kW absorbé (payé), elle restitue 4 kW de puissance chaude. Cette pompe à chaleur va donc récupérer gratuitement 3 kW dans le capteur extérieur.

Il est donc aisé de comprendre que plus la pompe à chaleur a un COP élevé, plus les consommations annuelles de chauffage sont faibles.

COMMENT EST MESURÉ LE COP ?

Les fabricants sont tenus de donner les caractéristiques des pompes à chaleur selon les conditions d'essais de la norme NF EN 14511.

Cette norme spécifie les conditions d'essai pour la détermination des caractéristiques de performances des pompes à chaleur (air/air, eau/air, air/eau et eau/eau), avec compresseur entraîné par moteur électrique lorsqu'elles sont utilisées pour le chauffage des locaux. Pour chacun de ces systèmes, des points d'essais nominaux et d'applications sont définis.

Conditions d'essai côté évaporateur (côté extérieur ou récupération des calories)

- **PAC air/air et air/eau** : l'essai est réalisé pour une température extérieure nominale de 7 °C. (En Allemagne cette température est donnée pour + 2 °C.)
- **PAC eau/eau** : l'essai est réalisé pour une température d'eau de nappe de 10 °C.
- **PAC eau glycolée/eau** : l'essai est réalisé pour une température d'eau glycolée de 0 °C.

+ Attention

Il n'y a pas de différenciation entre le système horizontal et les sondes géothermiques verticales, même si dans la réalité les sondes géothermiques fonctionnent avec des températures un peu plus élevées qu'un système horizontal.

- **PAC sol/sol et sol/eau** : il n'existe pas de norme d'essai mais des protocoles admis par la majorité des industriels. Pour ces produits, la température nominale du fluide à l'entrée de l'évaporateur est de - 5 °C.

Conditions d'essai côté condenseur (côté chaud)

La norme prévoit deux températures de fonctionnement :

- Pour une utilisation sur plancher chauffant, l'essai est réalisé avec une température d'eau de sortie de 35 °C et une eau de retour à 30 °C.

📍 IMPORTANT

Si la température de fonctionnement a un impact sur le COP de la pompe à chaleur, elle a également une incidence sur sa puissance restituée. En effet, plus le COP d'une pompe à chaleur baisse, plus sa puissance chute. Il faut donc, lors d'un comparatif entre plusieurs pompes à chaleur, comparer les COP mais aussi les puissances aux mêmes températures de fonctionnement.

- Pour une utilisation sur radiateur basse température, l'essai est réalisé avec une température d'eau de sortie de 45 °C et une eau de retour à 40 °C.

Dans le cadre du référentiel QualiPAC, un référentiel NF PAC a été mis en place, permettant aux industriels d'accéder volontairement à un référentiel de contrôle. La liste du matériel NF PAC est gérée par le bureau de contrôle Certita.

Les tableaux ci-après (extraits de ce référentiel) indiquent le rendement minimal que doit atteindre une PAC suivant les températures de fonctionnement.

Ils font aussi ressortir les différences de rendement que peut avoir une même pompe à chaleur selon son application (plancher chauffant, radiateurs...).

Rendements minimaux PAC aérothermiques

PAC AIR/EAU SUR PLANCHER CHAUFFANT 35 °C					
CÔTÉ FROID		CÔTÉ CHAUD		COP MINI	
Température sèche (°C)	Température humide (°C)	Température départ d'eau	Température retour d'eau	Jusqu'au 30 juin 2010	À partir du 1 ^{er} juillet 2010
7	6	35	30	3,3	3,4
-7	-8	35	*	2,0	2,1
* L'essai est réalisé avec le débit d'eau déterminé lors de l'essai à + 7 °C.					
PAC AIR/EAU SUR RADIATEURS					
CÔTÉ FROID		CÔTÉ CHAUD		COP MINI	
Température sèche (°C)	Température humide (°C)	Température départ d'eau	Température retour d'eau	Jusqu'au 30 juin 2010	À partir du 1 ^{er} juillet 2010
7	6	45	40	2,7	2,7
-7	-8	45	*	1,5	1,6
7	6	55	47	-	2,2
-7	-8	55	*	-	1,3
7	6	65	55	-	1,9
-7	-8	65	*	-	1,2
* L'essai est réalisé avec le débit d'eau déterminé lors de la première application demandée.					

Source: Certita, www.certita.org

⊙ ATTENTION

Dans le cas d'une installation sur d'anciens radiateurs, il faut être très vigilant quant aux rendements annoncés sur les documentations commerciales ou par des vendeurs peu scrupuleux, qui ne vous donnent pas le COP et la puissance thermique nominale de la PAC à la température de fonctionnement réelle. En effet, les COP sont donnés pour 35 °C (plancher chauffant) et 45 °C (radiateurs basse température); or, les anciens radiateurs fonctionnent souvent à plus de 55 °C voire à 65 °C.

Rendements minimaux PAC géothermiques – eau glycolée/eau

PAC EAU GLYCOLÉE/EAU SUR PLANCHER CHAUFFANT 35 °C					
CÔTÉ FROID		CÔTÉ CHAUD		COP MINI	
Température entrée d'eau (°C)	Température sortie d'eau (°C)	Température départ d'eau	Température retour d'eau	Jusqu'au 30 juin 2010	À partir du 1 ^{er} juillet 2010
0	-3	35	30	3,3	3,6
PAC EAU GLYCOLÉE/EAU SUR RADIATEURS					
CÔTÉ FROID		CÔTÉ CHAUD		COP MINI	
Température entrée d'eau (°C)	Température sortie d'eau (°C)	Température départ d'eau	Température retour d'eau	Jusqu'au 30 juin 2010	À partir du 1 ^{er} juillet 2010
0	-3	45	40	2,7	2,8
0	-3	55	47	-	2,2
0	-3	65	55	-	1,9

Source: Certita, www.certita.org

Rendements minimaux PAC géothermique sol/eau (capteur à fluide frigorigène)

PAC SOL/EAU SUR PLANCHER CHAUFFANT 35 °C				
CÔTÉ FROID		CÔTÉ CHAUD		COP MINI
Température évaporateur (°C)	Température départ d'eau	Température retour d'eau	Jusqu'au 30 juin 2010	À partir du 1 ^{er} juillet 2010
-5	35	30	3,3	3,4
PAC SOL/EAU SUR RADIATEURS				
CÔTÉ FROID		CÔTÉ CHAUD		COP MINI
Température évaporateur (°C)	Température départ d'eau	Température retour d'eau	Jusqu'au 30 juin 2010	À partir du 1 ^{er} juillet 2010
-5	45	40	2,7	Pas d'évolution
-5	55	47	-	2,2
-5	65	55	-	1,9

Source: Certita, www.certita.org

Rendements minimaux PAC géothermique sol/sol (capteur et émetteurs à fluide frigorigène)

PAC SOL/SOL SUR PLANCHER CHAUFFANT AVEC FLUIDE FRIGORIGÈNE 35 °C			
CÔTÉ FROID		CÔTÉ CHAUD	COP MINI
Température entrée d'eau (°C)	Température condenseur	Jusqu'au 30 juin 2010	À partir du 1 ^{er} juillet 2010
-5	35	3,3	3,4

Source: Certita, www.certita.org

Rendements minimaux PAC aquathermique (nappe phréatique)

PAC EAU/EAU SUR PLANCHER CHAUFFANT 35 °C					
CÔTÉ FROID		CÔTÉ CHAUD		COP MINI	
Température entrée d'eau (°C)	Température sortie d'eau (°C)	Température départ d'eau	Température retour d'eau	Jusqu'au 30 juin 2010	À partir du 1 ^{er} juillet 2010
10	7	35	30	4,2	4,5
PAC EAU/EAU SUR RADIATEURS					
CÔTÉ FROID		CÔTÉ CHAUD		COP MINI	
Température entrée d'eau (°C)	Température sortie d'eau (°C)	Température départ d'eau	Température retour d'eau	Jusqu'au 30 juin 2010	À partir du 1 ^{er} juillet 2010
10	7	45	40	3,2	3,5
10	7	55	47	-	2,8
10	7	65	55	-	2,5

Source: Certita, www.certita.org

LE SPF (FACTEUR DE PERFORMANCE SAISONNIÈRE)

La norme NF EN 15450 annonce un nouveau virage dans le monde de la pompe à chaleur, puisque pour la première fois est abordée la notion de coefficient SPF (*Seasonal Performance Factor*).

Contrairement au COP, auquel on reprochait d'être un coefficient de performance théorique donné par un fabricant, le SPF tient compte de l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des différents auxiliaires autour de la pompe à chaleur (par exemple l'eau chaude sanitaire, les appoints électriques de la PAC, les circulateurs, etc.).

d'énergie des auxiliaires. En d'autres termes, il tient compte des usages. La même pompe à chaleur connectée sur un plancher chauffant (35 °C) ou sur des radiateurs anciens (65 °C) n'aura pas du tout le même SPF.

+ À retenir!

Le système de chauffage par pompe à chaleur doit être conçu pour atteindre un facteur de performance saisonnière (SPF) élevé.

Tout comme le COP, plus le SPF est élevé, plus les consommations annuelles seront faibles.

À l'analyse de ce tableau, on constate que certains systèmes ont beaucoup de mal à atteindre le SPF minimal (voir les tableaux des COP, p. 32 et 33).

Valeurs du SPF pour les systèmes de chauffage par pompe à chaleur employés pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire selon la norme EN NF 15450

TYPE DE BÂTIMENT	SOURCE CHAUDE	VALEUR MINIMALE DU SPF	VALEUR CIBLE DU SPF
Bâtiments neufs	air/eau	2,7	3,0
	sol/eau	3,5	4,0
	eau/eau	3,8	4,5
Bâtiments rénovés	air/eau	2,5	2,8
	sol/eau	3,3	3,7
	eau/eau	3,5	4,2

Le SPF est le rapport de l'énergie annuelle totale fournie par la pompe à chaleur pour le chauffage des locaux et d'autres systèmes auxiliaires, sur la consommation annuelle totale en énergie électrique, y compris la consommation annuelle totale

Certains fabricants commencent à mesurer et à afficher le COP et/ou le SPF dans la régulation de leurs pompes à chaleur afin d'être conformes à la norme NF EN 15450. Les PAC air/air (donc aérothermiques) affichent un

COP instantané élevé dans les conditions nominales d'essai (air extérieur à + 7 °C et eau à + 35 °C en sortie PAC) mais se révèlent médiocres à l'annonce du SPF, car leur rendement s'effondre par basses températures extérieures.

À l'inverse, pour les PAC géothermiques, les valeurs du COP et du SPF sont proches, en raison de la stabilité des températures de fonctionnement.

LES MODES DE FONCTIONNEMENT

Suivant le type de capteur et le type d'installation de la pompe à chaleur,

il existe deux modes de fonctionnement : le mode monovalent et le mode bivalent.

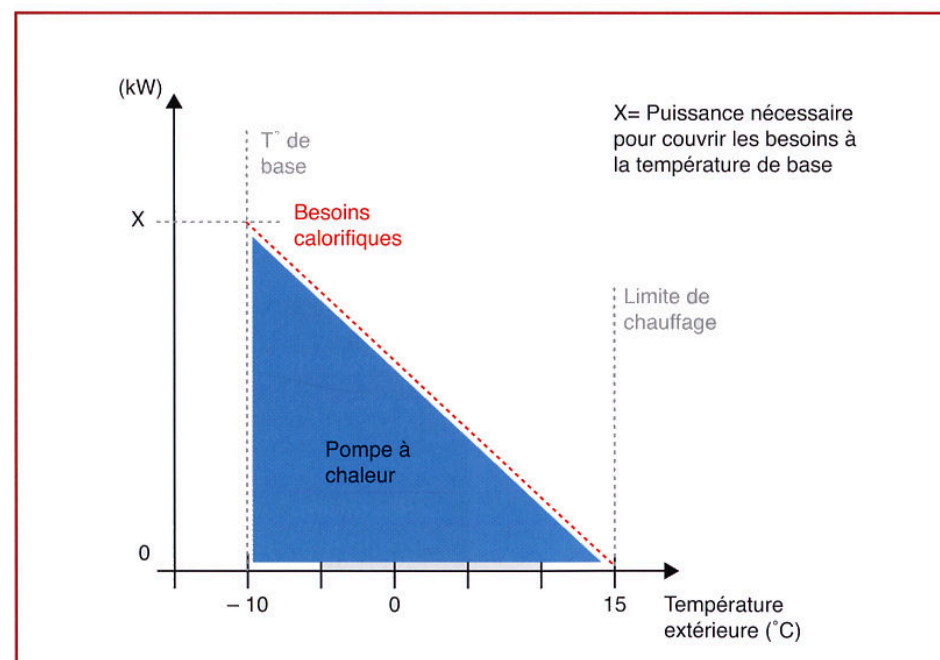
LE MODE MONOVALENT

La géothermie et l'aquathermie sont des énergies à part entière. Ces systèmes sont dits « monovalents » car ils utilisent une seule énergie.

Les pompes à chaleur utilisant ces deux énergies sont capables de fournir 100 % des besoins thermiques du logement sans avoir recours à une énergie d'appoint.

LE MODE BIVALENT

Une pompe à chaleur utilisant l'air comme capteur (aérothermie ou clima-



Mode monovalent

tisation réversible) n'est presque jamais en mesure de couvrir les besoins en énergie et en confort de la maison (elle ne peut être monovalente) et dépend habituellement d'un système d'appoint (généralement une résistance électrique). On parle d'un système « bivalent ».

En géothermie, ce mode de fonctionnement est souvent utilisé dans le cadre de la rénovation sur radiateur, par exemple en relève de chaudière quand la température d'eau de chauffage est supérieure à la température d'eau maximale que peut fournir la pompe à chaleur.

En effet, lorsque la température d'eau du chauffage doit être supérieure à 50-55 °C, les systèmes bivalents sont presque toujours inévitables pour assurer le confort de l'occupant.

C'est souvent le choix qui est fait en rénovation, lorsque les réseaux d'émissions ne sont pas modernisés (radiateurs) et ne peuvent fonctionner qu'à haute température (supérieure à 60 °C).

+ Relation COP et puissance restituée

Plus le rendement (COP) est faible, plus la puissance restituée de la pompe à chaleur baisse.

Le mode bivalent est décliné en deux systèmes de fonctionnement :

- mode alternatif ;
- mode parallèle.

Ces deux modes définissent l'enclenchement (la mise en marche et l'arrêt) de la pompe à chaleur et de l'énergie d'appoint (chaudière ou résistance électrique).

Le mode bivalent alternatif

Dans ce mode, la pompe à chaleur ne fonctionne jamais en même temps que le système de chauffage d'appoint (chaudière ou résistance électrique).

En mode bivalent alternatif, la pompe à chaleur est dimensionnée pour couvrir 50 à 60 % des besoins calorifiques.

La puissance de la pompe à chaleur est déterminée pour couvrir 100 % des besoins jusqu'à une température extérieure définie par le point de bivalence.

En dessous de la température de bivalence, la pompe à chaleur est mise à l'arrêt et les besoins calorifiques sont couverts à 100 % par une deuxième énergie (chaudière ou appoint électrique).

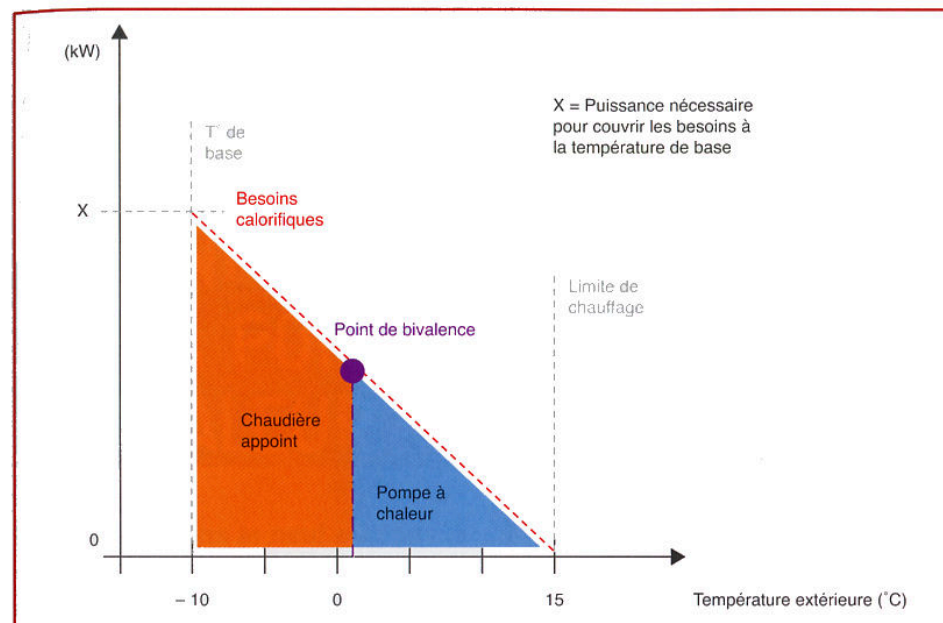
⊙ LES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Avantage

La commande et le montage hydraulique sont simples.

Inconvénient

La production de chaleur couverte par la pompe à chaleur, et donc ses avantages économiques et environnementaux, sont inférieurs à ceux du fonctionnement parallèle.



Mode bivalent alternatif

Le mode bivalent parallèle

En mode bivalent parallèle, la pompe à chaleur est dimensionnée pour couvrir 100 % des besoins jusqu'à une température extérieure définie par le point de bivalence.

La puissance de la pompe à chaleur est déterminée pour couvrir 100 % des besoins jusqu'à une température extérieure définie par le point de bivalence.

⊙ LES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Avantage

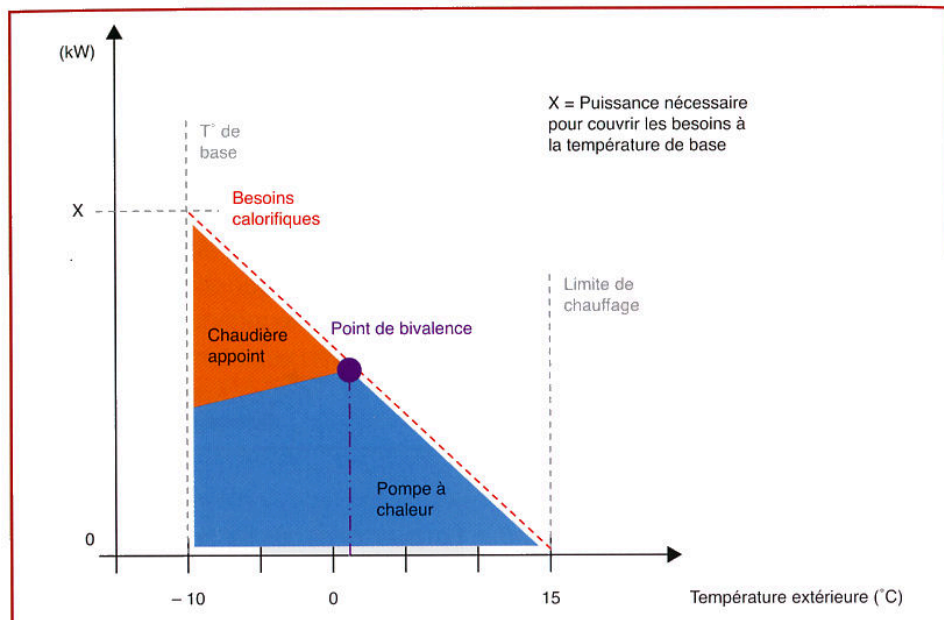
Le fonctionnement parallèle profite mieux de la pompe à chaleur puisqu'elle fonctionne durant toute la saison de chauffe. Ce deuxième mode permet donc une plus grande économie en frais de fonctionnement (même si, en période de grand froid, le COP de la PAC chute beaucoup).

Inconvénients

La commande et le montage hydraulique sont beaucoup plus complexes qu'en mode bivalent alternatif. Les régimes hydrauliques des chaudières et des émetteurs diffèrent de ceux des PAC. Pour cette raison, la première des précautions à prendre est de positionner impérativement un «ballon tampon» qui fera office de bouteille casse-pression (pas de montage série) afin d'effectuer la meilleure jonction entre la PAC, la chaudière et les émetteurs. Une grande rigueur est de mise dans la maîtrise des débits, des régimes de températures et du montage hydraulique.

En dessous de cette température, la pompe à chaleur ne permettant plus de couvrir la totalité des besoins, une deuxième énergie (chaudière ou appoint

électrique) est utilisée pour combler le manque de puissance fournie par la pompe à chaleur.



Mode bivalent parallèle

CHAPITRE 5

LE DIMENSIONNEMENT DE LA POMPE À CHALEUR

Que ce soit dans le neuf ou dans la rénovation, il est recommandé de faire appel à un bureau d'études thermiques pour qu'il réalise une étude thermique réglementaire et un bilan des déperditions pièce par pièce. Cela évite de se retrouver avec une multitude de devis dont la puissance à installer diffère, puisqu'elle aura été estimée selon les habitudes de chaque installateur.

Lorsqu'on connaît les déperditions d'une habitation, le dimensionnement de la pompe à chaleur dépend ensuite du type d'émetteur de chauffage (plancher chauffant, radiateurs, ventilo-convecteurs) et de ce qui va être produit par la pompe à chaleur (chauffage seul, chauffage + eau chaude sanitaire, etc.).

RÈGLE GÉNÉRALE DE DIMENSIONNEMENT

La puissance à installer d'une pompe à chaleur géothermique ou aquathermique doit être comprise entre 80 et 120 % des déperditions totales du logement, à la température extérieure de base.

La puissance à installer de la PAC et du système d'appoint doit être égale à 120 % des déperditions.

LES NORMES

– **NF EN 12828** «Systèmes de chauffage dans les bâtiments – Conception des systèmes de chauffage à eau».

– **NF EN 12831** «Systèmes de chauffage dans les bâtiments – Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base».

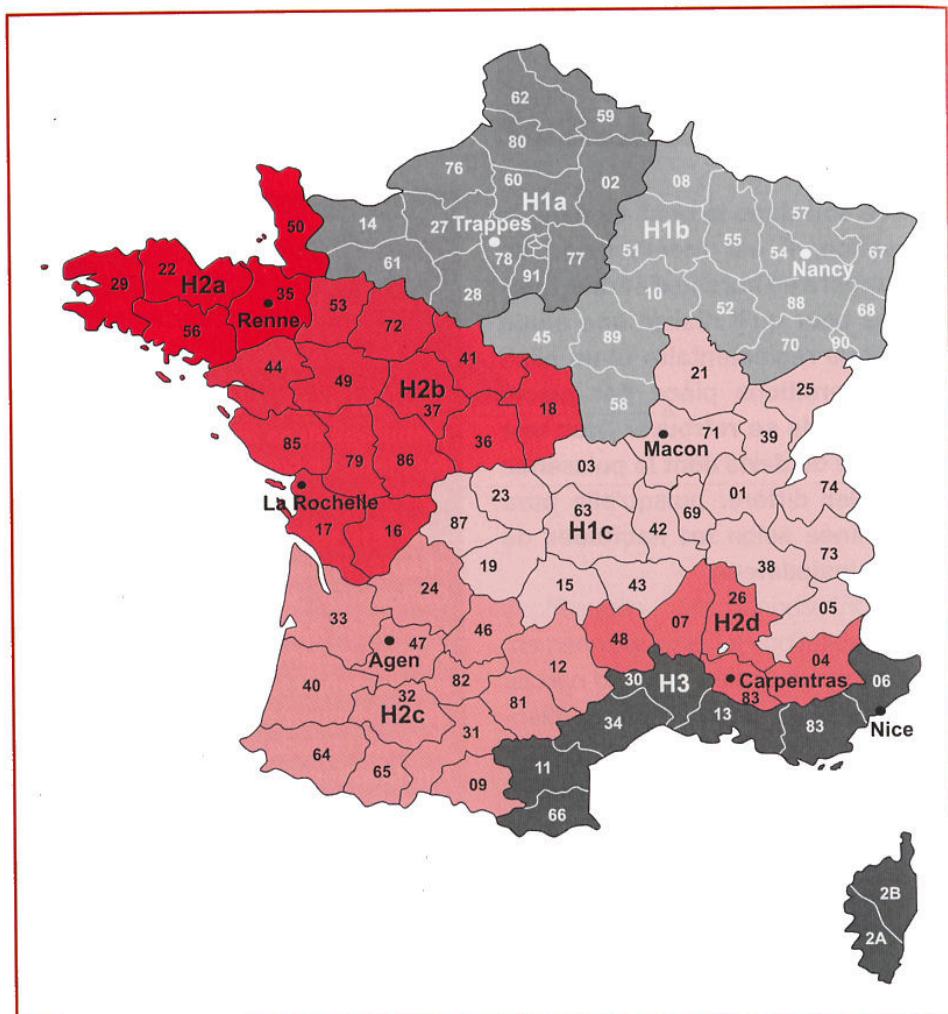
– **NF EN 15450** «Systèmes de chauffage dans les bâtiments – Conception des systèmes de chauffage par pompe à chaleur».

Publiée en janvier 2009, cette norme définit les méthodes de dimensionnement du chauffage, de l'eau chaude sanitaire et de l'installation pour le chauffage par pompe à chaleur (air/air, air/eau, eau/eau, eau glycolée/eau, gaz/gaz, gaz/eau).

Elle traite également du SPF (facteur de performance saisonnière), qui permet de vraiment comparer la rentabilité des différents systèmes.

LES TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES DE BASE

ZONES CLIMATIQUES	TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE DE BASE
H1a, H1b, H1c	-9 °C
H2a, H2b, H2c, H2d	-6 °C
H3	-3 °C



Carte de France des zones climatiques

Pour l'ensemble des zones, les valeurs de référence correspondent au niveau de la mer (altitude 0).

On ajoute à la température extérieure de base les valeurs ci-dessous pour tenir compte de l'altitude.

ALTITUDE	CORRECTION
Inférieure ou égale à 400 m	0
Supérieure à 400 m et inférieure ou égale à 800 m	-2 °C
Supérieure à 800 m	-4 °C

LE DIMENSIONNEMENT DANS LE NEUF

Il est évident que seule une étude thermique réglementaire réalisée par un bureau d'études thermiques permet de contrôler le respect de la réglementation thermique et d'évaluer les besoins du bâtiment, et donc la puissance à installer.

L'expérience montre que pour un bâtiment qui respecte la réglementation thermique en vigueur (RT2005), les déperditions thermiques sont de l'ordre de 50 W/m².

À présent, rien ne vous empêche de faire mieux que la RT2005!

En effet, si vous construisez une maison conforme à la future réglementation (RT2012), c'est-à-dire un logement dit «BBC», le même bâtiment n'aura des déperditions que d'environ 35 à 40 W/m².

+ Les ponts thermiques...

C'est une évidence: plus on isole, plus on fait la guerre aux ponts thermiques. Et plus on contrôle la mise en œuvre du logement, plus la consommation chute! L'énergie la moins chère, c'est celle qu'on ne consomme pas!

⊙ ATTENTION !

Il ne faut pas surdimensionner une pompe à chaleur, elle risquerait autrement de faire des cycles courts.

Si l'eau chaude sanitaire est produite par la pompe à chaleur, il faut ajouter 250 W par personne à la puissance à installer.

Exemple pour une maison neuve de 120 m² conforme à la RT2005:

Pour les besoins en chauffage

Puissance nécessaire: $120 \text{ m}^2 \times 50 \text{ W} \times 1,2 = 7\,200 \text{ W}$

Pour les besoins en eau chaude sanitaire

Puissance nécessaire: $250 \text{ W} \times 4 \text{ personnes} = 1\,000 \text{ W}$

Puissance à installer = $7\,200 \text{ W} + 1\,000 \text{ W} = 8\,200 \text{ W}$

(soit une pompe à chaleur qui restitue au moins 8,2 kW)

LE DIMENSIONNEMENT EN RÉNOVATION

Tout comme dans le neuf, une étude réalisée par un bureau d'études thermiques permet d'évaluer les besoins du bâtiment. La puissance à installer dépend de ces besoins.

Estimer la puissance à installer en rénovation est un peu plus compliqué que dans le neuf, car cela dépend du niveau d'isolation de la maison.

⊙ UNE ISOLATION À NE PAS NÉGLIGER...

Avant de changer le mode de chauffage d'une habitation, il faut faire un bilan de l'état de l'isolation, des fenêtres, etc., pour voir s'il n'y a pas d'amélioration à apporter. En effet, la même maison avec une isolation correcte consommera moins d'énergie que si elle est une véritable passoire. La puissance à installer pour le chauffage sera également plus basse.

En matière de rénovation, les anciennes réglementations faisaient appel au coefficient G. Ce coefficient a été remplacé par le Ubât dans les RT2000 et RT2005. Cela dit, le coefficient G n'en demeure pas moins pratique d'utilisation. Il permet de faire une première estimation de la puissance à installer en rénovation.

Le coefficient G caractérise les déperditions volumiques exprimées en watt par mètre cube et par degré Celsius ($W/m^3/°C$).

L'installation de chauffage sera caractérisée par la capacité à assurer la température intérieure souhaitée (exemple : $19 °C$) pour la température extérieure de base (T_{base}) de la région.

⊙ À SAVOIR...

La puissance à installer devra être au moins égale à :

$$P = G \times V \times \Delta T \times I \times F_{hl} \times 1,2 + P_{ecs}$$

P = puissance à installer (en W)

G = coefficient d'isolation (en $W/m^3/°C$)

V = volume (en m^3)

ΔT = écart entre la température extérieure de base et la

température intérieure (en K)

I = facteur d'intermittence

F_{hl} = facteur de conception de la maison (inertie)

1,2 = coefficient de surpuissance

P_{ecs} = puissance nécessaire pour l'eau chaude sanitaire quand elle est produite par la PAC (en W)

Vous trouverez à la page suivante quelques valeurs moyennes pour les différents coefficients nécessaires à l'estimation de la puissance à installer.

COEFFICIENT FHL (INERTIE DU LOGEMENT)

CRITÈRE DE CONCEPTION	F _{hl}
Faible inertie (plafond suspendu, plancher surélevé et murs fins)	1
Inertie moyenne (sols et plafond en béton et murs fins)	0,95
Inertie lourde (sols et plafond en béton et murs en brique ou en béton)	0,9

COEFFICIENT I (INTERMITTENCE)

La valeur du facteur d'intermittence dépend de plusieurs paramètres (des plages d'abaissement de la régulation, la température choisie pour les plages d'abaissement, etc.).

Cette valeur varie de 0,70 à 1 (il faut prendre une valeur par défaut de 0,9).

COEFFICIENT G

Ce tableau ne donne qu'une vue approximative des coefficients G en fonction de l'année et de la région afin de faire une estimation rapide.

Seule une étude thermique peut définir avec précision les besoins thermiques d'une habitation selon les caractéristiques de chaque matériau.

	ZONE H1	ZONE H2	ZONE H3
2005 à ...	0,75	0,8	0,8
2000 à 2005	1	0,95	0,95
1982 à 1989	1,1	1,2	1,2
1974 à 1981	1,15	1,45	1,65
Avant 1974	1,8	1,9	2,1

ΔT (DELTA T)

Cette valeur est l'écart entre la température extérieure de base (T_e) et la température intérieure (T_i).

⊙ EXEMPLES

$T_e = -6 °C$ et $T_i = 19 °C$

ΔT est de $19 + (-6) = 25 K$

Exemple pour les besoins en chauffage d'une maison ancienne de 120 m^2 construite en 1985, située en zone H2C :

$$P = G \times V \times \Delta T \times I \times F_{hl} \times 1,2 + P_{ecs}$$

Coef. G = 1,2

Volume = $120 m^2 \times 2,50 = 300 m^3$

$\Delta T = 19 °C + (-6 °C) = 25 K$

I = 0,9

$F_{hl} = 0,95$

$P_{ecs} = 250 \times 4 \text{ personnes} = 1\,000 W$

$$1,2 \times 300 \times 25 \times 0,9 \times 0,95$$

$$\times 1,2 + 1\,000 = 10\,234 W$$

Il faut donc installer une pompe à chaleur d'au moins 10,2 kW.

PARTIE 3

LES CAPTEURS



CHAPITRE 6

LE CHOIX DU CAPTEUR

QUELLE SOURCE DE CHALEUR ?

Le choix du capteur est très important car il va définir le mode de fonctionnement de la pompe à chaleur et donc son COP ainsi que son SPF.

+ Rappel !

Plus la température récupérée dans le capteur extérieur est élevée, plus le rendement de la PAC est élevé.
À l'inverse, plus la température récupérée est basse, plus le COP chute.

On peut comprendre qu'en hiver, lorsque la température extérieure est de -5°C , on ne récupère pas la même quantité de chaleur contenue dans l'air, dans le sol à faible profondeur (moins de 1 m), dans le sol à 100 m (forage géothermique) ou encore dans l'eau d'une nappe phréatique.

De nombreux facteurs doivent être pris en compte afin de choisir la source de chaleur la plus appropriée, comme :

- les besoins énergétiques (déperditions) ;
- le système de chauffage employé (température de départ d'eau de chauffage) ;
- l'emplacement géographique ;
- les ressources disponibles autour de la maison.

Il existe trois grands types de capteurs : horizontal, vertical et sur nappe phréatique.

Le capteur extérieur est un point stratégique de l'installation de chauffage par géothermie.

Il permet d'obtenir jusqu'à 75 % d'énergie gratuite en récupérant les calories contenues dans le terrain.

Le capteur géothermique, contrairement à l'aérothermie, permet de récupérer les calories dans un milieu dont la température est relativement constante toute l'année, et ce, quelle que soit la température extérieure. De ce fait, le rendement d'une pompe à chaleur géothermique ne diminue pas (ou très peu) lorsque la température extérieure chute.

© Waterkotte



Le capteur horizontal (géosolaire).
Extraction des calories au moyen d'un fluide caloporteur circulant à l'intérieur de tubes en polyéthylène (PE) placés à environ 20 cm sous le point de gelée de la région.

© Waterkotte



Le capteur vertical (sonde géothermique). Extraction des calories au moyen d'un fluide caloporteur circulant à l'intérieur d'une ou plusieurs sondes géothermiques constituées de tubes en polyéthylène haute densité (PEHD).

© Waterkotte



Le captage sur nappe phréatique.
Extraction des calories contenues dans une nappe phréatique. Pour cela, il faut deux forages d'eau : un pour l'aspiration et l'autre pour le rejet. On appelle aussi cette solution l'aquathermie.

+ Aller plus loin

Une autre solution existe, moins répandue en France : la **géosstructure**.

Pour les constructions où des pieux de fondation sont nécessaires, il est possible d'équiper ces derniers d'échangeurs de chaleur.

Cette technique utilise le même principe que le capteur vertical (sonde géothermique) mais les sondes sont placées dans les pieux de fondation de l'habitation.

CHAPITRE 7

LE CAPTEUR HORIZONTAL

LE SYSTÈME EAU GLYCOLÉE

ASPECTS GÉNÉRAUX

Le capteur horizontal eau glycolée est composé de tubes en polyéthylène (PE) enterrés à une profondeur hors gel dans lesquels circule de l'eau glycolée (eau + antigel) en circuit fermé. Ce fluide caloporteur capte ainsi l'énergie stockée dans le sol.

Étant donné la faible profondeur de l'enfouissement des tubes, l'énergie géothermique proprement dite ne revêt qu'un rôle secondaire. On parle alors d'énergie géosolaire.

+ À savoir...

L'énergie que l'on récupère dans le sol provient à 90 % du rayonnement solaire (stocké durant l'été), du vent et de la pluie par l'infiltration.

La puissance que peut puiser un capteur horizontal dépend de la conductivité thermique du terrain (nature du sol) et peut varier de 10 à 35 W/m².

La zone de captage nécessaire est d'environ 1,5 à 2 fois la surface habitable à chauffer.

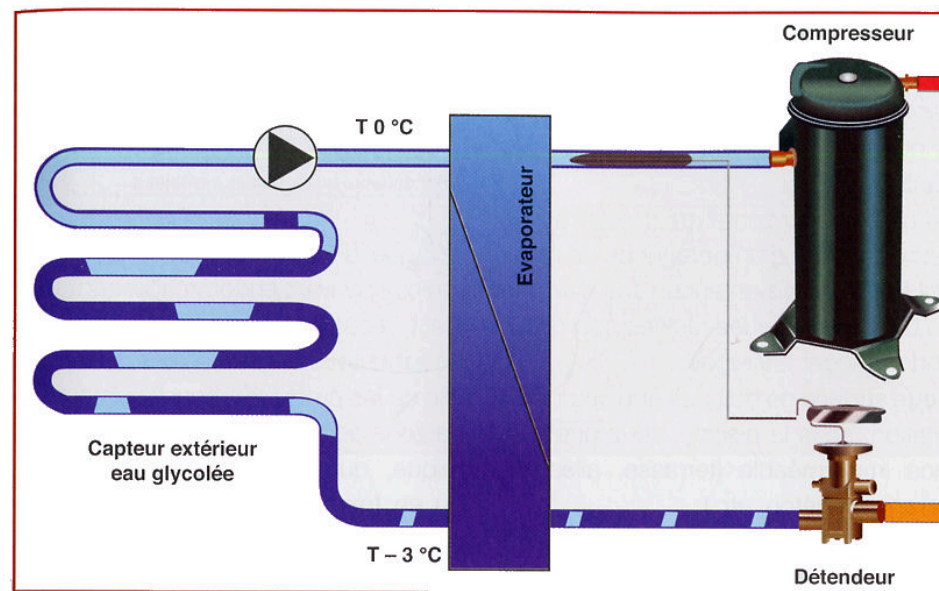
+ Attention!

Lorsqu'un capteur horizontal est sous-dimensionné, il peut provoquer un soulèvement du sol par le gel car il va épuiser et refroidir le sol après quelques hivers d'utilisation.

Les capteurs horizontaux sont plus faciles à installer (surtout dans le neuf) et ont des coûts initiaux plus bas que les capteurs verticaux. L'inconvénient est qu'ils nécessitent une grande surface de terrain.



Capteur géosolaire eau glycolée



Détail côté capteur « système eau glycolée »

LA TEMPÉRATURE DE FONCTIONNEMENT

Ce système est donné pour un régime d'eau glycolée de 0/-3 °C selon la norme NF EN 14511, 0 °C étant la température d'entrée vers la PAC (retour du capteur) et -3 °C la température de sortie de la PAC (vers le capteur).

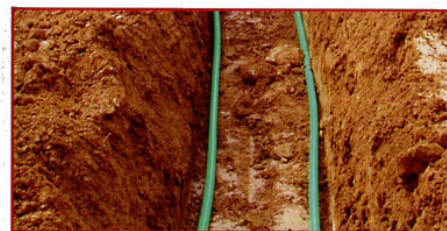
LES TUBES

Les tubes sont généralement d'un diamètre de 20 mm (ils existent également

en 25 mm et 32 mm), et peuvent résister à une pression de 6 bars.

Ils sont généralement enterrés à une profondeur comprise entre 60 cm et 1,50 m (au moins 20 cm sous la couche sujette au gel de la région).

Les tubes du capteur peuvent être placés soit en tranchée, soit en décapage, c'est-à-dire sur toute la surface du terrain, avec un espacement minimal d'environ 0,35 m.



Pose en tranchée



Pose en décapage

LA MISE EN ŒUVRE

Ce système peut être installé sur un terrain en pente, il faut dans ce cas prévoir la purge « regard » au niveau du point haut.

Le capteur horizontal peut être recouvert de gazon, d'un potager ou de massifs floraux, mais en aucun cas d'arbres ou d'arbustes car les racines pourraient endommager les tubes.

Cette surface ne doit pas être sous l'habitation, sous la piscine, sous une surface imperméable (terrasse, allée de garage en béton, etc.).

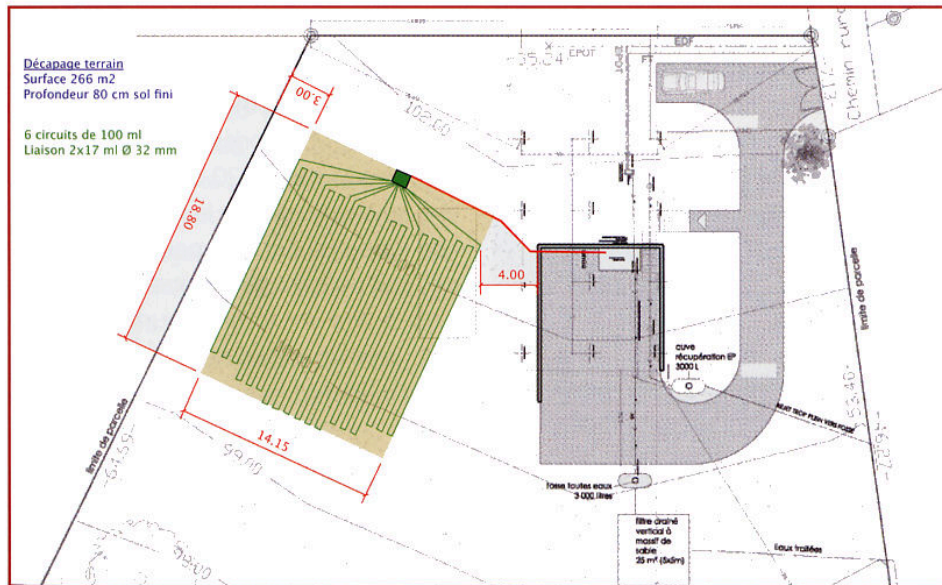
Des distances minimales doivent être respectées entre les capteurs et les autres éléments du site.

Distances minimales à respecter (en mètres linéaires)

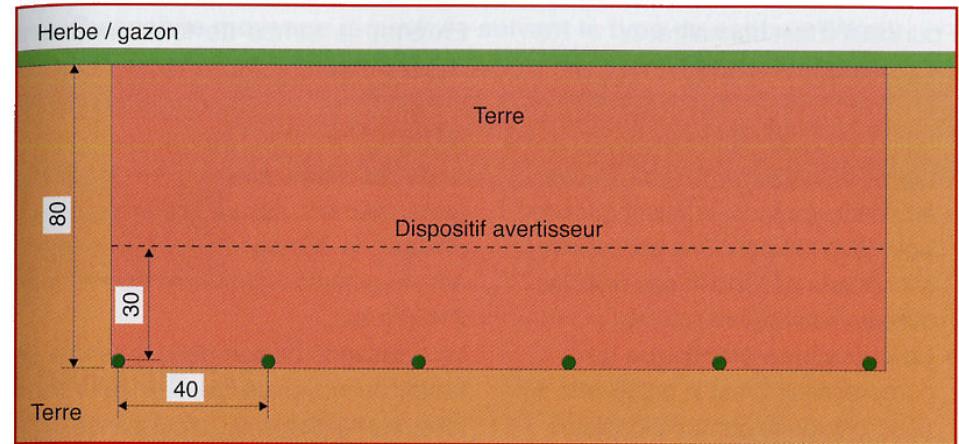
Arbres	5 ml
Réseaux enterrés non hydrauliques	1,5 ml
Fondations, puits, fosses septiques...	3 ml

Lorsque le terrain contient beaucoup de cailloux pouvant endommager les tubes, il est nécessaire de mettre une couche de sable sous et sur les tubes du capteur afin de les protéger mécaniquement.

La zone accueillant le capteur géothermique, qu'il soit posé en décapage ou en tranchée, doit être matérialisée sur un plan de masse à l'échelle (il est conseillé de prendre des photos avant le remblaiement de la terre).



Exemple d'un plan avec le dessin du capteur horizontal



Détail d'une coupe d'un capteur horizontal

⊙ IMPORTANT

- Ne pas utiliser de filet avertisseur métallique!
- Faire un contrôle d'étanchéité des tubes en les mettant sous pression avant le remblaiement de la terre car il est encore possible d'intervenir sur le capteur en cas de fuite.
- Remblayer le capteur avec les tubes sous pression.

LE DIMENSIONNEMENT

Pour connaître la dimension du capteur extérieur qui sera nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur, il faut calculer la **puissance frigorifique** de celle-ci. C'est la puissance qui va être extraite dans le capteur extérieur.

⊙ CALCUL DES PUISSANCES

Calcul de la puissance électrique

La puissance électrique des pompes à chaleur est généralement indiquée dans les documentations commerciales des fabricants (prendre la valeur donnée pour B0/W35 pour une géothermie sur capteur géosolaire eau glycolée avec un plancher chauffant).

$$P \text{ électrique (W)} = P \text{ chaud (W)} / \text{COP}$$

Calcul de la puissance frigorifique

$$P \text{ frigorifique (W)} = P \text{ chaud (W)} - P \text{ électrique (W)}$$

Puissance que l'on peut extraire du sol

Le débit d'extraction spécifique par mètre carré de surface de capteur est donné d'après la norme VDI 4640 partie 2.

En moyenne, il est possible d'obtenir une extraction de chaleur spécifique de **30 W/m² de capteur**, pour 1 800 h de fonctionnement par an (mode chauffage).

Pour cela, il faut connaître :

- **La puissance chaude** de la pompe à chaleur. C'est la puissance restituée par celle-ci. Elle est indiquée sur les documentations commerciales des fabricants (prendre la valeur donnée pour B0/W35 pour une géothermie sur capteur géosolaire eau glycolée avec un plancher chauffant).
- **La puissance électrique** du compresseur. C'est la puissance absorbée de la pompe à chaleur (ce qui va être payé au fournisseur d'électricité).

Débits d'extraction de chaleur spécifiques du sol d'après VDI 4640

Condition du terrain	DÉBIT D'EXTRACTION SPÉCIFIQUE PAR MÈTRE CARRÉ	
	PÉRIODE DE FONCTIONNEMENT 1 800 H/AN	PÉRIODE DE FONCTIONNEMENT 2 400 H/AN
Sols secs non cohésifs	10 W/m ²	8 W/m ²
Sols cohésifs, humides	20 à 30 W/m ²	16 à 24 W/m ²
Sable/gravier saturé en eau	40 W/m ²	32 W/m ²

- **Le débit d'extraction spécifique**, c'est-à-dire la puissance que l'on peut extraire selon la qualité du sol.

Le débit d'extraction spécifique par mètre carré de surface de capteur est donné d'après la norme VDI 4640 partie 2.

Le débit d'extraction exprimé en watts par mètre carré (W/m²) est différent en fonction des heures de fonctionnement de la pompe à chaleur.

En effet, le temps de fonctionnement d'une pompe à chaleur produisant du chauffage et de l'eau chaude sanitaire est d'environ 1800 h/an.

Si le chauffage de l'eau de la piscine est également assuré par la pompe à chaleur, le temps de fonctionnement est augmenté d'environ 600 h (soit 2 400 h/an).

La puissance captée dans le terrain se faisant au moyen de tubes, on peut donc faire une relation entre la puissance captée au mètre carré et la puissance captée par mètre linéaire de tube.

Puissance moyenne récupérée suivant le type de capteur (W/ml)

Configuration	PUISSANCE DE CAPTAGE = P CHAUD - P ABSORBÉE			
	PAR MÈTRE DE TUBE (W/mL)		PAR MÈTRE CARRÉ DE TERRAIN (W/m ²)	
	T° EXTÉRIEURE DE BASE < - 10 °C	T° EXTÉRIEURE DE BASE > - 10 °C	T° EXTÉRIEURE DE BASE < - 10 °C	T° EXTÉRIEURE DE BASE > - 10 °C
Décapage	12	15	30	37
Tranchée à 2 tubes	12	15	30	30
Tranchée à 4 tubes	11	11	37	37

Source : Promotelec, Cahiers pratiques des installations thermodynamiques

ÉTUDE D'UN CAS

Prenons le cas d'une pompe à chaleur qui restitue une puissance calorifique de 11,8 kW, avec un COP de 4,5 ; le capteur horizontal utilise des tubes Ø 20 mm espacés de 35 cm et placés dans une terre argileuse sèche.

Les données :

- P (W) électrique = 11,8 / 4,5 = 2,6 kW ou 2 600 W ;
- P (W) frigorifique = 11,8 - 2,6 = 9,2 kW ou 9 200 W ;
- Puissance d'extraction (W/m²) de l'argile sèche = 25 W/m² ;
- Tube = Ø 20 mm ;
- Espacement = 0,35 m.

◎ CALCUL DU DIMENSIONNEMENT ET DE LA LONGUEUR

Calcul de la dimension du capteur

Surface capteur (m²) = 9 200 W / 25 W/m² = 368 m²

La surface du capteur extérieur nécessaire pour cette PAC sera de 368 m².

Calcul de la longueur de tube avec un pas de 0,35 m

Longueur totale de tubes (ml) = 368 m² / 0,35 = 1 051 ml

Dans cet exemple, nous avons le choix d'installer 10 ou 11 tubes de 100 ml pour coller au plus près du calcul théorique.

Prenons l'option de la pose de 10 tubes de 100 ml

P réelle extraite au ml, soit : 9 200 W / 1 000 ml = 9,2 W/ml

Pose de 10 tubes × 100 ml

La PAC va extraire du terrain 9,2 W/ml de tube.

Calcul de la longueur de tube avec un pas de 0,4 m

Longueur totale de tubes (ml) = 368 m² / 0,4 = 920 ml

P réelle extraite au ml, soit : 9 200 W / 900 ml = 10,22 W/ml

Pose de 9 tubes × 100 ml

La PAC va extraire du terrain 10,22 W/ml de tube.

◎ CALCUL DU DIMENSIONNEMENT ET DE LA LONGUEUR

Calcul de la dimension du capteur

Surface (m²) = P frigorifique (en W) / W extraits du sol au mètre carré (m²)

Calcul de la longueur de tube pour le capteur

Longueur (ml) = surface (m²) / espacement (m)
ou Longueur (ml) = puissance frigorifique (W) / puissance (W/ml)

Nous constatons que l'espacement des tubes a une incidence sur la puissance extraite par mètre linéaire (ml) de tube sur le terrain et sur donc la longévité du capteur géothermique (dans ces deux cas de pose, l'installation est conforme).

LE SOULÈVEMENT PAR LE GEL

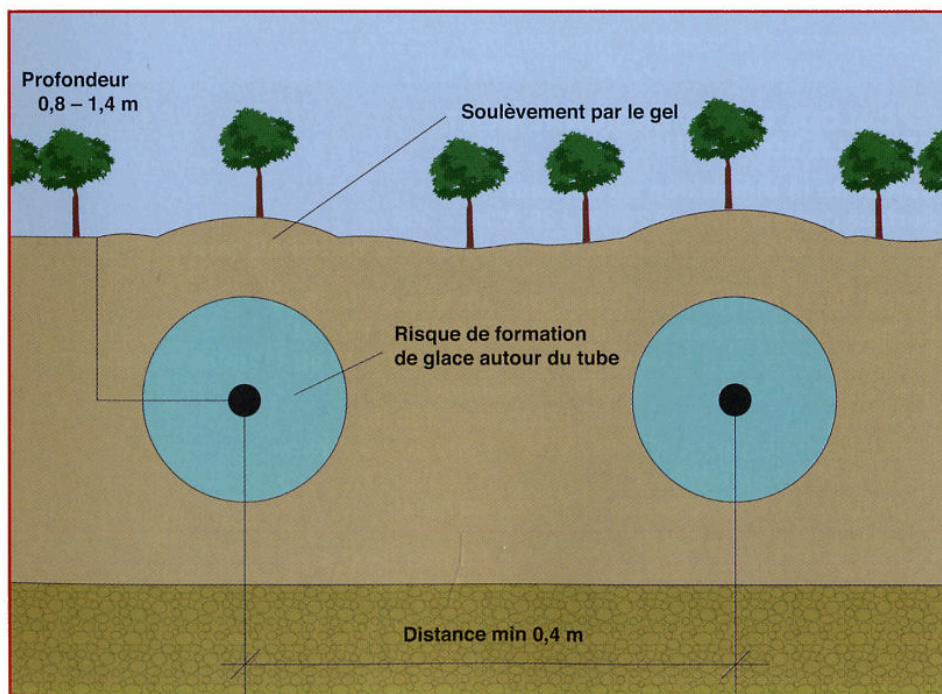
Attention, il ne faut pas sous-dimensionner un capteur.

En effet, les calories qui sont présentes naturellement dans le sol sont apportées de façon continue par le rayonnement solaire, le vent et le ruissellement des eaux de pluie.

+ À retenir

La pompe à chaleur géothermique doit prélever une quantité de calories inférieure à celle qui est apportée par la terre. C'est uniquement en respectant cette règle que le terrain ne s'épuise pas et/ou ne gèle pas.

Dans certains cas, des soulèvements par le gel peuvent survenir, ce qui indique que la puissance d'extraction maximale du sol a été dépassée. Le capteur horizontal a été mal dimensionné (surface insuffisante du capteur, tubes trop près les uns des autres, puissance extraite au mètre linéaire trop importante).



Soulèvement par le gel (gel autour du tube)

Lorsque le sol autour du capteur gèle, le volume du sol augmente.

En effet, un sol saturé d'eau contient normalement 35 à 40 % d'eau. Lorsque l'eau gèle, son volume augmente de 11 %, ce qui provoque une augmentation du volume du sol d'environ 4 % ($0,4 \times 0,11 = 0,04$, soit 4 %). La surface du sol se soulève donc.

Il est donc important de respecter le taux d'extraction maximal (qui dépend de la nature du sol) et les principes d'agencement.

LE SYSTÈME SOL (DÉTENTE DIRECTE)

ASPECTS GÉNÉRAUX

Le capteur horizontal sol (détente directe) est composé de tubes en cuivre recouvert d'une gaine en PE enterrés à une profondeur hors gel dans lesquels circule directement le fluide frigorigère. Ce fluide frigorigère capte ainsi l'énergie stockée dans le sol (l'évaporateur est directement dans le sol). Étant donné la faible profondeur de l'enfouissement des tubes, l'énergie géothermique proprement dite ne revêt qu'un rôle secondaire. On parle alors d'**énergie géosolaire**.

En effet, l'énergie que l'on récupère dans le sol provient à 90 % du rayonnement solaire (stocké durant l'été), du vent et de la pluie par l'infiltration.

La puissance que peut puiser un capteur horizontal dépend de la conductivité thermique du terrain (nature du sol) et peut varier de 10 à 35 W/m².

COMBATTRE LES IDÉES REÇUES...

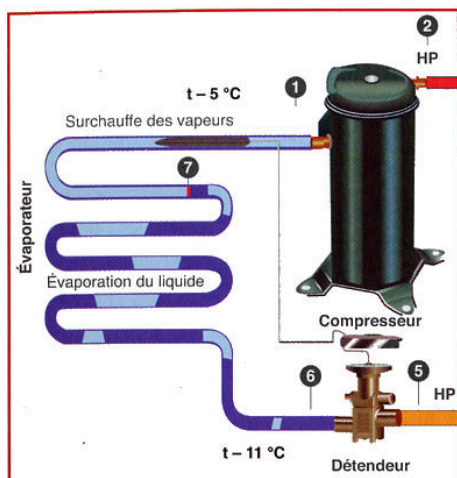
Contrairement à des idées reçues, la zone de captage nécessaire est la même que pour un capteur eau glycolée, c'est-à-dire environ 1,5 à 2 fois la surface habitable à chauffer. Lorsqu'un capteur horizontal est sous-dimensionné, il peut provoquer un soulèvement du sol par le gel car il va épuiser et refroidir le sol après quelques hivers d'utilisation.

Le capteur horizontal à détente directe ne doit être installé que par un professionnel qualifié. Tout comme le capteur horizontal eau glycolée, son inconvénient est qu'il nécessite une grande surface de terrain.

LA TEMPÉRATURE DE FONCTIONNEMENT

Il existe une norme concernant les systèmes eau/eau et eau glycolée/eau (norme EN 14511) qui définit les conditions d'essai et les températures de fonctionnement. Pour les systèmes sol/sol ou sol/eau, il n'existe pas de norme d'essai mais des protocoles admis par la majorité des industriels.

Pour ce système, la température nominale du fluide à l'entrée de l'évaporateur est de -5 °C.



Détail côté capteur système « détente directe »

+ À savoir...

Des problèmes peuvent apparaître sur un terrain en pente, à cause de l'huile qui peut rester piégée aux points bas des couronnes et donc ne plus faire circuler le fluide frigorigène dans la ou les boucles concernées.

LA MISE EN ŒUVRE

La mise en œuvre d'un capteur à détente directe horizontal est identique à celle d'un capteur eau glycolée.

Il peut être recouvert de gazon, d'un potager ou de massifs floraux, mais en aucun cas d'arbres ou d'arbustes car les racines pourraient endommager les tubes.

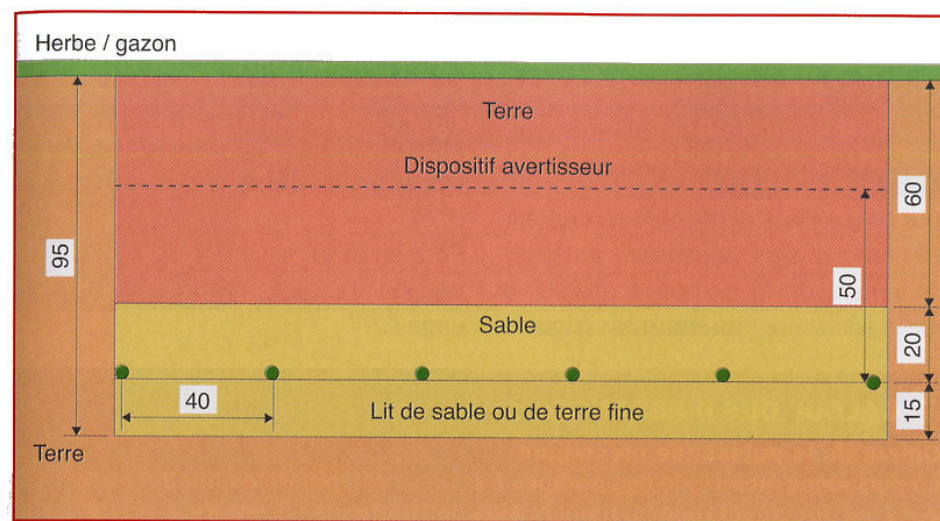
Cette surface ne doit pas être sous l'habitation, sous la piscine, sous une surface imperméable (terrasse, allée de garage en béton, etc.).

Des distances minimales doivent être respectées entre les capteurs et les autres éléments du site.

Distances minimales à respecter

Arbres	5 ml
Réseaux enterrés non hydrauliques	1,5 ml
Fondations, puits, fosses septiques...	3 ml

Le capteur (les tubes) doit être installé sur un lit de sable et recouvert d'environ 10 à 15 cm de sable. Du sable de granulométrie compris entre 0,3 et 1,5 mm est recommandé. Le lit de sable peut être remplacé par de la terre fine.



Détail d'une coupe d'un capteur horizontal

La zone accueillant le capteur géothermique, qu'il soit posé en décapage ou en tranchée, doit être matérialisée sur un plan de masse à l'échelle (il est conseillé de prendre des photos avant le remblaiement de la terre).

Ⓢ IMPORTANT!

- Ne pas utiliser de filet avertisseur métallique!
- Un dispositif avertisseur doit être placé à 50 cm au moins au-dessus de la boucle autour de la zone limitée.
- Si le tuyau de refroidissement passe à travers un mur, il doit être isolé contre la vapeur et l'intervalle entre le percement du mur et le tuyau doit être étanche.

LE TEST D'ÉTANCHÉITÉ (CONTRÔLE DE FUITE)

Une fois que le capteur est installé, l'étanchéité de l'ensemble de la boucle de refroidissement doit être testée en utilisant du nitrogène (azote) à la pression maximale autorisée. Un essai de pression doit également être réalisé.

Ce type de capteur contenant du fluide frigorigène, le contrôle d'étanchéité des tubes doit être effectué avant le remblaiement de la terre par un professionnel possédant une attestation de capacité, conformément au décret 2007-737 du 7 mai 2007.

Le capteur doit être remblayé après vérification de fuites éventuelles.

La boucle du fluide frigorigène ne doit pas comporter de raccords inaccessibles (parties soudées, joints vissés) dans le sol. Si de tels raccords sont inévitables (en cas de réparation), ils doi-

vent être exécutés par un technicien qualifié, testés et isolés avec des matériaux appropriés contre la corrosion.

LE DIMENSIONNEMENT

Pour connaître la dimension du capteur extérieur qui sera nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur, il faut calculer sa **puissance frigorifique**.

C'est la puissance qui va être extraite dans le capteur extérieur.

Pour cela, il faut connaître la **puissance chaud**, la **puissance électrique** et le **débit d'extraction** (voir p. 52).

Pour en savoir plus sur les débits d'extraction du sol, reportez-vous à la page 52.

⊙ CALCUL DES PUISSANCES

Calcul de la puissance électrique

La puissance électrique des pompes à chaleur est généralement indiquée dans les documentations commerciales des fabricants. Prendre la valeur donnée pour $-5\text{ °C}/35$ (-5 °C étant la température d'évaporation et 35 °C la température de départ chauffage) pour une géothermie sur capteur horizontal à détente directe avec un plancher chauffant gaz (sol/sol).

$P \text{ électrique (W)} = P \text{ chaud (W)} / \text{COP}$

Calcul de la puissance frigorifique

$P \text{ frigorifique (W)} = P \text{ chaud (W)} - P \text{ électrique (W)}$

Puissance que l'on peut extraire du sol

L'agencement du système de capteurs à détente directe est similaire à l'agencement des capteurs horizontaux à eau glycolée. Pour les deux systèmes, dimensionner la source de chaleur signifie trouver un équilibre entre la capacité d'extraction du sol et la puissance frigorifique de la pompe à chaleur.

Débits d'extraction de chaleur spécifiques du sol d'après VDI 4640

Conditions du terrain	DÉBIT D'EXTRACTION SPÉCIFIQUE PAR MÈTRE CARRÉ	
	PÉRIODE DE FONCTIONNEMENT 1 800 H/AN	PÉRIODE DE FONCTIONNEMENT 2 400 H/AN
Sols secs non cohésifs	10 W/m ²	8 W/m ²
Sols cohésifs, humides	20 à 30 W/m ²	16 à 24 W/m ²
Sable/gravier saturé en eau	40 W/m ²	32 W/m ²

Puissance moyenne récupérée suivant les types de capteur (W/m)

Configuration	PUISSANCE DE CAPTAGE = P CHAUD - P ABSORBÉE			
	PAR MÈTRE DE TUBE (W/ML)		PAR MÈTRE CARRÉ DE TERRAIN (W/M²)	
	T° EXTÉRIEURE DE BASE < - 10 °C	T° EXTÉRIEURE DE BASE > - 10 °C	T° EXTÉRIEURE DE BASE < - 10 °C	T° EXTÉRIEURE DE BASE > - 10 °C
Décapage	12	15	30	37
Tranchée à 2 tubes	12	15	30	30
Tranchée à 4 tubes	11	11	37	37

Source: Promotelec Cahiers pratiques des installations thermodynamiques

⊙ CALCUL DE LA DIMENSION DU CAPTEUR

Surface (m²) = P frigorifique

(en W) / W extraits du sol au m²

Le calcul est le même que pour un capteur horizontal eau glycolée.

La distance entre les tubes est équivalente à celle pour un capteur horizontal à eau glycolée.

trouve que plus on descend et moins il y a d'humidité relative dans le sol, d'où l'écart de puissance extraite entre une solution avec une couche (2 tubes) et deux couches (4 tubes).

L'ÉVOLUTION D'UNE INSTALLATION GAZ/GAZ

Il est conseillé de raccorder un plancher chauffant à eau sur les installations avec un capteur contenant du fluide frigorigène (système sol/eau).

En effet, les systèmes sol/sol, c'est-à-dire dont le plancher chauffant contient également du fluide frigorigène, ne permettent pas de faire évoluer l'installation.

Les tubes en cuivre de ces planchers chauffants ont un diamètre plus petit que le plancher chauffant à eau chaude (tubes en polyéthylène); on ne pourra donc jamais faire circuler de l'eau à l'intérieur (cela imposerait des circulateurs très puissants pour contrer les pertes de charge du tube).

LA POSE

UNE OU DEUX COUCHES ?

Que ce soit pour un capteur horizontal à eau glycolée ou à détente directe, lorsque la pose du capteur se fait en deux couches, la puissance extraite du sol n'est pas multipliée par deux!

En effet, étant donné que le capteur puise l'énergie dans la chaleur contenue dans le sol mais aussi et surtout par l'infiltration de l'eau de pluie, il se

+ Fluide frigorigène vs eau chaude...

Cette technologie impose de rester à vie avec un système gaz/gaz. Il ne sera par possible de faire évoluer le mode de chauffage du logement vers une autre énergie (solaire, géothermie eau, chaudière bois, etc.) alors qu'un plancher chauffant à eau peut fonctionner avec toutes les énergies.

+ Condition *sine qua none...*

La pompe à chaleur géothermique doit prélever une quantité de calories inférieure à celle qui est apportée par la terre. C'est uniquement en respectant cette règle que le terrain ne s'épuise pas et/ou ne gèle pas.

De plus, avec les systèmes sol/sol, il n'est pas possible de faire une régulation pièce par pièce dans la maison, car il n'y a généralement qu'une, voire deux boucles. On ne peut donc réguler qu'une ou deux zones de chauffage (partie jour, partie nuit).

LE SOULÈVEMENT PAR LE GEL

Attention, il ne faut pas sous-dimensionner un capteur. En effet, les calories qui sont présentes naturellement dans le sol sont apportées de façon continue par le rayonnement solaire, le vent et le ruissellement des eaux de pluie.

Dans certains cas, des soulèvements par le gel peuvent survenir (voir figure p. 54), cela indique que la puissance d'extraction maximale du sol a été dépassée. Le capteur horizontal a été mal dimensionné (surface insuffisante du capteur, tubes trop près les uns des autres, puissance extraite au mètre linéaire trop importante). Lorsque le sol autour du capteur gèle, le volume du sol augmente. En effet, un sol saturé d'eau contient normalement 35 à 40 % d'eau. Lorsque l'eau gèle, son volume augmente de 11 %. Ce qui provoque une augmentation du volume du sol d'environ 4 % ($0,4 \times 0,11 = 0,04$, soit 4 %), et son soulèvement. Il est donc important de respecter le taux d'extraction maximal (qui dépend de la nature du sol) et les principes d'agencement.

CHAPITRE 8

CAPTEUR VERTICAL (FORAGE SUR SONDE GÉOTHERMIQUE)

Le capteur vertical (forage sur sonde géothermique) est composé de tubes en polyéthylène haute densité (PEHD) placés à l'intérieur d'un forage de grande profondeur (environ 50 à 100 m) et dans lesquels circule de l'eau glycolée (eau + antigel) en circuit fermé. Ce fluide caloporteur capte ainsi l'énergie stockée dans le sol.

Contrairement au capteur horizontal (eau glycolée ou détente directe), ce système est vraiment lié à l'énergie géothermique à proprement dite.

En effet, l'énergie que l'on récupère dans le sol provient à 100 % de la chaleur contenue dans le sol autour de la sonde géothermique.

À 10 m de profondeur, la température du sol est pratiquement constante toute l'année et avoisine les 10 à 13 °C. En descendant en profondeur, la température s'élève de 2 à 3 °C tous les 100 m. La puissance que peut puiser une sonde

géothermique dépend de la conductivité thermique du terrain (nature du sol) et peut varier de 30 à plus 70 W par mètre linéaire de sonde.

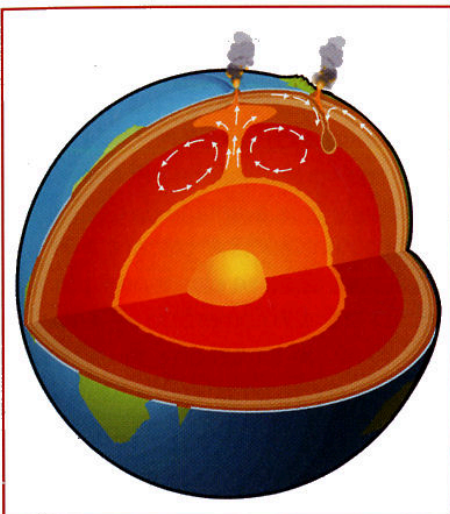
Le forage vertical (sonde géothermique) possède le gros avantage de ne prendre pratiquement aucune place sur le terrain. Il peut donc se placer presque partout, à partir du moment où il y a environ 10 à 15 m² de terrain afin de mettre en place la foreuse pour réaliser l'ouvrage.



Forage sur sonde géothermique en rénovation

LA TEMPÉRATURE DU SOUS-SOL

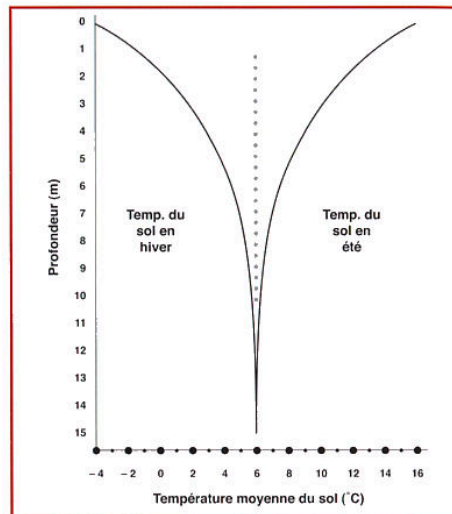
Le globe terrestre est composé de quatre enveloppes : au milieu, le noyau solide avec un rayon de 6 370 km et



Coupe schématique de la Terre

une température estimée à 4 200 °C, ensuite le noyau liquide avec un rayon de 5 200 km (température 3 500 °C), puis le manteau avec un rayon de 2 900 km (température 3 000 °C), enfin la croûte terrestre, qui est l'enveloppe superficielle de la Terre (30-60 km).

Au niveau de la croûte terrestre, la température s'accroît d'environ 3 °C tous les 100 m. L'exploitation de l'énergie géothermale passe par l'utilisation de cette chaleur.

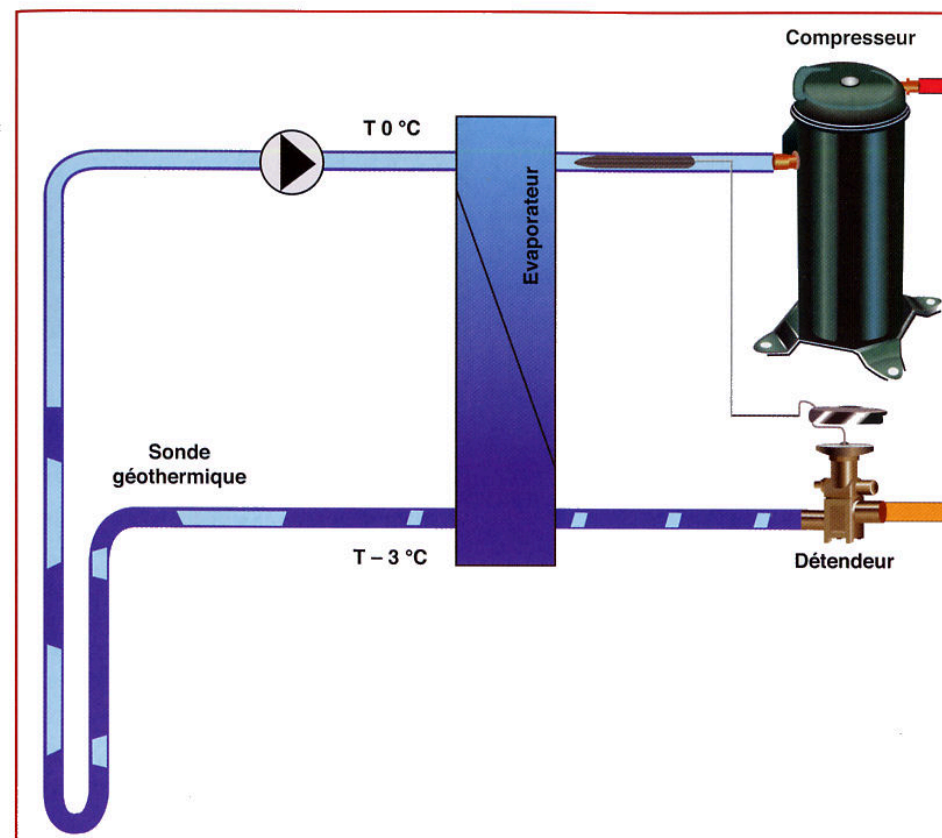


Température en fonction de la profondeur

LA TEMPÉRATURE DE FONCTIONNEMENT

Ce système est donné pour un régime d'eau glycolée de 0/-3 °C selon la norme NF EN 14511, 0 °C étant la température d'entrée vers la PAC (retour du forage), -3 °C étant la température de sortie de la PAC vers le forage.

Même si la norme NF EN 14511 fixe un régime de fonctionnement de la sonde géothermique entre 0/-3 °C, il n'est pas rare de voir fonctionner ce système à des températures se situant entre 5 et 8 °C, voire plus dans certaines conditions (sonde géothermique se trouvant en partie dans une zone d'aquifère).



Détail côté sonde géothermique « système eau glycolée »

LE MARCHÉ

Actuellement, en France, ce sont les configurations avec capteurs horizontaux qui sont les plus répandues. Ces systèmes sont les moins coûteux mais nécessitent une surface de terrain importante. Les sondes géothermiques verticales sont beaucoup plus développées à l'étranger (Allemagne, Autriche, Suède,

etc.). Ces dernières années, elles commencent à se développer également en France. Ce système nécessite un investissement plus important mais il est plus performant.

Leur emprise au sol est nettement moins importante. Elles peuvent donc convenir pour chauffer des maisons individuelles, mais aussi des ensembles de logements, des bureaux, des hôpitaux, des écoles, etc.

LA SONDE GÉOTHERMIQUE

La sonde géothermique est généralement constituée de deux tubes en U (4 tubes : 2 allers et 2 retours) d'un diamètre de 32 mm en polyéthylène haute densité (PEHD). Il existe aussi des sondes géothermiques de 25 et de 40 mm.

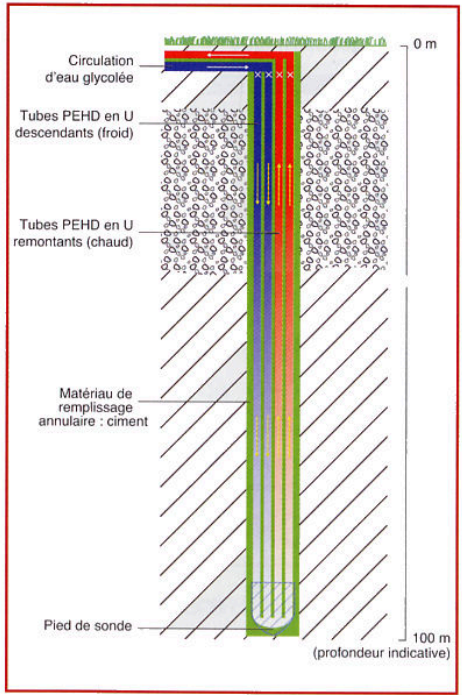
La présence d'un bac de décantation dans le pied de sonde permet d'assurer une circulation du fluide caloporteur (eau glycolée).



Pied de sonde à double U en 32 mm (sonde HakaGerodur)



Préparation des sondes géothermiques



Coupe schématique de sonde géothermique

LA MISE EN ŒUVRE

L'avantage de ce système est qu'il peut être placé quasiment partout sur le terrain. Dans le neuf, une sonde géothermique peut même être placée sous l'habitation, sous la piscine, sous une surface imperméable (terrasse, allée de garage en béton, etc.). Pour cela, il faut évidemment que le forage se fasse avant la construction de maison.

Des distances minimales doivent être respectées entre la ou les sondes géothermiques et les autres éléments du site.

Distances minimales à respecter

Arbres	5 m
Réseaux enterrés non hydrauliques	1,5 m
Fondations, puits, fosses septiques...	3 m

Il existe différentes méthodes de forage selon la qualité du terrain :

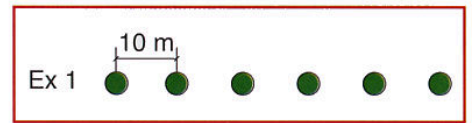
- la méthode rotary (forage à la boue), recommandée pour les terrains peu consolidés ;
- la méthode marteau fond de trou, pour les terrains durs ;
- la méthode marteau fond de trou tubé à l'avancement, pour les terrains non cohérents.

La réalisation d'un ouvrage de captage d'eau dans le forage d'une sonde géothermique verticale est strictement interdite, par incompatibilité avec les exigences de la norme NF X10-970.

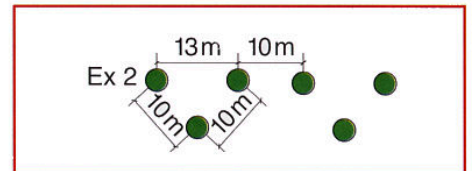
LE POSITIONNEMENT DES SONDES

Lorsqu'il y a plusieurs sondes géothermiques, il faut respecter une distance

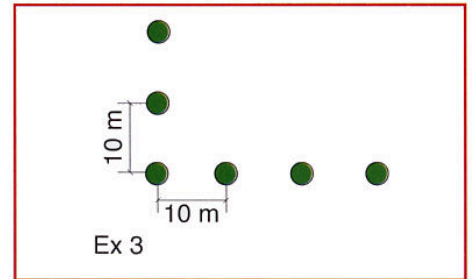
minimale entre elles d'environ 10 m. Pour les habitations avec une surface à chauffer importante, qui nécessitent l'installation de plus de quatre sondes géothermiques, la position des sondes les unes par rapport aux autres est importante : il s'agit de ne pas trop refroidir le terrain.



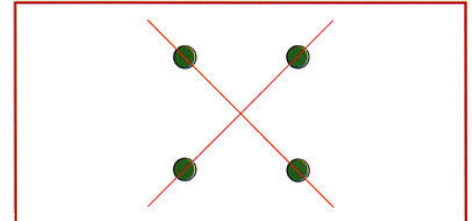
Exemple 1 : positionnement en ligne



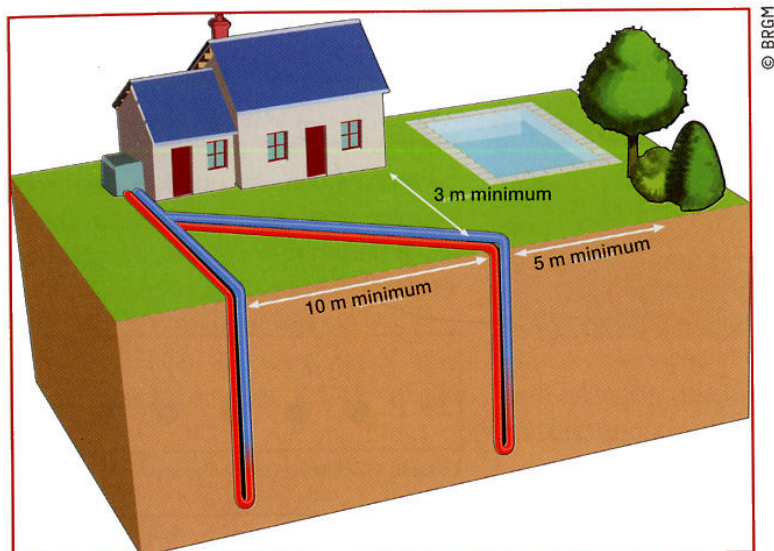
Exemple 2 : positionnement en quinconce (permet de gagner un peu sur l'emprise au sol)



Exemple 3 : positionnement en équerre (permet notamment de contourner un logement)



Positionnement à éviter



Distances recommandées pour des forages géothermiques

LE RÔLE DES INTERVENANTS

En règle générale il y a deux intervenants : l'installateur chauffagiste et le foreur.

L'installateur chauffagiste, après avoir défini les besoins thermiques et la puissance nominale de la pompe à chaleur, fournit au foreur la puissance frigorifique en kilowatt (puissance à soutirer dans le terrain).

L'entreprise de forage dimensionne les sondes à partir de la puissance frigorifique communiquée par l'installateur chauffagiste. Elle réalise le ou les forages, fournit et insère la ou les sondes géothermiques dans les forages et procède à la cimentation sur la totalité de la hauteur des forages. Elle réalise les essais de mise en pression des sondes géothermiques, et édite un rapport de forage et un protocole de réception.

LE RACCORDEMENT DES SONDES

Après leur installation dans le ou les forages, les sondes géothermiques sont généralement raccordées sur un collecteur placé non loin de celles-ci afin de repartir avec deux tubes généraux vers la pompe à chaleur.

La partie horizontale de la sonde (qui va du forage au regard) est placée dans une tranchée située à 20 cm en dessous du point de gelée. Un filet avertisseur est placé à environ 30 à 40 cm au-dessus des tubes de sonde géothermique.

La zone où se trouvent la ou les sondes géothermiques doit être matérialisée sur un plan de masse à l'échelle (il est conseillé de prendre des photos avant le remblaiement de la terre).



Raccordement des sondes vers un regard : travaux de mise en place...



... et résultat final. Le regard permet de raccorder les sondes pour les connecter sur un collecteur.

Le raccordement des sondes peut être effectué soit par l'entreprise de forage, soit par l'installateur chauffagiste.

LE TEST D'ÉTANCHÉITÉ

Un test d'étanchéité doit être obligatoirement réalisé par le foreur avant et après la descente de la sonde géothermique ainsi qu'après le colmatage, afin de s'assurer que la sonde géothermique n'a subi aucun dommage pendant l'exécution des travaux.

Ce test est effectué à la pression admissible par la sonde géothermique. En général, pour une profondeur de 100 m, le test s'effectue à une pression de 6 bars à la surface, sachant que la pression de service ou d'utilisation des sondes géothermiques ne dépasse pas 2 bars.

Quelques fabricants utilisent le système de « vase ouvert ». Dans ce cas, les sondes géothermiques ne sont pas dans un circuit sous-pression.

LE COLMATAGE DU FORAGE

Le colmatage du forage, une fois la sonde installée, est un point essentiel concernant la réalisation d'une sonde géothermique.

Le remplissage des forages a pour but :

- d'éviter les trous d'air (isolant thermique) ;
- de permettre la circulation d'eau (amélioration recharge thermique) ;
- d'optimiser les échanges thermiques entre le terrain et la sonde géothermique ;
- d'isoler les aquifères traversés ;
- de fournir une protection contre les infiltrations de surface ;

Le rebouchage de l'ouvrage doit se faire en totalité avec une cimentation. Cette cimentation ne doit avoir aucune incidence sur l'environnement du forage (nappe phréatique, etc.).

Par ailleurs, elle doit être réalisée de bas en haut (depuis la base du forage

jusqu'à environ 1 ml de la surface, afin de faciliter la réalisation de la tranchée et le raccordement de la sonde géothermique) en utilisant un tube « perdu » pour garantir une cimentation complète.

Le gravillonnage est proscrit dans tous les cas de figure, même en présence de nappe phréatique ou d'eau souterraine. La cimentation ne sera alors pas imposée sur toute la hauteur du forage, en cas de pertes totales; mais, dans la mesure du possible, elle est vivement recommandée.

Si le foreur est confronté à une perte totale sur toute la hauteur, il confirme cette perte en la mentionnant dans le rapport de chantier: il indique la profondeur sur la coupe géologique et la quantité de ciment injecté en perte totale.

Les coulis de remplissage (cimentation) doivent être adaptés aux sondes géothermiques et doivent garantir conductivité thermique, étanchéité et résistance mécanique. Ils doivent être conformes à la norme NF X 10-950.

LE DIMENSIONNEMENT D'UNE SONDE GÉOTHERMIQUE

De même manière que pour le captage horizontal, pour connaître la dimension du capteur vertical (longueur des sondes géothermiques) qui sera nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur, il faut calculer la **puissance frigorifique** de la pompe à chaleur.

Pour cela, il faut connaître:

- la **puissance chaude** ;
- la **puissance électrique** ;
- le **débit d'extraction**.

En moyenne, il est possible d'obtenir une extraction de chaleur spécifique de **50 W/ml** de sonde géothermique, pour 1 800 h de fonctionnement par an (mode chauffage). Le dimensionnement des sondes géothermiques dépend des conditions géologiques et hydrogéologiques. Il doit être réalisé soit par un foreur qualifié qui connaît bien la région dans laquelle sont réalisés les forages, soit par une entreprise de chauffage spécialisée dans ce type d'ouvrage et qui travaille en partenariat avec un foreur agréé.

© CALCUL DES PUISSANCES

Calcul de la puissance électrique

La puissance électrique des pompes à chaleur est généralement indiquée dans les documentations commerciales des fabricants (prendre la valeur donnée pour B0/W35 pour une géothermie sur forage eau glycolée avec un plancher chauffant).

$$P \text{ électrique (W)} = P \text{ chaud (W)} / \text{COP}$$

Calcul de la puissance frigorifique

$$P \text{ frigorifique (W)} = P \text{ chaud (W)} - P \text{ électrique (W)}$$

Puissance que l'on peut extraire du sol

Le débit d'extraction spécifique par ml de sonde est donné d'après la norme VDI 4640 partie 2.

Potentiel en fonction du type de sol

TYPE DE SOL	POTENTIEL DE PRÉLÈVEMENT THERMIQUE SPÉCIFIQUE	
	PÉRIODE DE FONCTIONNEMENT 1 800 H/AN	PÉRIODE DE FONCTIONNEMENT 2 400 H/AN
Valeurs générales recommandées		
Sous-sol pauvre (sédiment sec et $\lambda < 1,5 \text{ W/(m K)}$)	25 W/m	20 W/m
Sous-sol normal et sédiment saturé d'eau $1,5 < \lambda < 3 \text{ W/(m K)}$	60 W/m	50 W/m
Roche consolidée avec une conductivité thermique élevée $\lambda > 3 \text{ W/(m K)}$	84 W/m	70 W/m
Types de sols individuels		
Gravier ou sable sec	< 25 W/m	< 20 W/m
Gravier ou sable saturé d'eau	65 à 80 W/m	55 à 65 W/m
Gravier ou sable et fort écoulement d'eau souterraine	80 à 100 W/m	80 à 100 W/m
Argile humide	35 à 50 W/m	30 à 40 W/m
Calcaire massif	55 à 70 W/m	45 à 60 W/m
Grès	65 à 80 W/m	55 à 65 W/m
Magmatite siliceuse (par exemple, granit)	65 à 85 W/m	55 à 70 W/m
Magmatite basique (par exemple, basalte)	40 à 65 W/m	35 à 55 W/m
Diorite	70 à 85 W/m	60 à 70 W/m
Ces valeurs sont valables pour les pompes à chaleur d'une puissance calorifique maximale de 30 kW. Les valeurs proviennent de VDI 4640, partie 2.		

Pour plus d'information sur le débit d'extraction, reportez-vous aux pages 52 et suivantes.

+ Calcul de la profondeur d'un forage

Profondeur (ml) = P frigorifique (en W) / W extraits du sol au mètre linéaire.

ÉTUDE D'UN CAS

Prenons le cas d'une pompe à chaleur qui restitue une puissance calorifique de 11,8 kW, avec un COP de 4,5 et un système par forage vertical.

Les données:

- P (W) électrique = $11,8 / 4,5$
= 2,6 kW (soit 2 600 W);
- P (W) frigorifique = $11,8 - 2,6$
= 9,2 kW (soit 9 200 W);
- Puissance d'extraction (W/m²)
= 50 W/ml;
- Sonde géothermique = Ø 32 mm en double U.

© CALCULS DU FORAGE ET DES SONDES

Calcul de la profondeur totale du forage

Profondeur (ml) = $9\,200\text{ W} / 50\text{ W/ml}$
= 184 ml de sonde

Calcul de la longueur des sondes géothermiques

La réglementation ne permettant pas de dépasser une profondeur de 100 ml de forage sans autorisation, il faut réaliser 2 forages : Longueur sonde (ml) = $184\text{ ml} / 2 = 92\text{ ml}$
Pour cette pompe à chaleur, il faudra réaliser 2 sondes géothermiques de 92 ml chacune.

LES ASPECTS ADMINISTRATIFS

La réglementation concernant la réalisation d'un forage vertical est encadrée par différents codes, notamment le Code minier, le code de l'environnement (loi sur l'eau) et le code civil.

+ À savoir

Le maître d'ouvrage doit engager les démarches administratives (déclaration ou demande d'autorisation) avant la réalisation du/des forages.

Le Code minier implique la déclaration de tout forage supérieur à 10 m de profondeur. Une autorisation (donc enquête publique avec établissement

d'un document d'incidence) est obligatoire pour tout ouvrage **supérieur à 100 m de profondeur**.

Les DIRE (Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement) gèrent le Code minier : www.drire.gouv.fr.

Le Code de l'environnement (loi sur l'eau) s'applique en cas de prélèvement d'eau (donc pas dans le cas des sondes géothermiques). Les professionnels (foreurs, bureaux d'études sous-sol, installateurs qualifiés) connaissent bien ces démarches. Les foreurs et les installateurs de géothermie par forage vertical calculent dans la majorité des cas des sondes géothermiques inférieures à 100 ml. Cela permet d'avoir juste une déclaration de l'ouvrage à faire et non de demander une autorisation qui serait très difficile à obtenir pour un particulier.

Il ne serait de toute façon pas forcément pertinent de réaliser des sondes géothermiques trop profondes (> 100/120 ml). Une sonde plus profonde pourrait créer des pertes de charge trop importantes, impliquant l'installation d'un circulateur côté captage plus puissant qui diminuerait le rendement (COP) de la pompe à chaleur.

+ À savoir

Plus les pertes de charge d'une installation hydraulique sont faibles, moins les éléments annexes (circulateur, pompe à eau) consomment d'énergie. Le rendement global est donc plus élevé.

LES NORMES

LES DEUX NORMES DE RÉFÉRENCE

Les forages pour la géothermie doivent être réalisés en conformité avec les normes :

- **NF X10-970** « Forage d'eau et de géothermie – Sonde géothermique verticale (échangeur géothermique vertical en U avec liquide caloporteur en circuit fermé) – Réalisation, mise en œuvre, entretien, abandon » ;
- **NF X10-999** « Forage d'eau et de géothermie – Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages » ;
- **FD X10-980** « Forage d'eau et de géothermie – Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages – Démarches administratives ».

QUALIFICATION DE L'ENTREPRISE DE FORAGE

Afin de garantir la bonne qualité et la longévité des sondes géothermiques, et pour protéger les nappes phréatiques, de nombreux pays ont mis au point des réglementations.

Toutes ces règles ne s'appliquent pas seulement au forage, mais précisent également les exigences concernant le matériel et la formation des foreurs.

L'Ademe et le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières) ont mis en place une démarche d'engagement qualité pour les foreurs de sondes géothermiques en France, visant ainsi à encadrer le marché.

Ainsi, le BRGM gère la charte « qualité foreurs » et donc la liste des professionnels agréés, possédant formation et assurances nécessaires (responsabilités civile et décennale).

+ Trouver un foreur

La liste des foreurs agréés est disponible sur le site Internet de l'Ademe/BRGM : www.geothermie-perspectives.fr.



LE FORAGE OBLIQUE

LA TECHNIQUE

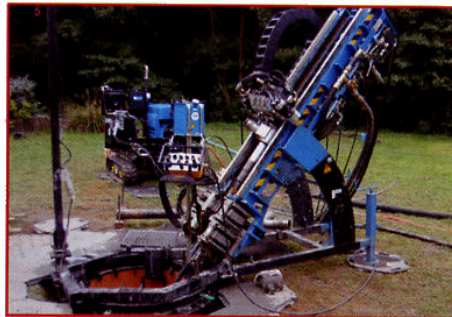
Il existe une autre solution de forage, identique en technique au forage vertical : le forage oblique.

Les sondes géothermiques pour ces forages contiennent de l'eau glycolée (antigel de type alimentaire) identique à celle utilisée dans les systèmes des sondes géothermiques verticales. La seule différence est que ce système utilise des sondes « coaxiales » à la place des sondes en U. Le forage est donc « dirigé ».

À ce jour, cette solution est peu répandue en France, mais elle devrait se développer dans les années à venir.

Elle est déjà utilisée en Allemagne et en Autriche (encore eux!).

Ce système possède entre autres l'avantage de forer à partir d'un même point (sur le regard) en réalisant les forages de manière oblique (30°/45° ou 60°), ceci en tournant et en inclinant la foreuse. On peut réaliser jusqu'à neuf sondes de 40 ml, soit 360 ml de sonde géothermique.



Atelier du forage avec le regard (système GRD Tracto-Technik)

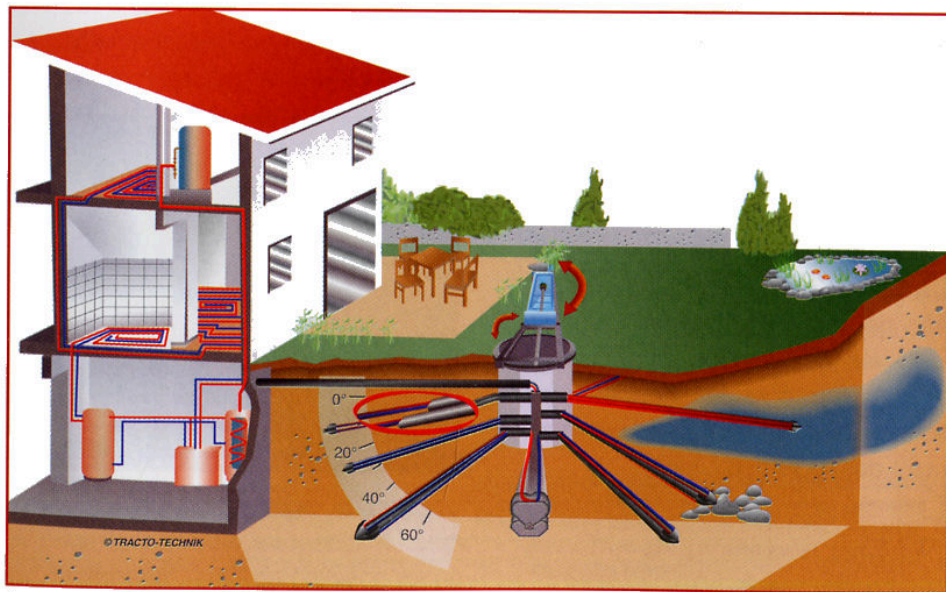


Schéma forages obliques – système GRD

© Tracto-Technik

PUISSANCE D'EXTRACTION

Généralement, la profondeur (ou longueur) de forage ne dépasse pas 40 ml, afin d'en réduire au maximum les coûts tout en gardant une puissance d'extraction thermique identique à un forage vertical par mètre linéaire sonde géothermique.

En moyenne, avec une sonde géothermique oblique, il est possible d'obtenir une extraction de chaleur spécifique de **50 W/ml**.



Foreuse oblique

Ce système a aussi l'avantage d'être très compact, ce qui permet de forer dans des endroits où une foreuse classique ne pourrait pas accéder.

LA SONDE GÉOTHERMIQUE GAZ (DÉTENTE DIRECTE)

Depuis peu est apparue une technique qui fait appel à des sondes géothermiques à détente directe en cuivre gainé

de polyéthylène dans lesquelles circule du fluide frigorigène.

La profondeur de ces forages ne peut excéder 30 ml car ce système est techniquement limité. En effet, comme dans la détente directe, les sondes géothermiques servent directement d'évaporateur, donc le fluide frigorigène et surtout l'huile circulent à l'intérieur. La faible profondeur des forages est liée à la nécessité que le compresseur assure l'aspiration de l'huile.

+ Aller plus loin...

Dans ce système, la PAC est enterrée à l'extérieur et intègre parfois le circuit de chauffage. Dans ce cas, il faut veiller à bien isoler les tubes de chauffage qui passent dans la terre sous peine d'enregistrer d'importantes pertes de calories.

🎯 IMPORTANT

Les sondes géothermiques à détente directe doivent être dimensionnées de la même manière que les sondes géothermiques eau glycolée (voir le tableau de débit d'extraction spécifique selon la norme VDI 4640, p. 69) sous peine d'épuiser et de refroidir le terrain après quelques hivers. Si une sonde géothermique est sous-dimensionnée, de la glace peut se former autour.

La pompe à chaleur étant enterrée dans le sol, il faut porter une attention particulière lors de la mise en œuvre (pour l'évacuation de l'eau, etc.). En termes d'entretien, on peut comprendre aisément que le fait que ces PAC soient à l'extérieur, et enterrées, ne facilite pas l'entretien ou le service après vente.

Ce système contenant une quantité importante de fluide frigorigène (plus de 2 kg), un contrôle d'étanchéité devra être effectué lors de la mise en service. Un entretien annuel est obligatoire afin d'effectuer un test d'étanchéité du circuit frigorifique. Il doit être réalisé par un professionnel possédant une attestation de capacité pour la manipulation des fluides frigorigènes.

Il n'existe pas à ce jour de norme ou d'avis technique pour réglementer cette technique.

+ Extrait de décret 2007-737 du 7 mai 2007

«Le détenteur d'un équipement dont la charge en fluide frigorigène est supérieure à 2 kg fait en outre procéder, lors de sa mise en service, à un contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement du fluide frigorigène par un opérateur remplissant les conditions prévues au titre IV du présent décret. Ce contrôle est ensuite périodiquement renouvelé.»

CHAPITRE 9

LE CAPTAGE SUR NAPPE PHRÉATIQUE

LES ASPECTS GÉNÉRAUX

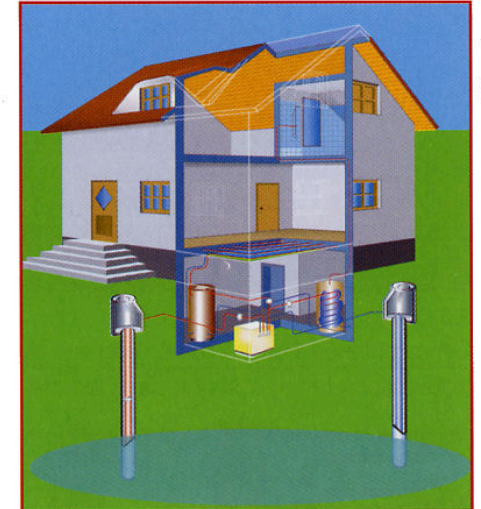
Le système de captage sur nappe phréatique consiste à récupérer l'énergie (les calories) contenue dans l'eau (forage artésien).

L'eau est puisée dans un premier forage (puits) à l'aide d'une pompe immergée. Ensuite, l'eau, refroidie d'environ 3 à 5 °C, est rejetée dans un second forage artésien.

À la différence d'un capteur horizontal ou d'une sonde géothermique verticale, ce système met à profit la nappe phréatique.

Comme le système par sonde géothermique, le captage par nappe

phréatique utilise une énergie stable quelles que soient les conditions climatiques extérieures. En effet, à partir d'une profondeur de 10 m, la température de l'eau des nappes phréatiques ne varie que très légèrement (10 °C en moyenne).



Exemple de captage sur nappe phréatique

Contraintes par rapport aux autres capteurs :

- Ce type de captage nécessite la présence d'une nappe de surface avec un débit suffisant et stable dans le temps. Si le débit n'est pas suffisant, la PAC ne peut pas fonctionner.
- Un entretien régulier est à prévoir pour nettoyer l'échangeur primaire des impuretés amenées par l'eau.
- Une analyse de la qualité de l'eau doit être réalisée préalablement par un laboratoire afin de déterminer le type d'échangeur à utiliser.

LA CONSTITUTION D'UNE NAPPE PHRÉATIQUE

La pluie ne fait pas que tomber. Une partie de cette eau glisse sur la surface du sol pour former des ruisseaux ou des lacs, une autre est utilisée par la flore, une autre encore s'évapore et retourne dans l'atmosphère, et le reste est absorbé par le sol.

Imaginez que vous versez le contenu d'un verre d'eau sur un tas de sable. Où va l'eau ? Elle va occuper l'espace entre les grains de sable.

On appelle eau souterraine l'eau qui se trouve sous terre ainsi que dans les cra-

quelures et les interstices de la terre, du sable et des roches. L'eau souterraine s'accumule (et se déplace lentement) dans les couches de terre, de sable et de roches que l'on nomme aquifères.

Les aquifères sont généralement constitués de gravier, de sable, de grès ou de roches fissurées comme le calcaire. Ces matières sont perméables car leur structure présente un certain nombre d'interstices à travers lesquels l'eau peut s'infiltrer.

La vitesse à laquelle l'eau souterraine s'y infiltre dépend de la taille des espaces présents dans le sol ou dans la roche et de la qualité des liaisons qui existent entre ces espaces.

La zone de l'aquifère dans laquelle l'eau s'accumule est appelée zone saturée ou

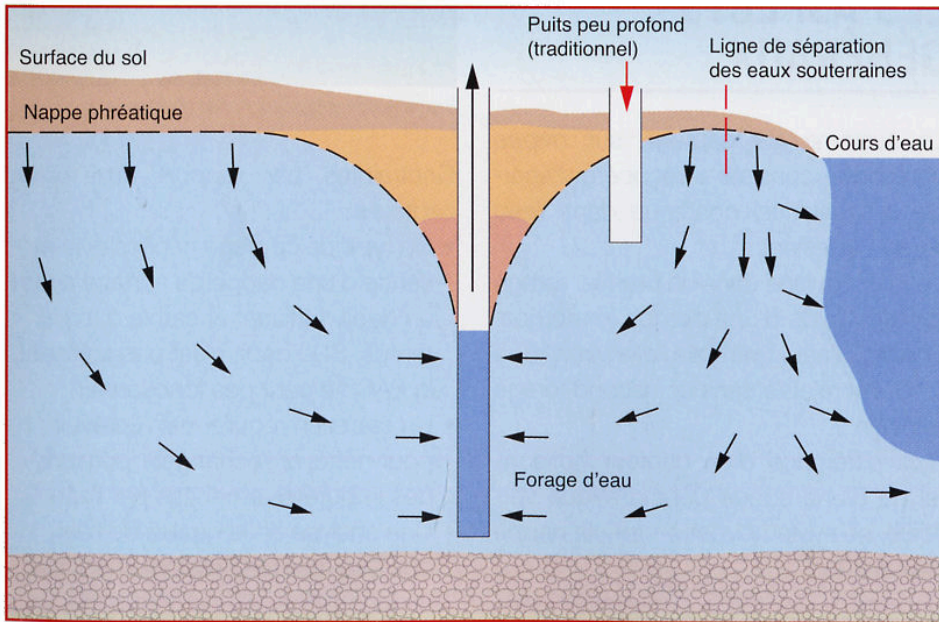
zone de saturation. Dans la zone saturée, toutes les fissures des roches et tous les espaces dans la structure des roches ou de la terre sont remplis d'eau.

LES TEMPÉRATURES DE FONCTIONNEMENT

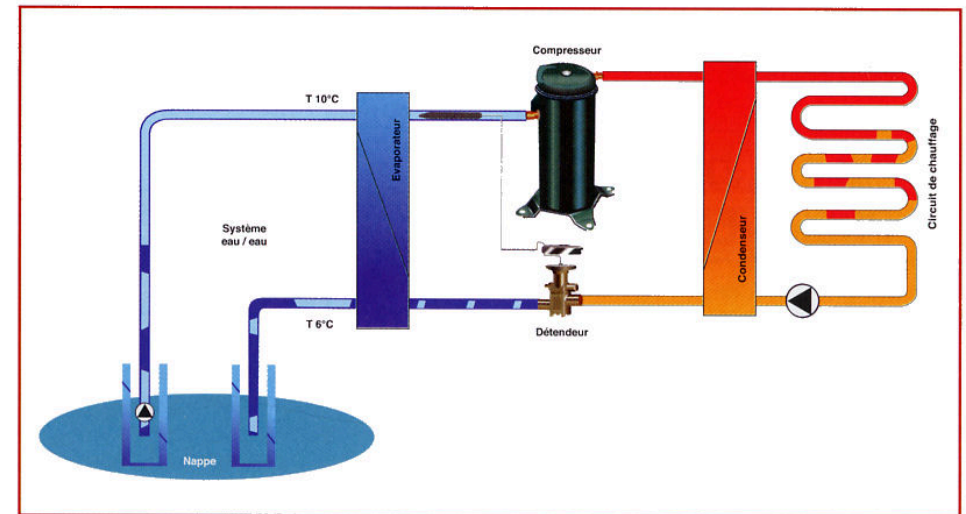
Ce système est donné pour un régime d'eau de 10/6 °C selon la norme NF EN 14511. Il n'est toutefois pas rare de voir fonctionner ce système à des températures se situant entre 8 et 12 °C, voire plus dans certaines conditions (nappe plus chaude).

⊙ ATTENTION !

On pourrait penser que, comme le COP d'une PAC eau/eau (W10/W35) est supérieur au régime de fonctionnement des autres types de capteurs (B0/W35), le rendement d'un système eau/eau est meilleur que le capteur horizontal ou la sonde géothermique. Mais c'est sans compter sur cette subtilité : les COP donnés par les fabricants pour les pompes à chaleur eau/eau ne tiennent pas compte de l'énergie nécessaire au fonctionnement de la pompe immergée qui sert à remonter l'eau du forage ou du puits.



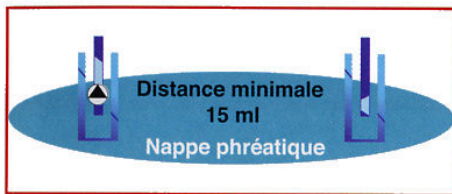
Coupe d'une nappe avec un forage d'eau



Détail côté nappe phréatique « système eau/eau »

LA DISTANCE ENTRE LE PUISAGE ET LE REJET

Il faut respecter une distance de 15 ml entre le prélèvement et le rejet afin d'éviter une interférence thermique et hydraulique, et de tenir compte de l'écoulement naturel de la nappe d'eau souterraine.



Distance entre les forages d'eau

LE CALCUL DU DÉBIT DE PRÉLÈVEMENT

Les méthodes de calcul sont les mêmes que pour les autres types de captages. En effet, pour connaître le débit de prélèvement et donc du rejet qui sera nécessaire au fonctionnement de la pompe à chaleur, il faut calculer la **puissance frigorifique**.

Pour cela, il faut connaître la **puissance chaud** et la **puissance électrique**.

LA RELATION PUISSANCE ET DÉBIT

Contrairement aux autres types de capteurs (horizontaux ou sonde géothermique), il n'y a pas de notion de puissance maximale extraite du sol. Ici, la puissance frigorifique de la PAC est fournie par le débit. On parle alors de débit massique de l'eau.

$$Q_m = (P_f \times 3600) / (C_p \times \Delta T)$$

- Q_m = débit en m^3/h
- P_f = puissance frigorifique de la PAC
- C_p = puissance calorifique spécifique de l'eau 4187 kJ/kg.K
- ΔT = différence de température nom. 4 K et maximale de 6 K

Exemple pour une PAC de 10 kW frigorifique : Débit = $(10 \times 3600) / (4187 \times 4) = 2,15 m^3/h$

© CALCUL DES PUISSANCES

Calcul de la puissance électrique

La puissance électrique des pompes à chaleur est généralement indiquée dans les documentations commerciales des fabricants (prendre la valeur donnée à W10/W35 pour une géothermie sur capteur eau/eau avec un plancher chauffant).

$$P \text{ électrique (W)} = P \text{ chaud (W)} / COP$$

Calcul de la puissance frigorifique

$$P \text{ frigorifique (W)} = P \text{ chaud (W)} - P \text{ électrique (W)}$$

© MÉTHODE SIMPLIFIÉE

Le débit massique est parfois exprimé sous la forme d'un débit volumique en litre par heure. En supposant une baisse de température de 4,3 °C, la formule est réduite à 200 l/h par kilowatt de puissance frigorifique. Reprenons le même exemple que précédemment : $10 \text{ kW} \times 200 \text{ l/h} = 2000 \text{ l/h}$ ou $2 m^3/h$ (Le résultat est moins précis, mais on se rapproche quand même de la vérité.)

LA FAISABILITÉ

La faisabilité d'une solution de captage sur nappe phréatique (eau/eau) dépend essentiellement du lieu où se situe le projet. En effet, en France, toutes les régions ne se valent pas en termes de sous-sol et donc d'aquifères.

L'inventaire des nappes phréatiques est établi par le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières). Il existe également une base de données des eaux souterraines (www.adeseau-france.fr).

+ À savoir

Le site www.geothermie-perspectives.fr met à disposition des informations spécifiques pour les régions Île-de-France, Centre et Lorraine.

LE TEST DU DÉBIT

Ce type de captage nécessite la présence d'une nappe de surface avec un débit suffisant et stable dans le temps.

Afin de s'assurer que le débit est suffisant, il convient de réaliser un test de pompage durant deux ou trois jours.

Une pompe à chaleur eau/eau exige environ 200 l d'eau par heure pour chaque kilowatt frigorifique, avec une différence de température d'environ de 4 K.

Le niveau hydrostatique ne doit pas se situer à plus de 15 ml du sol, car la demande énergétique de la pompe d'alimentation pourrait alors s'avérer trop élevée et pénaliserait le rendement de l'installation.

Il est très fortement conseillé de faire installer un contrôleur de débit !

Dans le cas d'une rénovation, si l'on souhaite utiliser un puits existant, il est préférable d'installer une pompe immergée exclusivement réservée à la pompe à chaleur afin d'optimiser le rendement global du système.

Si vous choisissez de conserver une pompe à eau existante trop puissante, car servant à d'autres usages (alimentation d'eau du jardin, arrosage, maison, etc.), il faudra veiller à ce que la pompe à chaleur ait bien le débit nécessaire à son fonctionnement.

LA QUALITÉ DE L'EAU

Une analyse de la qualité de l'eau doit être réalisée par un laboratoire afin de déterminer le type d'échangeur (évaporateur de la pompe à chaleur) à utiliser. La résistance des échangeurs à la corrosion, due aux composants de l'eau, est donnée dans des tableaux par les fabricants (voir ci-dessous). Pour proté-

ger l'échangeur contre cette corrosion, certaines valeurs ne doivent pas être dépassées. La qualité de l'eau peut varier au cours de l'année, par exemple en raison d'une exploitation agricole des terres (épannage des boues ou pollution d'une nappe phréatique). Il est donc nécessaire de réaliser une analyse de l'eau tous les ans ou au moins tous les deux ans.

Exemples de valeurs pour équipement Waterkotte

ÉLÉMENTS CONTENUS DANS L'EAU	UNITÉ	ÉCHANGEUR AVEC BRASURE AU CUIVRE	ÉCHANGEUR AVEC BRASURE AU NICKEL
Valeur pH		7-9	6-10
Index de saturation SI (delta pH-Wert)		- 0,2 < 0 < +0,2	Pas de recommandation
Dureté totale	dH	6-15	6-15
Conductibilité	µS/cm	10 ... 500	Pas de recommandation
Substances filtrées	mg/l	< 30	< 30
Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	Au-dessus de 100 °C, pas de chlorure admissible	
Chlore libre	mg/l	< 0,5	< 0,5
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	mg/l	< 0,05	Pas de recommandation
Ammoniaque (NH ₃ /NH ₄)	mg/l	< 2	Pas de recommandation
Sulfate (SO ₄)	mg/l	< 100	< 300
Bicarbonate (HCO ₃)	mg/l	< 300	Pas de recommandation
Bicarbonate/Sulfate	mg/l	> 1	Pas de recommandation
Sulfide (S ₂)	mg/l	< 1	< 5
Nitrate (NO ₃)	mg/l	< 100	Pas de recommandation
Nitrate (NO ₂)	mg/l	< 0,1	Pas de recommandation
Fer, dissous (Fe)	mg/l	< 0,2	Pas de recommandation
Manganèse (Mn)	mg/l	< 0,1	Pas de recommandation
Acide carbonique libre (CO ₂)	mg/l	< 20	Pas de recommandation

Exemples de valeurs pour équipement Alpha Innotec

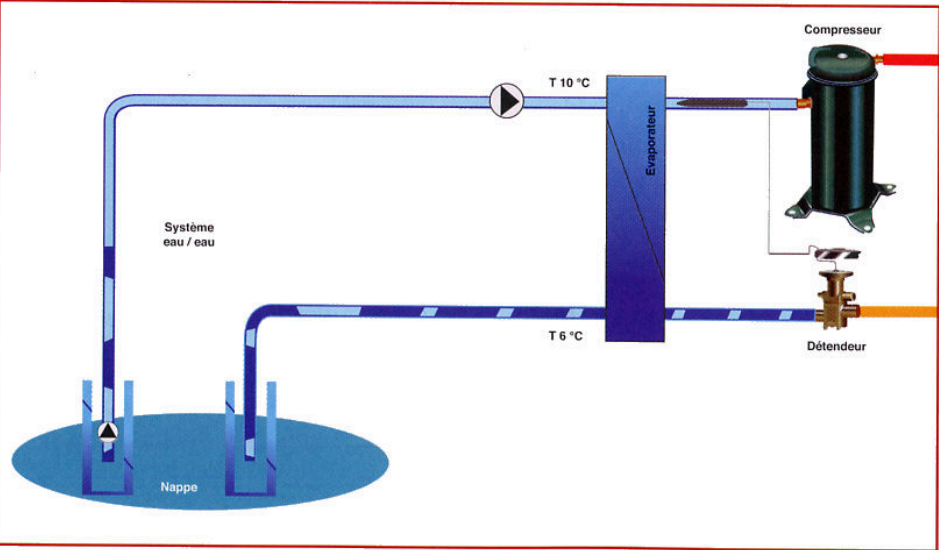
MATIÈRES CONTENUES DANS L'EAU	CRITÈRE MINIMAL
Saturation de l'oxygène dans l'eau	< 25 %
Concentration d'oxygène dans l'eau	< 2,3 mg/l
Valeur du pH	> 6
Teneur en fer	< 0,2 mg/l
Teneur en manganèse	< 0,1 mg/l
Teneur en chlorure	< 300 mg/l
Teneur en chlorure libre	< 5 mg/l

LE MONTAGE HYDRAULIQUE

Il existe deux montages hydrauliques de la pompe à chaleur côté nappe phréatique: le système direct ou le système indirect.

LE SYSTÈME DIRECT

Dans ce montage hydraulique, l'eau de la nappe phréatique passe directement dans l'échangeur de la pompe à chaleur. C'est un montage hydraulique très simple, mais il comporte un inconvénient majeur de sécurité. En effet, comme l'eau passe directement dans l'évapo-



Système direct

rateur de la pompe à chaleur, elle n'est pas protégée d'un percage éventuel de celui-ci, dû à la composition corrosive de l'eau.

Si pour différentes raisons l'échangeur vient à se percer, l'eau passera dans le circuit frigorifique. Dans ce cas, la conséquence est importante, car en général tout le circuit frigorifique est à changer (l'évaporateur, mais aussi le détendeur, le filtre déshydrateur, voire le compresseur, etc.).

Si les fabricants émettent des réserves sur ce montage hydraulique, il n'est pas rare de le trouver sur le marché car il coûte généralement moins cher que la solution indirecte (avec un échangeur de séparation).

LE SYSTÈME INDIRECT (CONSEILLE)

C'est en général la solution recommandée par les fabricants, car elle protège la pompe à chaleur.

Dans ce montage hydraulique, l'eau de la nappe phréatique passe dans un échangeur de séparation.

Ce montage hydraulique permet de protéger la pompe à chaleur même si l'échangeur de séparation se retrouve percé par l'eau de la nappe phréatique.

Le circuit intermédiaire

Le circuit intermédiaire (entre l'échangeur de séparation et l'évaporateur de la PAC) est rempli avec de l'antigel (protection de -5 à -10 °C). Un circulateur permet de transférer l'énergie de l'échangeur de séparation vers la pompe à chaleur. Généralement, on

retrouve aussi dans ce circuit intermédiaire un vase d'expansion et une soupape de sécurité.

Le côté nappe phréatique

Dans la mesure du possible, aucune particule de matières solides (sable, etc.) ne doit parvenir dans l'évaporateur de la pompe à chaleur ou dans l'échangeur de séparation.

Un filtre à maille (généralement de 0,8 mm) fait partie des fournitures pour toutes les pompes à chaleur eau/eau et doit être monté à l'entrée de la source de chaleur avant l'échangeur.

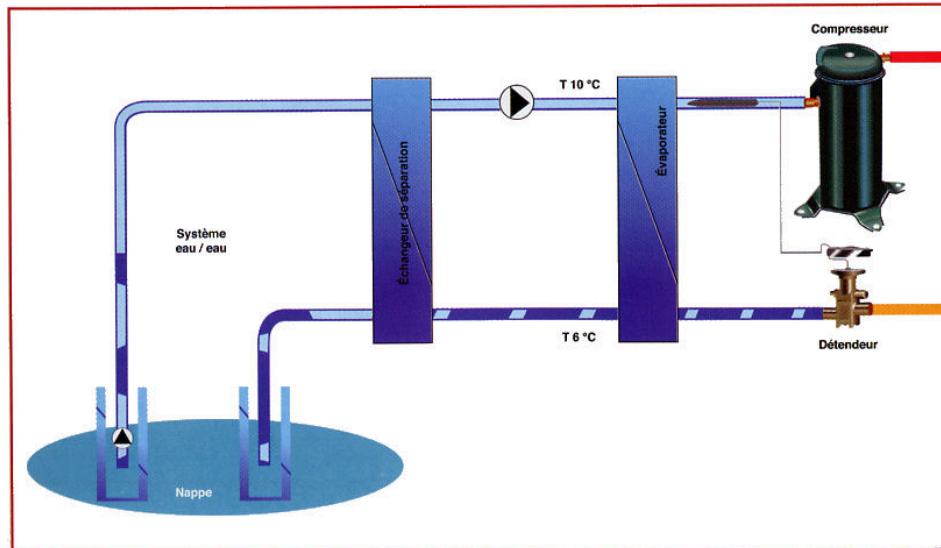
Les filtres ne doivent en aucun cas être retirés de l'installation des PAC.

Le Code minier implique, sous réserve de réglementations locales plus strictes :

- la déclaration de tout forage supérieur à 10 m de profondeur (cette déclaration est faite par le foreur) ;
- une autorisation (donc enquête publique avec établissement d'un document d'incidence) pour tout ouvrage supérieur à 100 m de profondeur.

Les Drire (Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement) gèrent le Code minier : www.drire.gouv.fr.

Les professionnels (foreurs, bureaux d'études sous-sol, etc.) doivent connaître ces démarches.



Système indirect

+ Pertes

Aujourd'hui, la qualité de fabrication des échangeurs permet de n'avoir que très peu de pertes (1 à 2 °C au plus) si l'échangeur est bien dimensionné. Il y aura donc peu d'incidence sur le rendement de la PAC !

LES ASPECTS ADMINISTRATIFS

La réglementation concernant la réalisation d'un forage est encadrée par le Code minier et le code de l'environnement (loi sur l'eau).

LE CODE DE L'ENVIRONNEMENT

Dans le cas où la nappe n'est pas considérée comme un gîte géothermique au sens du Code minier (livre II, titre 1^{er} « loi sur l'eau ») :

- la réalisation/utilisation d'un forage/puits pour la géothermie eau/eau est considérée comme un **usage non domestique de l'eau** (en particulier si le prélèvement est inférieur à 1 000 m³/an) ;
- à partir de 1 000 m³/an d'eau prélevée (qu'il y ait réinjection ou non), les PAC sur nappe sont soumises à déclaration ou autorisation au titre de la loi sur l'eau ;

- l'annexe du décret 93-743 qui s'intitule « Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application des articles L214-1 à L214-3 du code de l'environnement » précise les ouvrages soumis à déclaration indépendamment des débits prélevés (rubrique 1.1.1.0) et les ouvrages soumis à déclaration ou autorisation en fonction des débits prélevés (rubriques 1.1.2.0, 1.2.1.0, 1.2.2.0 et 1.3.1.0). La rubrique 1.1.1.0 est applicable aux opérations de pompe à chaleur sur nappe. Elle concerne tout sondage, forage, y compris les essais de pompage, création de puits, d'ouvrage souterrain, non destiné à un usage domestique, exécute en vue d'effectuer un prélèvement temporaire ou permanent dans les eaux souterraines y compris les nappes d'accompagnement de cours d'eau. Ces ouvrages sont soumis à déclaration. Il convient également de contacter l'Agence de l'eau pour les taxes de prélèvement et/ou de rejet qui peuvent exister dans certaines régions.

LES NORMES

Les forages d'eau doivent être réalisés en conformité avec les normes :

- **NF X10-999** « Forage d'eau et de géothermie – Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages » ;
- **FD X10-980** « Forage d'eau et de géothermie – Réalisation, suivi et abandon d'ouvrage de captage ou de surveillance des eaux souterraines réalisés par forages – Démarches administratives ».

LA CONDITION DE REJET DE L'EAU

Après avoir utilisé l'énergie contenue dans l'eau, il faut la rejeter dans un endroit capable de recevoir le débit utilisé. Dans la mesure du possible, l'eau doit être rejetée dans le milieu dans lequel elle a été prélevée.

- **Systèmes à deux forages :** l'eau est prélevée dans un premier forage pour être ensuite rejetée dans un second. Rejeter dans l'aquifère d'origine est bien évidemment la solution la plus satisfaisante du point de vue de l'environnement, car elle évite le gaspillage de l'eau souterraine.
- **Systèmes à un seul forage :** l'eau est prélevée dans un forage pour être rejetée dans une rivière, un plan d'eau ou un réseau d'eaux pluviales (si ce type de rejet y est toléré).

+ Démarches

Les forages sont soumis à des réglementations nationales et locales. Avant d'envisager un tel projet, il faut faire le point sur les démarches administratives à entreprendre et contacter un spécialiste (hydrogéologue agréé, Bureau de recherches géologiques et minières [BRGM], bureau d'études spécialisé).

LES AUTRES SOURCES DE CAPTAGE D'EAU

Pour le système eau/eau, il est possible de prendre l'énergie dans d'autres sources que la nappe phréatique, comme :

- une rivière (exemple : un moulin avec une rivière dessous) ;
- un fleuve ;
- un lac (il faut que celui-ci soit assez grand).

Toutes ces sources doivent bien sûr faire l'objet d'une étude et sont soumises à déclaration, voire autorisation. Pour cela, il faut se rapprocher des services administratifs compétents.

+ Mauvais préjugés...

Certaines personnes pensent que l'on peut utiliser l'eau d'une piscine comme source ! C'est bien sûr impossible car la pompe à chaleur refroidit l'eau et il faudrait très peu de temps pour obtenir une belle patinoire !

PARTIE 4

ES ÉMETTEURS DE CHALEUR

CHAPITRE 10

QUEL MODE DE CHAUFFAGE CHOISIR ?

Le choix du système d'émission de chaleur à l'intérieur de l'habitation est important, car il va définir non seulement le confort mais aussi le rendement de la pompe à chaleur, et donc les consommations.

En effet, en fonction du mode de restitution des calories, la température de sortie d'eau de la PAC est plus ou moins élevée.

Nous allons développer les émetteurs suivants :

- le plancher chauffant ;
- les radiateurs à eau chaude ;
- les ventilo-convecteurs.

LA SENSATION DE BIEN-ÊTRE

Notre confort n'est pas directement lié à une température intérieure, on parle d'ailleurs plus de « sensation de bien-

être » car il s'agit bien d'une sensation. C'est le choix de l'émetteur de chauffage qui va la définir.

Nous pouvons convenir que chauffer un logement aux environs de 20 °C serait une température dite « de confort », et pourtant cette température d'air ne donnera pas la même sensation de confort selon que les parois du local sont plus ou moins bien isolées.

En effet, le corps humain est sensible à la température des parois du local (vers lesquelles il rayonne). Ces parois sont d'autant plus froides qu'elles sont mal isolées. **C'est le phénomène dit de « parois froides ».**

☉ CAS PRATIQUE

Pour ressentir une sensation de bien-être, la température résultante doit être aux environs de 18-19 °C.

Exemple :

Une maison mal isolée

Air = 20 °C

Moyenne des parois = 12 °C

T résultante = $(20 + 12) / 2 = 16$ °C

Une maison normalement isolée

Air = 20 °C

Moyenne des parois = 16 °C

T résultante = $(20 + 16) / 2 = 18$ °C

Nous pouvons constater que pour avoir une sensation de bien-être, il faut augmenter la température des parois (d'où l'importance d'isoler !). Le type d'émetteur de chauffage va ensuite être très important sur l'influence, ou plutôt la capacité à chauffer les parois (murs, sol, plafond, etc.).

Pour évaluer très simplement la température résultante, il suffit de prendre la température ambiante et la moyenne des températures des parois (sol, murs, etc.), et de diviser par deux :

T résultante = $(T \text{ ambiante} + T \text{ moyenne des parois}) / 2$.

INSTALLATION ET BALLON TAMPON

Selon le type d'émetteur (plancher chauffant, radiateur, etc.), il est parfois nécessaire d'installer un ballon tampon.

Cela permet de stocker une réserve d'eau chaude destinée à accumuler l'énergie fournie par la pompe à chaleur et éviter les cycles courts.

Cette installation s'impose quand la pompe à chaleur ne pourra pas (en fonction des usages) évacuer moins des deux tiers des calories qu'elle peut produire, et donc provoquer des pan-nes sur celle-ci.

Elle s'impose donc :

- lorsqu'elle est sur des radiateurs ;
- lorsqu'elle est mixte (par exemple plancher chauffant au rez-de-chaussée et radiateurs à l'étage) ;

- avec des ventilo-convecteurs ;
- avec une PAC en relève de chaudière ;
- avec un plancher chauffant dont la régulation pièce par pièce est gérée par des thermostats agissant sur des servomoteurs, électrovannes (qui vont diminuer ou fermer le débit).

+ À savoir...

On peut se passer de l'installation d'un ballon tampon sur une installation d'une PAC sur un plancher chauffant dont la régulation pièce par pièce est manuelle (réglage des débits via le collecteur de chauffage).

CAPACITÉ

La valeur recommandée pour le dimensionnement du volume du tampon est de 12 à 35 l/kW de puissance maximale de la pompe à chaleur.

MONTAGE HYDRAULIQUE

Il est possible de monter un ballon tampon soit en série (généralement sur le retour), soit en parallèle (solution la plus courante).

Raccordé en parallèle avec la pompe à chaleur, il offre également une solution pour le découplage hydraulique (comme une bouteille de découplage).

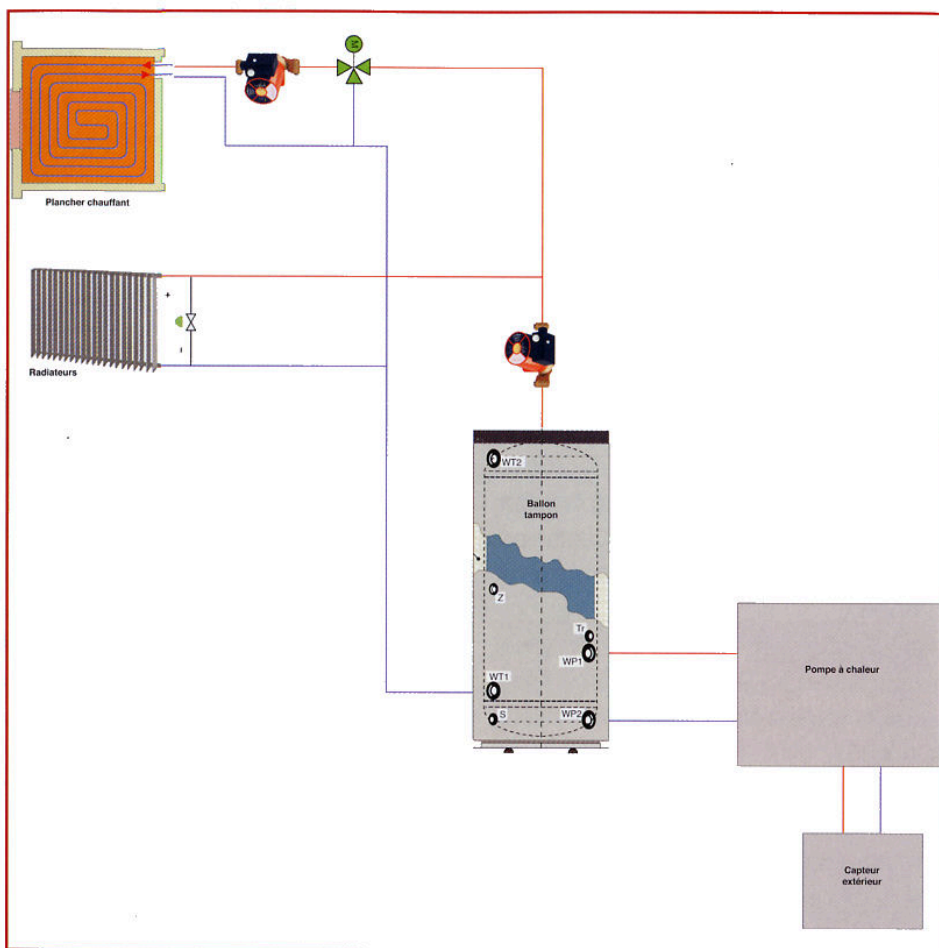


Schéma d'une installation avec un circuit plancher chauffant avec vanne-mélangeuse et un circuit radiateur direct

© CAS D'UNE INSTALLATION MIXTE : PLANCHER CHAUFFANT 35 °C AU RDC ET RADIATEURS 55 °C À L'ÉTAGE

Dans une installation avec ballon tampon, il faut garder à l'esprit que la pompe à chaleur n'est en contact qu'avec le ballon tampon, donc avec la température la plus haute. Ce qui a pour effet de baisser le rendement (COP), sachant que souvent la part radiateurs ne représente qu'une surface faible par rapport à la surface du plancher chauffant ! Il serait plus judicieux d'envisager de changer ou d'augmenter les radiateurs afin de réduire la température de l'eau du système (voir partie sur les radiateurs et le COP, p. 30).

CHAPITRE 11

LE PLANCHER CHAUFFANT

Le plancher chauffant à eau basse température est le système de chauffage le mieux adapté aux énergies renouvelables et donc aux pompes à chaleur géothermiques ou aérothermiques.

En effet, comme il fonctionne à basse température (35/40 °C de départ d'eau), le rendement de la pompe à chaleur sera très optimisé.



Plancher chauffant Acome avant coulage de la chape liquide

Le plancher chauffant convient à tous les types de constructions neuves et de rénovation. Il assure un confort thermique absolu dans la maison individuelle.

POUR QUELS AVANTAGES ?

Le plancher chauffant diffuse une chaleur homogène et procure un air sain. Il évite le désagrément des carrelages froids (28 °C de température de surface maximale autorisée par le DTU 65.14, ce qui correspond à peu près à la température de la surface de la peau). Le chauffage par le sol permet d'éliminer l'humidité des murs et des tapisseries. Il évite également les déplacements de poussières (pas de ventilation), ce qui est particulièrement bénéfique pour les asthmatiques car l'environnement est sain.

Pour une même sensation de confort, le plancher chauffant permet un abaissement de la température de la pièce de 2 °C par rapport à un chauffage par radiateurs... et consomme d'autant moins.

+ À retenir...

Ce système permet de faire des économies d'énergie car les températures de fonctionnement sont faibles (au plus 35 à 40 °C de départ d'eau) et le rendement COP de la pompe à chaleur est très élevé.

LA RÉGULATION

Avec un plancher chauffant à eau chaude, on peut réguler la température pièce par pièce. Cette régulation s'effectue :

- soit à l'aide de thermostats agissant sur des servomoteurs, électrovannes qui vont régler le débit (ce type de régulation impose l'installation d'un ballon tampon) ;
- soit manuellement, en réglant le débit pour chaque circuit au niveau du collecteur de chauffage (pas besoin de ballon tampon).

© QUELLE TEMPÉRATURE POUR QUELLE PIÈCE ?

Pour le séjour, salon et cuisine, la température idéale est de 19-20 °C. Pour les chambres, la température maximale recommandée est de 18 °C.

Pour la salle de bain, la température idéale est de 22 °C. Il est conseillé d'installer un sèche-serviette en appoint afin de ne pas chauffer inutilement cette pièce toute la journée.

LA MISE EN ŒUVRE

L'ÉTUDE DE DIMENSIONNEMENT

La pose d'un plancher chauffant s'effectue d'après un plan et une étude de dimensionnement réalisés généralement par un bureau d'études. Cela

permet de calculer pour chaque circuit les pertes de charges, la puissance émise, le débit, le pas de pose à respecter, etc.

LA LIAISON PLANCHER CHAUFFANT/PAC

Les liaisons entre les différents collecteurs (nourrices) du plancher chauffant et la chaufferie doivent être dimensionnées correctement pour éviter d'avoir de trop grandes pertes de charge.

En règle générale, ces liaisons sont installées avant le coulage de la chape de ravaillage (avec les gaines électriques et les alimentations d'eau du logement). Elles ne doivent pas être installées sur les dalles d'isolation avec les tubes du plancher chauffant (extrait DTU 65.14 : Canalisations horizontales – La coexistence de toute canalisation, câble ou fourreau est prohibée dans les dallages chauffants).

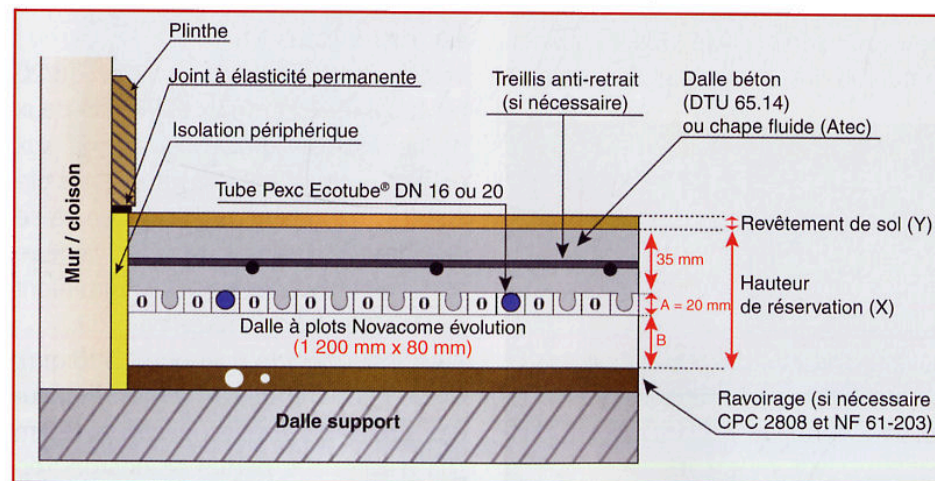
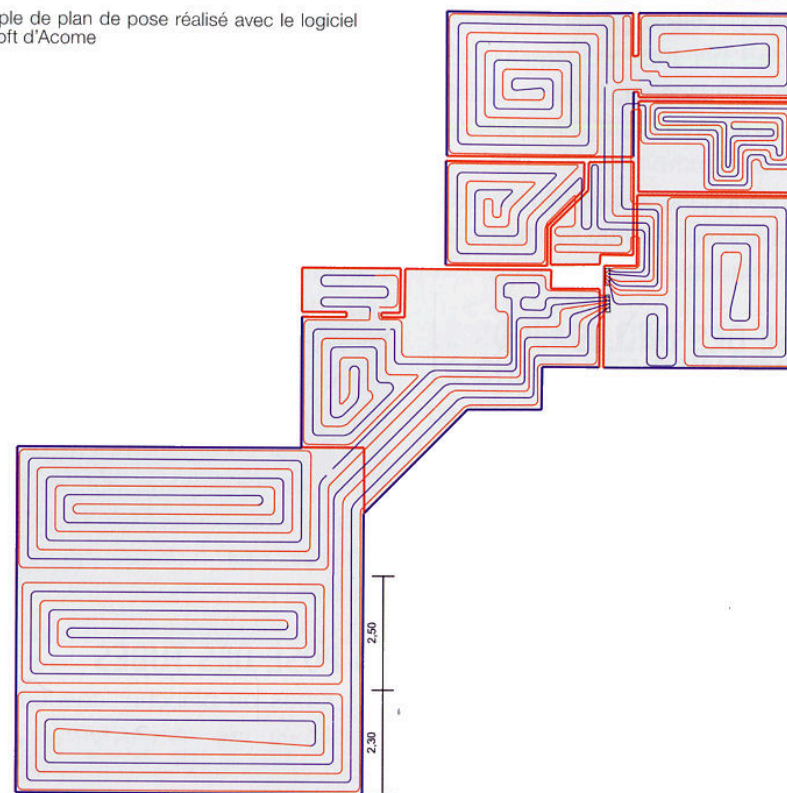
LA PRÉPARATION DU SUPPORT

La surface du support qui va recevoir le plancher chauffant doit être horizontale et sans irrégularités, débarrassée des gravats, exempte de croûtes de ciment ou de plâtre. Aucune gaine, ou autre, ne doit dépasser.

LA POSE DE L'ISOLANT PÉRIPHÉRIQUE

L'isolant périphérique (joint de bordure) est placé le long des murs et autres parties de bâtiments, notamment les huisseries, piliers, poteaux, etc.

Exemple de plan de pose réalisé avec le logiciel AcoSoft d'Acome



Coupe de plancher chauffant hydraulique avec enrobage béton ou chape fluide (dalles à plots Novacome évolution)

La bande d'isolation périphérique doit aller du plancher support jusqu'à la surface finie du plancher, et être réalisée en matériaux résilients d'une épaisseur minimale de 5 mm.

L'isolant périphérique sert à désolidariser la chape recouvrant les tubes du plancher chauffant.

LA POSE DES DALLES D'ISOLATION

L'épaisseur des dalles d'isolation dépend du type de construction (composition du support : hourdi isolé ou non, terre-plein, sous-sol, etc.). La réglementation thermique définit un coefficient de résistance thermique minimal à respecter en fonction des différents supports.

Il est évident que plus on isole, moins il y a de déperditions.

Les dalles d'isolation servent entre autres à désolidariser la chape recouvrant les tubes du plancher chauffant.

Elles existent sous deux formes : avec ou sans plots (dalle plane). Contrairement à ce que l'on entend

fréquemment, il n'y a pas de différence de transmission de chaleur (flux thermique) entre une dalle à plots et une dalle plane. Les plots servent uniquement à maintenir les tubes et à les protéger avant le coulage de la chape. Ils ont le même rôle que les agrafes utilisées avec les dalles planes.

Les dalles d'isolation peuvent être constituées de polystyrène expansé moulé, ou de polyuréthane. Dans tous les cas il est impératif que ces dalles possèdent un coefficient de compressibilité conforme à la norme, car des isolants trop compressibles pourraient entraîner des ruptures de la chape flottante.

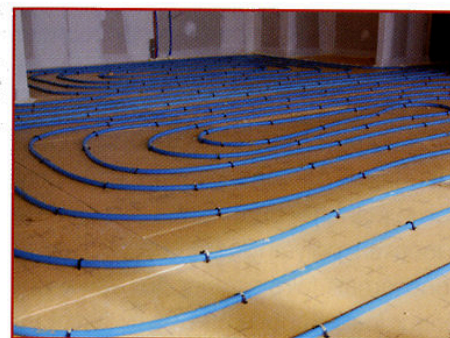
LA POSE DES TUBES

Les tubes de plancher chauffant sont constitués de polyéthylène réticulé (PER). Ils existent également en multicouches (l'utilisation des tubes en multicouches est moins répandue car elle est plus onéreuse).

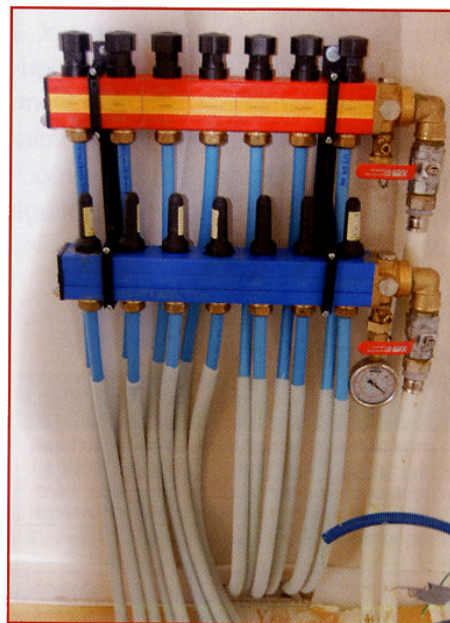
Il existe deux diamètres de tubes : 16/20 ou 13/16 mm. Le choix entre ces deux diamètres est lié exclusivement aux pertes de charge de l'ensemble des circuits. Dans l'habitat individuel, on utilise essentiellement les tubes de diamètre 13/16 mm, le diamètre 16/20 mm étant plutôt réservé au tertiaire.

Avec les tubes de diamètre 13/16 mm, il est conseillé de limiter la longueur des tubes de chaque circuit à 120 m afin d'éviter des pertes de charge trop importantes.

Il est important de respecter le pas de pose calculé pièce par pièce dans l'étude de dimensionnement. Ce pas entre les tubes peut aller de 10 à 30 cm. Il dépend du revêtement de sol, de la température d'eau et de la température de surface (qui ne doit pas dépasser 28 °C).



Pose des tubes



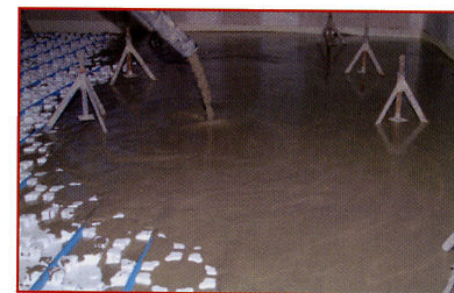
Raccordement des tubes à un collecteur

Tous les circuits de tubes sont raccordés à un ou plusieurs collecteurs (nourrices). Ils doivent être remplis et mis sous pression avant le coulage de la chape.

Il est conseillé d'installer des contrôleurs de débit afin d'effectuer ou de contrôler les réglages pour chaque pièce conformément à l'étude de dimensionnement.

LE COULAGE DE LA CHAPE D'ENROBAGE

La chape qui enrobe les tubes du plancher chauffant doit être conforme aux exigences du DTU 65.14. Les chapes d'enrobage les plus utilisées sont les chapes en béton et les chapes fluides ou liquides. Dans le cas d'une chape d'enrobage béton, il est nécessaire d'ajouter un adjuvant au béton pour le fluidifier.



▲ Coulage d'une chape fluide

Finition d'une chape fluide ▼



Dalles d'isolation planes et isolant périphérique

LA PREMIÈRE MISE EN CHAUFFE

Une première mise en chauffe est obligatoire avant la pose des revêtements de sol pour les planchers de type A : chape béton, chape fluide ou liquide (avec un revêtement de sol collé directement sur la chape d'enrobage).

Conformément au DTU 65.14, la première mise en chauffe doit être effectuée au moins 21 jours après la réalisation de la dalle dans le cas d'une dalle en béton (ou en accord avec les instructions du fabricant), et après un minimum de 7 jours dans le cas d'une dalle à base d'anhydrite.

+ À savoir...

La première mise en chauffe commence avec un fluide à une température comprise entre 20 °C et 25 °C ; elle doit être maintenue pendant au moins trois jours. Ensuite, la température maximale de service doit être atteinte et maintenue pendant au moins quatre jours supplémentaires.

Cette première mise en chauffe est facultative pour les planchers de type C (chape d'enrobage + chape de scellement pour revêtement de sol) et pour ceux de type A à revêtements scellés désolidarisés.

LA PARTICULARITÉ DES PLANCHERS CHAUFFANTS « GAZ »

Il est préférable d'éviter d'installer un plancher chauffant contenant du fluide frigorigène (systèmes sol/sol) car il ne pourra pas être raccordé et fonctionner avec une autre énergie qu'un capteur à détente directe.

Les tubes en cuivre de ces planchers chauffants ont un diamètre plus petit que le plancher chauffant à eau chaude (tubes en polyéthylène). On ne pourra donc jamais faire circuler de l'eau à l'intérieur (cela imposerait des circulateurs très puissants pour contrer les pertes de charge du tube).

De plus, avec les systèmes sol/sol, il n'est pas possible de faire une régulation pièce par pièce dans la maison car il n'y a généralement qu'une, voire deux boucles. On ne peut donc réguler qu'une ou deux zones de chauffage (partie jour, partie nuit).

+ À retenir...

Cette technologie impose de rester à vie avec un système gaz/gaz. Il ne sera pas possible de faire évoluer le mode de chauffage du logement vers une autre énergie (solaire, géothermie eau, chaudière bois, etc.) alors qu'un plancher chauffant à eau peut être raccordé sur toutes les énergies.

LES NORMES

Comme toute autre solution, le plancher chauffant répond à des normes :

- NF DTU 65.14 – Exécution de planchers chauffants à eau chaude (CSTB) ;
- CSTB – Cahier n°3164 des prescriptions techniques sur la conception et la mise en œuvre des planchers réversibles à eau basse température.

LE PLANCHER CHAUFFANT/RAFRAÎCHISSANT

Si le plancher sert à chauffer un bâtiment, il peut également le rafraîchir en période estivale.

Pour cela, il suffit de faire circuler de l'eau froide (d'au moins 18 °C) à l'intérieur. Pour éviter le risque de condensation d'un

plancher, il faut respecter la température minimale de départ d'eau autorisée par la norme selon les zones géographiques :

Le plancher chauffant/rafraîchissant permet de baisser la température intérieure de 2 à 3 °C.

L'abaissement de la température paraît faible mais la sensation lorsqu'on entre dans une maison rafraîchie par le plancher se rapproche de celle ressentie lorsqu'on entre dans une vieille maison en pierre.

Le phénomène de condensation d'un plancher chauffant est directement lié à la température de départ, mais pas seulement. Le système de ventilation, la conception et l'orientation du logement, et l'activité des personnes sont autant de facteurs pouvant favoriser la condensation d'un plancher chauffant/rafraîchissant.

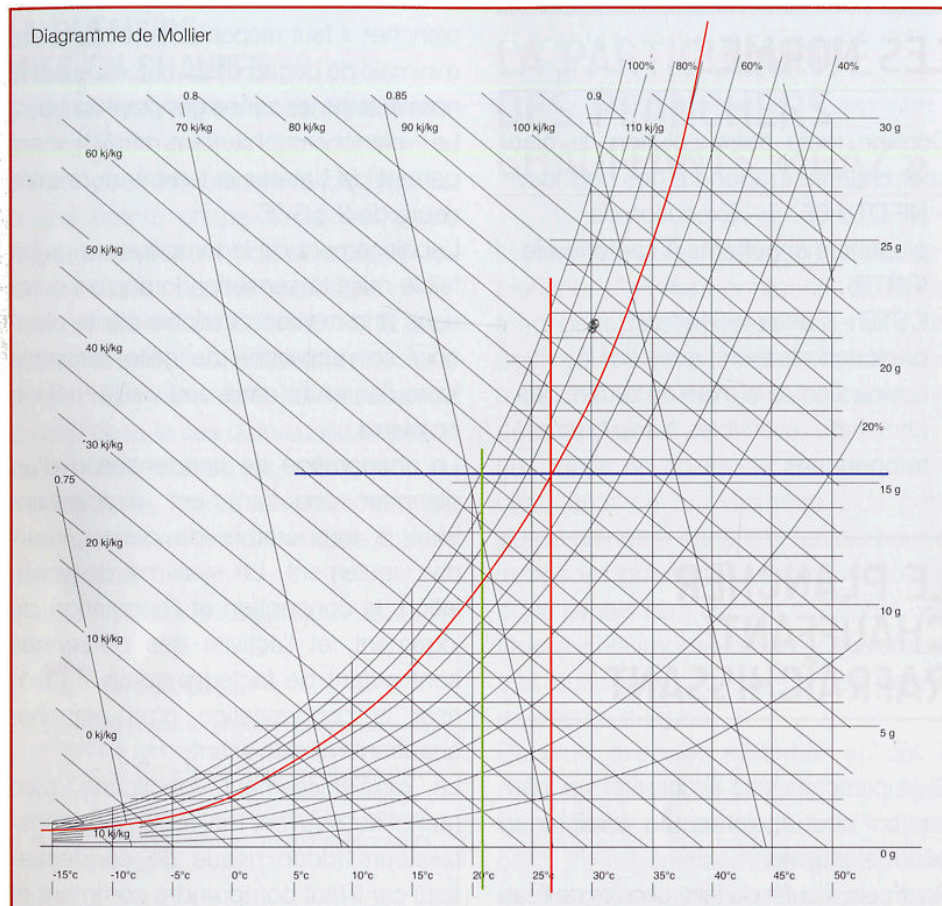
Le rafraîchissement fonctionne bien mais il est souvent mal réglé par les installateurs (donc risque de condensation) car il faut comprendre comment et surtout à quelle température se forme le « point de rosée ».

Températures minimales de départ d'eau autorisées

ZONE GÉOGRAPHIQUE	TEMPÉRATURE MINIMALE DE DÉPART D'EAU
Zone côtière de la Manche, de la mer du Nord et de l'océan Atlantique au nord de l'embouchure de la Loire (largeur 30 km)	19 °C
Zone côtière de l'océan Atlantique au sud de l'embouchure de la Loire et au nord de l'embouchure de la Garonne (largeur 50 km)	20 °C
Zone côtière de l'océan Atlantique au sud de l'embouchure de la Garonne (largeur 50 km)	21 °C
Zone côtière méditerranéenne (largeur 50 km)	22 °C
Zone intérieure	18 °C

Source: Cahier du CSTB, fascicule n° 3164

Diagramme de Mollier



Appliquons le diagramme de Mollier (voir figure ci-dessus) à l'exemple d'une maison en plein été avec une température ambiante de 26 °C et un taux d'humidité de 70 % (humide). La méthode est la suivante :

- Regarder sur le diagramme au niveau de la courbe correspondant à 70 % pour une température de 26 °C.
- Suivre ensuite le trait bleu vers la gauche jusqu'à la courbe représentant 100 % d'humidité (saturation).

- Puis descendre sur le trait vert pour tomber sur la température à laquelle le point de rosée va apparaître. Dans ce cas, c'est à 21 °C.

Dans cette pièce à 26 °C ambiants avec 70 % d'humidité, si la température de surface du plancher chauffant descend en dessous de 21 °C, c'est inévitable : le point de rosée va se créer et le sol va condenser.

Pour ne pas condenser, il faut que la pompe à chaleur ait une régulation sur la loi d'eau (réglage de la température de l'eau en fonction de la température extérieure) afin de contrôler en permanence la température de l'eau du plancher chauffant.

Il est possible de connecter une sonde d'humidité pour essayer de maîtriser ce phénomène de condensation si la PAC le gère mal.

+ Conseil

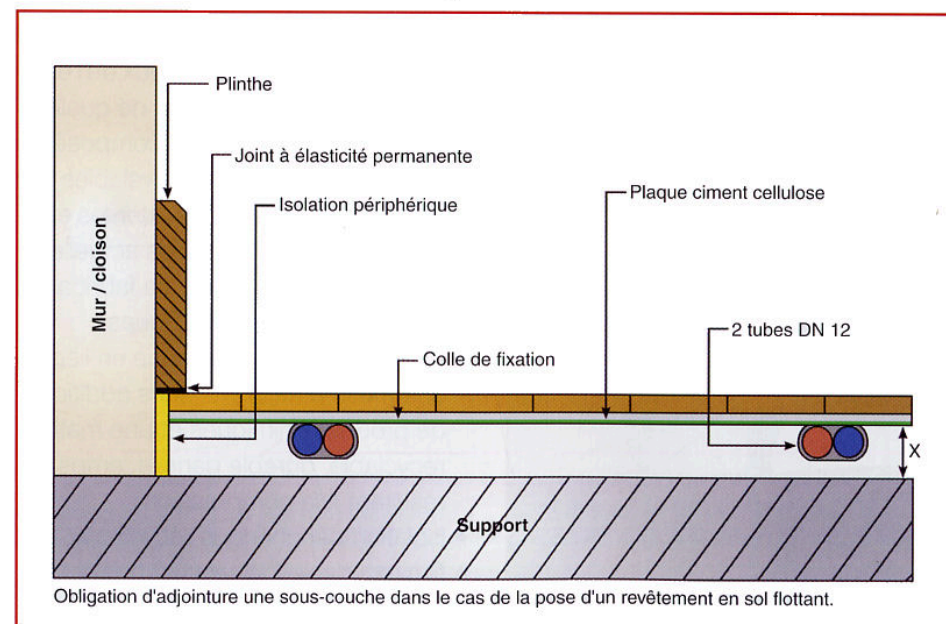
Il n'est pas recommandé d'utiliser le rafraîchissement dans les pièces équipées en moquette ou parquet, ainsi que dans les salles d'eau.

UN PLANCHER CHAUFFANT POUR LA RÉNOVATION

Si l'installation d'un plancher chauffant classique n'est pas envisageable à cause des hauteurs de réservation à prévoir, il en existe des spécifiques pour la rénovation.

Aussi appelé plancher chauffant, il requiert une technique dite « en solution sèche », car il n'y a pas de chape qui recouvre les tubes. Il peut alors être recouvert avec :

- un revêtement sol stratifié ;
- un revêtement carrelage ou parquet collé.



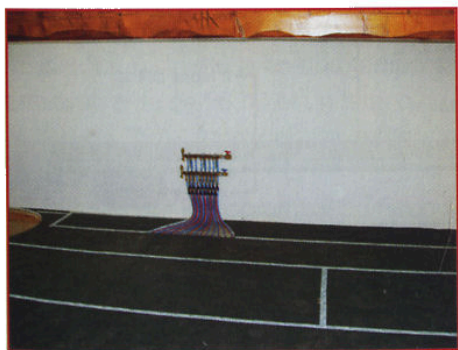
Coupe d'un plancher chauffant sans chape Vivracome

Le réseau est constitué de deux tubes (diamètre 12 mm) logés dans la même rainure de dalle d'isolation (aller/retour). La circulation des flux est inversée pour permettre une diffusion homogène de la chaleur.



Les tubes sont insérés dans les rainures des dalles d'isolation

Les dalles d'isolation et les tubes sont recouverts par une plaque de fibre-ciment collée et par une sous-couche PE/aluminium. Le parquet flottant est ensuite posé sur cette sous-couche. Le carrelage est collé directement sur la plaque de fibre-ciment.



Le plancher chauffant est prêt à recevoir le revêtement de sol

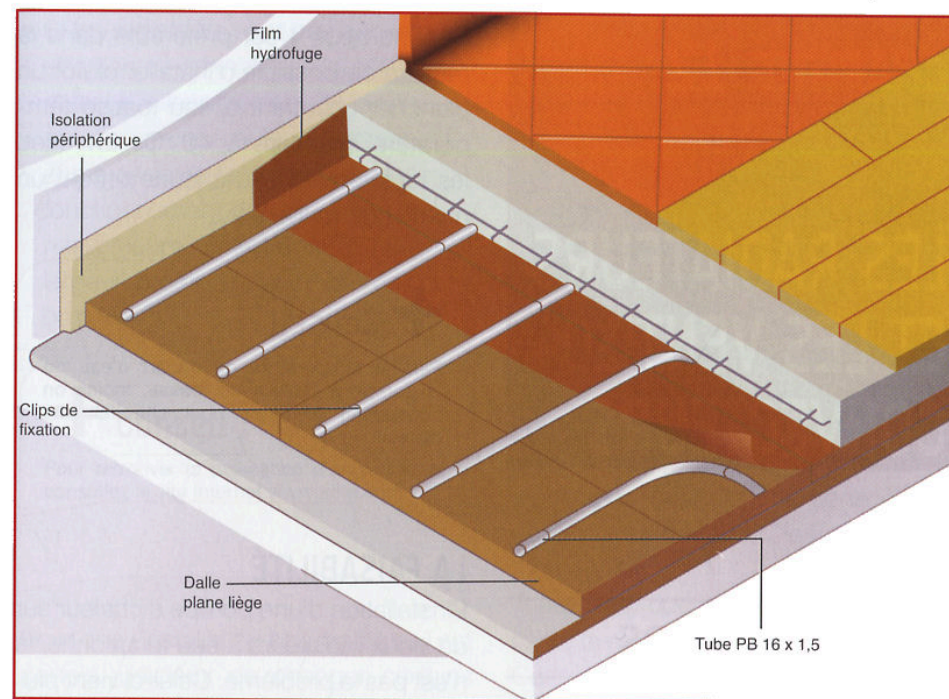
Voici les principaux avantages de ce plancher chauffant en « solution sèche » :

- Il nécessite une faible hauteur de réservation dans le sol.
- Son poids beaucoup plus faible que celui d'un système traditionnel lui permet d'être installé sur une mezzanine ou dans les maisons à ossature en bois.
- Les travaux d'installation sont très rapides car il n'y a pas de temps de séchage de la chape à respecter.

UN PLANCHER CHAUFFANT ÉCOLOGIQUE

Quelques fabricants commencent à proposer des planchers chauffants hydrauliques plus respectueux de l'environnement, pour un habitat de qualité. Ce plancher chauffant est composé de matières naturelles, renouvelables ou recyclables : il répond aux attentes environnementales et sociétales actuelles. Il fait appel à un procédé de fabrication et à des matériaux écologiques :

- dalles d'isolation thermique en liège : une matière naturelle, sans addition de produits chimiques et une matière recyclable, durable dans le temps, résistant à la compression ;
- isolation périphérique recyclable ;
- film recyclable (papier kraft hydrofuge) avec quadrillage pour la pose du tube ;
- tubes recyclables en polybutène.



Coupe du plancher chauffant ÉcoThermacome

© Acome

CHAPITRE 12

LES RADIATEURS
ET LES VENTILO-
CONVECTEURS

LES RADIATEURS

L'utilisation des radiateurs avec les pompes à chaleur constitue un sujet épineux...

En effet, dans les bâtiments existants, les radiateurs n'ont pas été dimensionnés pour fonctionner avec une pompe à chaleur. Lors de leur installation avec une chaudière classique, ils ont été dimensionnés pour travailler avec une température d'environ 75 °C de départ d'eau. À l'époque, les énergies fossiles coûtaient beaucoup moins cher qu'aujourd'hui, la question ne se posait donc pas.

Les pompes à chaleur actuelles (aérothermiques ou géothermiques), pour être rentables, doivent fonctionner avec une température maximale de 55 °C de départ d'eau.

Dans le neuf, il est préférable dans la mesure du possible d'installer plutôt un plancher chauffant à eau (basse température inférieure à 40 °C). En effet, les radiateurs à eau chaude offrent un moins bon rendement.

+ Conseil

Plus la température de départ d'eau de la pompe à chaleur est basse, moins on consomme d'énergie pour chauffer une maison.

LA FAISABILITÉ

L'installation d'une pompe à chaleur sur de vieux radiateurs à eau fonctionne, là n'est pas le problème. Celui-ci vient plutôt de la rentabilité du système.

En effet, lorsqu'on décide de changer son système de chauffage et que l'on se tourne vers les énergies renouvelables, c'est généralement pour faire des économies d'énergie. Il faut donc avant tout vérifier le dimensionnement des radiateurs existants dans la maison (un radiateur n'a pas la même puissance s'il travaille avec de l'eau à 75 ou à 55 °C). Pour cela, deux solutions :

- Si l'on connaît la marque et le modèle des radiateurs installés, on peut retrouver leur puissance à une température de fonctionnement donnée. Nous l'avons vu, les fabricants de radiateurs fournissent des tableaux avec les valeurs de correction des puissances.

- Si les radiateurs sont très anciens et qu'on ne connaît pas leur marque ni leur modèle, on peut arriver à recalculer leur puissance à une certaine température de fonctionnement donnée. Il faut relever leurs dimensions (hauteur, largeur, profondeur, nombre de colonnes).

+ Conseil

Pour retrouver la puissance d'un radiateur, consultez le site Internet www.atita.com.

Pour que l'installation soit rentable, il est parfois judicieux de changer certains radiateurs ou d'en ajouter. Il vaut mieux installer une pompe à chaleur basse température, plutôt que d'en installer une à haute température sur des radiateurs existants qui sont dimensionnés au-delà de 65 °C de départ d'eau.

À partir de 60 °C de départ d'eau, l'installation est bien souvent plus rentable pour l'installateur que pour le client. En effet, il est facile de comprendre que

plus on descend la température de départ d'eau, plus on réalise des économies de chauffage.

LA NORME NF EN 442

La puissance d'un radiateur est définie en fonction d'un régime de température d'eau bien précis : delta T 50 K (ΔT 50 K).

La puissance des radiateurs à eau chaude est définie par la norme NF EN 442, qui précise les caractéristiques dimensionnelles, les conditions d'utilisation (pression de service, type de raccordement) et les puissances thermiques.

Toutes les documentations des fabricants la mentionnent.

Cette norme fixe la puissance d'un radiateur pour un régime d'eau à ΔT 50 K, ce qui permet de dimensionner un radiateur pour qu'il puisse couvrir les besoins thermiques (en watt) d'une pièce.

- T_e = température d'entrée = 75 °C
- T_s = température de sortie = 65 °C
- T_m = température moyenne = $(T_e + T_s) / 2 = 60$ °C
- T_a = température de la pièce à 1 m 50 = 20 °C

◎ UNE SOLUTION ALTERNATIVE

Sur les documentations commerciales, les COP et les puissances sont donnés pour une utilisation sur plancher chauffant (départ d'eau de 35 °C) et sur radiateurs basse température (départ d'eau de 45 °C).

Une autre solution pour éviter de changer les radiateurs dans une rénovation est de réaliser des travaux d'isolation. Ils auront comme incidence de réduire les besoins du logement et donc dans certains cas d'éviter de changer les radiateurs.

+ La formule

$\Delta T 50 K = ((T_e + T_s) / 2) - T_a$
donc $((75 + 65) / 2) - 20 = \Delta T 50 K$

Les fabricants, conscients de l'émergence du marché de la PAC, fournissent dans leur catalogue les puissances des radiateurs à un $\Delta T 30 K$, car c'est le régime de fonctionnement adapté à la pompe à chaleur.

Pour faire fonctionner le radiateur à un $\Delta T 30 K$, il faut avoir un régime de températures plus bas :

- T_e = température d'entrée = 55 °C
- T_s = température de sortie = 45 °C
- T_m = température moyenne
= $(T_e + T_s) / 2 = 50$ °C
- T_a = température de la pièce à
1 m 50 = 20 °C

+ La formule

Delta T 30 K « $\Delta T 30 K$ » = $((T_e + T_s) / 2) - T_a$
donc $((55 + 45) / 2) - 20 = \Delta T 30 K$

Ce régime de fonctionnement a une incidence fondamentale sur la puissance d'un radiateur. Quand on fait fonctionner celui-ci avec une température de départ plus basse (donc avec un ΔT plus bas que le $\Delta T 50 K$ de référence), il faut forcément augmenter sa surface d'échange, donc sa taille, pour retrouver la puissance adaptée aux déperditions de la pièce.

Tous les fabricants donnent des formules ou des tableaux de correction de la norme EN 442 afin de calculer la puissance d'un même radiateur à un régime d'eau différent. Un tableau de conversion générique est donné ci-contre.

+ Coefficient de conversion

On peut obtenir le coefficient de conversion d'un modèle de radiateur sur le site Internet www.atita.com.

**Coefficients de conversion
des radiateurs à colonne et des radiateurs acier**

Temp. (°C)	Temp. ambiante (°C)	TEMPÉRATURE DE RETOUR (°C)							
		35	40	45	50	55	60	65	70
90	24	2,36	1,97	1,17	1,53	1,38	1,27	1,17	1,10
	22	2,13	1,81	1,59	1,43	1,31	1,2	1,12	1,05
	20	1,94	1,68	1,49	1,35	1,24	1,14	1,07	1,00
	18	1,78	1,58	1,40	1,27	1,17	1,09	1,02	0,96
65	24	3,47	2,85	2,44	2,15	1,94	1,78		
	22	3,07	2,58	2,24	2,15	1,81	1,67		
	20	2,75	2,35	2,07	1,85	1,69	1,57		
	18	2,49	2,15	1,91	1,73	1,59	1,47		
60	24	3,85	3,14	2,68	2,36	2,13			
	22	3,38	2,82	2,45	2,18	1,98			
	20	3,01	2,56	2,24	2,02	1,84			
	18	2,71	2,34	2,07	1,87	1,72			
55	24	4,32	3,50	2,98	2,63				
	22	3,76	3,12	2,70	2,41				
	20	3,32	2,82	2,46	2,20				
	18	2,97	2,56	2,26	2,05				
50	24	4,92	3,97	3,38					
	22	4,24	3,51	3,04					
	20	3,72	3,14	2,76					
	18	3,30	2,83	2,52					

EXEMPLE

Nous avons besoin d'une puissance de 1 000 W pour chauffer une pièce d'une maison existante. Le modèle de radiateur installé, après vérification auprès du fabricant, a une puissance de 1 100 W à $\Delta T 50 K$. Jusque-là, tout va bien car la chaudière en place peut faire fonctionner ce radiateur à un régime d'eau de 75/65 °C.

Imaginons que nous souhaitons obtenir un COP satisfaisant pour installer

une pompe à chaleur. Nous souhaitons alors faire fonctionner ce radiateur avec un régime d'eau maximal de 55/45 °C. Il faut donc chercher dans la table de conversion du fabricant le coefficient pour une température de départ de 55 °C, une température de retour de 45 °C et une température ambiante de 20 °C. Ce coefficient est de 1,94.

Maintenant, on change la chaudière par une PAC qui sort de l'eau à 55 et 45 °C de retour.

+ Résultat

Coefficient de correction (voir tableau de conversion): 1,94

Régime d'eau Td = 55, Tr = 45 avec une Ta = 20 °C

La puissance du radiateur qui était de 1 100 W à un ΔT 50 K est maintenant de: 1 100 W / 1,94 = 567 W à un ΔT 30 K

Le radiateur se retrouve donc sous-dimensionné pour couvrir les besoins de la pièce (1 000 W) si on le fait fonctionner à ce régime d'eau 55/45 °C.

Il faudra donc soit changer le radiateur, soit en ajouter un pour avoir la puissance nécessaire pour couvrir les besoins de la pièce.

Il est bien évidemment toujours plus facile de ne pas changer les radiateurs ou tout du moins de ne pas faire une étude précise sur leur dimensionnement, et de faire installer une PAC haute température. Mais c'est se voiler la face, car cette PAC aura un rendement faible et la durée de vie du compresseur sera diminuée.

+ À savoir

Si vous installez ou remplacez une PAC, elle doit satisfaire à un coefficient de performance (COP) minimal en mode chauffage de 3,2 aux conditions standards d'utilisation. (Source Ademe: *Rénover sans se tromper*, n° 6325).

LES VENTILO-CONVECTEURS

Les ventilo-convecteurs... Tout est dit dans les termes: «ventilo» comme ventilateur puis «convecteur»... comme convecteur! Le principe est de faire passer de l'eau chaude dans un échangeur sur lequel souffle un ventilateur afin d'envoyer de l'air chaud dans la pièce. Ce système permet de travailler à des régimes d'eau plutôt bas car on trouve des ventilo-convecteurs avec un régime d'eau de 45/40 °C (certains ventilo-convecteurs ont le même régime qu'un plancher chauffant, soit 35/30 °C).

AVANTAGE

Les ventilo-convecteurs à eau ont l'avantage de pouvoir non seulement chauffer mais aussi climatiser un logement (quand la PAC est réversible).

INCONVÉNIENT

L'inconvénient majeur est le bruit engendré par la présence du ventilateur et le déplacement des poussières ambiantes (il faut nettoyer régulièrement les filtres).

CONFORT

On ne peut pas attendre du ventilo-convecteur le confort d'un radiateur basse température et encore moins d'un plancher chauffant. Pour ceux qui le connaissent, on retrouve le confort d'un convecteur électrique.

CHAPITRE 13

LES PAC HAUTE TEMPÉRATURE EVI

+ Principe EVI

Après le condenseur, une petite quantité du liquide frigorigène est prélevée; elle est détendue séparément puis réinjectée dans le compresseur.

La vapeur ainsi obtenue a deux fonctions: d'un côté, elle rafraîchit le compresseur, d'un autre elle augmente la pression de condensation (donc élève la température de départ d'eau) et la quantité de chaleur dans le condenseur.

Le système EVI (de l'anglais *Enhance Vapour Injection*) est une nouvelle technologie appliquée dans les PAC haute température, destinée à alimenter des radiateurs dans les bâtiments existants.

Les PAC haute température sont destinées à élever la température de l'eau du chauffage (généralement 65 à 75 °C) afin d'alimenter un réseau de chauffage constitué d'anciens radiateurs.

Le schéma ci-dessous présente une configuration de système pour un cycle

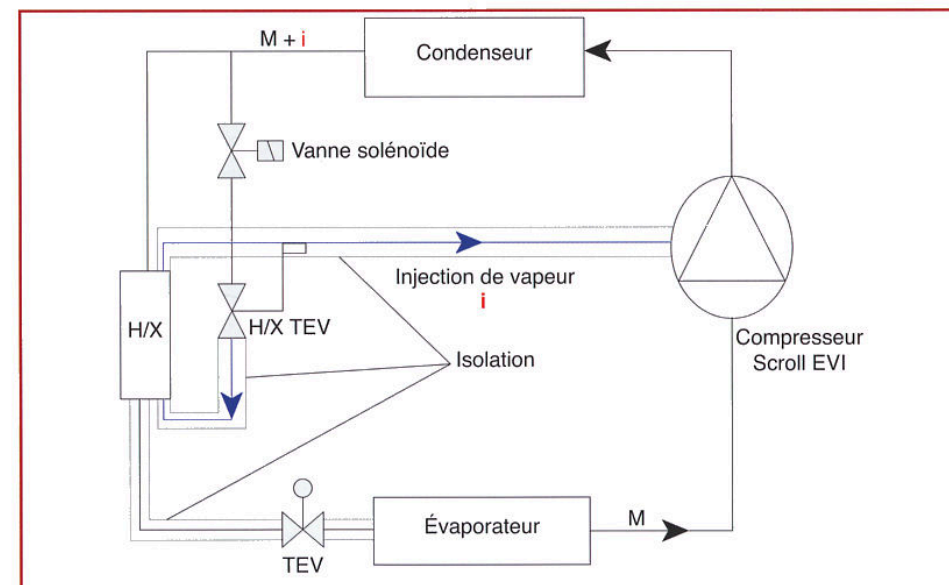


Schéma de principe EVI

avec économiseur. Un échangeur de chaleur est utilisé pour assurer un sous-refroidissement supplémentaire du fluide frigorigène avant que ce dernier ne pénètre dans l'évaporateur.

Grâce à ce processus de sous-refroidissement, la puissance mesurée dans le système augmente légèrement. Une certaine quantité de fluide frigorigène s'évapore pendant le processus de sous-refroidissement. Ce fluide frigorigène évaporé est injecté dans le compresseur et assure un refroidissement supplémentaire à un taux de compression supérieur (donc la température de départ d'eau s'élève), comparable à une injection de liquide.

Le schéma proposé en page suivante présente l'accroissement théorique de performance du système obtenu grâce à l'utilisation du cycle avec économiseur. L'extension du sous-refroidissement en dehors du dôme liquide/vapeur fournit l'augmentation d'enthalpie, améliorant ainsi les performances du système. Bien que la consommation d'énergie augmente grâce à l'injection de la vapeur dans le compresseur, une hausse du COP est tout de même

constatée car la majoration de la puissance frigorifique excède l'augmentation d'énergie consommée.

+ Rappel

Plutôt que d'installer une PAC haute température, il est toujours préférable de trouver des solutions techniques qui rendent possible la diminution de la température du réseau d'eau de chauffage, ce qui permet d'obtenir un rendement (COP) le plus élevé possible.

Le système EVI permet de maintenir la puissance de la pompe à chaleur malgré une température d'évaporation basse (température d'air extérieur basse); en revanche, le COP de cette pompe à chaleur va fortement chuter, ce qui aura pour conséquence d'augmenter les consommations.

L'important, nous l'avons évoqué à plusieurs reprises, est de ne pas se tromper de cible: il faut d'abord s'occuper du système de chauffage (radiateurs en général) pour baisser au maximum la température de départ d'eau afin d'obtenir un rendement (COP et SPF) intéressant.

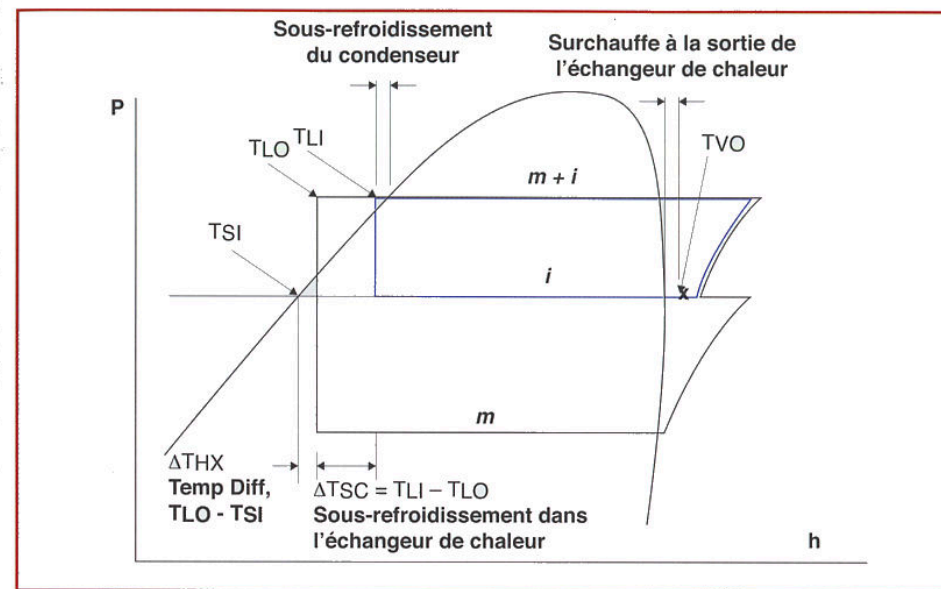
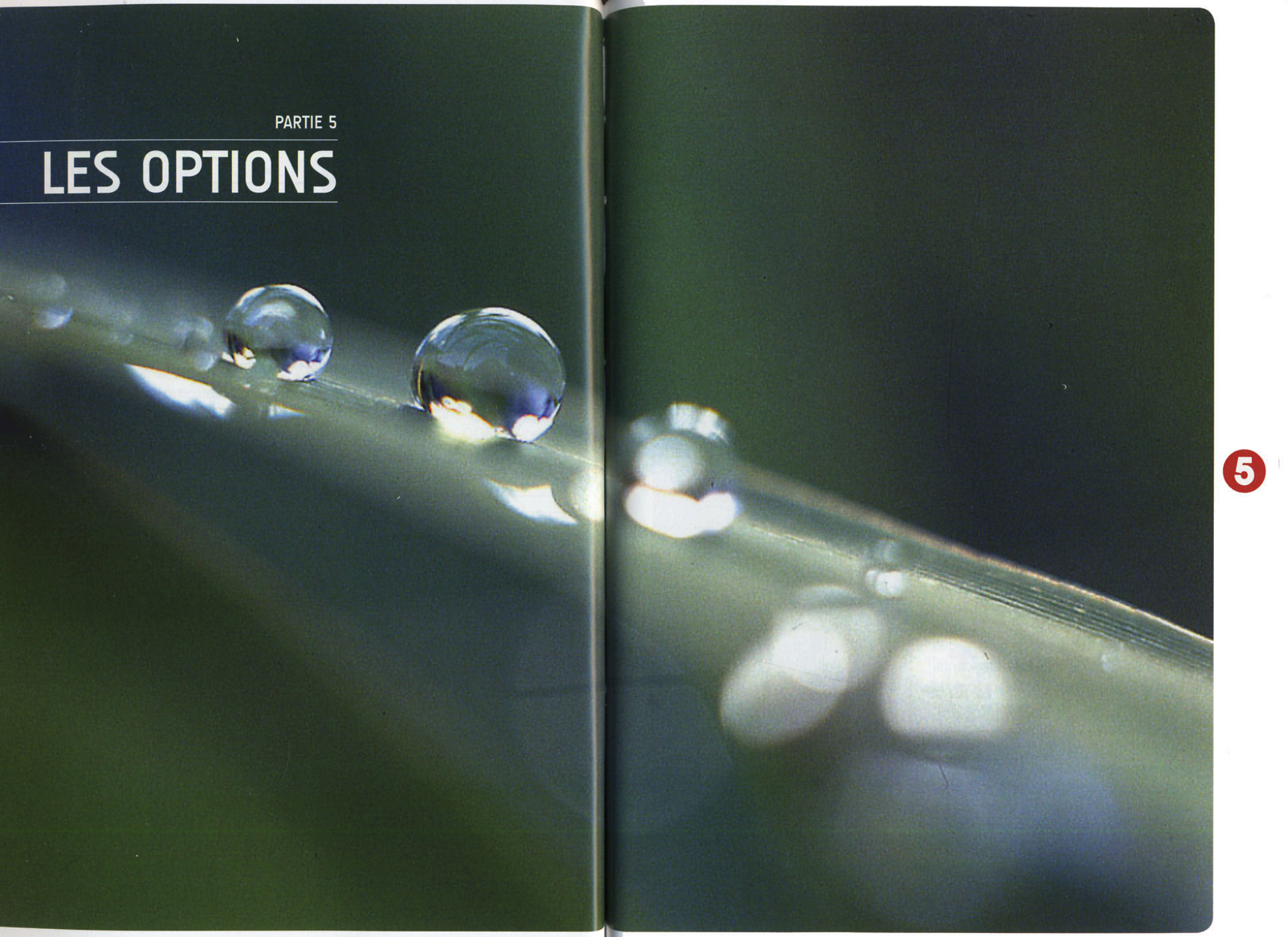


Diagramme P-h EVI

DÉFINITIONS	DESCRIPTION
Tc	Température de condensation
Tli	Température du liquide à l'entrée de l'échangeur de chaleur (H/X)
Tlo	Liquide sous-refroidi sortant du H/X
Pi	Pression intermédiaire
Tsi	Température saturée à la pression intermédiaire
Tvo	Température de la vapeur sortant du H/X
Tvi	Température de la vapeur d'entrée du H/X
Tsc	Sous-refroidissement du liquide dans le H/X
M	Débit volume de l'évaporateur
I	Débit volume du système d'injection de vapeur
ΔThx	Température du liquide sortant du H/X – Température saturée du liquide à la pression intermédiaire
ΔTsc	Température du liquide à l'entrée du H/X – Température du liquide sous-refroidi sortant du H/X

PARTIE 5

LES OPTIONS



CHAPITRE 14

L'EAU CHAUDE
SANITAIRE

Les pompes à chaleur géothermiques peuvent produire de l'énergie pour d'autres besoins que le chauffage.

Selon les fabricants, la pompe à chaleur qui produit du chauffage pour une habitation peut également traiter :

- l'eau chaude sanitaire ;
- le chauffage de l'eau d'une piscine ;
- le rafraîchissement du plancher chauffant/rafraîchissant en période estivale.

Il existe de nombreuses différences technologiques entre les fabricants. Il faut être vigilant sur ce point lors du choix d'une marque de pompe à chaleur, car de cela dépendra la possibilité de faire évoluer ou non les besoins du logement.

L'option la plus répandue est le traitement par la pompe à chaleur des besoins en eau chaude sanitaire (ECS). Il ne faut pas sous-estimer ce poste, car

si on peut réduire les besoins en chauffage (en isolant le logement par exemple), les besoins en eau chaude sont difficiles à diminuer (il faudrait prendre moins de douches...).

Il n'est pas rare de trouver des personnes avec une pompe à chaleur et un chauffe-eau électrique ! Quel dommage de ne pas utiliser le rendement de la pompe à chaleur pour produire l'eau chaude sanitaire.

Peu de fabricants savent ou traitent réellement la production d'eau chaude sanitaire, car, dans la plupart des cas, il faut une résistance électrique d'appoint. Elle est de plus rarement contrôlée par les PAC (ce qui ne permet pas d'optimiser les consommations).

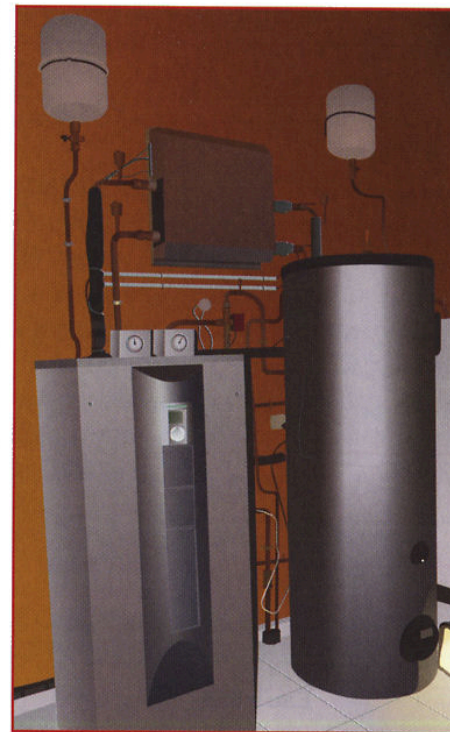
Différentes solutions techniques sont proposées et présentées dans les illustrations suivantes.



PAC Alpha Innotec avec ballon ECS intégré



PAC Waterkotte avec ballon ECS intégré



PAC Alpha Innotec avec ballon ECS séparé

DIMENSIONNEMENT

Quand l'eau chaude sanitaire est produite par la pompe à chaleur, il faut ajouter les besoins journaliers de l'ECS aux déperditions du logement pour obtenir la puissance totale à installer.

En règle générale, on peut prendre une valeur d'environ 250 W par personne.

+ Exemple

Pour un logement avec un besoin thermique de 10 kW pour le chauffage, pour la partie ECS :

Une famille de 4 personnes, soit $4 \times 250 \text{ W} = 1\,000 \text{ W}$
On installera une PAC de : $10 \text{ kW} + 1 \text{ kW} = 11 \text{ kW}$

Il existe différentes technologies :

- système à accumulation ;
- système à semi-accumulation ;
- système instantané.

+ Particularité
de la PAC gaz/gaz

Ce système ne permet pas de fabriquer l'eau chaude sanitaire hors période de chauffage ! Il faut donc avoir soit une résistance électrique intégrée au ballon, soit un second ballon électrique pour traiter l'eau chaude sanitaire pendant la période estivale !

LE SYSTÈME À ACCUMULATION

Cette solution consiste à avoir un ballon de stockage d'eau chaude sanitaire, dimensionné en fonction de la demande journalière maximale.

+ Anti-légionelle

Comme c'est de l'eau de ville qui est stockée dans le ballon ECS avec ce procédé, il faut un système anti-légionelle qui monte la température de l'eau à 65 °C.

La puissance calorifique de la pompe à chaleur sélectionnée permet de réchauffer le ballon pendant la période la moins chère (heures creuses).

Il s'agit d'installer un ballon muni d'un échangeur entre la PAC et celui-ci ou intégré, afin de séparer les fluides (l'eau de chauffage ou le liquide frigorigène pour les PAC gaz/gaz et l'eau de la ville).

Il est préférable de choisir une solution avec l'échangeur séparé du ballon : le jour où le ballon sera à changer, il n'est pas dit que l'échangeur le soit aussi (c'est un peu plus cher au départ mais, avec le temps, cette solution coûte moins cher).

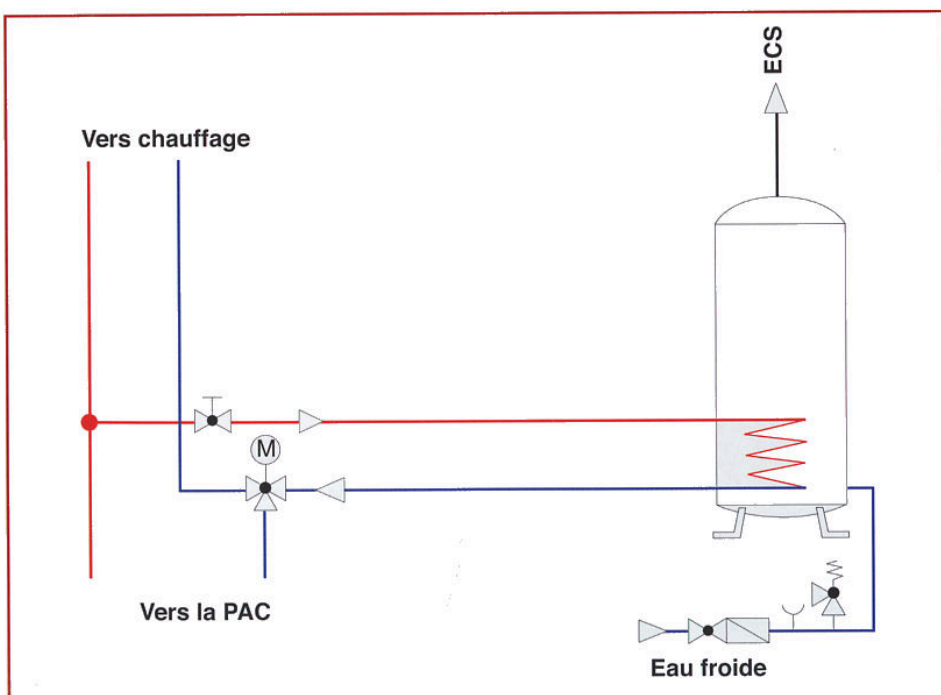


Schéma hydraulique d'un ballon avec échangeur interne

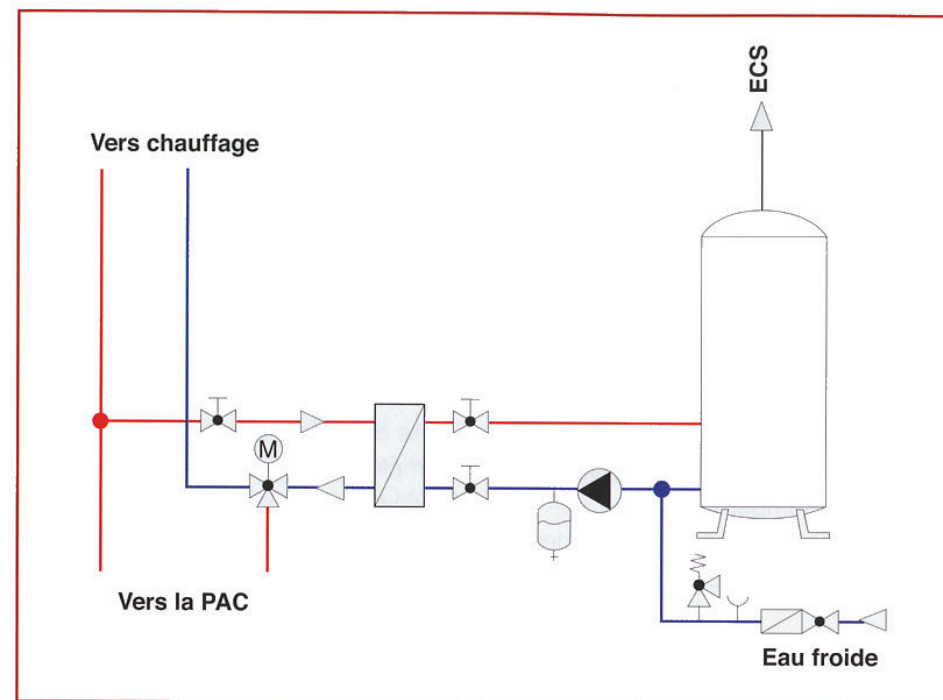


Schéma hydraulique d'un ballon avec échangeur extérieur

Dans ce cas, il faut prévoir un circulateur en bronze car il se trouve côté « eau de ville ».

Dans les deux cas, on peut prévoir un vase d'expansion (pratique peu répandue) qui permettra de compenser la pression et donc de ne pas utiliser d'eau (par le groupe de sécurité) lors de la chauffe du ballon.

+ Important

La législation française impose dans tous les cas de figure la présence d'un groupe de sécurité sur l'entrée « eau froide » d'un ballon d'eau chaude sanitaire.

LE SYSTÈME À SEMI-ACCUMULATION

Cette solution est la plus répandue. Les besoins en eau chaude sanitaire étant prioritaires, elle nécessite la disponibilité permanente de la PAC pour la production.

Comme pour le système précédent, c'est de l'eau de ville qui est stockée dans le ballon ECS. Il faut donc un système anti-légionelle qui monte la température de l'eau à 65 °C (généralement à l'aide d'une résistance électrique).

Si le fonctionnement est le même que pour le système à accumulation, la différence se situe au niveau de la régulation. Dans le système à accumulation, la pompe à chaleur ne chauffe le ballon que pendant les heures les moins chères (heures creuses), comme pour un cumulus électrique. Dans le système à semi-accumulation, la pompe à chaleur chauffe l'eau chaude sanitaire quand celle-ci en a besoin. On obtient donc un confort à l'utilisation car il n'y a pas de manque d'eau chaude (le ballon est maintenu en température). Les montages hydrauliques sont identiques au système à accumulation.

LE SYSTÈME D'EAU CHAUDE INSTANTANÉE

Cette solution est moins répandue, pourtant c'est certainement la plus intéressante en matière d'économie d'énergie. Elle utilise un ballon de stockage couplé à un échangeur à plaques dimensionné pour les besoins en eau chaude des occupants.

+ À savoir...

Comme ce procédé ne stocke pas d'eau de ville, il n'y a pas besoin d'un système d'anti-légionelle (appoint électrique), ce qui permet de réduire les consommations par rapport aux systèmes à accumulation ou à semi-accumulation.

Ce système est peu utilisé dans le monde de la pompe à chaleur, et pourtant il est très répandu dans les chaufferies gaz ou fioul.

Le principe est le suivant : dans un ballon exclusivement réservé à la production d'ECS, un échangeur extérieur vient puiser de l'énergie. Ce ballon ne sert en aucun cas à chauffer l'eau du chauffage mais bien à chauffer l'eau de la ville instantanément lorsqu'une personne ouvre le robinet d'eau chaude. Exemple du système utilisé par Waterkotte : un ballon de 300 ou 400 l avec un échangeur (ou chauffe-eau) de 38 ou 54 kW en fonction du débit.

Dans un système instantané, on trouve la notion de débit.

$$\text{Débit l/min} = (P[W] / [1,16 \times \Delta T]) / 60$$

Pour le chauffe-eau de 38 kW, le débit sera de :

$$\text{Débit} = (38\,000 / [1,16 \times 40\,^{\circ}\text{C}]) / 60$$

$$= 13,6 \text{ l/min}$$

Pour le chauffe-eau de 54 kW, le débit sera de :

$$\text{Débit} = (54\,000 / [1,16 \times 40\,^{\circ}\text{C}]) / 60$$

$$= 19,3 \text{ l/min}$$

Le ΔT de 40 K correspond en fait à la différence entre la température de l'eau froide (environ 10 °C) et la température de distribution de l'eau chaude (environ 50 °C).

L'eau chaude est distribuée dans le logement à 50 °C, ce qui est suffisant car les robinets thermostatiques sont généralement réglés pour donner au maximum 45 °C.

Cette technologie permet d'éviter tout risque de légionellose car il n'y a pas de stockage d'eau de ville. La PAC produit 100 % de l'eau chaude sanitaire toute l'année même hors période de chauffage et sans résistance électrique d'appoint. Le grand volume de stockage (en tout cas plus important que les chaudières fioul et gaz, généralement de 30 à 100 l) a pour but de ne jamais se retrouver en manque d'eau chaude. Il permet aussi d'optimiser le rendement de la PAC car elle ne se mettra pas en route pour une simple douche. La PAC fonctionne en moyenne 1 h/jour (consommation moyenne inférieure à 100 €/an pour une famille de 4 personnes).



PAC Waterkotte avec ballon ECS séparé instantané

© Waterkotte

CHAPITRE 15

LE CHAUFFAGE
DE LA PISCINE

Chauffer l'eau d'une piscine avec une pompe à chaleur géothermique permet d'en profiter plus longtemps.

En dehors de la période de chauffage, une vanne 3 voies détourne la circulation vers un échangeur installé en supplément.

Toutefois, il faut être conscient que les besoins thermiques pour chauffer l'eau d'une piscine ne sont pas négligeables. Les consommations annuelles pour celle-ci peuvent être supérieures à celles du chauffage de la maison.

+ Conseil

Il est impératif de couvrir la piscine hors période d'utilisation afin de limiter les déperditions de chaleur (la nuit notamment).

- Il faut respecter quelques règles.
- Prendre en compte le temps de fonctionnement pour les besoins de la piscine. Le temps de fonctionnement moyen pour le chauffage d'une piscine est d'environ 600 h/an pour les 4 à 5 mois d'utilisation (de mai à fin septembre). Il faudra donc augmenter la surface du capteur extérieur ou la profondeur du forage sur sonde géothermique.
 - La taille de l'échangeur doit correspondre à la puissance de la PAC. Il doit pouvoir passer la puissance et le débit nécessaire, tout en respectant le ΔT de la PAC.
 - Utiliser un échangeur en titane ou en AISI 316, qui permet de résister aux traitements de piscine (il doit être placé avant le traitement).



Échangeur à plaque (PSA)

Contrairement à l'eau chaude sanitaire, il n'y a normalement pas besoin d'augmenter la puissance à installer de la pompe à chaleur. Dans le cadre d'une utilisation normale, surdimensionner la PAC est inutile car la période durant laquelle on chauffe la piscine (été) se situe en dehors de la période de chauffage du logement (hiver).

C'est la surface du capteur extérieur ou la profondeur des forages sur sonde géothermique qui doivent être augmentées pour prendre en compte le

temps de fonctionnement de la piscine, ceci afin de ne pas appauvrir le capteur extérieur dans le temps en prélevant plus de calories que ce que le terrain ne peut en fournir. Une exception toutefois : il n'est pas nécessaire d'augmenter la profondeur des sondes géothermiques si on utilise la pompe à chaleur en mode rafraîchissement pendant la même période que le chauffage piscine. En effet, le système va réinjecter de la chaleur dans les sondes géothermiques pour rafraîchir le plancher. Il faut en revanche contrôler le temps de fonctionnement annuel de la pompe à chaleur (chauffage + ECS + piscine), qui ne doit pas dépasser 2 400 heures par an.

Dans le cas d'un captage sur nappe phréatique, il faut s'assurer que le débit de la nappe permette le fonctionnement de la pompe à chaleur en période estivale.

+ À savoir...

S'il est prévu d'utiliser le chauffage de la piscine en même temps que le chauffage du logement (en hiver), il faut alors ajouter la puissance de chauffage de la piscine à la puissance de chauffage du logement.

L'échangeur est monté avant le traitement de la piscine, il est connecté sur un by-pass qui permettra de régler le débit nécessaire dans l'échangeur afin d'avoir un delta T entre le départ et le retour chauffage (côté PAC) de 5 à 7 K. Étant donné que le compresseur de la pompe à chaleur fonctionne pour chauffer la piscine, on réduit un peu la durée de vie de la PAC.

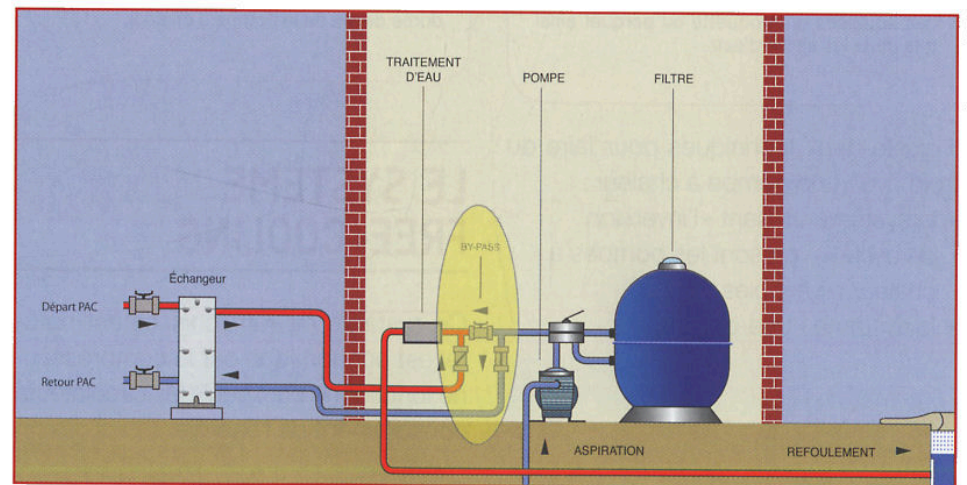


Schéma de principe d'un chauffage de piscine avec échangeur

Source : PSA

CHAPITRE 16

LE RAFRAÎ-
CHISSEMENT

La plupart des pompes à chaleur géothermiques peuvent traiter le rafraîchissement de votre habitation en période estivale.

+ Conseil

Il n'est pas recommandé d'utiliser le plancher chauffant/rafraîchissant dans les pièces équipées en moquette ou parquet ainsi que dans les salles d'eau.

Il existe deux techniques pour faire du froid avec une pompe à chaleur :

- le système utilisant « l'inversion de cycle » – ce sont les pompes à chaleur réversibles ;
- le système « free-cooling ».

L'INVERSION DE
CYCLE FRIGORIFIQUE

Pour les pompes à chaleur dites « réversibles », il s'agit d'inverser le cycle frigorifique grâce à une vanne 4 voies. Elle inverse le sens de circulation du fluide frigorigène.

Il y a dans les pompes à chaleur réversibles par inversion de cycle des éléments supplémentaires : vanne 4 voies d'inversion, 2 clapets anti-retour avec 2 détendeurs ou 2 clapets anti-retour avec 1 détendeur bi-flot. Ce système nécessite non seulement plus d'éléments, mais également plus de fluide frigorigène.

+ Inconvénient

Lorsqu'on utilise le rafraîchissement l'été, le compresseur fonctionne ; on réduit donc la durée de vie de la pompe à chaleur.

LE SYSTÈME
FREE-COOLING

Ce système de rafraîchissement naturel est économique car le compresseur ne fonctionne pas, seuls les circulateurs consomment de l'énergie.

Il s'agit de faire circuler l'eau glycolée (plus fraîche) des sondes géothermiques dans le plancher chauffant/rafraîchissant afin d'en faire baisser la température.

Il existe deux montages hydrauliques :

- **montage direct (sans échangeur) :** dans ce cas, toute l'installation doit contenir de l'antigel ;
- **montage indirect avec échangeur de séparation :** dans ce cas, seules les sondes contiennent de l'antigel. L'eau du plancher est rafraîchie au contact de l'échangeur.

La méthode de rafraîchissement par free-cooling n'est possible que dans le cas d'une pompe à chaleur sur forage (sonde géothermique) ou sur nappe phréatique. Cette méthode n'est pas efficace avec un capteur horizontal car étant enterré à une faible profondeur, il est influencé par la température extérieure durant l'été. La température du fluide caloporteur du capteur ne sera pas assez basse pour rafraîchir l'habitation.

+ À savoir

Ce mode de rafraîchissement permet de ne pas réduire la durée de vie de la pompe à chaleur et de consommer très peu.

CHAPITRE 17

LA VENTILATION

Dans le neuf, comme en rénovation, l'installation d'un système de ventilation performant permet de diminuer les déperditions d'une habitation et donc d'installer des pompes à chaleur avec des puissances moins importantes.

LA VENTILATION DOUBLE FLUX

Pour beaucoup de spécialistes, ce type de ventilation devrait aujourd'hui être obligatoire.

À l'heure où l'on cherche par tous les moyens de limiter les déperditions d'un logement pour consommer moins

d'énergie, il ne paraît pas logique d'installer une ventilation classique, qui fait entrer de l'air froid dans la maison en hiver et de l'air chaud en été !

- En hiver, la ventilation double flux permet de récupérer les calories rejetées dans l'air pour réchauffer l'air neuf avant de le faire pénétrer dans le logement. L'air neuf est préchauffé grâce à la présence d'un échangeur thermique. (Voir photo du haut, page 123.)
- En été, l'air neuf se refroidit au contact de l'air extrait. Il pénètre naturellement rafraîchi et évite de réchauffer votre logement. (Voir photo du bas, page 123.)

Dans ce type de ventilation, il n'y a pas d'entrée d'air au niveau des fenêtres. L'air arrive par des bouches qui insufflent de l'air réchauffé à l'aide d'un échangeur dans les locaux secs (séjour, salle à manger, chambres).

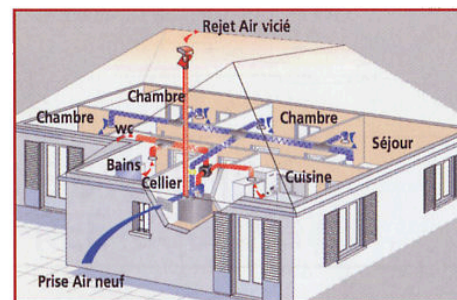


Schéma de principe

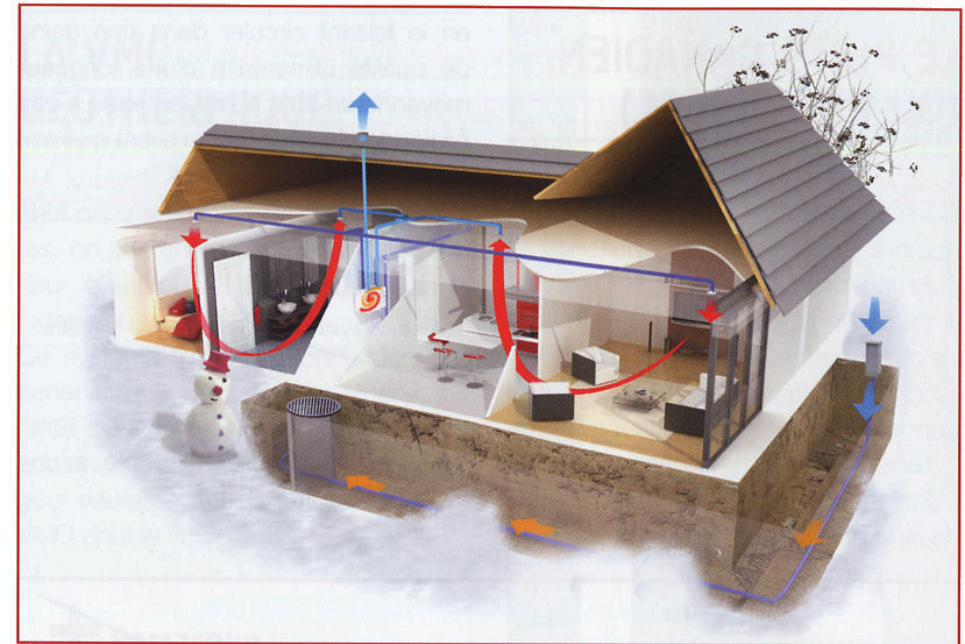


Schéma VMC double flux Duolix d'Atlantic (hiver)



Schéma VMC double flux Duolix d'Atlantic (été)

LE PUIT CANADIEN (OU PROVENÇAL)

Contrairement à ce que pense un grand nombre de personnes, le puits canadien (ou puits provençal) est un système de ventilation et non un système de chauffage.

Tout comme la ventilation double flux, il permet de réchauffer l'air neuf avant de le faire entrer dans l'habitation.

Dans ce système, on utilise les calories de la terre pour réchauffer l'air extérieur

en le faisant circuler dans une gaine de qualité alimentaire d'une longueur moyenne de 30 à 40 ml, enterrée à une profondeur d'environ 2 m avant qu'il soit introduit dans le logement.

+ Attention !

Avec ce système de ventilation, il faut être vigilant à l'évacuation des condensats.

Ce système peut être couplé à une VMC double flux.

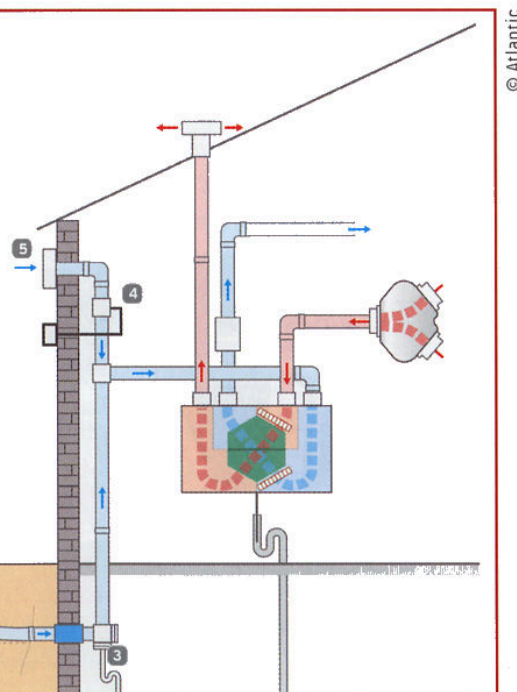


Schéma d'un puits canadien raccordé à une VMC double flux avec regard à l'intérieur

LA VMC GÉOTHERMIQUE

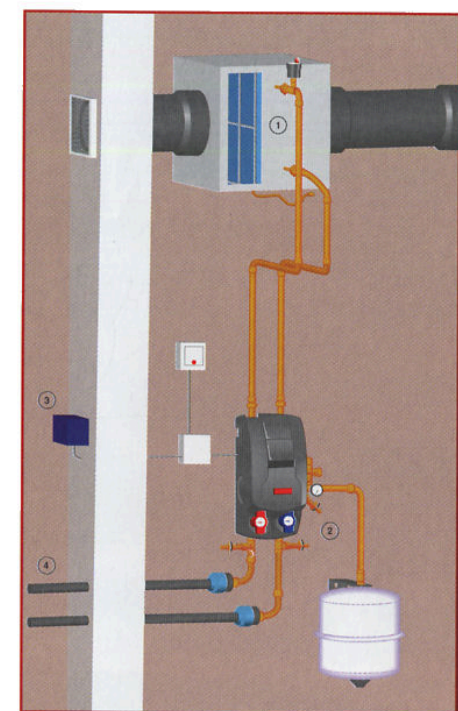
Tout comme les ventilations précédentes, on cherche à réchauffer l'air extérieur avant de le faire entrer dans le logement.

Ce système est très proche du puits canadien : les calories sont amenées à l'aide d'une boucle géothermique (tube contenant de l'eau glycolée) à un échangeur eau/air avant de rentrer dans une VMC double flux.

+ Remarque

L'avantage de la VMC géothermique par rapport au puits canadien est qu'on évite tout risque de développement de la légionelle sur la partie extérieure.

Ce système est a priori plus performant en matière de rendement et d'hygiène.



- 1 - Échangeur eau glycolée/air
- 2 - Régulation avec pompe de circulation
- 3 - Sonde extérieure
- 4 - Boucle géothermique

En réfléchissant un peu, on peut asservir un by-pass grâce à la sonde extérieure pour permettre de privilégier la température la plus favorable (soit la boucle géothermique, soit la température de l'air extérieur).

PARTIE 6

GARANTIES ET ENTRETIEN



CHAPITRE 18

LA MISE EN SERVICE ET L'ENTRETIEN

LA RÉGLEMENTATION

Le décret 2007-737 du 7 mai 2007 rend obligatoire la détention d'une attestation de capacité pour les entreprises manipulant des fluides frigorigènes.

© MISE EN GARDE !

La mise en service et la maintenance des pompes à chaleur doivent obligatoirement être réalisées par une société possédant cette attestation de capacité.

QUI EST CONCERNÉ ?

Toute entreprise, désignée comme opérateur, qui procède à des opérations sur des équipements de réfrigération ou de climatisation (y compris les

pompes à chaleur) entraînant la manipulation de fluides frigorigènes : mise en service, entretien et réparation, contrôle de l'étanchéité, récupération et charge en fluides, démantèlement des équipements.

À compter du 4 juillet 2009, 100 % des opérateurs doivent être titulaires d'une attestation de capacité.

LES CATÉGORIES D'ACTIVITÉS CONCERNÉES

Voici les catégories pour lesquelles l'attestation de capacité est délivrée :

- **Catégorie I :** contrôle d'étanchéité, maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides de tous les équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur.
- **Catégorie II :** maintenance et entretien, mise en service, récupération des fluides des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur contenant moins de 2 kg de fluide frigorigène et contrôle d'étanchéité des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur.
- **Catégorie III :** récupération des fluides des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur contenant moins de 2 kg de fluide frigorigène.
- **Catégorie IV :** contrôle d'étanchéité des équipements de réfrigération, de climatisation et de pompe à chaleur.

LE CONTRÔLE D'ÉTANCHÉITÉ

L'avantage des pompes à chaleur eau glycolée/eau est que la quantité de fluide frigorigène est souvent inférieure à 2 kg pour des puissances installées inférieures à 10 kW, contrairement à des systèmes à détente directe type sol/sol ou sol/eau qui contiennent une quantité de fluide frigorigène plus importante.

Un autre intérêt de la pompe à chaleur eau glycolée/eau est qu'elle possède un circuit hermétique conçu et préchargé en usine par le fabricant, ce qui réduit beaucoup les risques de fuite du fluide frigorigène.

© EXTRAIT DE DÉCRET 2007-737 DU 7 MAI 2007

« Le détenteur d'un équipement dont la charge en fluide frigorigène est supérieure à 2 kg fait en outre procéder, lors de sa mise en service, à un contrôle d'étanchéité des éléments assurant le confinement du fluide frigorigène par un opérateur remplissant les conditions prévues au titre IV du présent décret. Ce contrôle est ensuite périodiquement renouvelé. »

« Le recours à un opérateur n'est pas obligatoire pour la mise en service des équipements à circuit hermétique, préchargés en fluide frigorigène, contenant moins de 2 kg de fluide dès lors que leur mise en service, consiste exclusivement en un raccordement à des réseaux électrique, hydraulique ou aéraulique. »

LA MISE EN SERVICE

DIFFÉRENTES ÉTAPES INDISPENSABLES

La mise en service des pompes à chaleur doit **obligatoirement être effectuée par une personne qualifiée** (frigoriste possédant une attestation de capacité pour la manipulation des fluides frigorigènes) ayant reçu une formation par le fabricant sur les spécificités de ses pompes à chaleur.

Avant la mise en service, certaines tâches et vérifications doivent être effectuées (cette liste est non exhaustive et les instructions spécifiques à chaque fabricant doivent toujours être respectées).

- Les circuits de chauffage et/ou d'eau chaude ainsi que le système de captage extérieur doivent être intégralement installés, remplis et purgés.

+ Remarque

La pompe à chaleur ne doit pas être mise en service sans possibilité de dissiper la chaleur produite.

- L'installation électrique doit être complète et réalisée dans les règles de l'art (pas de rallonge électrique!).
- Le technicien doit vérifier la concentration en antigel pour les installations contenant de l'eau glycolée.

- Le technicien doit vérifier le réglage de tous les dispositifs de sécurité et des thermostats.

Une fois les différents essais et réglages effectués, le système peut être mis en service et les vérifications visant à confirmer que l'ensemble du système fonctionne correctement peuvent être effectuées.

Il convient de contrôler les points suivants :

- température de départ et retour du capteur extérieur ;
- température de départ et retour du chauffage ;
- température de condensation et d'évaporation ;
- surchauffe du gaz d'aspiration (généralement de 7 K environ) ;
- tension du secteur et intensité du compresseur.

Lors de la mise en service, toutes les données concernant le système (fluides frigorigènes ajoutés, résultats des essais de pression, etc.) doivent être consignées dans un rapport de mise en service.

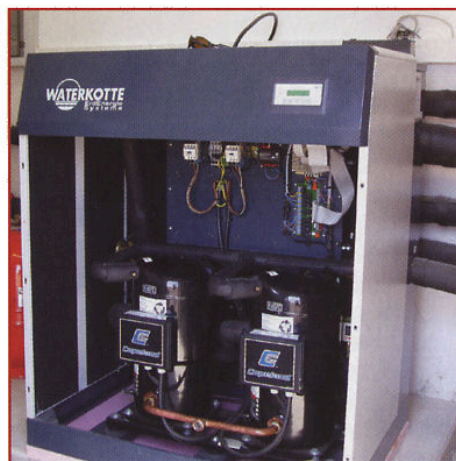
+ Attention !

Le processus de mise en service doit être effectué dans le respect des instructions du fabricant ; autrement, cela pourrait entraîner des problèmes avec la garantie du fabricant.

Ce rapport de mise en service constitue un point de référence pour toutes les visites d'entretien ultérieures. Le

rapport de mise en service et les rapports d'entretien tiendront lieu de véritable « dossier médical » et seront très utiles pour le diagnostic des pannes et la planification des activités d'entretien. En pratique, presque toutes les installations de pompe à chaleur nécessitent une ou plusieurs interventions de réglage après leur mise en service.

En effet, il peut être nécessaire de purger l'air du circuit de chauffage et/ou du capteur extérieur, de compléter le remplissage d'eau ou d'antigel, de nettoyer les filtres éventuels et de faire des réglages de la régulation.



Intérieur d'une PAC de grosse puissance avec 2 compresseurs

LES DOCUMENTS REMIS AU CLIENT

Une fois que l'installation et la mise en service sont effectuées, et que le système fonctionne parfaitement, l'installateur doit fournir des informations aux clients :

- les plans d'exécution du système (emplacement de la pompe à chaleur, emplacement du capteur extérieur, plan et étude de conception du plancher chauffant...);
- les résultats de la mise en service et des rapports d'entretien ;
- des instructions expliquant le fonctionnement du système et de la régulation.

+ Important

Une personne convenablement qualifiée, ayant suivi l'installation du système, doit expliquer le fonctionnement et l'utilisation du système au client.

MAINTENANCE/ ENTRETIEN

La maintenance et l'entretien des pompes à chaleur doivent **obligatoirement** être effectués par une personne qualifiée (frigoriste possédant une attestation de capacité pour la manipulation

des fluides frigorigènes) ayant reçu une formation par le fabricant sur les spécificités de ses pompes à chaleur.

Le technicien frigoriste exécute les procédures d'entretien recommandées par le fabricant dans le manuel d'utilisation et d'entretien de la pompe à chaleur.

Les différentes opérations effectuées doivent être consignées dans un carnet d'entretien de manière à connaître l'historique de la pompe à chaleur.

Une visite d'entretien annuelle du système de chauffage complet n'est pas obligatoire mais elle est conseillée car elle permet de contrôler le bon fonctionnement de la pompe à chaleur. Elle permet également, dans la mesure du possible, de prévenir d'éventuels dysfonctionnements (capteur, émetteurs, pression, sonde, sécurité, etc.).

+ À savoir...

Sur une installation contenant plus de 2 kg de fluide frigorigène, cet entretien annuel est obligatoire afin d'effectuer un test d'étanchéité du circuit frigorifique.

CHAPITRE 19

LA RÉGLEMENTATION THERMIQUE

LA RT DANS LE NEUF

Lorsque vous déposez un permis de construire, vous vous engagez à respecter la réglementation thermique en vigueur.

La réglementation thermique s'attache à inciter au recours aux énergies renouvelables, favoriser la conception bioclimatique, imposer une consommation maximale d'énergie pour les bâtiments, ainsi qu'à renforcer les exigences sur le bâti (notamment en termes d'isolation), les équipements et le confort d'été. Hélas, sur le terrain, on se rend compte que cette réglementation est mal connue et qu'elle n'est pas toujours respectée.

Cette réglementation évolue régulièrement pour les maisons neuves, ceci afin de réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre :

- RT2000 : besoins annuels < 100 kWh/m²/an
- RT2005 : besoins annuels < 80 kWh/m²/an

Suite au Grenelle de l'environnement, les exigences des futures réglementations thermiques devraient être encore plus strictes :

- RT2012 : besoins annuels < 50 kWh/m²/an en moyenne selon la zone climatique (maison BBC « Bâtiment basse consommation »)
- RT2020 : maisons dites « passives », c'est-à-dire qui produisent plus d'énergie qu'elles n'en consomment.

La réglementation en vigueur est la RT2005. Elle est applicable aux permis de construire déposés à partir du 1^{er} septembre 2006.

À SAVOIR : JUSTIFICATIONS ADMINISTRATIVES

Vous devez obligatoirement être en possession au plus tard à l'achèvement des travaux :

- soit de la synthèse de l'étude thermique réalisée par un bureau d'études thermique ;
- soit des éléments pouvant justifier de la prise en compte de la RT2005 (en cas d'absence d'étude thermique).

Dans les deux cas, vous devez obligatoirement être en mesure de fournir l'ensemble des caractéristiques des composants et des équipements mis en œuvre dans votre construction.

LEXIQUE

R = Résistance thermique (exprimée en m²K/W). Plus R augmente meilleure est l'isolation.

λ = Conductivité thermique (exprimée en W/mK). Plus λ est petit, plus le matériau est isolant.

U = Coefficient de conductivité thermique (exprimé en W/m²K).

UE = Coefficient des parois (exprimé en W/m²K).

U_w = Coefficient des fenêtres (exprimé en W/m²K).

ψ = Pont thermique (exprimé en W/mK).

Valeurs à respecter pour la RT 2005

DÉSIGNATION	GARDE-FOU	RÉFÉRENCE
Planchers bas		
Vide sanitaire Sous-sol	UE = 0,40	UE = 0,27
Terre-plein	R = 1,70	UE = 0,27
Sous face escalier	UE = 0,40	UE = 0,27
Murs		
Extérieur Local non chauffé	U = 0,45	U = 0,36
Planchers hauts		
Combles perdus Sous-rampant	U = 0,28	U = 0,20
Déperditions linéiques		
Plancher bas/mur	ψ = 0,65	ψ = 0,40
Plancher intermédiaire/murs	ψ = 0,65	ψ = 0,55
Planchers hauts/murs Béton ou maçonnerie	ψ = 0,65	ψ = 0,50
Portes	-	U _p = 1,5
Fenêtres et portes-fenêtres	U _w = 2,60	U _{jn} = 1,80
Coffre de volets roulants	U = 3	
Perméabilité à l'air	1,3 (valeur par défaut)	0,8
Apports solaires	Orientation est-ouest	Surface des baies = 1/6 Sh, orientation: 40 %, sud 20 % est, ouest, nord
Ventilation	autoréglable	Hygro A
Chauffage effet Joule	Convecteurs ou PRE + programmation	Panneaux rayonnants + programmation
Chauffage combustible liquide ou gazeux	Chaudière standard	Chaudière basse température
Chauffage thermodynamique	Canalisations hors volume chauffé isolées	air/air ou air/eau
Eau chaude sanitaire: position	Canalisations maintenues en température isolées	ECS électrique: ballon en volume chauffé ECS autre: ballon hors volume chauffé
Eau chaude sanitaire: performance	Pertes de stockage limitées	Si chauffage combustible fossile ou effet joule: ECS solaire Si chauffage autre (PAC, bois): ECS classique

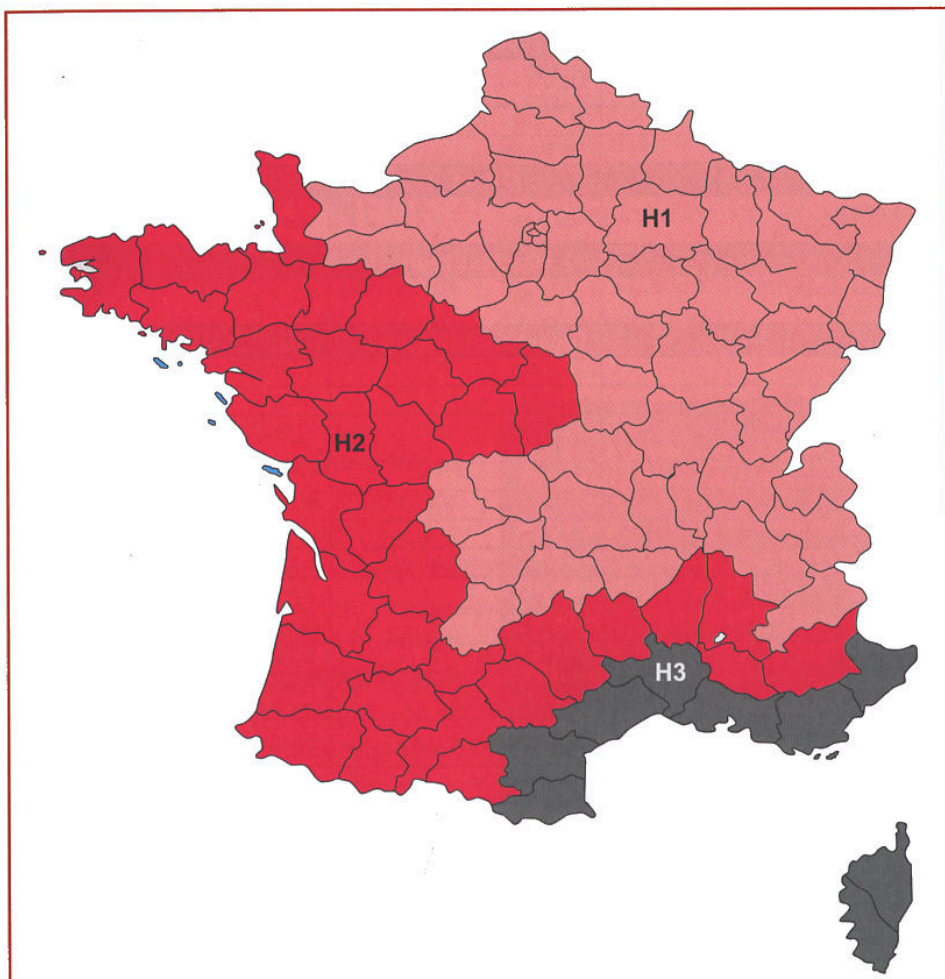
Source: plaquette DRE Midi-Pyrénées

LA RT DANS L'EXISTANT

Depuis le 1^{er} novembre 2007, une réglementation thermique pour les bâtiments existants a été mise en place.

+ Mise en garde !

Il paraît inconcevable de vouloir installer une pompe à chaleur dans le but de réduire ses consommations d'énergie dans une maison très mal isolée.



Zones climatiques telles que définies depuis le 1^{er} novembre 2007 (RT dans l'existant)

Cette réglementation prévoit entre autres la rénovation «élément par élément» : si l'on change les fenêtres, il faut que les nouvelles fenêtres soient conformes au décret d'application de la réglementation thermique existante mais sans obligation de mettre aux normes le reste du logement (murs, toit, etc.).

Vous trouverez pour information dans les pages suivantes quelques extraits de la réglementation thermique pour les bâtiments existants (exigences minimales en fonction des différents éléments).

+ Des chiffres qui en disent long

Le parc français compte près de 31 millions de logements.

19 millions d'entre eux ont été construits avant 1975 alors qu'il n'existait aucune réglementation thermique fixant des impératifs d'isolation ou de performance des équipements de chauffage.

La ventilation est un point important du logement : l'air doit y être renouvelé en permanence pour fournir l'oxygène nécessaire aux habitants, ainsi que pour éliminer les polluants, l'excès d'humidité et les odeurs.

La réglementation fixe la consommation maximale admise pour les ventilateurs de VMC installés ou remplacés : elle est de 0,25 Wh/m³ par ventilateur.

Ce petit aperçu sur la réglementation thermique existante a pour but de vous sensibiliser et de vous conseiller d'isoler, d'isoler, et d'isoler encore.

Bien sûr, le remplacement d'un système de chauffage traditionnel par une pompe à chaleur est efficace mais il ne faut pas se tromper : mieux vaut isoler afin de réduire les déperditions du logement et donc les consommations.

Plus une maison est isolée, moins il faut de puissance et donc d'énergie pour la chauffer.

L'énergie la moins chère, c'est celle qu'on ne consomme pas !

🎯 LE POINT RÉGLEMENTAIRE EN RÉSUMÉ

Si vous réalisez des travaux d'isolation des murs de votre logement, la réglementation vous impose de conserver les grilles d'aération existantes, sauf si vous faites installer un autre système de ventilation.

Les nouvelles fenêtres et portes-fenêtres des pièces principales doivent comporter des entrées d'air, s'il n'en existe pas déjà. Pour en savoir plus, consultez le guide de l'Ademe *La ventilation*, n° 3672.

Résistances thermiques minimales concernant les parois dites « opaques » en fonction de la zone climatique

Type de paroi opaque (toit, mur, plancher)	RÉSISTANCE THERMIQUE MINIMALE R EN m².K/W	
	ZONES H1 ET H2 (H3 À PLUS DE 800 M D'ALTITUDE)	ZONE H3 (À MOINS DE 800 M D'ALTITUDE)
Mur extérieur, toiture de pente > 60°	2,3*	2
Mur ou plancher bas donnant sur un local non chauffé	2	2
Plancher bas donnant sur l'extérieur ou sur un parking collectif	2,3	2
Comble perdu	4,5	4,5
Comble aménagé, toiture de pente < 60°	4**	4**
Toiture-terrasse	2,5	2,5

*: R = 2 possible si la diminution de surface habitable est supérieure à 5 %.

** : R = 3 possible si la diminution de surface est supérieure à 5 %.

Source: Ademe

Coefficient de transmission thermique maximal (U) à respecter lors du remplacement des parois vitrées

Type de paroi vitrée (fenêtre, porte-fenêtre)	COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE MAXIMAL U (W/m².K)	
	VITRAGE SEUL Ug	FENÊTRE Uw
Cas général	2	2,3
Menuiserie coulissante	2	2,6

COP minimal des pompes à chaleur avec une température de départ d'eau à 45 °C

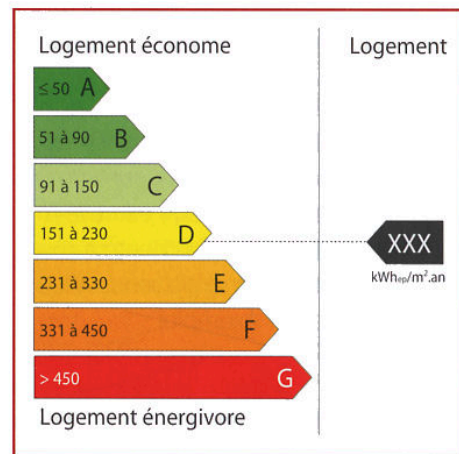
MILIEU OÙ LA PAC PUISE LES CALORIES	TYPE DE PAC	COP MINIMAL EN MODE CHAUFFAGE	TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE
Air extérieur	Air-eau	2,7	7 °C
Nappe phréatique	Eau-eau	3,2	10 °C
Sol (capteurs enterrés à eau)	Eau glycolée-eau	2,7	0 / - 3 °C
Sol (capteurs enterrés à fluide frigorigène)	Sol-eau	2,7	- 5 °C

Source: Ademe

LE DPE

Le DPE (diagnostic de performance énergétique) a été mis en place de façon à informer le particulier sur la consommation de son habitation. Il indique la performance énergétique du logement en termes de consommation d'énergie et d'émission de gaz à effet de serre. Il donne également des recommandations destinées à améliorer cette performance. Le DPE analyse l'ensemble des caractéristiques du bâtiment et est exprimé sous forme d'étiquettes :

- une étiquette pour connaître la consommation d'énergie ;
- une étiquette pour connaître l'impact de ces consommations sur l'effet de serre.



Consommation du logement exprimée en kWh EP/m².an

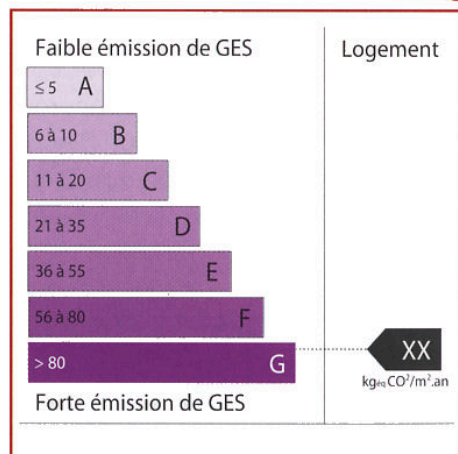
Depuis 2007, ce diagnostic est **obligatoire** et doit être établi par un professionnel (technicien certifié) :

- pour toute construction neuve ;
- lors de la vente d'un bien ancien ;
- pour tout contrat de location.

Les propriétaires peuvent aussi, en dehors d'une vente ou d'une location, faire réaliser un tel diagnostic de performance énergétique pour avoir une expertise d'ensemble de leur habitation et bénéficier de recommandations de travaux d'économie d'énergie.

+ Pour plus d'information

Le site Internet du ministère du Logement : www.logement.gouv.fr



Émission de gaz à effet de serre exprimée en kg_{GES} CO₂/m².an

CHAPITRE 20

LABELS DE PERFORMANCE ET QUALIFICATION

LES LABELS DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Les travaux du Grenelle de l'environnement ont mis l'accent sur l'importance des économies d'énergies, que ce soit dans le neuf ou dans les bâtiments existants.

Un besoin apparaît : garantir la qualité et l'efficacité énergétique et environnementale des travaux à réaliser.

C'est pour cela que Promotelec, par exemple, a mis en place des labels de performance énergétique.

LABEL DANS LE NEUF

Promotelec a mis en place le label Performance, qui se décline en cinq niveaux de performances (voir p. 140),

définis par l'arrêté du 3 mai 2007 relatif au label Haute performance énergétique.

+ Calcul de performance énergétique

Les logements doivent avoir fait l'objet d'un calcul de performance énergétique pour vérifier la conformité à la réglementation thermique RT2005. Le calcul est réalisé conformément aux dispositions énoncées dans le décret et l'arrêté du 24 mai 2006.

HPE

Gain sur le Cep et Cep-max supérieur ou égal à 10 %.

HPE ENR

Équivalent au HPE avec l'une des conditions suivantes :

- La part de consommation conventionnelle de chauffage par un générateur utilisant la biomasse est supérieure à 50 %.
- Le système de chauffage est relié à un réseau de chaleur alimenté à plus de 60 % par une énergie renouvelable (géothermie par exemple).

THPE

Gain sur le Cep et Cep-max supérieur ou égal à 20 %.

THPE ENR

Gain sur le Cep et Cep-max supérieur ou égal à 30 % avec une des conditions suivantes :

- Le bâtiment est équipé de panneaux solaires assurant au moins 50 % de l'eau chaude sanitaire et la part de la consommation conventionnelle de chauffage par un générateur utilisant la biomasse est supérieure à 50 %.
- Le bâtiment est équipé de panneaux solaires assurant au moins 50 % de l'eau chaude sanitaire et le système de chauffage est relié à un réseau de chaleur alimenté à plus de 60 % par une énergie renouvelable (géothermie par exemple).
- Le bâtiment est équipé de panneaux solaires assurant au moins 50 % de l'ensemble des consommations de l'eau chaude sanitaire et du chauffage.
- Le bâtiment est équipé d'un système de production d'énergie électrique (photovoltaïque) utilisant les énergies renouvelables assurant une production annuelle de plus de 25 kWh/m² SHON en énergie primaire.
- Le bâtiment est équipé d'une pompe à chaleur dont les caractéristiques minimales sont : COP annuel > ou = à 3,5 + conditions pour les systèmes air/air.

BBC Effinergie

Pour les locaux à usage d'habitation, la consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment pour le chauffage, la refroidissement, la ventilation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage est inférieure ou égale à une valeur en kilowattheure par mètre carré et par an d'énergie primaire, qui s'exprime sous

la forme : $50 \times (a + b)$. Les coefficients a et b sont définis dans l'arrêté en fonction des zones climatiques et de l'altitude. La perméabilité à l'air du logement, calculée selon la norme NF EN 13829, doit être inférieure à 0,6 m³/(h.m²) pour les maisons individuelles.

Pourquoi faire la démarche ?

L'intérêt d'obtenir un label Performance énergétique pour un logement neuf est de s'assurer que toute la filière respectera le cahier des charges.

Promotelec peut réaliser des visites en cours de chantier pour détecter d'éventuelles anomalies et faire réaliser les travaux de mise en conformité si nécessaire. Après une visite de contrôle à la fin des travaux, Promotelec délivre le label Performance si l'ouvrage réalisé est conforme au cahier des prescriptions techniques.

+ Le label Performance

Depuis le 6 septembre 2008, un site Internet est accessible dans le cadre de la campagne de communication sur le thème « Le label Performance protège la Terre et votre portefeuille en même temps » : www.2ideesalafois.com.

LABEL DANS L'EXISTANT

Promotelec a mis en place un label Rénovation énergétique.

Ce label met en place un processus de certification cherchant à vérifier la qualité des travaux réalisés, au travers du

respect d'un référentiel de prescriptions techniques et d'un contrôle vérifiant la bonne mise en œuvre du projet initial.

En amont du projet, le maître d'ouvrage est guidé par un «expert en rénovation énergétique» qui établit un bilan des consommations afin de mesurer l'impact de chaque solution à mettre en œuvre en termes de consommations, d'émissions de gaz à effet de serre, d'investissement et de charge énergétique. Toutes les solutions préconisées doivent être conformes au cahier des prescriptions techniques du label Rénovation énergétique.

L'expert en rénovation énergétique réalise :

- un bilan initial des consommations énergétiques ;
- des préconisations de travaux ;
- un bilan thermique projeté après choix des travaux à réaliser.

+ À savoir

La liste des experts en rénovation énergétique est téléchargeable sur le site de Promotelec (www.promotelec.com).

Le référentiel de prescriptions techniques s'appuie sur les réglementations. Il se décline en cinq niveaux de performance :

- 1 étoile = gain de performance $\geq 50\%$ avec une consommation finale $> 210 \text{ kWh EP/m}^2/\text{an}$;
- 2 étoiles = consommation finale comprise entre 210 et $151 \text{ kWh EP/m}^2/\text{an}$;

- 3 étoiles = consommation finale comprise entre 150 et $101 \text{ kWh EP/m}^2/\text{an}$;
- 4 étoiles = consommation finale $< 100 \text{ kWh EP/m}^2/\text{an}$.

MENTION EFFINERGIE RÉNOVATION

1 – Consommation conventionnelle d'énergie primaire inférieure à $80 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$.

2 – Production locale d'électricité (photovoltaïque, micro-éolien) déduite des consommations d'énergie à concurrence de $12 \text{ kWh EP/m}^2/\text{an}$.

3 – Surface de référence de 1,2 fois la surface habitable (si la SHON dépasse de 20 % la surface habitable, la surface prise en référence pour répondre aux exigences du label Effinergie rénovation est de 1,2 fois la surface habitable).

4 – La perméabilité à l'air du bâtiment sous une dépression de 4 pascals doit être inférieure à $0,8 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$ en maison individuelle et à $1,3 \text{ m}^3/\text{h/m}^2$ en logement collectif.

Attention : les valeurs de consommation sont à moduler en fonction des coefficients de climat (coef. a) et d'altitude (coef. b). Les consommations sont donc multipliées par $(a + b)$.

Ces différents labels permettent aux particuliers d'avoir l'assurance d'une installation de qualité réalisée par des entreprises qualifiées.

+ Sur Internet

Vous pouvez vous rapprocher de Promotelec ou aller visiter les sites Internet www.promotelec.com et www.labelrenovationenergetique.promotelec.com.



LES QUALIFICATIONS

La conception et l'installation d'un système de chauffage par pompe à chaleur font appel à de nombreuses compétences : connaissances thermiques, thermodynamiques (frigoristes), électriques, hydrauliques, etc.

QUALIPAC

Qualipac est une appellation de confiance créée par l'AfPAC en 2007 avec le soutien de l'Ademe et d'EDF. Elle a pour but de faciliter la mise en relation des particuliers intéressés par un chauffage performant et respectueux de l'environnement avec des installateurs spécialistes de la pompe à chaleur et soucieux de la satisfaction de leurs clients.

L'entreprise d'installation adhérente à la marque s'engage à :

- disposer de personnels ayant validé le cursus de formation élaboré par l'AfPAC et le Costic ;
- accepter le contrôle de plusieurs de ses installations par un organisme indépendant (Apave) ;
- respecter une charte qualité ;
- justifier des assurances obligatoires (responsabilités civile et décennale) ;
- posséder l'attestation de capacité prévue à l'article 15 du décret 2007-737 du 7 mai 2007 pour la manipulation des fluides frigorigènes ;
- posséder l'une des qualifications professionnelles suivantes : Qualiclimafroid (B200, B201), Qualibat (531/541 ou 531/542 ou 531/552 ou 538) ou Qualifelec (Th2 ou Th3).



ÉCO-ARTISAN

Éco-artisan®, marque déposée par la Capeb, est ouverte à l'ensemble des entreprises du bâtiment habilitées à répondre favorablement à l'efficacité énergétique du bâti.

Ce label, entré en action début 2009, permet au grand public de faire appel aux artisans du bâtiment capables de le conseiller en matière d'efficacité énergétique.

Les éco-artisans :

- sont aptes à évaluer l'efficacité thermique d'un logement dans son ensemble ;

- maîtrisent les techniques d'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, dans leur corps de métiers ;
- conseillent à leurs clients des solutions techniques cohérentes et globales (isolation, menuiseries extérieures, choix de l'énergie, mode de chauffage, ventilation, etc.) pour diminuer la consommation énergétique des logements.



CHAPITRE 21

LES AIDES FINANCIÈRES

LE CRÉDIT D'IMPÔT

L'installation d'une pompe à chaleur géothermique ouvre droit à un crédit d'impôt dédié au développement durable et aux économies d'énergie.

Le crédit d'impôt concerne les dépenses d'acquisition (pour un logement à usage d'habitation principale) de certains équipements fournis par les entreprises ayant réalisé les travaux et faisant l'objet d'une facture, dans les conditions précisées à l'article 200 quater du code général des impôts modifié par loi n° 2008-1425 du 27 décembre 2008 – article 109 (V). Cela concerne :

- les équipements de chauffage (chaudières à condensation) ;
- les matériaux d'isolation ;
- les appareils de régulation de chauffage ;
- les équipements utilisant

- des énergies renouvelables ;
- les pompes à chaleur autres que air/air dont la finalité essentielle est la production de chaleur ;
- les équipements de raccordement à certains réseaux de chaleur alimentés par des énergies renouvelables ou des installations de cogénération.

Le taux de crédit d'impôt est de 40 % pour les dépenses payées en 2009 et de 25 % pour les dépenses payées à compter du 1^{er} janvier 2010 en ce qui concerne les chaudières et équipements de chauffage de production d'eau chaude indépendants fonctionnant au bois ou autres biomasses et les pompes à chaleur géothermiques ou air/eau. Toutefois, lorsque ces équipements sont installés dans un logement achevé avant le 1^{er} janvier 1977 et que les dépenses sont réalisées au plus tard le 31 décembre de la deuxième année suivant celle de son acquisition à titre onéreux ou gratuit, le taux est fixé à 40 %. Par ailleurs, les pompes à chaleur air/air ne sont plus éligibles au dispositif du crédit d'impôt à compter du 1^{er} janvier 2009.

Le crédit d'impôt est accordé sur présentation des factures, autres que les factures d'acompte des entreprises ayant réalisé les travaux. Ces factures doivent comporter, outre les mentions prévues à l'article 289 du CGI, le lieu de réalisation des travaux, la nature de ces travaux ainsi que la désignation, le montant et, le cas échéant, les caractéristiques et les critères de performance des équipements.

Le montant des dépenses ouvrant droit au crédit d'impôt ne peut excéder, au titre d'une période de cinq années consécutives comprises entre le 1^{er} janvier 2005 et le 31 décembre 2012, la somme de 8 000 € pour une personne célibataire, veuve ou divorcée, et de 16 000 € pour un couple soumis à imposition commune. Cette somme est majorée de 400 € par personne à charge au sens des articles 196 à 196 B. La somme de 400 € est divisée par deux lorsqu'il s'agit d'un enfant réputé à charge égale de l'un et l'autre de ses parents.

+ À savoir...

Les émetteurs de chaleur (plancher chauffant, ventilo-convecteurs, radiateurs) et la main-d'œuvre n'ouvrent pas droit au crédit d'impôt.

Ce crédit d'impôt s'applique au coût des équipements de production d'énergie (pompe à chaleur, ballon de stockage, sonde géothermique, capteur extérieur, etc.) dont le COP est $\geq 3,3$, selon les conditions d'essai de la norme NF14511-2 et conformément aux dispositions des arrêtés du 12 décembre 2005 et du 13 novembre 2007. Il n'est pas précisé que la PAC doit être NF PAC. Les illustrations qui suivent sont extraites du Bulletin officiel des impôts (BOI) 5 B-17-07 du 11 juillet 2007 (source: www.impots.gouv.fr).

🎯 EXTRAIT DE L'ARRÊTÉ DU 13 NOVEMBRE 2007

«La liste des équipements, matériaux et appareils mentionnés au 1 de l'article 200 quater du code général des impôts est fixée comme suit: [...]

b) De pompes à chaleur spécifiques telles que:

1° Les pompes à chaleur géothermiques à capteur fluide frigorigène de type sol-sol ou sol-eau ayant un coefficient de performance supérieur ou égal à 3,3 pour une température d'évaporation de -5°C et une température de condensation de 35°C .

2° Les pompes à chaleur géothermiques de type eau glycolée/eau ayant un coefficient de performance supérieur ou égal à 3,3 pour des températures d'entrée et de sortie d'eau glycolée de 0°C et -3°C à l'évaporateur, et des températures d'entrée et de sortie d'eau de 30°C et 35°C au condenseur, selon le référentiel de la norme d'essai 14511-2.

3° Les pompes à chaleur géothermiques de type eau/eau ayant un coefficient de performance supérieur ou égal à 3,3 pour des températures d'entrée et de sortie de 10°C et 7°C d'eau à l'évaporateur, et de 30°C et 35°C au condenseur, selon le référentiel de la norme d'essai 14511-2.»

LA POMPE À CHALEUR À EAU GLYCOLÉE ET CAPTEUR VERTICAL

Le crédit d'impôt est valable sur les dépenses suivantes:

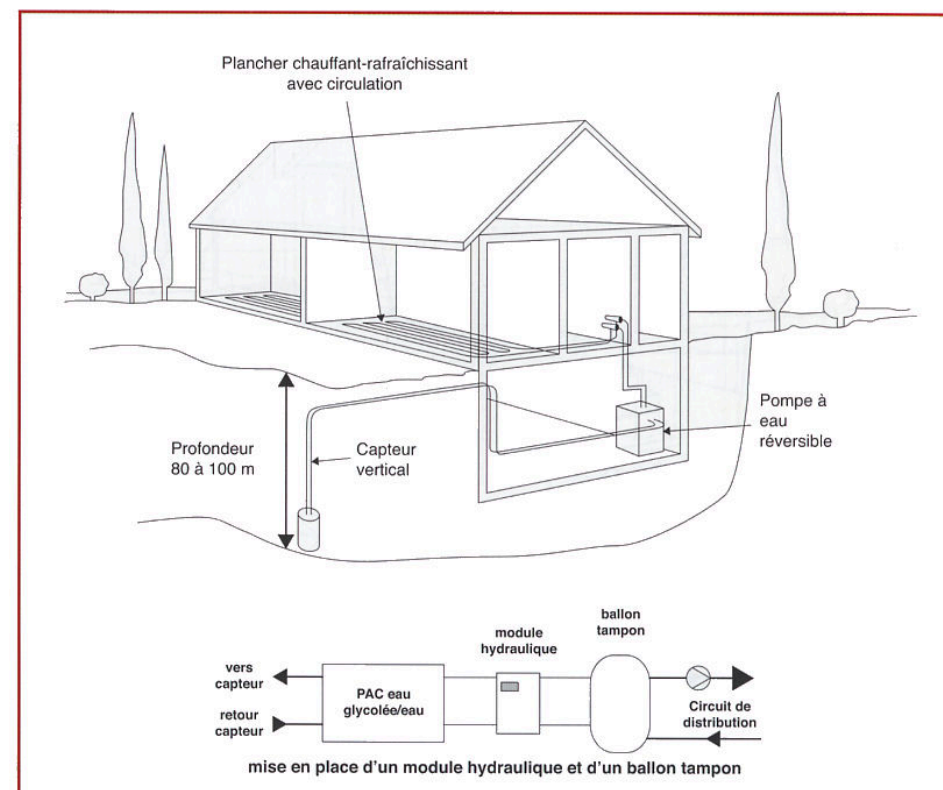
- la pompe à chaleur;
- le système de captage;
- le module hydraulique;
- le système de stockage;
- les tuyauteries.

Pour bénéficier de ce crédit d'impôt, la pompe à chaleur doit avoir un coefficient

de performance supérieur ou égal à 3,3 pour une température d'entrée source de 0°C (norme d'essai 14511-2).

Ne sont pas soumis au crédit d'impôt:

- les travaux d'installation;
- les travaux de forage et de remplissage;
- les émetteurs de chaleur;
- le réseau de distribution;
- le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique;
- l'isolation des tuyauteries;
- les appareils de régulation.



LA POMPE À CHALEUR À EAU GLYCOLÉE ET CAPTEUR HORIZONTAL

Le crédit d'impôt est valable sur les dépenses suivantes :

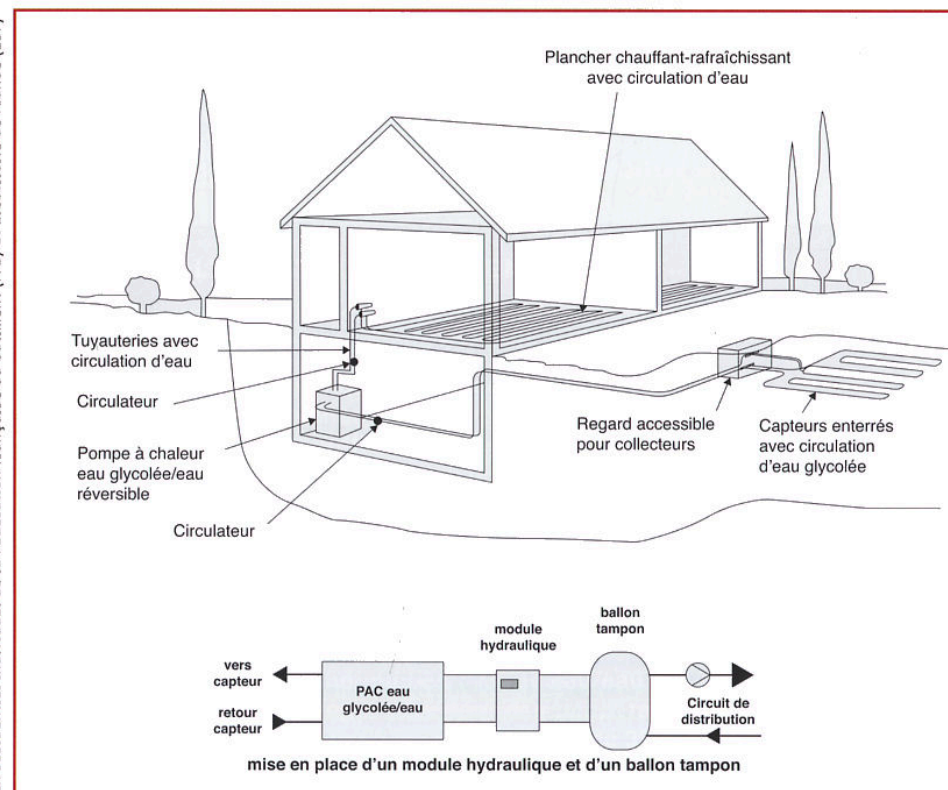
- la pompe à chaleur ;
- le système de captage ;
- le module hydraulique ;
- le système de stockage ;
- les tuyauteries.

Pour bénéficier de ce crédit d'impôt, la pompe à chaleur doit avoir un coefficient

de performance supérieur ou égal à 3,3 pour une température d'entrée source de 0 °C (norme d'essai 14511-2).

Ne sont pas soumis au crédit d'impôt :

- les travaux d'installation ;
- les travaux de décapage et de remblaiement ;
- les émetteurs de chaleur ;
- le réseau de distribution ;
- le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique ;
- l'isolation des tuyauteries ;
- les appareils de régulation.



LA POMPE À CHALEUR À EAU ET EAU

Le crédit d'impôt est valable sur les dépenses suivantes :

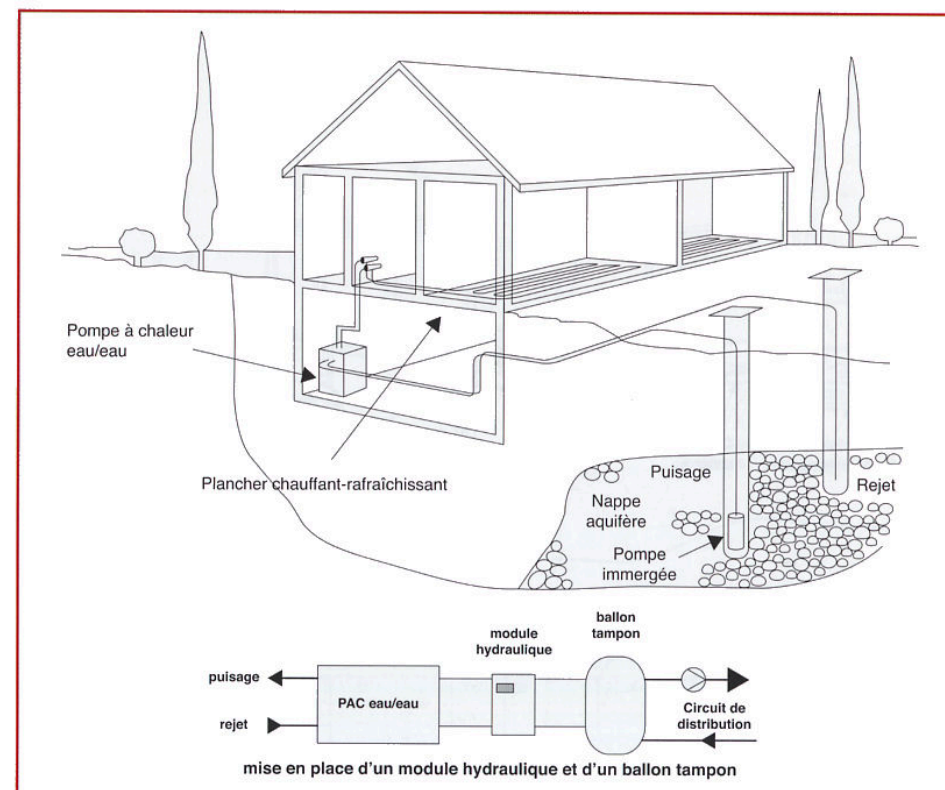
- la pompe à chaleur ;
- le système de captage ;
- le module hydraulique ;
- le système de stockage ;
- les tuyauteries.

Pour bénéficier de ce crédit d'impôt, la pompe à chaleur doit avoir un coefficient de performance supérieur ou égal à 3,3

pour une température d'entrée source de 10 °C (norme d'essai 14511-2).

Ne sont pas soumis au crédit d'impôt :

- les travaux d'installation ;
- les travaux de forage et de remplissage ;
- les émetteurs de chaleur ;
- le réseau de distribution ;
- le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique ;
- l'isolation des tuyauteries ;
- les appareils de régulation.



LA POMPE À CHALEUR DE SOL À SOL

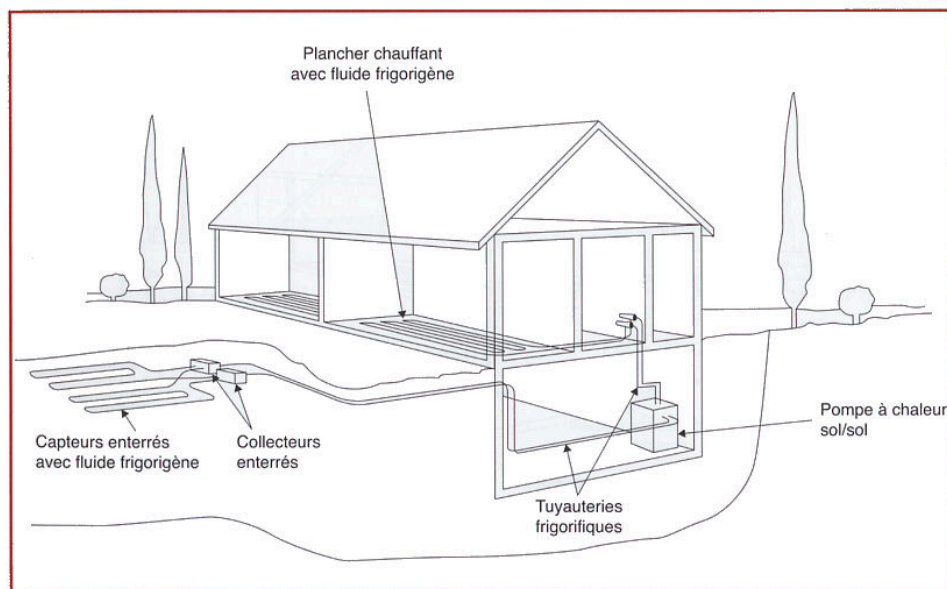
Le crédit d'impôt est valable sur les dépenses suivantes :

- la pompe à chaleur ;
- le système de captage ;
- les tuyauteries.

Pour bénéficier de ce crédit d'impôt, la pompe à chaleur doit avoir un coefficient de performance supérieur ou égal à 3,3 pour une évaporation de -5°C (norme d'essai 14511-2).

Ne sont pas soumis au crédit d'impôt :

- les travaux d'installation ;
- les travaux de décapage et de remblaiement ;
- les émetteurs de chaleur ;
- le réseau de distribution ;
- le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique ;
- l'isolation des tuyauteries ;
- les appareils de régulation.



Source: Bulletin officiel des impôts 5 B-17-07 du 11 juillet 2007 / guide *Solutions de pompes à chaleurs en résidentiel individuel* de la Fédération française du bâtiment (FFB) et Électricité de France (EDF)

LA POMPE À CHALEUR DE SOL ET EAU À CAPTEUR HORIZONTAL

Le crédit d'impôt est valable sur les dépenses suivantes :

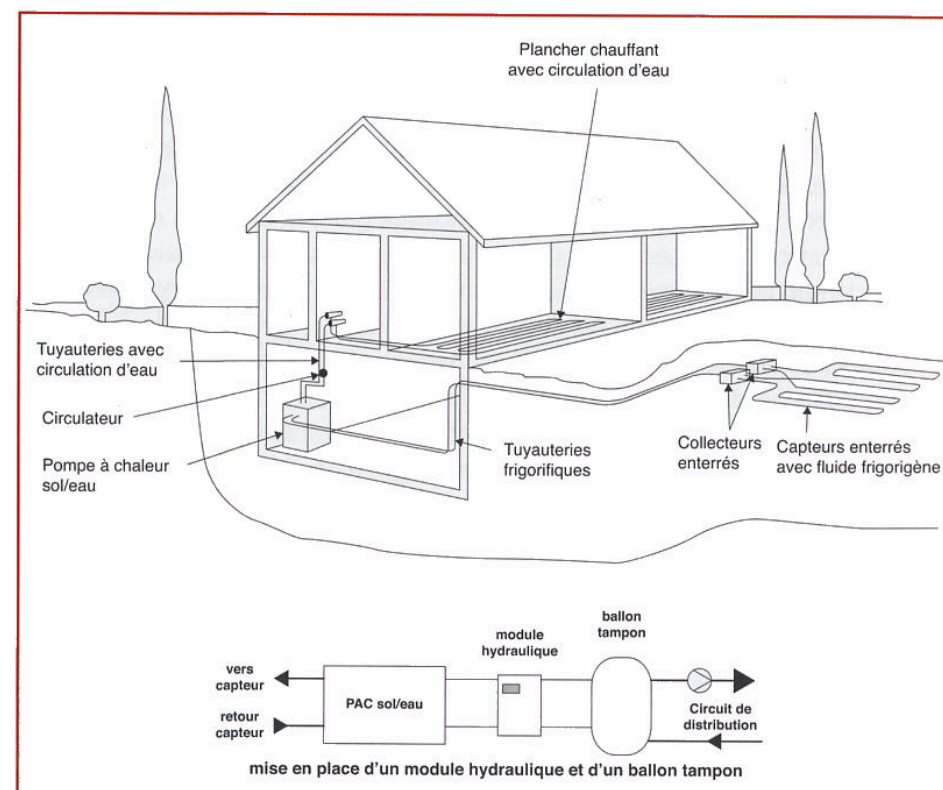
- la pompe à chaleur ;
- le système de captage ;
- le module hydraulique ;
- le système de stockage ;
- les tuyauteries.

Pour bénéficier de ce crédit d'impôt, la pompe à chaleur doit avoir un coeffi-

cient de performance supérieur ou égal à 3,3 pour une évaporation de -5°C (norme d'essai 14511-2).

Ne sont pas soumis au crédit d'impôt :

- les travaux d'installation ;
- les travaux de décapage et de remblaiement ;
- les émetteurs de chaleur ;
- le réseau de distribution ;
- le raccordement de la pompe à chaleur et des accessoires à l'installation électrique ;
- l'isolation des tuyauteries ;
- les appareils de régulation.



Source: Bulletin officiel des impôts 5 B-17-07 du 11 juillet 2007 / guide *Solutions de pompes à chaleurs en résidentiel individuel* de la Fédération française du bâtiment (FFB) et Électricité de France (EDF)

LES SUBVENTIONS DE L'ANAH

L'Agence nationale d'amélioration de l'habitat peut vous accorder une aide si vous installez une pompe à chaleur. Votre logement doit avoir plus de 15 ans et être votre résidence principale ou celle de vos locataires.

La subvention :

- si vous êtes propriétaire occupant, le montant de la subvention, réévalué récemment, varie en fonction de vos ressources et de la région où vous habitez (Île-de-France ou province) ;
- si vous êtes propriétaire bailleur, la subvention atteint 20 % du montant des travaux, au-dessous d'un plafond qui varie en fonction du lieu des travaux.

Pour la percevoir, déposez votre dossier de demande de subvention à la délégation Anah du département où sont situés les travaux.

Ils doivent être réalisés par une entreprise et ne commencer qu'après l'accord de l'Anah.

+ Aller plus loin

Pour toute information, rapprochez-vous de l'Anah. Site Internet : www.anah.fr.

L'ÉCOSUBVENTION

En mai 2009, en plus de l'éco-prêt à taux zéro, l'État a créé l'écosubvention. L'écosubvention est une mesure économique, sociale et écologique conçue par l'État et l'Agence nationale de l'habitat (Anah) pour d'une part renforcer le pouvoir d'achat des Français modestes propriétaires de leur logement, et d'autre part lutter contre le gaspillage énergétique dans la lignée du Grenelle. Cette nouvelle mesure est réservée aux propriétaires occupant leur logement. Des travaux simples et rentables comme l'isolation des combles et le remplacement des anciennes chaudières sont encouragés, pouvant réduire significativement les factures d'énergie. Ces travaux peuvent être très vite rentabilisés grâce à une aide moyenne de 2 000 €, avec un retour sur investissement de 4 à 7 ans dans les « passoirs thermiques », notamment les maisons mal isolées construites avant 1975.

Très concrètement, l'État verse sous conditions de ressources une aide correspondant à 20 à 35 % du montant des travaux de rénovation thermique dans la limite de 13 000 € de travaux. Un des effets déclencheurs est l'avance sur travaux, puisque 70 % de cette subvention est disponible dès le démarrage du chantier.

Lancée dans le cadre du plan de relance, l'écosubvention est limitée dans le temps.

Les conditions sont les suivantes :

- Votre logement doit être achevé depuis au moins 15 ans et vous devez l'occuper comme habitation principale pendant au moins 6 ans après la fin des travaux.
- Les travaux ne doivent pas avoir commencé avant la demande de subvention. Ils seront pris en charge par des professionnels du bâtiment, pour un montant compris entre 1 500 € et 13 000 €. Ils doivent débuter au plus tard un an après la demande de subvention.
- Vos ressources ne doivent pas dépasser un certain seuil.

+ En savoir plus

Pour toute information, rapprochez-vous de l'Anah. Site Internet : www.anah.fr.

L'ÉCO-PRÊT À TAUX ZÉRO

L'éco-prêt à taux zéro adopté dans la loi de finances 2009 constitue l'une des mesures phare du Grenelle de l'environnement.

Tous les particuliers peuvent en bénéficier pour des projets dans leur résidence principale ou dans des logements donnés en location, y compris lorsque ces immeubles font partie d'une copropriété ou sont détenus via une société civile immobilière.

+ Aller plus loin

Pour plus d'information, consultez le site Internet www.developpement-durable.gouv.fr.

Il s'agit d'un prêt plafonné à 30 000 € d'une durée de 10 ans alloué sans conditions de ressources pour financer les dépenses de rénovation lourde des résidences principales.

Cette mesure (article 244 quater U du CGI [code général des impôts], www.legi-france.gouv.fr), qui est au cœur du Grenelle de l'environnement, contribuera à l'amélioration du pouvoir d'achat des ménages qui verront diminuer leur facture énergétique en raison des investissements réalisés.

L'éco-prêt à taux zéro est destiné à financer des travaux d'amélioration de la performance énergétique des logements achevés avant le 1^{er} janvier 1990. Il est accordé sans conditions de ressources sous réserve que le logement existant dans lequel sont réalisés les travaux soit occupé à titre de résidence principale.

Trois types de travaux sont éligibles. Les modalités de détermination des trois types de travaux sont fixées par décret. Voici la marche à suivre pour la demande de l'éco-prêt à taux zéro :

- Faire faire des devis pour les travaux envisagés.
- Remplir le formulaire type « devis » téléchargeable sur le site de l'Ademe (<http://ecocitoyens.ademe.fr> rubrique « Financer mon projet »).

En cas de travaux réalisés par plusieurs entreprises (bouquet de travaux), il n'est nécessaire de remplir qu'un formulaire type « devis », qui sera rempli au verso par toutes les entreprises concernées.

- S'adresser à une banque partenaire, muni du formulaire type « devis » complété et de tous les devis.
- Une fois le prêt accordé, les travaux doivent être réalisés dans les deux ans.
- À l'issue des travaux, fournir à la banque le formulaire type « factures » accompagné de toutes les factures. Ce formulaire est téléchargeable sur le site de l'Ademe (<http://ecocitoyens.ademe.fr> rubrique « Financer mon projet »).

+ En savoir plus

Les Espaces info énergie de l'Ademe permettent de trouver des informations pratiques sur la maîtrise de l'énergie.

CUMUL ÉCO-PRÊT ET CRÉDIT D'IMPÔT

Dans le cadre du programme de relance de l'économie française annoncé par le président de la République le 4 décembre 2008, le Parlement a définitivement adopté une disposition du projet de loi de finances rectificative pour 2009 qui autorise, à titre exceptionnel, le cumul entre

deux instruments puissants de soutien à la rénovation énergétique des logements :

- d'une part, l'éco-prêt à taux zéro : élaboré à la suite du Grenelle de l'environnement et institué dans la loi de finances pour 2009, il a pour but d'encourager les ménages à réaliser des bouquets de travaux importants de réhabilitation thermique de leur logement, comme l'isolation de la toiture et le changement des fenêtres ;
- d'autre part, le crédit d'impôt sur le revenu : dédié au développement durable, il permet aux ménages de bénéficier d'une aide fiscale à raison des dépenses d'équipements qu'ils engagent, pour améliorer les performances énergétiques ou environnementales de leur logement (acquisition de chaudières efficaces, de matériaux d'isolation thermique, d'équipements de production d'énergie utilisant une source d'énergie renouvelable, d'équipements de récupération des eaux pluviales, etc.).

L'ÉCO-PRÊT « DÉVELOPPEMENT DURABLE »

Pour financer des travaux de rénovation visant à améliorer la performance énergétique d'un logement, des banques – suite à la mise en place du livret de développement durable (LDD) – proposent un prêt avec des taux préférentiels.

Ce prêt peut venir en complément de l'éco-prêt à taux zéro.

Les travaux éligibles sont les mêmes que pour le crédit d'impôt, mais les prêts couvrent tous les frais, y compris l'installation. De même, ils peuvent être demandés pour une résidence principale comme pour une résidence secondaire, pour les propriétaires uniques comme pour les copropriétés.

La demande du formulaire pour le prêt « développement durable » est faite auprès des banques.

En cas de travaux réalisés par plusieurs entreprises, il est nécessaire de remplir un formulaire par entreprise, accompagné du devis correspondant.

⊙ TRAVAUX ÉLIGIBLES

Ensemble de travaux cohérents comprenant au moins deux des catégories de travaux suivants (bouquet de travaux) :

- travaux d'isolation thermique performants des toitures ;
- travaux d'isolation thermique performants des murs donnant sur l'extérieur ;
- travaux d'isolation thermique performants des parois vitrées et portes donnant sur l'extérieur ;
- travaux d'installation, de régulation ou de remplacement de systèmes de chauffage, le cas échéant associés à des systèmes de ventilation économiques et performants, ou de production d'eau chaude sanitaire performants ;
- travaux d'installation d'équipements de chauffage utilisant une source d'énergie renouvelable ;
- travaux d'installation d'équipements de production d'eau chaude sanitaire utilisant une source d'énergie renouvelable ;
- travaux permettant d'atteindre une performance énergétique globale minimale du logement ;
- travaux de réhabilitation de systèmes d'assainissement non collectif par des dispositifs ne consommant pas d'énergie.

⊙ LIMITES DU DISPOSITIF

Ce cumul, qui constitue une mesure particulièrement incitative, est limité à deux ans (2009 et 2010) et réservé aux seuls ménages dont les ressources n'excèdent pas 45 000 € au titre de l'avant-dernière année précédant celle de l'offre de prêt. Ce sont donc plus de trois ménages sur quatre qui vont pouvoir en bénéficier.

+ En savoir plus

Pour plus d'informations, consultez l'ouvrage *Financez votre habitat écologique* de Pascal NGuyen et Gilles Daid, aux Éditions Eyrolles.

ANNEXES

LES SITES UTILES

Drire (Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement): www.drire.gouv.fr

Ministère de l'Écologie et du Développement durable: www.ecologie.gouv.fr/developpement-durable

Ministère du Logement: www.logement.gouv.fr

Réglementations thermiques: www.rt-batiment.fr, www.rt2000.net

LES DIVERS ORGANISMES

Afnor (Association française de normalisation): www.afnor.org

AfPAC (Association française pour les pompes à chaleur): www.afpac.org

CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment): www.cstb.fr

Promotelec: www.promotelec.com

QUELQUES FABRICANTS

Acome: www.acome.fr

AJ-Tech: www.ajtech.fr

Alpha Innotec: www.alpha-innotec.fr

Amzair: www.ventilation.fr/geothermie.php

Atlantic: www.atlantic-ventilation.com

Ciat: www.ciat.fr

Copeland/Emerson: www.emersonclimate.eu

Dimplex: www.dimplex.fr

France géothermie: www.france-geothermie.com

Giordano: www.giordano.fr

Helios ventilateurs: www.helios-fr.com

Hoval: www.hoval.ch

Lemasson: www.lemasson.fr

Multibéton: www.multibeton-france.fr

Nibe: www.atlantic-nouvellesenergies.com

Satag: www.satagthermotechnik.ch

Sofath: www.sofath.com

Stiebel Eltron: www.stiebel-eltron.fr

Viessmann: www.viessmann.fr

Waterkotte: www.waterkotte.de ou www.mondialgeothermie.fr

Wavin: www.europe-geothermie.com

Vous pouvez trouver des informations complémentaires en visitant les sites Internet ci-dessous. Cette liste n'est pas exhaustive.

LES INSTITUTIONNELS

Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie): www.ademe.fr

Anah (Agence nationale de l'habitat): www.anah.fr

BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières): www.brgm.fr ou www.geothermie-perspectives.fr

Crédit d'impôt et développement durable: www.developpement-durable.gouv.fr, www.industrie.gouv.fr, www.impots.gouv.fr

AUTRES SITES INTERNET INTÉRESSANTS

Les **Espaces info-énergie** sont là pour vous conseiller et vous renseigner sur les différentes solutions de chauffage grâce aux énergies renouvelables et sur la conception de maisons plus écologiques et respectueuses de l'environnement: www.ademe.fr, www.solagro.org

Le **forum Chaleur et Terre** est très riche en informations surtout concernant les pompes à chaleurs: www.chaleurterre.com

Le **cluster Bâtiment économe** a pour finalité de concourir à la maîtrise de l'énergie au sein des bâtis. Il œuvre pour faire avancer le débat sur la réglementation thermique, et est porteur d'importants développements industriels. Des communautés d'acteurs œuvrant dans divers secteurs organisent des séminaires et des journées d'échanges et de réflexion: www.batimenteconome.com

DOCUMENTS SOURCES

Les documents techniques qui ont servi à l'élaboration de ce livre:

Guide technique *Les pompes à chaleur dans l'existant sur réseaux hydrauliques* (EDF/Costic/AFF)

Guide technique *Les pompes à chaleur air/eau, eau glycolée/eau, sol/eau sur systèmes mixtes* (EDF/Costic/AFF)

Guide technique *Les pompes à chaleur air-eau, eau glycolée-eau sur plancher chauffant ou plancher chauffant rafraîchissant capteurs horizontaux* (EDF/Costic/AFF)

Guide technique *Les pompes à chaleur air-eau, eau glycolée-eau sur plancher chauffant ou plancher chauffant rafraîchissant capteurs verticaux* (EDF/Costic/AFF)

Pompe à chaleur géothermique sur aquifère (Ademe/Arene/BRGM)

Cahier technique Installations thermodynamiques: conception et mise en œuvre (Promotelec)

Normes Afnor

DTU du CSTB

GLOSSAIRE

Adjuvant: Additif modifiant les caractéristiques chimiques ou physiques d'un produit.

Aquifère: Milieu souterrain qui contient de l'eau en partie mobilisable par gravité. Ce milieu, constitué de roches perméables et/ou fissurées ou fracturées, est suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables. Un aquifère comporte une zone saturée en eau et éventuellement une zone non saturée en eau (zone du sous-sol comprise entre la surface du sol et la surface de la zone saturée pour une nappe libre).

Ballon tampon: Capacité de stockage ou réserve d'eau qui permet d'accumuler de l'énergie produite par la pompe à chaleur pour la restituer ensuite dans l'installation (radiateurs, ventilo-convecteurs).

Bar: Unité de mesure de pression. Un bar correspond à la pression exercée par une force de 1 DaN sur une surface de 1 cm² (1 bar \cong 1 kg/cm² \cong 10 m de colonne d'eau).

Bouclage d'eau chaude sanitaire: Système permettant de faire circuler l'eau chaude sanitaire dans le réseau afin qu'elle soit immédiatement disponible aux différents appareils (évier, douche, baignoire, etc.).

Bouteille de découplage: Élément placé à la sortie de la pompe à chaleur, qui permet de séparer le circuit primaire du circuit secondaire, de dégazer et répartir, ou de distribuer la chaleur dans plusieurs circuits.

By-pass: Élément permettant de dériver une partie du débit dans un circuit, généralement utilisé dans un chauffage de piscine pour connecter un échangeur de chaleur sur le réseau de filtration de la piscine.

Calorie (cal): Unité de mesure de la quantité de chaleur. Une calorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 °C la température de 1 g d'eau.

Capteur géosolaire ou capteur géothermique horizontal: Capteur permettant de récupérer des calories dans le sol, composé de tubes en polyéthylène dans lesquels circule de l'eau glycolée (eau + antigel). Étant donné la faible profondeur de l'enfouissement des tubes (entre 0,60 et 1,50 m), l'énergie géothermique proprement dite ne revêt qu'un rôle secondaire. On parle

alors d'énergie géosolaire, car l'énergie que l'on récupère dans le sol provient à 90 % du rayonnement solaire, du vent et de la pluie (par infiltration).

Chaleur latente: Énergie échangée lors du changement de phase d'un corps, à température constante.

Chaleur massique: Quantité de chaleur, exprimée en joules par kilogramme (J/kg), nécessaire pour élever 1 l d'eau de 1 °C. Il faut 1 kcal/kg pour 1 °C, ou 1,16 Wh/kg/°C.

Champs de sondes: Ensemble de plus de 5 sondes géothermiques verticales placées à des profondeurs comprises entre 30 et 350 m, disposées sous un habitat à chauffer, ou à proximité.

Cimentation: Remplissage à l'aide de ciment du volume du forage afin d'assurer le scellement et l'étanchéité de l'ouvrage sur la totalité de la hauteur du forage.

Coefficient G: Coefficient exprimé en W/m³.K utilisé dans les calculs thermiques avant l'apparition de la réglementation thermique RT2000. Il n'est plus utilisé aujourd'hui, mais conserve un intérêt pour les logements existants.

Compresseur: Dispositif électromécanique destiné à augmenter la pression d'un gaz (fluide frigorigène).

Condenseur: Échangeur de chaleur qui fait passer le fluide frigorigène de l'état gazeux à l'état liquide.

COP (Coefficient de performance): Rapport entre la puissance thermique et la puissance électrique. Une PAC de 10 kW chaud utilisant 3 kW d'énergie électrique a un COP de 10/3, soit 3,33. On peut dire aussi qu'avec 1 kW électrique, cette PAC restituera 3,33 kW de chaleur.

Delta T (ou Δ): Différence entre 2 températures (par exemple la température intérieure et la température extérieure). Le delta T s'exprime en kelvin (K).

Déperditions: Pertes de chaleur à contrer pour chauffer un logement, mesurées en watts (W). Elles tiennent compte de l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur du logement, autrement dit du delta T.

Détendeur: Organe qui permet de réduire la pression d'un fluide frigorigène (passage de haute pression à basse pression). Il produit l'effet inverse de celui du compresseur.

Diagramme de Mollier ou diagramme d'enthalpie: Représentation graphique décrivant le cycle thermodynamique. Ce diagramme permet de mettre en évidence le changement d'état (liquide/vapeur) des fluides frigorigènes selon les pressions auxquelles ils sont soumis et les températures d'utilisation.

EVI (Enhanced Vapour Injection): Injection de vapeur dans le compresseur afin de réduire la température des gaz surchauffés en sortie du compresseur. Avec cette technique, la PAC peut fournir une température de 65 °C.

Échangeur: Équipement assurant le transfert des calories d'un circuit primaire à un circuit secondaire. L'échangeur permet aussi de séparer physiquement les deux circuits.

Évaporateur: Échangeur de chaleur qui fait passer le fluide frigorigène de l'état liquide à l'état de vapeur.

Flash gaz: Phénomène qui se manifeste par la présence de bulles de gaz à l'entrée du détendeur. Pour que celui-ci assure la surchauffe et régule correctement le débit, il faut 100 % de liquide à son entrée.

Fluide caloporteur: Fluide permettant de véhiculer de la chaleur. Dans les installations de pompes à chaleur, le fluide frigorigène, l'eau et l'antigel (glycol) sont utilisés comme fluide caloporteur.

Fluide frigorigène: Fluide utilisé dans les installations thermodynamiques pour transporter les calories de la source froide (évaporateur) vers la source chaude (condenseur). Le fluide frigorigène s'évapore à faible température sous pression atmosphérique.

Free-cooling: Technique qui permet de faire baisser la température de l'eau sans utiliser le compresseur, en connectant directement le circuit eau glycolée et le plancher chauffant à l'aide des circulateurs. Le free-cooling présente l'intérêt de consommer très peu d'énergie car seuls les circulateurs fonctionnent (le compresseur est arrêté).

Inversion de cycle: Technique qui permet de rendre réversible une pompe

à chaleur à l'aide d'une vanne 4 voies. L'inversion de cycle diminue le COP et réduit la durée de vie du compresseur puisqu'il doit fonctionner également l'été pour produire du froid.

Joule (J): Unité de mesure donnant la quantité de travail qu'il faut fournir pour soulever un poids de 1 N (100 g) de 1 m. Dans le chauffage, le joule est utilisé sous la forme 1 cal = 4,1855 J.

Kelvin (K): Unité de mesure de température utilisée dans les systèmes thermodynamiques. La température de 0 K est égale à - 273,15 °C et correspond au zéro absolu. La lettre K est également utilisée pour exprimer un écart entre deux températures (20 °C - 12 °C = 8 K).

Kilowattheure (kWh): Unité de mesure d'énergie correspondant à une puissance de 1 kW exprimée pendant 1 heure.

Loi d'eau (régulation sur): Type de régulation permettant de faire varier la température de départ d'eau en fonction de la température extérieure.

Marteau fond de trou: Technique de foration à l'air qui utilise la percussion assortie d'une poussée sur l'outil qui se trouve lui-même en rotation.

Partie BP (basse pression): Partie située entre la sortie du détendeur et l'aspiration du compresseur.

Partie HP (haute pression): Partie située entre la sortie du compresseur et l'entrée du détendeur.

Pertes de charge: Perte de pression résultant des frottements induits par le passage d'un fluide dans un tube. Il existe deux types de pertes de charge: les pertes linéaires, proportionnelles à la longueur de tuyau à parcourir, et les pertes singulières, dues aux accidents de canalisation (coudes, vannes ou robinets, etc.). Les pertes de charge sont généralement exprimées en mètre par colonne d'eau (mCE).

Pieu énergétique: Pieu de fondation équipé d'un échangeur de chaleur.

Plancher chauffant: Système de chauffage par basse température constitué de tubes noyés dans une chape en béton.

Point de rosée: Température à laquelle la vapeur d'eau présente dans l'air se condense en eau sous l'effet de la différence de température entre l'air et une surface plus froide. On peut connaître la valeur du point de rosée grâce au diagramme de Mollier.

Pompe à chaleur: Système thermodynamique qui prélève la chaleur dans un milieu (air, eau ou terre) pour la transférer vers un autre (logement à chauffer, eau chaude sanitaire, etc.). Ce terme générique désigne également le réfrigérateur, le congélateur.

Pression: Force exercée sur une surface donnée, exprimée en bar.

Radiateur à eau chaude: Type de radiateur fonctionnant avec de l'eau ou avec un liquide caloporteur. Les radiateurs à eau chaude sont constitués

de matériaux comme la fonte, l'acier ou la fonte d'aluminium. On parle de radiateurs basse température quand le liquide ne dépasse pas une température de 45 à 50 °C à l'entrée du radiateur.

Rotary: Technique de foration qui utilise un outil animé d'un mouvement de rotation et d'une poussée verticale.

Scroll: Technique de compression utilisant 2 spirales qui s'emboîtent. L'une est fixe et l'autre se déplace avec un mouvement excentrique sans tourner, ce qui permet de comprimer le fluide frigorigène. Ce procédé est largement utilisé, depuis de nombreuses années.

Sonde géothermique verticale: Échangeurs qui prélèvent par conduction thermique la chaleur emmagasinée dans le sous-sol au moyen d'une pompe à chaleur. Le système peut être inversé pour fonctionner en mode rafraîchissement (cas d'un PAC réversible ou fonctionnement par free-cooling). La sonde géothermique est constituée d'un forage de plusieurs dizaines de mètres de profondeur, dans lequel sont insérés des tubes en polyéthylène haute densité (PEHD), raccordés à une pompe à chaleur. Un fluide antigel caloporteur de qualité alimentaire circule à l'intérieur des tubes, en circuit fermé, pour prélever l'énergie, la transporter et la restituer à la pompe à chaleur.

Sous-refroidissement: Différence entre la température de sortie du

condenseur et la température de condensation (mesurée au manomètre). On trouve généralement une valeur de 4 à 8 K, ce qui permet d'utiliser la totalité du condenseur et évite le phénomène de flash gaz à l'entrée du détendeur.

SPF (Seasonal Performance Factor, ou facteur de performance saisonnière): Rapport entre l'énergie annuelle totale fournie par la pompe à chaleur pour le chauffage des locaux et d'autres systèmes auxiliaires, et la consommation annuelle totale en énergie électrique de la pompe à chaleur (y compris la consommation annuelle totale d'énergie des auxiliaires).

Surchauffe: Différence entre la température à la sortie de l'évaporateur et la température d'évaporation, mesurée à l'aide d'un manomètre. Cette valeur doit être de 5 à 8 K pour utiliser la totalité de l'évaporateur et éviter que le compresseur aspire du liquide.

Vanne 3 voies «mélangeuse»: Élément de l'installation de chauffage utilisé lorsque la pompe à chaleur doit gérer plusieurs températures de chauffage (par exemple: plancher chauffant à 35 °C et radiateurs à 55 °C). À la différence d'une vanne 3 voies «tout ou rien», ce type de vanne permet de réguler la température.

Vanne 3 voies «tout ou rien»: Élément de l'installation de chauffage utilisé lorsque la pompe à chaleur gère plusieurs usages (chauffage, eau chaude sanitaire, chauffage piscine). Cette vanne permet de diriger l'eau en sortie de la pompe à chaleur vers les différents usages.

Vase d'expansion: Dispositif permettant d'absorber la dilatation du volume de l'eau due à l'élévation de la température dans un circuit de chauffage. Il contient deux parties séparées par une membrane: la première contient l'eau du chauffage et l'autre de l'air sous pression.

Ventilo-convecteur: Appareil fonctionnant selon le même principe que le convecteur classique, auquel on a ajouté un ventilateur. Il permet de faire du chauffage ou de la climatisation, et contient un échangeur avec un ventilateur qui pulse l'air au travers. Certains modèles sont équipés d'une alimentation en eau (fluide caloporteur), d'autres sont en détente directe (fluide frigorigène).

Watt: Puissance créée par une énergie de 1 J par seconde. Un radiateur de 1 000 W fournit par exemple 1 000 J par seconde. L'ancienne unité était la kilocalorie par heure (kcal/h), soit une énergie de 1 kcal/h. On peut dire aussi que 1 kcal/h = 4 180 J = 1,16 W.

INDEX

A

accumulation, 114
Ademe (Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie), 156
adjuvant, 159
aérothermie, 24, 29
Afnor (Association française de normalisation), 156
AFPAC (Association française pour les pompes à chaleur), 13, 156
air
/air, 29, 30, 34, 39, 143
/eau, 29, 30, 32, 39, 143
Anah, 150
aquathermie, 29
aquifère, 76, 159

B

ballon
de stockage, 114, 116, 144
tampon, 89, 159
BBC Effinergie, 139
bouteille anti-coups, 23
BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), 156
Bulletin officiel des impôts, 144
by-pass, 159

C

capteur, 46
dimensionnement, 58
eau/eau, 85
extérieur, 46

géosolaire, 159
horizontal, 47, 48, 55, 63
puissance, 59
sur nappe phréatique, 47, 75
vertical, 47, 61
chaleur
latente, 160
massique, 160
chauffage, 88
cimentation, 160
circuit frigorifique, 17
climatisation, 29
Code de l'environnement, 83
coefficient
conductivité thermique, 133
de performance (COP), 46, 160
fenêtre, 133
Fhl (inertie du logement), 43
G, 42, 43, 160
I (intermittence), 43
parois, 133
colmatage, 67
compresseur, 19, 160
hermétique, 19
scroll, 19
compression, 17
condensation, 17
condenseur, 20, 160
conductivité thermique, 133
coefficient, 133
contrôle d'étanchéité, 57, 129
coup de liquide, 26
crédit d'impôt, 143
CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment), 156

cycle

frigorifique, 18, 120
inversion, 161
thermodynamique, 17

D

débit, 78
d'extraction, 58
d'extraction
VDI 4640, 58
test, 79
delta T, 43, 160
déperditions, 160
détendeur, 17, 21, 160
détente directe, 55, 73
Voir capteur horizontal
diagramme
d'enthalpie (ou de Mollier), 18, 98, 160
P-h EVI, 109
dimensionnement, 39, 41, 58
capteur horizontal, 51
eau chaude sanitaire, 113
en rénovation, 42
plancher chauffant, 92
sonde, 68
DPE (diagnostic de performance énergétique), 137

E

eau
/air, 30, 125
chaude instantanée, 116
chaude sanitaire, 112, 159
/eau, 29, 30, 33, 39, 55, 77, 79, 83, 85, 144
eau glycolée, 48, 61, 72
/eau, 28
capteur, 48
échangeur, 161
liquide/vapeur, 25
Éco-artisan, 142
éco-prêt, 151, 153
« développement durable », 153
écobsubvention, 150
effet de serre, 9, 12
électrovanne, 24
énergie géosolaire, 48, 55
enthalpie, 18
évaporateur, 19, 161
évaporation, 17
EVI (*Enhanced Vapour Injection*), 160

F

fabricant, 156
facteur de performance
saisonnier (SPF), 34, 46, 163
filtre déshydrateur, 22
flash gaz, 26, 161
fluide caloporteur, 161
fluide frigorigène, 19, 26, 27, 60, 161
chlorofluorocarbure, 27
hydrocarbure, 27
hydrochlorofluorocarbure, 27
hydrofluorocarbure, 27
forage
entreprise, 71
oblique, 72
free-cooling, 25, 120, 161

G-H-J-K

gaz à effet de serre, 9
gel
soulèvement, 54
géostrucure, 47
géothermie, 28
HPE, 138
HPE ENR, 138
huile de lubrification, 23
hydraulique, 81
Joule (J), 161
Kelvin (K), 161
Kilowattheure (kWh), 161

M

méthode
marteau fond de trou, 65, 161
rotary, 65, 162
mode
bivalent, 35
bivalent alternatif, 36
bivalent parallèle, 37
monovalent, 35

N

nappe phréatique, 76
NF Pac
référentiel, 31
norme, 39, 71, 84, 97
CSTB – Cahier n° 3164, 97
EN NF 15450, 34
FD X10-980, 71, 84
NF DTU 65.14, 97
NF EN 12828, 39

NF EN 12831, 39
NF EN 15450, 39
NF EN 442, 103
NF X10-970, 71
NF X10-999, 71, 84
VDI 4640, 52, 58

P-Q

PAC haute température EVI, 107
pertes de charge, 162
pieu énergétique, 162
piscine, 118
plancher chauffant, 32, 33, 88, 91, 162
/rafraichissant, 97
« gaz », 96
chape, 95
dalles d'isolation, 94
écologique, 100
régulation, 92
rénovation, 99
point de rosée, 162
pompe à chaleur, 13, 14, 120, 162
catégories, 28
dimensionnement, 39
fonctionnement, 16
pont thermique, 41, 133
pression, 162
pressostats de pressions, 22
protocole de Kyoto, 11
puissance, 51, 78
chaud, 52, 58, 68, 78
d'extraction, 73
électrique, 51, 52, 58, 68, 78
frigorifique, 51, 58, 78
puits canadien, 124

Qualipac, 13, 141
référentiel, 31
qualité de l'eau, 80

R

radiateur, 32, 33, 88, 102
à eau chaude, 162
rafraichissement, 120
réglementation, 128
thermique, 132, 156
régulation, 161
rendement, 30
PAC aérodynamiques, 32
PAC géothermique, 32
résistance thermique, 133
retour d'huile, 23
RT2005, 132, 133
RT2012, 132
RT2020, 132

S

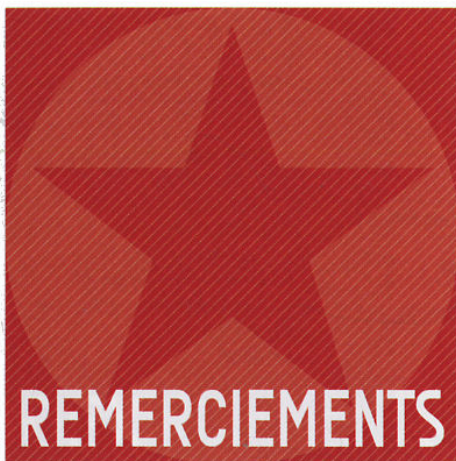
scroll, 162
semi-accumulation, 115
sol/eau, 28
sonde
distances minimales, 65
géothermique, 64, 162
géothermique gaz, 73
positionnement, 65
raccordement, 66
soulèvement par le gel, 60
sous-refroidissement, 25, 163
surchauffe, 163
système
direct, 81
EVI, 107
indirect, 82

T

température
extérieure de base, 40
plancher chauffant, 92
plancher chauffant/
rafraichissant, 97
sous-sol, 62
test d'étanchéité, 57, 67
THPE, 138
THPE ENR, 138
transmetteurs de pressions, 23
tube, 56
capteur horizontal sol, 56
eau glycolée, 49
plancher chauffant, 94
puissance, 54

U-V-W-Z

Ubât, 42
vanne
3 voies « mélangeuse », 163
3 voies « tout ou rien », 163
d'inversion, 24
électromagnétique
Voir électrovanne
vase d'expansion, 163
ventilation, 122
VMC double flux, 122, 123
puits canadien, 124
VMC géothermique, 125
ventilo-convecteur, 88, 106, 163
voyant de liquide, 22
watt, 163
zones climatiques, 136



En tout premier lieu, je remercie Jacques Boyer (Éco Confort Boyer) et René Fablet (Wavin-Capterre) qui m'ont fait découvrir la géothermie il y a 15 ans. Il faut croire qu'ils avaient vu juste puisque je suis toujours aussi passionné depuis toutes ces années.

Un grand merci à Michel Larrue (Promotelec) qui m'a donné de précieuses informations sur les différents labels et sensibilisé sur l'importance d'avoir une approche globale pour améliorer les performances énergétiques d'un bâtiment.

Merci à Jocelyne Blaser (DRE Midi-Pyrénées), d'une part pour les informations concernant la réglementation thermique, et d'autre part pour l'énergie qu'elle déploie à essayer de sensibiliser tous les acteurs du bâtiment sur l'importance de la respecter.

Merci à Jean-Pierre Barthe et Paul Arnould (Acome) pour le temps qu'ils m'ont consacré afin de me faire partager leurs connaissances sur le fonctionnement et la conception des planchers chauffants.

Merci également à Jean-Paul Chaplet (Mondial Géothermie) et Fabrice Visticot (Waterkotte) qui m'ont fait découvrir de bien belles machines dont je suis tombé littéralement amoureux. Je parle de pompes à chaleur, bien sûr !

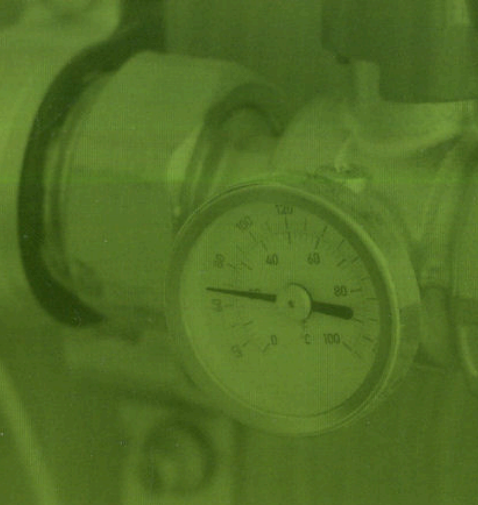
Un merci tout particulier à Éric et Isidore Ségales (Seric Forages), grâce à qui les forages sur sondes géothermiques et les forages d'eau n'ont presque plus de secrets pour moi.

Je n'oublie pas ma femme Cathy et mes deux filles Sandra et Joanna, qui me soutiennent dans tous mes projets et qui ont surtout le grand mérite de me supporter tous les jours...



Jean-Marc
Percebois

LE GUIDE DU CHAUFFAGE GÉOTHERMIQUE



Les pompes à chaleur sont devenues un moyen de chauffage majeur pour notre habitat. Incidence sur l'environnement, coûts, installation et entretien : tout semble jouer en leur faveur. Pourquoi ?

À votre tour, que devez-vous savoir sur la géothermie (et l'aérothermie) avant d'installer votre chauffage ? Qu'en est-il de votre eau chaude sanitaire ? Quelle option choisir pour la rénovation ?

Toutes les réponses sont dans ce livre.

Véritable guide de mise en œuvre, cet ouvrage vous expliquera tout ce que vous devez savoir sur le chauffage géothermique et ces fameuses pompes à chaleur !

Au programme...

Comprendre le fonctionnement du chauffage par pompe à chaleur • Quel système choisir : quel capteur (horizontal, vertical...), quel chauffage (plancher chauffant, radiateur...) ? • Les pompes à chaleur pour l'eau chaude sanitaire, mode d'emploi

- Comment mettre en œuvre une telle installation • Comment l'entretenir ?
- Comment utiliser ces solutions pour chauffer une piscine ou une annexe ?
- Comment mettre en œuvre le rafraîchissement ? • Quels sont les aides, les normes et les obligations et les professionnels ?

L'auteur

Sensibilisé très tôt par les économies d'énergie, Jean-Marc Percebois dirige une société d'installation spécialisée dans le chauffage par géothermie, pour le neuf ou la rénovation, que ce soit pour de la maison individuelle ou des bâtiments publics et tertiaires.

Image de couverture : www.rehau.com

Images de couverture © Rehau

Code éditeur : G12435
ISBN : 978-2-212-12435-4



18 €

**LES GUIDES DE
L'HABITAT
DURABLE**



www.editions-eyrolles.com
Groupe Eyrolles | Diffusion Geodif