

2013

Jacques BERNIER

L'AÉROSOLAIRE

ou la pompe à chaleur assistée solaire

- Chauffage
- Eau chaude



Jacques Bernier

Le secteur du bâtiment représente à lui seul 40 % de la consommation d'énergie et 36 % de l'émission de gaz à effet de serre de l'ensemble de l'Union européenne. Fort de ce constat, les objectifs politiques de l'UE, au travers des plus récentes directives concernant ce secteur d'activité, sont de réduire de 20 % la consommation d'énergie, de réduire de 20 % les émissions des gaz à effet de serre et d'introduire au moins 20 % d'énergie renouvelable dans le mix énergétique d'ici à 2020, c'est-à-dire demain.

L'application aux nouveaux bâtiments des contraintes réglementaires issues de ces récentes directives en termes de consommation

L'aérosolaire ou la pompe à chaleur assistée solaire

de nouveaux bâtiments de 50 % en 2020 sur la base de celle constatée en 2005. Pour répondre à cet objectif, il sera nécessaire de multiplier le taux de rénovation européen actuel par 2,9 pour atteindre 3 % par an du parc en 2020 et maintenir ce taux jusqu'en 2050.

Cette campagne aurait pour bénéfices d'augmenter de manière significative les activités de rénovation des bâtiments existants, de promouvoir l'usage de la pompe à chaleur assistée solaire, de favoriser l'usage de l'énergie renouvelable et de contribuer à la réduction de la consommation d'énergie.

Le développement de l'utilisation de la pompe à chaleur dans le secteur du bâtiment est partie prenante de cette campagne en tant que marqueur des nouvelles orientations réglementaires contribuant à la réduction de la consommation d'énergie.

L'amélioration des coefficients de performance saisonniers (et non instantanés qui ne sont pas toujours utiles) et l'adaptation à des températures



Jacques Bernier

L'aérosolaire ou la pompe à chaleur assistée solaire

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant aux termes de l'article L122-5 (2° et 3° a), d'une part, que "les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, "toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite" (art. L122-4). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Éditions PYC Livres - Groupe Éditions Parisiennes - Octobre 2013

6, passage Tenaille - 75014 PARIS

Tél. : 01 45 40 30 60

www.edipa.fr

www.librairietechnique.com

ISBN : 978-2-86243-110-9

Préface

Le secteur du bâtiment représente à lui seul 40 % de la consommation d'énergie et 36 % de l'émission de gaz à effet de serre de l'ensemble de l'Union européenne. Fort de ce constat, les objectifs politiques de l'UE, au travers des plus récentes directives concernant ce secteur d'activité, sont de réduire de 20 % la consommation d'énergie, de réduire de 20 % les émissions des gaz à effet de serre et d'introduire au moins 20 % d'énergie renouvelable dans le mix énergétique d'ici à 2020, c'est-à-dire demain.

L'application aux nouveaux bâtiments des contraintes réglementaires issues de ces récentes directives en termes de consommation énergétiques peut conduire à des réductions drastiques de ces consommations et même, à terme, à des bâtiments à consommation d'énergie quasi nulle. Il n'en reste pas moins vrai que la plus grosse part du gisement de réduction des consommations se trouve dans le parc existant. En effet, aujourd'hui, la consommation moyenne de chauffage des logements existants est de l'ordre de 200 kWh/m².an, soit 4 à 5 fois celle des logements neufs !

Récemment, une campagne européenne de rénovation vient d'être lancée avec pour objectif de réduire la demande énergétique du parc de bâtiments existants de 80 % en 2050 sur la base de celle constatée en 2005. Pour répondre à cet objectif, il sera nécessaire de multiplier le taux de rénovation européen actuel par 2,5 pour atteindre 3 % par an du parc en 2020 et maintenir ce taux jusqu'en 2050.

Cette campagne aurait pour bénéfices d'augmenter de manière significative l'activité de ce secteur et de sécuriser des millions d'emplois directs et indirects en Europe, mais aussi d'augmenter notre indépendance énergétique, de réduire les émissions de CO₂, d'améliorer la qualité de vie des citoyens et d'assainir les finances publiques.

Le développement de l'utilisation de la pompe à chaleur dans le secteur du bâtiment est partie prenante de cette campagne en tant que marqueur des énergies renouvelables et contributeur à la réduction de la consommation d'énergie.

L'amélioration des coefficients de performance saisonniers (et non instantanés qui ne sont pas significatifs), l'adaptation à des températures

extérieures de plus en plus basses, la possibilité technique de faire fonctionner les pompes à chaleur à des températures d'eau chaude plus élevées, font que ces appareils sont parfaitement adaptés à la rénovation (même si on privilégiera, bien sûr, l'émission de chaleur à basse température).

L'auteur, dont les travaux et les inventions dans le domaine de la pompe à chaleur ne se comptent plus, vient une nouvelle fois de développer un concept innovant adapté à la problématique de la rénovation, tout en répondant aux impératifs d'économie d'énergie et de réduction des gaz à effet de serre.

Jacques Bernier, agitateur d'idées et de nouveautés depuis plus de trente ans, a dû, dans son enfance, tomber dans la potion magique de la pompe à chaleur tant il en maîtrise tous les aspects et trouve encore dans cette technique des aspects que les autres ne voient pas ou ne sentent pas.

De nombreuses récompenses nationales et internationales ainsi que de nombreux dépôts de brevets ont marqué sa remarquable carrière, autant de preuves, s'il en était besoin, de son expérience et de sa crédibilité dans ce domaine.

Bonne lecture et longue vie à la pompe aérosolaire.

Jacques Benoist
Vice-président de l'AICVF

Sommaire

1 - ORIGINE DE LA TECHNOLOGIE	9
1.1 - Définition de la technique aérosolaire	11
1.2 - Un peu d'histoire de 1970 à 2013	11
1.2.1 – Pompe à chaleur à capteurs évaporateurs.....	12
1.2.2 – Pompe à chaleur avec capteurs à eau glycolée	13
1.2.3 – Convecteur aérosolaire.....	14
2 - ANALYSE DES DONNÉES	17
2.1 - L'énergie solaire	19
2.2 - Capteurs solaires thermiques, classiques à eau	20
2.3 - Capteurs solaires thermiques vitrés à eau et pompe à chaleur eau/eau	24
2.3.1 Principe de fonctionnement	24
2.3.2 Inconvénients des systèmes avec capteurs vitrés à eau ...	25
2.4 - Pompes à chaleur associées à des capteurs à air	26
2.5 - Intérêt du couplage capteur sans vitrage/PAC	27
2.6 - Influence du vent et de la pluie	28
2.6.1 Influence du vent	28
2.6.2 Influence de la pluie et du brouillard	29
2.7 - La part solaire dans le bilan énergétique	30
2.7.1 Couleur des capteurs sans vitrage.....	30
2.7.2 Orientation du capteur sans vitrage	31
2.7.3 Performances de la pompe à chaleur assistée solaire.....	33
2.8 - Le dégivrage naturel... ou pas	38
2.9 - Impact sur l'effet de serre	40
3 - LES CAPTEURS ÉVAPORATEURS À DÉTENTE DIRECTE	45
3.1 - Le procédé Axergie	47
3.1.1 Principe de fonctionnement en chauffage.....	47
3.1.2 Intérêt du capteur évaporateur aluminium.....	48
3.1.3 Résultat de campagnes de mesures (années 80)	48
3.1.4 Performances du système en 2013.....	50
3.1.5 Principe de fonctionnement en production d'eau chaude sanitaire	51

3.2 - Convecteur aérosolaire Bernier Energies	52
3.2.1 Principe de fonctionnement en chauffage	53
3.2.2 Performances	53
3.2.3 Calcul des radiateurs à eau chaude.....	55
3.2.4 Calcul du point de fonctionnement et de la température d'eau	57
3.2.5 Production d'eau chaude sanitaire.....	59
4 - LES CAPTEURS À EAU GLYCOLÉE	61
4.1 - Le système Héliopac	63
4.1.1 Principe de fonctionnement.....	63
4.1.2 Performances	65
4.1.3 Installation du capteur en élastomère.....	69
4.2 - Clôture énergétique Bernier Energies	71
4.2.1 Principe de fonctionnement	71
4.2.2 Performances	73
5 - LES APPLICATIONS DU CHAUFFAGE AÉROSOLAIRE ...79	
5.1 - Clôture énergétique	81
5.1.1 Pose d'une clôture énergétique.....	81
5.1.2 Installation en construction neuve	86
5.1.3 Installation dans l'habitat existant	87
5.1.4 Chauffage de piscines	89
5.2 - PAC à capteurs évaporateurs	91
5.2.1 Installation des capteurs évaporateurs	91
5.2.2 Installation en construction neuve	97
5.2.3 Installation dans l'existant.....	97
5.2.4 Chauffage de piscines	102
5.3 - Le convecteur aérosolaire	103
5.3.1 Remplacement de convecteurs électriques	104
5.3.2 Bilan énergétique	104
5.3.3 Impact sur l'effet de serre	107
5.3.4 Installation	108
6 - APPLICATIONS EN EAU CHAUDE SANITAIRE	113
6.1 - Procédé Héliopac en tertiaire et collectif	115
6.1.1 Logements collectifs et hébergement.....	116
6.1.2 Hôtellerie.....	117
6.1.3 Restauration.....	118
6.1.4 Établissements sportifs	119
6.1.5 Dimensionnement des équipements thermiques	120
6.1.6 Système avec ballons individuels.....	120

6.2 - Système Axergie	123
6.2.1 Chauffe-eau individuel	123
6.2.2 Installation du chauffe-eau individuel.....	124
6.2.3 Applications ECS tertiaire	124
6.3 - Convecteur aérosolaire ECS	125
7 - LES SYSTÈMES HYBRIDES	127
7.1 - Couplage capteurs solaires et géothermie	129
7.1.1 Géothermie intégrée, procédé Dupraz.....	129
7.1.2 Géothermie et clôture énergétique	130
7.2 - Couplage capteurs solaires classiques et PAC	131
8 - ÉCONOMISONS L'ÉNERGIE	133
8.1 - Le parc des logements existants	135
8.2 - Abaisser le coût de son chauffage sans le remplacer	136
8.2.1 Abaissement de la température ambiante.....	136
8.2.2 Isolation thermique	137
8.3 - Solutions combustibles	137
8.3.1 Poêle mobile à pétrole ou à gaz butane.....	137
8.3.2 Poêle à bois ou à granulés	138
8.3.3 Cheminée à foyer fermé ou insert à bois.....	138
8.4 - Solutions électriques	139
8.4.1 Radiateur électrique à accumulation	139
8.4.2 Pompe à chaleur split air extérieur/air	140
8.4.3 Chauffage central avec pompe à chaleur air extérieur/eau	141
8.4.4 Chauffage central avec pompe à chaleur géothermique.....	142
8.4.5 Solution de pompe à chaleur assistée solaire	143
9 - BIBLIOGRAPHIE	145
10 - À PROPOS DE L'AUTEUR	149
10.1 - Publications	151
10.2 - Action associative	153
10.3 - Inventer et entreprendre	153
10.3.1 Pompe à chaleur double flux.....	153
10.3.2 Créateur de la pompe à chaleur solaire	154
10.3.3 Clôture énergétique	156

121	10.3.4	Convecteur aérosolaire.....	156
122	10.3.5	Capteurs solaires.....	156
123	10.3.6	Pompe à chaleur chimique.....	157
124	10.3.7	Caloduc.....	157
125	10.3.8	Récupération des CFC.....	158
126	10.3.9	Autres systèmes frigorifiques et pompes à chaleur.....	158



1.1 - Définition de la technique aérosolaire

Le captage aérosolaire consiste en l'utilisation du soleil et de l'air extérieur comme source froide d'énergie pour l'évaporateur d'une pompe à chaleur. Il utilise des capteurs froids, sans vitrage.

Il s'agit en fait d'un captage atmosphérique qui permet de récupérer la chaleur sensible, la chaleur sensible et latente de l'air extérieur, l'effet du vent et celui de la pluie et du brouillard.

L'ast de l'aérosolaire est d'optimiser la récupération de chaleur en s'affranchissant des problèmes de dégivrage liés en hiver à la captation de l'énergie de l'air extérieur. L'aérosolaire permet aussi de :

- bien doser la part énergétique de la captation solaire afin de ne pas rendre excessive la température d'évaporation de la pompe à chaleur, tout en la maintenant à un niveau élevé.

1 - ORIGINE DE LA TECHNOLOGIE

Le nom aérosolaire a été créé par Jacques Bernier et est une marque déposée auprès de l'INPI par Bernier Energies sous le N°10/3 717 925456.

Le capteur aérosolaire se rapproche du capteur solaire thermodynamique. Les capteurs solaires thermodynamiques peuvent dans certains cas n'être que solaires, s'ils sont utilisés à haute température dans des cycles types moteurs de Carnot (comme l'a fait par exemple la Société Sotrefes dans les années 1970/1980). Le capteur aérosolaire est toujours sans vitrage et est un capteur basse température.

1.2 - Un peu d'histoire de 1970 à 2013

Les premières réalisations couplant solaire et pompe à chaleur ont été réalisées dans les années 1970. Les toutes premières utilisaient des capteurs solaires vitrés classiques raccordés à un stockage important d'eau. Ce stockage pouvait fournir directement de l'eau chaude solaire par fort ensoleillement et était aussi raccordé au circuit évaporateur d'une pompe à chaleur eau/eau. Mais la régulation est complexe. L'absence de captation d'énergie lorsqu'il n'y a pas de soleil ne permettra pas le développement de cette technique. En effet, le vitrage est isolant et empêche l'utilisation en capteur froid.

10.3.4	Convecteur aérovoltaïque	156
10.3.5	Capteurs solaires	156
10.3.6	Pompe à chaleur chimique	157
10.3.7	Caloduc	157
10.3.8	Récupération des CFC	158
10.3.9	Autres systèmes frigorifiques et pompes à chaleur	158

1 - ORIGINE DE LA TECHNOLOGIE

1.1 - Définition de la technique aérosolaire

Le captage aérosolaire consiste en l'utilisation du soleil et de l'air extérieur comme source froide d'énergie pour l'évaporateur d'une pompe à chaleur. Il utilise des capteurs froids, sans vitrage.

Il s'agit en fait d'un captage atmosphérique qui permet de récupérer la chaleur solaire, la chaleur sensible et latente de l'air extérieur, l'effet du vent et celui de la pluie et du brouillard.

Le but de l'aérosolaire est d'optimiser la récupération de chaleur en s'affranchissant des problèmes de dégivrage liés en hiver à la captation de l'énergie de l'air extérieur.

L'aérosolaire permet aussi de :

- bien doser la part énergétique de la captation solaire afin de ne pas rendre excessive la température d'évaporation de la pompe à chaleur, tout en la maintenant à un niveau élevé afin d'augmenter son COP,
- ne pas avoir les nuisances acoustiques des ventilateurs des PAC air extérieur/eau,
- orienter le captage de sorte à augmenter le coefficient de convection de l'air extérieur et d'optimiser la captation solaire en hiver,
- réaliser un circuit frigorifique le plus simple possible, ce qui est un énorme gage de fiabilité et conduit à des matériels à coût maîtrisé.

Le nom aérosolaire a été créé par Jacques Bernier et est une marque déposée auprès de l'INPI par Bernier Energies sous le N°10/3 717 025/GB.

Le capteur aérosolaire se rapproche du capteur solaire thermodynamique. Les capteurs solaires thermodynamiques peuvent dans certains cas n'être que solaires, s'ils sont utilisés à haute température dans des cycles types moteurs de Carnot (comme l'a fait par exemple la Société Sofretes dans les années 1970/1980). Le capteur aérosolaire est toujours sans vitrage et est un capteur basse température.

1.2 - Un peu d'histoire de 1970 à 2013

Les premières réalisations couplant solaire et pompe à chaleur ont été réalisées dans les années 1970. Les toutes premières utilisaient des capteurs solaires vitrés classiques raccordés à un stockage important d'eau. Ce stockage pouvait fournir directement de l'eau chaude solaire par fort ensoleillement et était aussi raccordé au circuit évaporateur d'une pompe à chaleur eau/eau. Mais la régulation est complexe. L'absence de captation d'énergie lorsqu'il n'y a pas de soleil ne permettra pas le développement de cette technique. En effet, le vitrage est isolant et empêche l'utilisation en capteur froid.

1.2.1 – Pompe à chaleur à capteurs évaporateurs

En 1976, Jacques Bernier invente la pompe à chaleur à capteur évaporateur sans vitrage. Il dépose son premier brevet sur le sujet le 17/08/1976 n° 7624987, en utilisant un évaporateur aluminium du même type que ceux utilisés dans les réfrigérateurs ménagers.

On peut abaisser la température du capteur jusqu'à la température extérieure, voire même en dessous avec une pompe à chaleur. Si l'écart de température est nul, la nécessité du vitrage ne se fait plus sentir.

Lorsque l'écart de température est négatif, ce qui arrive fréquemment en hiver, le fait de ne pas mettre de vitrage est bénéfique, car cela augmente les échanges de chaleur par convection entre l'air extérieur et le capteur. C'est là tout l'intérêt du concept. Le procédé est longuement décrit dans les livres «La pompe à chaleur mode d'emploi» publiés en 1979 (tome 1) et 1981 (tome 2).

De 1976 à 1981, l'auteur réalise diverses installations expérimentales.

Dès 1981, Jacques Bernier crée la société Axergie afin de fabriquer et commercialiser les pompes à chaleur solaires et les chauffe-eau solaires thermodynamiques. D'importantes améliorations sont effectuées concernant notamment le dessin des canaux du capteur évaporateur.

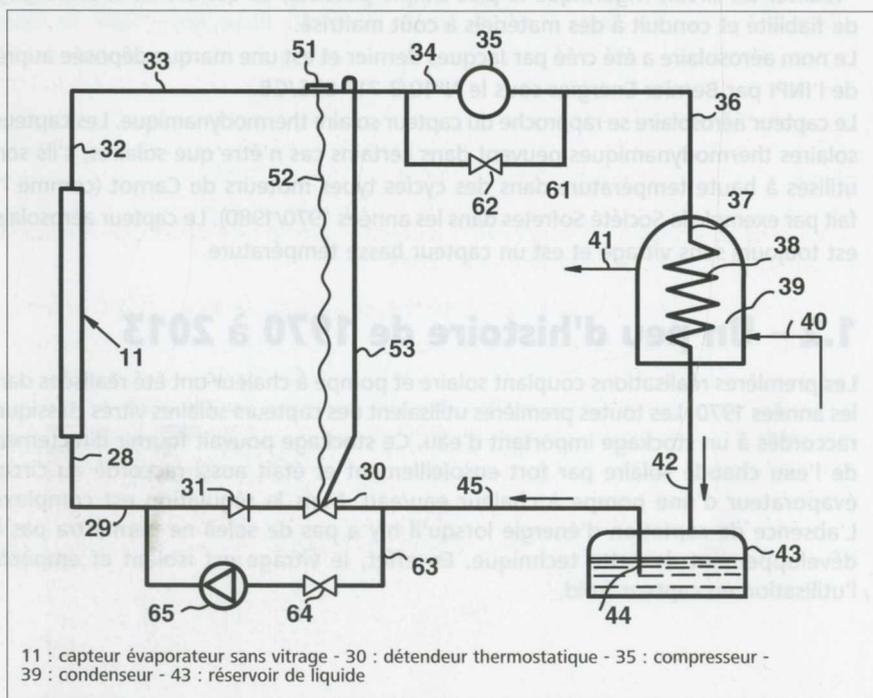


Figure 1 - Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur assistée solaire avec capteur sans vitrage.

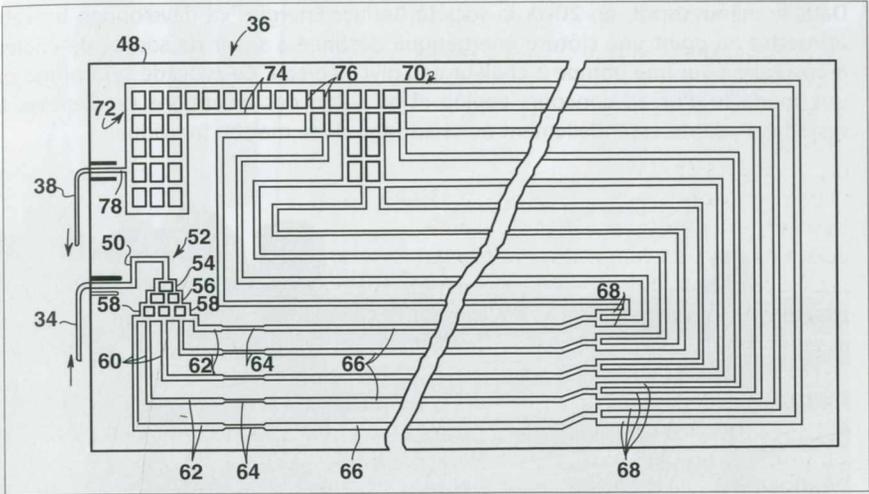


Figure 2 - Schéma du capteur évaporateur aérosolaire
Brevet J. Bernier n° 8312117 du 21/07/1983).

Toute une gamme de systèmes de chauffage sera mise au point utilisant de 2 à 32 capteurs évaporateurs de 0,8 m × 2 m.

Une gamme de chauffe-eau solaires thermodynamiques de 200 litres à 7 500 litres sera également développée.

La pompe à chaleur solaire est récompensée en 1982 par le grand prix du concours Lépine et sera également primée au salon Interclima en 1983.

Plus de 3 000 installations seront réalisées par Axergie jusqu'en 1988.

Ce procédé avec capteurs évaporateurs à détente directe sera développé à nouveau par son créateur et Bernier-Energies en 2013.

1.2.2 - Pompe à chaleur avec capteurs à eau glycolée

En 1990, la société Héliopac va développer le couplage avec une pompe à chaleur, de capteurs atmosphériques réalisés avec des tubes EPDM horizontaux, dans lesquels circule de l'eau glycolée. Ces équipements sont développés pour le chauffage de l'eau sanitaire de bâtiments tertiaires. La pompe à chaleur est de type eau glycolée/eau. L'entreprise a obtenu le titre V système pour la RT 2012.



Figure 3 - Capteur tubes
à eau glycolée
(doc. Héliopac)

Dans le même esprit, en 2010, la société Bernier Energies va développer, breveter et mettre au point une clôture énergétique destinée à servir de source de chaleur aérosolaire pour une pompe à chaleur eau glycolée/eau. Ce procédé sera primé par une médaille d'or au concours Lépine et au salon des inventions de Genève. Le système s'adapte essentiellement au chauffage de la maison individuelle.



Figure 4 - Clôture énergétique à eau glycolée (doc. Bernier Energies).

1.2.3 - Convecteur aérosolaire

En 2011, nouvelle innovation avec le convecteur aérosolaire. Ce système breveté est une pompe à chaleur monobloc avec capteur atmosphérique intégré.

L'intérêt principal de cet appareil est de remplacer les convecteurs et les chauffe-eau électriques dans l'habitat existant.

Un fluide frigorigène naturel est utilisé afin de minimiser l'effet de serre.

Le capteur évaporateur de 0,8 m × 2 m assure le captage de l'énergie de l'air extérieur par convection naturelle et celui du rayonnement solaire. Le compartiment thermodynamique est placé à côté du capteur, à l'intérieur d'une carrosserie fermée.



Figure 5 - Convecteur aérosolaire (doc. Bernier Energies).

Le compresseur volumétrique utilise le propane (150 g) comme fluide frigorigène qui se vaporise dans le capteur évaporateur et se condense dans un échangeur en acier inoxydable, assurant ainsi le chauffage de l'eau. Le système fonctionne alors selon un cycle de Carnot.

Le convecteur aérosolaire obtiendra le grand prix de l'INPI et une médaille d'or au salon des inventions de Genève en 2012.



Figure 3 - L'aérosolaire, une pompe à chaleur assistée solaire.

En 2011, nouvelle innovation avec le convecteur aéro-solaire. Ce système breveté est une pompe à chaleur monobloc avec capteur atmosphérique intégré.

Figure 4 - Cédure énergétique à eau glycolée.

L'objectif principal de cet appareil est de remplacer les convecteurs et les chauffages électriques dans l'habitat existant.

Un fluide frigorigène naturel est utilisé afin de minimiser l'effet de serre. Le capteur évaporateur de 0,6 m x 2 m assure le captage de l'énergie de l'air extérieur par convection naturelle et celle du rayonnement solaire. Le compartiment condenseur est placé à côté du capteur, à l'intérieur d'une carrosserie formée.

2.1 - L'énergie solaire

Non polluante et inépuisable à l'échelle humaine, l'énergie solaire permet de respecter l'environnement et de préserver les ressources énergétiques, sans produire de gaz carbonique.

2 - ANALYSE DES DONNÉES

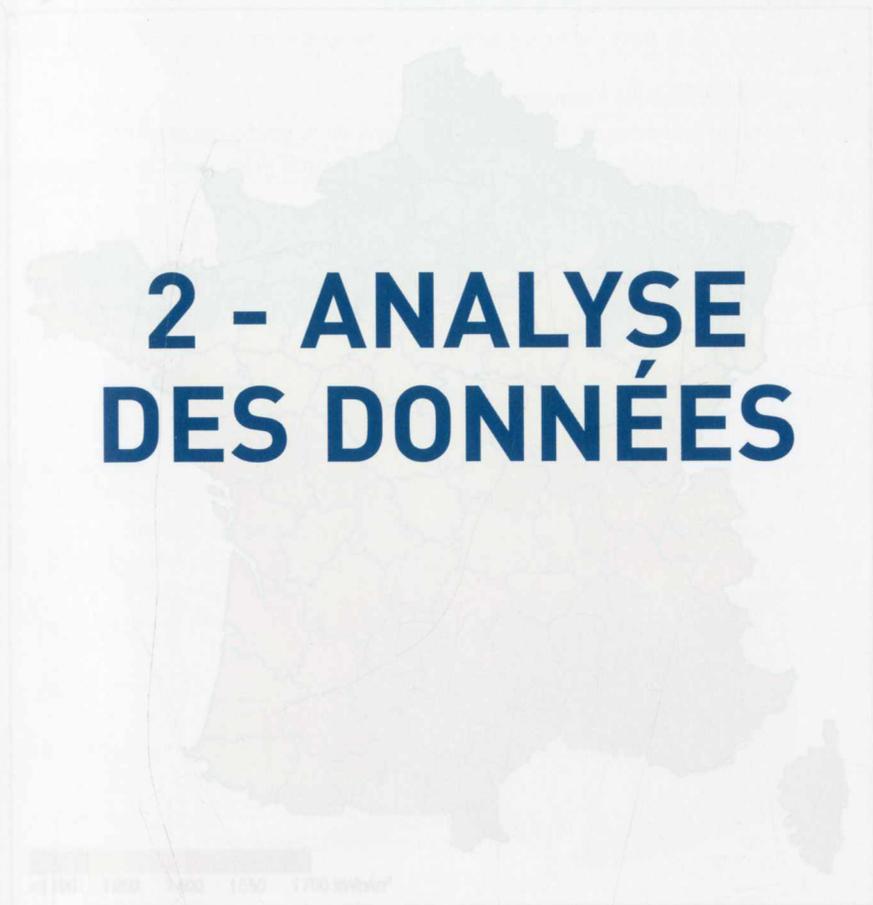


Figure 6 - irradiation solaire de la France (doc. Solargis)

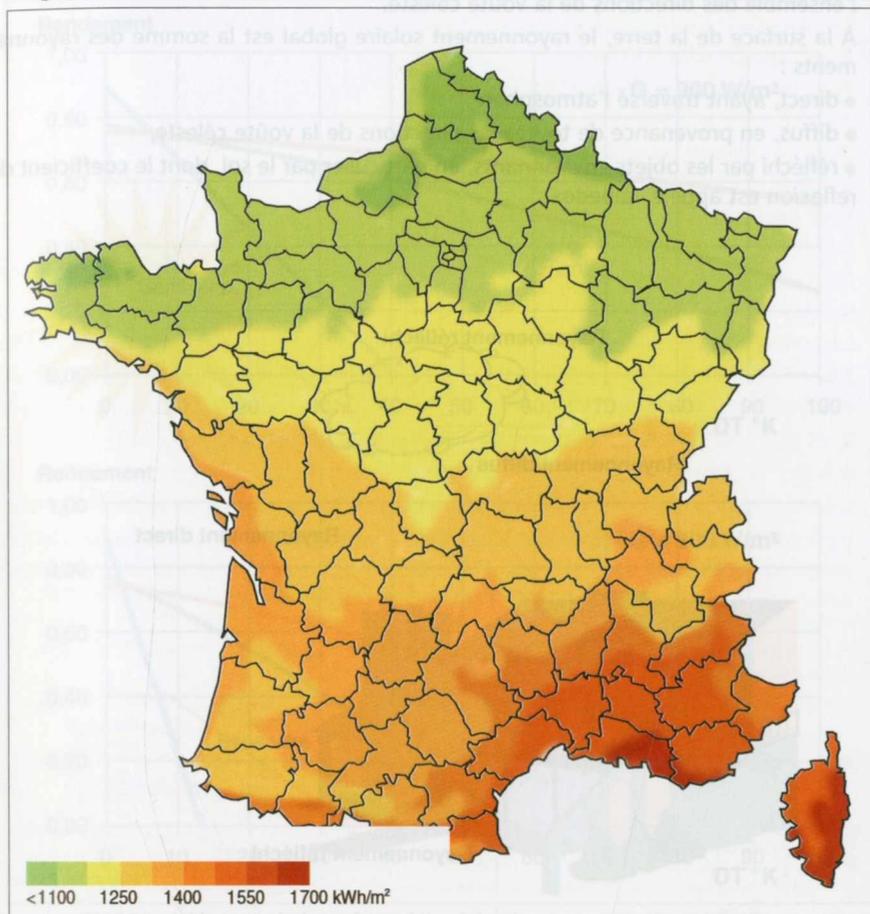
La terre, qui est située à environ 150 millions de kilomètres du soleil, reçoit de sa part un rayonnement d'une puissance moyenne de $1\,370\text{ W/m}^2$. C'est la puissance reçue par une unité de surface qui serait perpendiculaire aux rayonnements juste au-dessus de l'atmosphère terrestre.

Avant son arrivée dans l'atmosphère terrestre, le rayonnement solaire est dirigé. Il se présente sous la forme d'un faisceau à peu près parallèle. Seule une partie de ce

DES DONNÉES S - ANALYSE

2.1 - L'énergie solaire

Non polluante et inépuisable à l'échelle humaine, l'énergie solaire permet de respecter l'environnement et de préserver les ressources énergétiques, sans produire de gaz carbonique.



La terre, qui est située à environ 150 millions de kilomètres du soleil, reçoit de sa part un rayonnement d'une puissance moyenne de $1\,370\text{ W/m}^2$. C'est la puissance reçue par une unité de surface qui serait perpendiculaire aux rayonnements juste au-dessus de l'atmosphère terrestre.

Avant son arrivée dans l'atmosphère terrestre, le rayonnement solaire est dirigé. Il se présente sous la forme d'un faisceau à peu près parallèle. Seule une partie de ce

rayonnement direct traverse l'atmosphère et atteint le sol. Une autre partie du rayonnement est diffusée et répartie à peu près uniformément dans toutes les directions de l'espace.

Ce rayonnement diffus, lorsqu'il atteint le sol terrestre, semble ainsi provenir de l'ensemble des directions de la voûte céleste.

À la surface de la terre, le rayonnement solaire global est la somme des rayonnements :

- direct, ayant traversé l'atmosphère,
- diffus, en provenance de toutes les directions de la voûte céleste,
- réfléchi par les objets environnants, en particulier par le sol, dont le coefficient de réflexion est appelé «albedo».

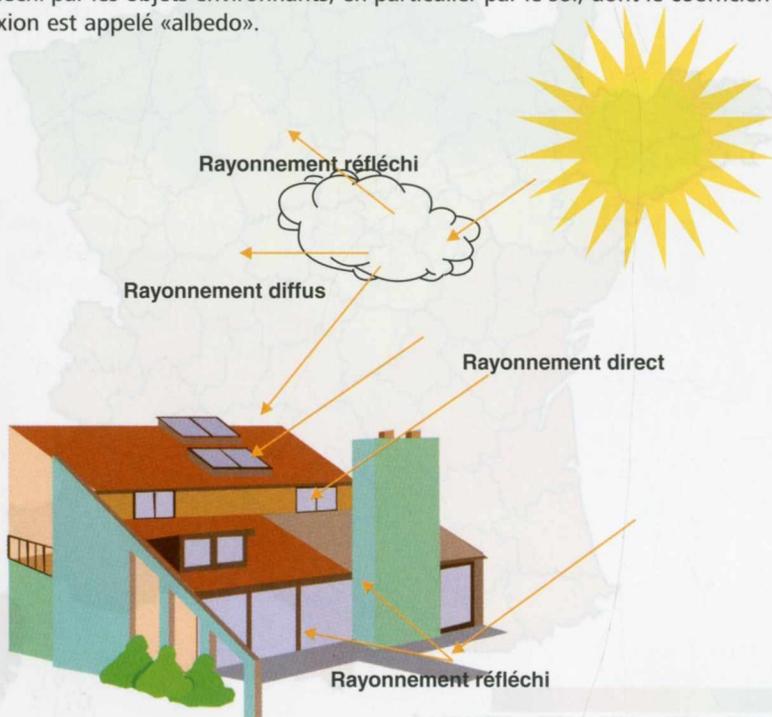


Figure 7 - Le rayonnement solaire à la surface de la terre (doc. ADEME)

2.2 - Capteurs solaires thermiques, classiques à eau

Le principe des capteurs classiques est l'utilisation de l'effet de serre. Les capteurs sont du type à air ou à eau principalement.

Les capteurs solaires classiques se présentent sous la forme extérieure d'une vitre simple ou double derrière laquelle se trouve un absorbeur noir récepteur dans lequel circule généralement de l'eau additionnée d'antigel et quelquefois de l'air. L'ensemble est monté sur un châssis isolé thermiquement.

Des capteurs avec tubes sous vide ont également été développés afin de limiter les pertes thermiques.

Quels sont les paramètres qui conditionnent le fonctionnement du capteur et en déterminent le rendement ?

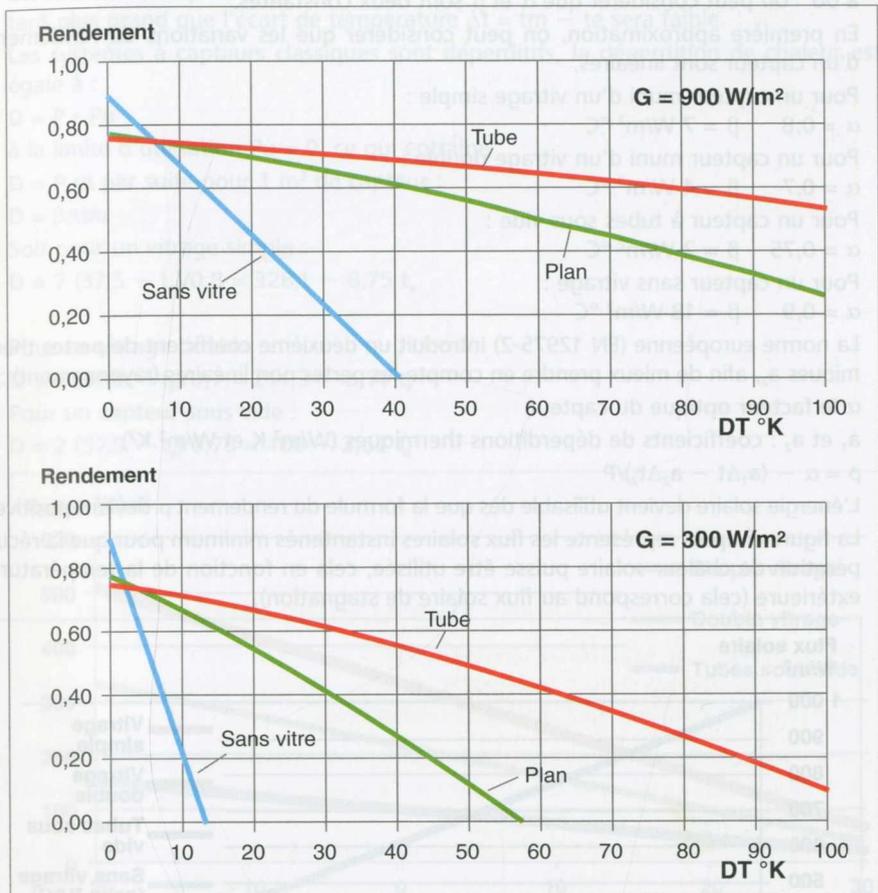


Figure 8 - Courbes de rendement des capteurs solaires.

On appelle :

- P le flux solaire global instantané incident en W/m^2 ,
- P_u la puissance utile récupérée par l'eau en Watt,
- t_1 et t_2 les températures d'arrivée et de départ de l'eau dans le capteur,
- t_e la température extérieure,
- t_m la température moyenne de l'eau.

$$t_m = (t_1 + t_2)/2$$

$$\Delta t = t_m - t_e$$

On montre que le rendement instantané du capteur s'écrit :

$$\rho = Pu/P = \alpha - \beta \Delta t/P$$

α et β sont deux coefficients caractéristiques du capteur qui dépendent, en outre, de l'angle d'incidence des rayons solaires. Tant que l'angle d'incidence est inférieur à 60° on peut considérer que α et β sont deux constantes.

En première approximation, on peut considérer que les variations du rendement d'un capteur sont linéaires.

Pour un capteur muni d'un vitrage simple :

$$\alpha = 0,8 \quad \beta = 7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pour un capteur muni d'un vitrage double :

$$\alpha = 0,7 \quad \beta = 4 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pour un capteur à tubes sous vide :

$$\alpha = 0,75 \quad \beta = 2 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pour un capteur sans vitrage :

$$\alpha = 0,9 \quad \beta = 18 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La norme européenne (EN 12975-2) introduit un deuxième coefficient de pertes thermiques a_2 , afin de mieux prendre en compte les pertes non linéaires (rayonnement) :

α le facteur optique du capteur,

a_1 et a_2 : coefficients de déperditions thermiques ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ et $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^2$)

$$\rho = \alpha - (a_1 \Delta t - a_2 \Delta t^2)/P$$

L'énergie solaire devient utilisable dès que la formule du rendement ρ devient positive.

La figure ci-après représente les flux solaires instantanés minimum pour que la récupération de chaleur solaire puisse être utilisée, cela en fonction de la température extérieure (cela correspond au flux solaire de stagnation).

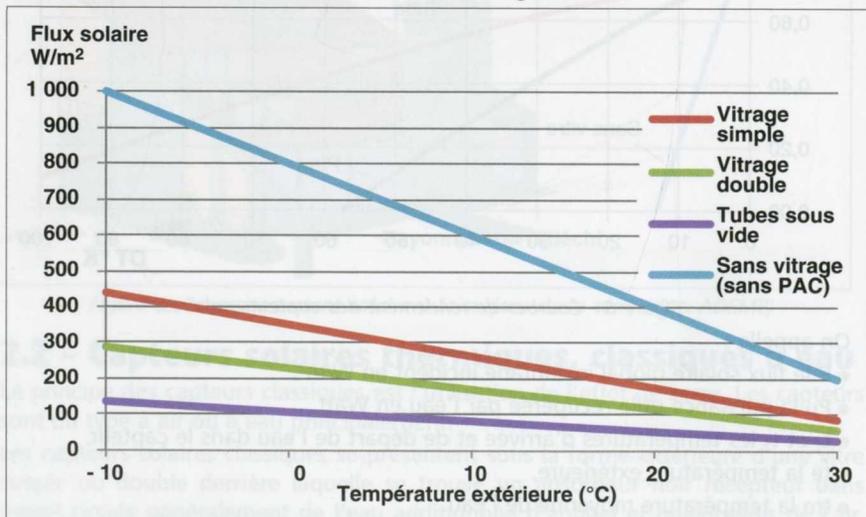


Figure 9 - Flux solaire minimum nécessaire aux capteurs classiques pour que le rendement du capteur soit supérieur à zéro (donc pour que la captation soit utilisable).

Les courbes ont été établies pour de l'eau au départ du panneau à 40 °C, ce qui correspond, en fait, à une température de stockage dans le ballon de 35 °C environ. Cette température est, en fait, un minimum pour l'application chauffage ou eau chaude sanitaire.

On voit donc, d'après l'équation ci-avant, que le rendement de captation sera d'autant plus grand que l'écart de température $\Delta t = t_m - t_e$ sera faible.

Les systèmes à capteurs classiques sont déperditifs, la déperdition de chaleur est égale à :

$$D = P - P_u$$

à la limite d'utilisation $P_u = 0$, ce qui entraîne :

$$D = P \text{ et par suite pour } 1 \text{ m}^2 \text{ de capteur :}$$

$$D = \beta \Delta t / \alpha$$

Soit pour un vitrage simple :

$$D = 7 (37,5 - t_e) / 0,8 = 328,1 - 8,75 t_e$$

Pour un vitrage double :

$$D = 4 (37,5 - t_e) / 0,7 = 214,3 - 5,71 t_e$$

Pour un capteur sous vide :

$$D = 2 (37,5 - t_e) / 0,75 = 100 - 2,67 t_e$$

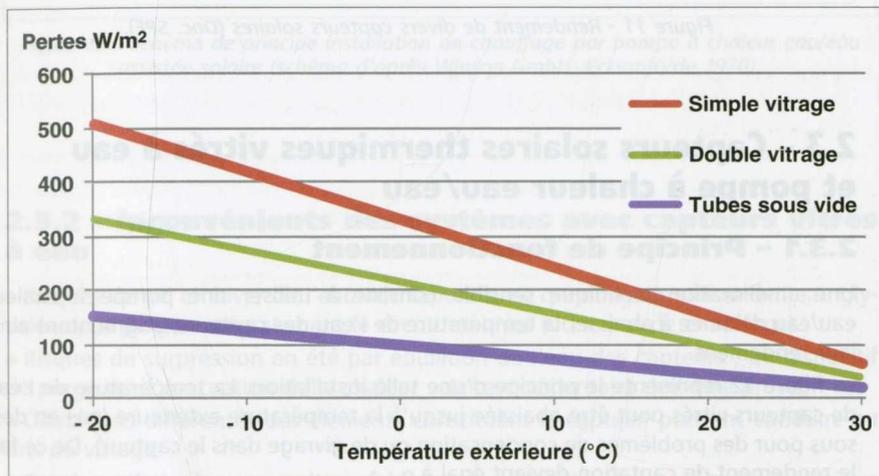


Figure 10 - Perte thermique des capteurs solaires avec de l'eau température de départ 40 °C.

L'économie d'énergie apportée par des capteurs solaires thermiques classiques peut atteindre 30 à 60 % pour le chauffage et 40 à 70 % pour l'eau chaude sanitaire. Le pourcentage d'économie sera très variable en fonction du modèle de capteur solaire et de sa qualité de fabrication. La dispersion est très importante comme le montre la figure 11.

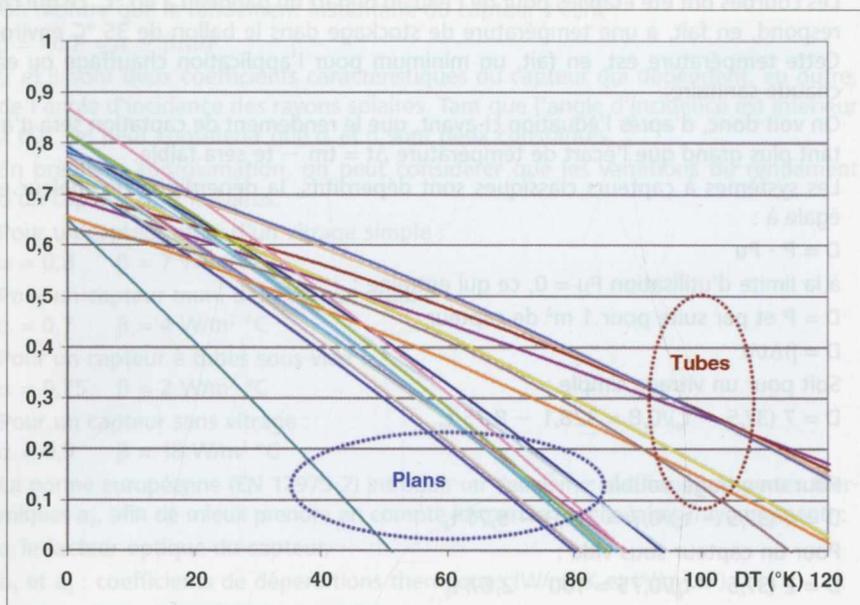


Figure 11 - Rendement de divers capteurs solaires (Doc. SPF).

2.3 - Capteurs solaires thermiques vitrés à eau et pompe à chaleur eau/eau

2.3.1 - Principe de fonctionnement

Une amélioration technique sensible consiste à utiliser une pompe à chaleur eau/eau destinée à abaisser la température de l'eau des capteurs, augmentant ainsi leur rendement.

La figure 12 représente le principe d'une telle installation. La température de l'eau de capteurs vitrés peut être abaissée jusqu'à la température extérieure (pas en dessous pour des problèmes de condensation ou de givrage dans le capteur). De ce fait le rendement de captation devient égal à α .

Deux types de stockage peuvent être envisagés, le stockage froid côté évaporateur, ou le stockage chaud côté condenseur. Un chauffage d'appoint est en général indispensable.

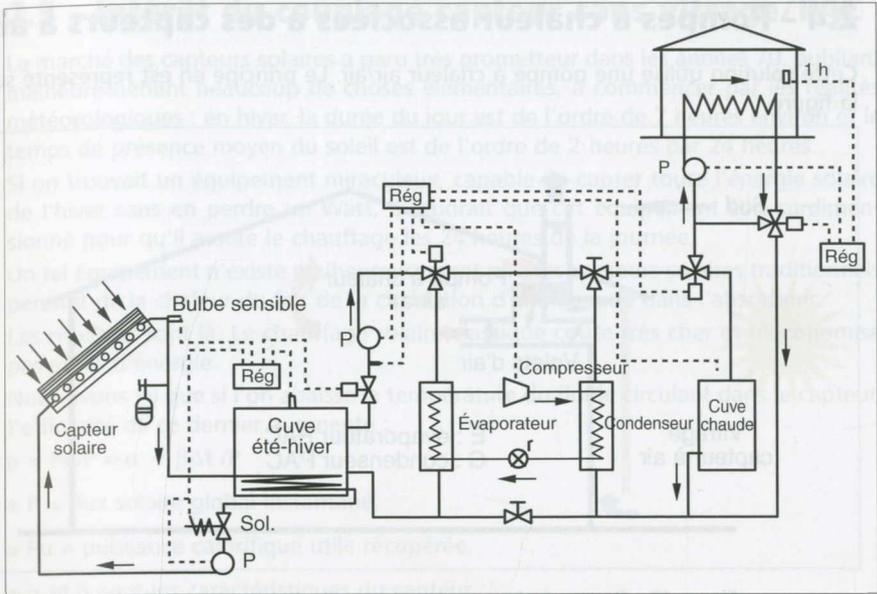


Figure 12 - Schéma de principe installation de chauffage par pompe à chaleur eau/eau assistée solaire (schéma d'après Winson GmbH, Eckernförde 1970).

2.3.2 - Inconvénients des systèmes avec capteurs vitrés à eau

- Risques de gel en hiver de l'eau des capteurs, ce qui oblige à utiliser de l'eau glycolée ou à purger intégralement le circuit en hiver (donc pas de chauffage).
- Risques de surpression en été par ébullition de l'eau des capteurs ; un dispositif de purge ou d'évacuation de la chaleur solaire excédentaire doit être prévu.
- Dilatations différentes des éléments constituant le capteur, pouvant conduire au bris du vitrage.
- Condensations de vapeur d'eau fréquentes sur la vitre du capteur côté intérieur. Ce phénomène est difficile à éliminer et conduit à une baisse du rendement.
- Intégration architecturale difficile à réaliser.
- Coût d'installation élevé et souvent prohibitif.

Figure 14 - Influence de la couleur du capteur sans vitrage sur le rendement solaire apparent capté

2.4 - Pompes à chaleur associées à des capteurs à air

Cette solution utilise une pompe à chaleur air/air. Le principe en est représenté sur la figure.

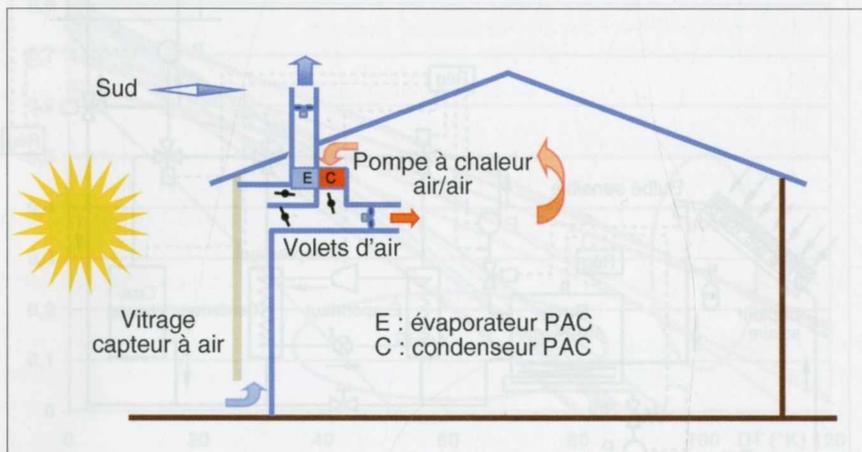


Figure 13 - Pompe à chaleur air/air associée à des capteurs à air.

Les capteurs à air sont constitués d'un vitrage placé à quelques centimètres d'un mur de la maison. On fait circuler de l'air extérieur dans l'espace compris entre le mur et le vitrage.

Ce procédé a été initié dans les années 70 par le chercheur du CNRS Félix Trombe. Si le rayonnement solaire est suffisant, le mur est réchauffé, ce qui chauffe l'air. Celui-ci est ensuite pulsé dans la maison (les volets d'air sont dans cette phase en position inverse de celle de la figure).

Si les besoins de chauffage sont plus importants et que le rayonnement solaire est insuffisant, l'air extérieur circule dans le capteur où il est légèrement réchauffé, et passe ensuite sur l'évaporateur de la pompe à chaleur, où la récupération de chaleur est effectuée (les volets d'air sont dans la position de la figure).

Les capteurs solaires à air ont dans ce cas pour rôle de faire fonctionner la pompe à chaleur dans de meilleures conditions de température extérieure, améliorant ainsi ses performances.

Un certain nombre d'inconvénients décrits pour les capteurs à eau subsistent avec les capteurs à air. On notera que les volets d'air peuvent poser des problèmes d'étanchéité.

Ce type d'installation est coûteux à l'installation. Il permet cependant d'importantes économies d'énergie (de l'ordre de 60 %).

2.5 - Intérêt du couplage capteur sans vitrage/PAC

Le marché des capteurs solaires a paru très prometteur dans les années 70, oubliant malheureusement beaucoup de choses élémentaires, à commencer par les réalités météorologiques : en hiver, la durée du jour est de l'ordre de 7 heures environ et le temps de présence moyen du soleil est de l'ordre de 2 heures par 24 heures.

Si on trouvait un équipement miraculeux, capable de capter toute l'énergie solaire de l'hiver sans en perdre un Watt, il faudrait que cet équipement soit surdimensionné pour qu'il assure le chauffage les 24 heures de la journée.

Un tel équipement n'existe malheureusement pas, les capteurs solaires traditionnels perdant de la chaleur du fait de la circulation d'eau chaude dans l'absorbeur.

Les résultats sont là. Le chauffage solaire classique coûte très cher et n'économise pas assez d'énergie.

Nous avons vu que si l'on abaisse la température du fluide circulant dans le capteur, l'efficacité de ce dernier augmente :

$$\rho = Pu/P = \alpha - \beta \Delta t / P$$

- P = flux solaire global instantané,
- Pu = puissance calorifique utile récupérée,
- α et β sont les caractéristiques du capteur.

Si l'écart de température Δt entre le fluide du capteur et l'air extérieur devient négatif, le «rendement apparent» du capteur peut devenir supérieur à 1. Ce capteur joue alors à la fois le rôle d'un capteur solaire et d'un échangeur refroidissant l'air extérieur.

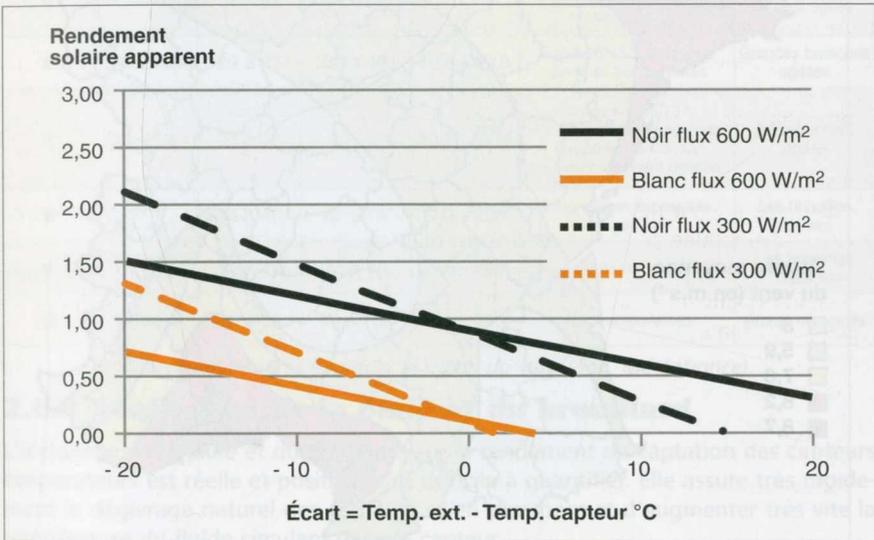


Figure 14 - Influence de la couleur du capteur sans vitrage sur le rendement solaire apparent captage.

On peut abaisser la température du capteur jusqu'à la température extérieure, voire même en dessous avec une pompe à chaleur. Si l'écart de température est nul, la nécessité du vitrage ne se fait plus sentir. Si le capteur est plus froid que l'air extérieur, le vitrage devient un frein à l'échange thermique.

Lorsque l'écart de température est négatif, ce qui arrive fréquemment en hiver, le fait de ne pas mettre de vitrage est bénéfique, car cela augmente les échanges de chaleur par convection entre l'air extérieur et le capteur, ce qui permet de capter :

- 80 % à 90 % du rayonnement solaire direct et diffus pendant la journée,
- la chaleur de l'air extérieur, par convection naturelle et par l'effet du vent (et ceci 24 heures sur 24),
- la chaleur de la pluie et du brouillard.

2.6 - Influence du vent et de la pluie

2.6.1 - Influence du vent

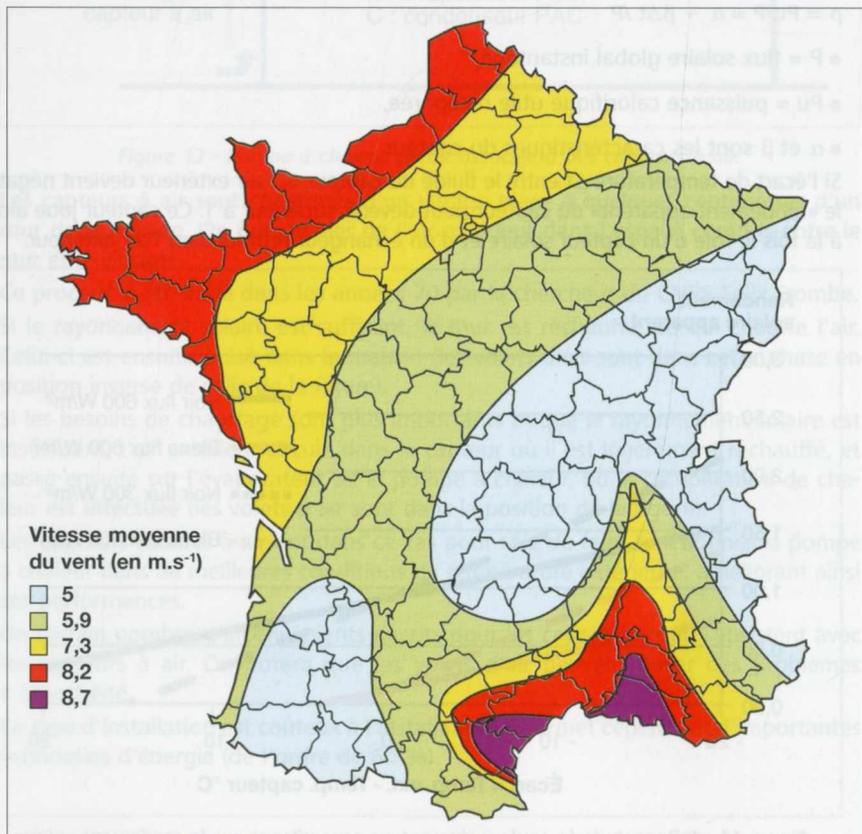


Figure 15 - Vitesse moyenne du vent en France.

Les courbes de vitesses moyennes du vent sont données à une altitude de 50 m. La vitesse du vent diminue au fur et à mesure que l'on s'approche du sol. A titre d'exemple, pour une vitesse de vent moyenne de 5 m/s à 50 m, la vitesse sera d'environ 4 m/s à 10 m et de l'ordre de 3 m/s seulement à 2 m d'altitude.

Le vent augmente le coefficient de convection de la surface de captage, ce qui a pour effet de diminuer l'écart de température entre l'air extérieur et le fluide en circulation dans le capteur. La température d'évaporation du fluide frigorigène va donc augmenter avec la vitesse du vent.

Le coefficient de convection β va varier entre 18 et 40 W/m².°C suivant la vitesse du vent.

Degrés Beaufort	Termes descriptifs	Vitesse moyenne en noeuds	Vitesse moyenne en km/h	Vitesse moyenne en m/s	Activités humaines	Végétaux
0	Calme	< 1	< 1	0 - 0,2	La fumée s'élève verticalement	Immobilité
1	Très légère brise	1 à 3	1 à 5	0,3 - 1,5	Dérive de la fumée à peine perceptible	Immobilité
2	Légère brise	4 à 6	6 à 11	1,6 - 3,3	Vent tout juste perçu au visage. Fumée à 80 °	Les feuilles frémissent
3	Petite brise	7 à 10	12 à 19	3,4 - 5,4	Fumée à 70 °. Poussière soulevée	Brindilles agitées
4	Jolie brise	11 à 16	20 à 28	5,5 - 7,9	Fumée à 50 °. Cheveux dérangés et vêtements qui claquent	Petites branches agitées
5	Bonne brise	17 à 21	29 à 38	8,0 - 10,7	Fumée à 30 °. Yeux gênés par les suspensions dans l'air	Petits arbres feuillus agités
6	Vent frais	22 à 27	39 à 49	10,8 - 13,8	Fumée à 15 °. Manches gonflées par les côtés	Grandes branches agitées
7	Grand frais	28 à 33	50 à 1	13,9 - 17,1	Fumée à 5 ou 10 °. Picotement au visage par température < 3 °C. La marche devient difficile.	Arbres entiers agités
8	Coup de vent	34 à 40	62 à 74	17,2 - 20,7	Progression impossible en général	Les brindilles cassent
9	Fort coup de vent	41 à 47	75 à 88	20,8 - 24,4	Enfants renversés	Les branches cassent
10	Tempête	48 à 55	89 à 102	24,5 - 28,4	Adultes renversés	Arbres déracinés

Tableau 1 - degrés Beaufort et effets du vent (doc. Météofrance).

2.6.2 - Influence de la pluie et du brouillard

L'incidence de la pluie et du brouillard sur le rendement de captation des capteurs évaporateurs est réelle et positive mais difficile à quantifier. Elle assure très rapidement le dégivrage naturel des capteurs et en plus permet d'augmenter très vite la température du fluide circulant dans le capteur.

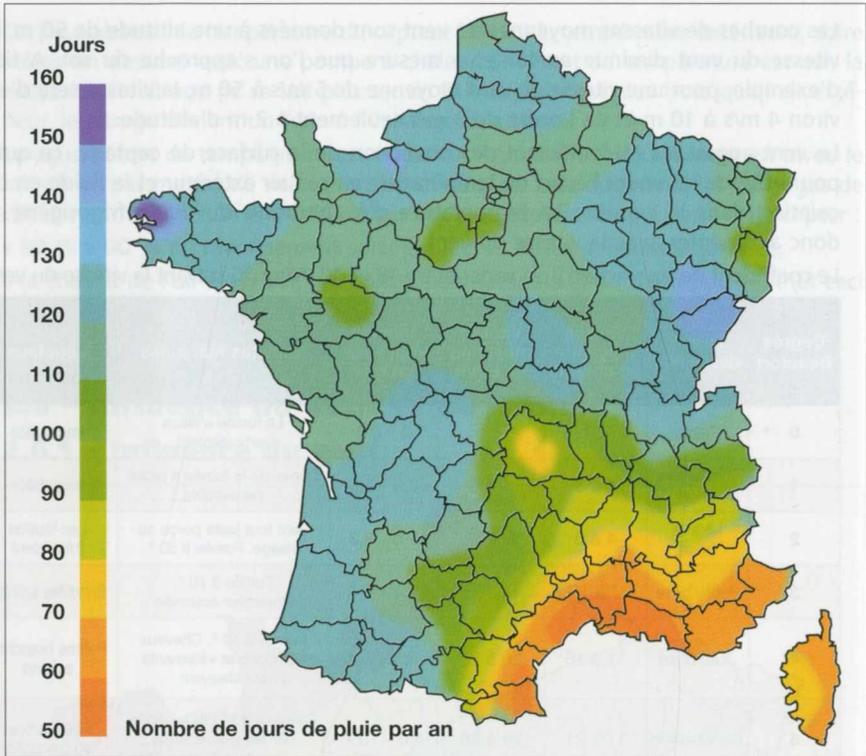


Figure 16 - Nombre de jours de pluie par an

2.7 - La part solaire dans le bilan énergétique

2.7.1 - Couleur des capteurs sans vitrage

La couleur du capteur sans vitrage a une importance moins grande que pour des capteurs solaires traditionnels. Dans la mesure du possible, on choisira une couleur ayant un coefficient d'absorption minimum de 0,40.

Le tableau 2 ci-dessous donne les valeurs du coefficient d'absorption pour quelques couleurs de peintures.

Couleur laques cellulosiques					
Noir	0,94	Turquoise	0,84	Rouge vif	0,44
Bleu foncé	0,91	Marron	0,79	Orange	0,41
Vert sombre	0,88	Vert	0,79	Jaune	0,33
Bleu ciel	0,88	Rouge sombre	0,57	Blanc	0,20

Tableau 2 - Coefficient d'absorption des peintures.

2.7.2 - Orientation du capteur sans vitrage

L'orientation du capteur sans vitrage semble moins importante que pour les capteurs classiques car une partie importante de l'énergie est prélevée à l'air extérieur et une autre partie (difficile à quantifier) à la pluie et au brouillard.

L'angle d'inclinaison des rayons solaires par rapport à l'horizontale varie suivant les saisons.

En hiver, au zénith, les rayons solaires forment un angle de 20 à 40 degrés par rapport à l'horizontale. Au lever et au coucher, ils sont tangents.

Pour bénéficier au maximum des rayons solaires sur le capteur évaporateur pendant la période hivernale, il convient de choisir une inclinaison de l'absorbeur comprise entre 90 ° et 30 °.

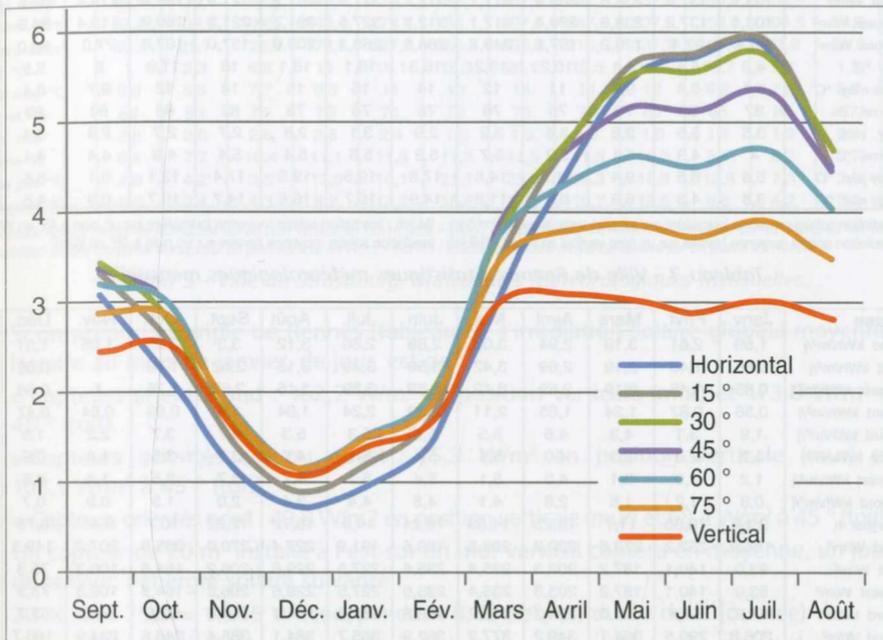


Figure 17 - Irradiation solaire en fonction de l'inclinaison des capteurs, orientation sud (ville de Rennes).

Pour bénéficier au maximum de la convection naturelle de l'air extérieur, la position choisie sera la plus proche de la verticale.

Les tableaux 3 à 5, page suivante, représentent les statistiques météorologiques et les irradiations solaires moyennes mensuelles pour les villes de Rennes, Toulouse et Strasbourg.

Rennes	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
IMJV Sud kWh/m ² /j	1,4	1,7	3,02	3,1	3,04	2,89	3,03	2,82	2,45	2,54	1,61	1,08	2,3
IMJV Est kWh/m ² /j	0,65	0,99	1,97	2,68	3,21	3,32	3,39	2,7	1,89	1,43	0,78	0,5	1,9
IMJV Ouest kWh/m ² /j	0,65	0,99	1,97	2,68	3,21	3,32	3,39	2,7	1,89	1,43	0,78	0,5	1,9
IMJV Nord kWh/m ² /j	0,43	0,67	1,12	1,59	2,06	2,31	2,23	1,74	1,23	0,84	0,5	0,35	1,2
IMJ45 Sud kWh/m ² /j	1,5	2,0	3,9	4,7	5,2	5,1	5,3	4,5	3,4	3,0	1,8	1,2	3,5
IMJ45 Est kWh/m ² /j	0,9	1,4	2,8	3,9	4,8	5,0	5,1	4,0	2,7	2,0	1,1	0,7	2,5
IMJ45 Ouest kWh/m ² /j	0,9	1,4	2,8	3,9	4,8	5,0	5,1	4,0	2,7	2,0	1,1	0,7	2,5
IMJ45 Nord kWh/m ² /j	0,6	0,9	1,5	2,5	3,7	4,3	4,2	2,9	1,7	1,1	0,7	0,5	2,0
Durée du jour h	8,63	10,06	11,65	13,44	14,98	15,83	15,42	14,02	12,26	10,48	8,96	8,17	12
IMHV Sud W/m ²	162,2	169,0	259,2	230,7	202,9	182,6	196,5	201,1	199,8	242,4	179,7	132,2	199
IMHV Est W/m ²	75,3	98,4	169,1	199,4	214,3	209,7	219,8	192,6	154,2	136,5	87,1	61,2	164
IMHV Ouest W/m ²	75,3	98,4	169,1	199,4	214,3	209,7	219,8	192,6	154,2	136,5	87,1	61,2	164
IMHV Nord W/m ²	49,8	66,6	96,1	118,3	137,5	145,9	144,6	124,1	100,3	80,2	55,8	42,8	105
IMH45 Sud W/m ²	173,8	199,8	332,2	346,7	345,1	324,1	346,3	318,8	276,5	287,2	196,4	140,8	286
IMH45 Est W/m ²	103,1	137,2	238,6	289,4	317,1	312,7	327,5	281,7	221,9	189,9	119,4	84,5	237
IMH45 Ouest W/m ²	103,1	137,2	238,6	289,4	317,1	312,7	327,5	281,7	221,9	189,9	119,4	84,5	237
IMH45 Nord W/m ²	68,4	92,4	126,2	187,5	249,7	268,5	269,1	209,0	137,0	107,8	77,0	60,0	170
T air moy °C	4,8	5,4	8,1	10,2	13,2	16,3	18,1	18,1	16	11,9	8	5,5	11
T eau ville moy °C	8,1	8,4	9,7	11	12	14	15	15	14	12	9,7	8,4	11
Humidité rel. %	87	83	79	75	76	76	76	78	82	86	88	89	81
Vent moy. m/s	3,5	3,5	3,6	3,6	3,2	2,9	3,1	2,8	2,7	2,7	2,9	3,4	3,2
Ecart diurne °C	4	4,3	5,1	5,2	5,7	5,8	5,6	5,4	5,4	4,9	4,4	4,1	5
Temp moy jour °C	5,8	6,5	9,4	11,5	14,6	17,8	19,5	19,5	17,4	13,1	9,1	6,5	12
Temp moy nuit °C	3,8	4,3	6,8	8,9	11,8	14,9	16,7	16,8	14,7	10,7	6,9	4,5	10

IMJV : Irradiation solaire moyenne journalière sur un plan vertical en Wh/m²/jour - IMJ45 : Irradiation solaire moyenne journalière sur un plan à 45° en Wh/m²/jour
 IMHV : Irradiation solaire moyenne horaire sur un plan vertical en W/m² - IMH45 : Irradiation solaire moyenne horaire sur un plan à 45° en W/m²

Tableau 3 - Ville de Rennes. Statistiques météorologiques mensuelles.

Toulouse	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
IMJV Sud kWh/m ² /j	1,69	2,61	3,19	2,94	3,03	2,89	2,86	3,12	3,3	3,05	1,95	1,31	2,6
IMJV Est kWh/m ² /j	0,85	1,45	2,19	2,69	3,42	3,59	3,39	3,15	2,52	1,76	1	0,66	2,2
IMJV Ouest kWh/m ² /j	0,85	1,45	2,19	2,69	3,42	3,59	3,39	3,15	2,52	1,76	1	0,66	2,2
IMJV Nord kWh/m ² /j	0,56	0,87	1,24	1,65	2,11	2,39	2,24	1,84	1,4	0,99	0,64	0,47	1,3
IMJ45 Sud kWh/m ² /j	1,9	3,1	4,3	4,6	5,5	5,5	5,3	5,3	4,7	3,7	2,2	1,5	4,1
IMJ45 Est kWh/m ² /j	1,2	2,0	3,1	4,0	5,1	5,4	5,1	4,7	3,7	2,5	1,4	0,9	3,5
IMJ45 Ouest kWh/m ² /j	1,2	2,0	3,1	4,0	5,1	5,4	5,1	4,7	3,7	2,5	1,4	0,9	3,5
IMJ45 Nord kWh/m ² /j	0,8	1,2	1,6	2,8	4,1	4,8	4,4	3,4	2,0	1,3	0,9	0,7	2,5
Durée du jour h	9,14	10,35	11,7	13,23	14,53	15,24	14,9	13,72	12,22	10,7	9,41	8,76	12
IMHV Sud W/m ²	184,9	252,2	272,6	222,2	208,5	189,6	191,9	227,4	270,0	285,0	207,2	149,5	221
IMHV Est W/m ²	93,0	140,1	187,2	203,3	235,4	235,6	227,5	229,6	206,2	164,5	106,3	75,3	175
IMHV Ouest W/m ²	93,0	140,1	187,2	203,3	235,4	235,6	227,5	229,6	206,2	164,5	106,3	75,3	175
IMHV Nord W/m ²	61,3	84,1	106,0	124,7	145,2	156,8	150,3	134,1	114,6	92,5	68,0	53,7	107
IMH45 Sud W/m ²	206,8	299,5	364,1	349,2	377,2	362,9	355,7	384,1	385,4	348,6	234,9	166,7	330
IMH45 Est W/m ²	129,1	197,1	268,4	300,1	353,8	357,0	344,3	341,1	299,5	233,6	148,8	106,2	272
IMH45 Ouest W/m ²	129,1	197,1	268,4	300,1	353,8	357,0	344,3	341,1	299,5	233,6	148,8	106,2	272
IMH45 Nord W/m ²	84,2	111,1	137,6	210,9	284,9	311,7	293,3	250,7	165,3	120,6	92,5	74,2	194
T air moy °C	5,9	6,9	9,15	11,6	15,1	18,7	22,2	21,5	19,3	15,1	9,9	6,6	13
T eau ville moy °C	8,6	9,2	11	12	14	16	17	17	16	13	11	9	12
Humidité rel. %	88	82	77	74	74	74	72	73	78	83	87	89	79
Vent moy. m/s	3,5	3,8	4,5	4,6	3,8	3,5	3,5	3,3	3,1	3,1	3,1	3,7	3,6
Ecart diurne °C	7,2	8,5	9,3	10	10,2	11	11,9	11,6	10	9	7,7	6,2	9,4
Temp moy jour °C	7,7	9,0	11,5	14,1	17,7	21,5	25,2	24,4	21,8	17,4	11,8	8,2	15
Temp moy nuit °C	4,1	4,8	6,8	9,1	12,6	16,0	19,2	18,6	16,8	12,9	8,0	5,1	11

IMJV : Irradiation solaire moyenne journalière sur un plan vertical en Wh/m²/jour - IMJ45 : Irradiation solaire moyenne journalière sur un plan à 45° en Wh/m²/jour
 IMHV : Irradiation solaire moyenne horaire sur un plan vertical en W/m² - IMH45 : Irradiation solaire moyenne horaire sur un plan à 45° en W/m²

Tableau 4 - Ville de Toulouse. Statistiques météorologiques mensuelles.



Strasbourg	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
IJ4 Sud kWh/m ² /j	0,99	1,78	2,34	2,63	2,73	2,73	2,9	2,91	2,71	1,9	1,32	0,9	2,15
IJ4 Est kWh/m ² /j	0,51	1,01	1,62	2,32	2,85	3,08	3,21	2,77	2,04	1,16	0,67	0,44	1,81
IJ4 Ouest kWh/m ² /j	0,51	1,01	1,62	2,32	2,85	3,08	3,21	2,77	2,04	1,16	0,67	0,44	1,81
IJ45 Sud kWh/m ² /j	0,37	0,67	1,05	1,52	1,97	2,23	2,19	1,75	1,25	0,77	0,46	0,32	1,21
IJ45 Est kWh/m ² /j	1,1	2,1	3,0	3,9	4,5	4,7	5,0	4,6	3,7	2,3	1,5	1,0	3,1
IJ45 Ouest kWh/m ² /j	0,7	1,4	2,3	3,4	4,2	4,6	4,8	4,0	2,9	1,6	0,9	0,6	2,6
IJ45 Nord kWh/m ² /j	0,7	1,4	2,3	3,4	4,2	4,6	4,8	4,0	2,9	1,6	0,9	0,6	2,6
IJ45 Nord kWh/m ² /j	0,5	0,9	1,4	2,4	3,4	4,0	4,0	3,0	1,7	1,1	0,6	0,5	2,0
Précip. de jour h	8,57	10,03	11,64	13,47	15,03	15,9	15,48	14,05	12,27	10,45	8,9	8,09	12
IHV Sud W/m ²	115,5	177,5	201,0	195,2	181,6	171,7	187,3	207,1	220,9	181,8	148,3	111,2	179,2
IHV Est W/m ²	59,5	100,7	139,2	172,2	189,6	193,7	207,4	197,2	166,3	111,0	75,3	54,4	150,8
IHV Ouest W/m ²	59,5	100,7	139,2	172,2	189,6	193,7	207,4	197,2	166,3	111,0	75,3	54,4	150,8
IHV Nord W/m ²	43,2	66,8	90,2	112,8	131,1	140,3	141,5	124,6	101,9	73,7	51,7	39,6	100,8
IH45 Sud W/m ²	128,4	207,4	261,2	291,8	300,7	298,1	324,9	327,4	302,4	220,1	164,0	119,9	260,8
IH45 Est W/m ²	82,8	139,6	197,6	249,4	279,4	288,1	307,5	287,5	237,2	156,0	104,5	74,2	219,2
IH45 Ouest W/m ²	82,8	139,6	197,6	249,4	279,4	288,1	307,5	287,5	237,2	156,0	104,5	74,2	219,2
IH45 Nord W/m ²	60,7	91,7	122,9	174,5	227,5	250,3	255,8	210,0	137,7	101,4	71,9	55,6	162,5
Temp. moy °C	1	2,3	6,9	11	15,1	18,3	20,1	19,5	16,2	10,7	5,7	1,9	10,7
Temp. ville moy °C	5,3	5,8	7,7	9,5	11	13	14	14	12	9,8	7,5	5,8	9,6
Humidité rel. %	84	83	75	70	71	75	75	77	80	85	88	87	79,2
Vent moy m/s	2,8	2,6	2,6	2,8	2,4	1,8	1,9	1,8	1,9	1,7	1,9	2,3	2,2
Part diurne °C	6,4	7,7	10,4	11,1	11,8	11,3	11,5	11,3	10,3	8,4	6,2	5,7	9,4
Temp moy jour °C	2,6	4,2	9,5	13,8	18,1	21,1	23,0	22,3	18,8	12,8	7,3	3,3	13,1
Temp moy nuit °C	-0,6	0,4	4,3	8,2	12,2	15,5	17,2	16,7	13,6	8,6	4,2	0,5	8,4

IJ4 : Irradiation solaire moyenne journalière sur un plan vertical en Wh/m²/jour - IMJ45 : Irradiation solaire moyenne journalière sur un plan à 45° en Wh/m²/jour
 IHV : Irradiation solaire moyenne horaire sur un plan vertical en W/m² - IMH45 : Irradiation solaire moyenne horaire sur un plan à 45° en W/m²

Tableau 5 - Ville de Strasbourg. Statistiques météorologiques mensuelles.

Si on prend l'exemple de Rennes (tableau 3), l'irradiation solaire globale moyenne horaire au mois de janvier, de jour, est de :

- Capteurs orientés sud : 162,2 W/m² en position verticale (mur) et 173,8 W/m² à 45° (toit),
- Capteurs orientés est ou ouest : 75,3 W/m² en position verticale (mur) et 103,1 W/m² à 45° (toit),
- Capteurs orientés nord : 49,8 W/m² en position verticale (mur) et 68,4 W/m² à 45° (toit).

Un capteur de 20 m² installé à l'est sur un mur vertical captera en moyenne, un jour de janvier, l'énergie solaire suivante :

$20 \times \alpha \times 75,3 = 1\,506\text{ W}$ (ceci pendant 8,63 heures, durée de la journée).

2.7.3 - Performances de la pompe à chaleur assistée solaire

Les pompes à chaleur ont des performances qui varient en fonction des températures d'évaporation et de condensation, donc en fonction de la température des fluides qui y circulent. La performance sera bien entendu fonction de la qualité de conception et de fabrication de la PAC.

Le coefficient de performance est fortement impacté par la température de condensation, donc de la température de départ d'eau chaude de la PAC. Pour les applications chauffage, on choisira de préférence des émetteurs de chaleur à basse température type plancher chauffant.

Il est important de noter qu'une augmentation de 10 °C de la température d'eau chaude ne fera quasiment pas varier la puissance calorifique mais augmentera de 25 % la consommation du compresseur, ce qui abaissera de 20 % le COP.

Prenons l'exemple d'une PAC de bonne qualité ayant une puissance calorifique de 10 kW au régime 0 °C/35 °C.

Pour une sortie d'eau au condenseur de 35 °C, la puissance calorifique sera variable selon la température d'évaporation de la source froide (la température dans le capteur pour les capteurs évaporateurs), ce qui donne la forme d'équation suivante :

$$Q_c = 4,33 t_{ev}^2 + 351 t_{ev} + 10\,000 \text{ en Watt}$$

De même, la puissance absorbée par le compresseur variera selon l'équation :

$$W = 0,28 t_{ev}^2 + 26 t_{ev} + 2\,270 \text{ en Watt}$$

La puissance frigorifique de la pompe à chaleur correspond à la puissance captée dans les capteurs sans vitrage soit :

$$Q_f = Q_c - W \text{ donc pour notre exemple :}$$

$$Q_f = 4,33 t_{ev}^2 + 351 t_{ev} + 10\,000 - 0,28 t_{ev}^2 - 26 t_{ev} - 2\,270$$

$$\text{d'où } Q_f = 4,05 t_{ev}^2 + 325 t_{ev} + 7\,730$$

La température d'évaporation sera fonction principalement de l'ensoleillement et de la température extérieure, mais aussi du vent et de la pluie. Nous avons donc :

$$Q_f = Q_{fs} + Q_{fa}$$

dans lequel :

Q_{fs} est la part de rayonnement solaire captée,

Q_{fa} est la part de chaleur prélevée à l'air extérieur,

$$Q_{fs} = IR \times S \times \alpha$$

$$Q_{fa} = \beta \times S \times (t_e - t_m)$$

- IR est l'irradiation solaire globale sur le capteur en W/m^2 (voir tableaux 3 à 5)
- α = coefficient d'absorption du capteur (fonction de la couleur : voir tableau 2)
- β = coefficient de convection de l'air sur le capteur en $W/m^2 \cdot ^\circ C$
- S = surface des capteurs sans vitrage en m^2
- t_e = température extérieure °C
- t_m = température moyenne du fluide circulant dans le capteur en °C
- t_{ev} = température d'évaporation du fluide frigorigène en °C

Dans le cas d'un capteur évaporateur $t_m = t_{ev}$

Dans le cas d'un capteur à eau glycolée $t_m = t_{ev} + (3 \text{ à } 5 \text{ } ^\circ C)$

Nous prendrons pour cet exemple le cas d'un capteur évaporateur noir de 40 m^2 donc :

$$Q_f = IR \times 40 \times 0,9 + 20 \times 40 \times (t_e - t_{ev})$$

$$\text{on a aussi } Q_f = 4,05 t_{ev}^2 + 325 t_{ev} + 7\,730$$

Donc :

$$4,05 t_{ev}^2 + 325 t_{ev} + 7\,730 = 36 IR + 800 t_e - 800 t_{ev} \text{ donc :}$$

$$4,05 t_{ev}^2 + 1\,125 t_{ev} + 7\,730 - 36 IR - 800 t_e = 0$$

Cette équation du second degré permet de déterminer t_{ev} en fonction de IR et de t_e . Le résultat de l'équation est :

$$t_{ev} = \frac{-1\,125 + \sqrt{1\,125^2 - 4 \times 4,05 (7\,730 - 36\,IR - 800\,t_e)}}{2 \times 4,5}$$

Il suffit de reporter cette valeur de t_{ev} dans les équations de puissance calorifique et dans celle de la puissance absorbée pour calculer les performances avec différentes orientations et irradiations solaires.

L'utilisation des tableaux 3 à 5 permet également de calculer les consommations d'énergie de chauffage d'un bâtiment (situé par exemple à Rennes avec des déperditions thermiques de 10 kW par $-5\text{ }^\circ\text{C}$ extérieur).

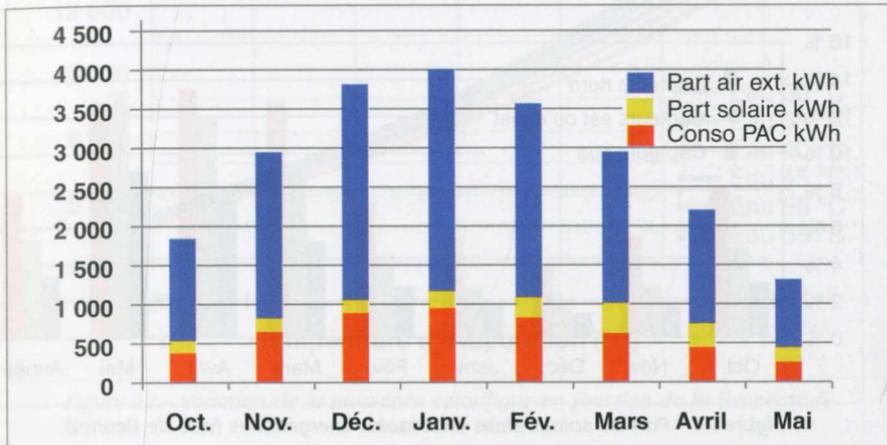


Figure 18 - Répartition énergétique PAC/solaire/air extérieur capteurs verticaux sud.

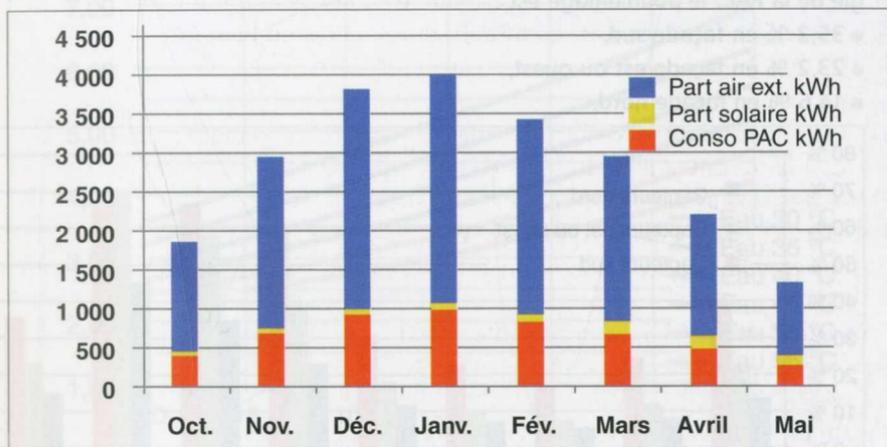


Figure 19 - Répartition énergétique PAC/solaire/air extérieur capteurs verticaux nord.

Les figures qui concernent la répartition énergétique indiquent de façon mensuelle la consommation de la PAC, l'énergie solaire prélevée à l'air extérieur et l'énergie solaire totale récupérée par les 40 m² de capteurs sans vitrage de notre exemple.

Nous voyons que la consommation globale d'énergie du système de pompe à chaleur assistée solaire est de 5 047 kWh/an avec des capteurs en façade sud et 5 212 kWh par an lorsqu'ils sont en façade nord.

Dans le bilan énergétique, la part d'énergie solaire captée relativement aux besoins thermiques du bâtiment est de :

- 7,9 % en façade sud,
- 5,3 % en façade est ou ouest,
- 3,4 % en façade nord.

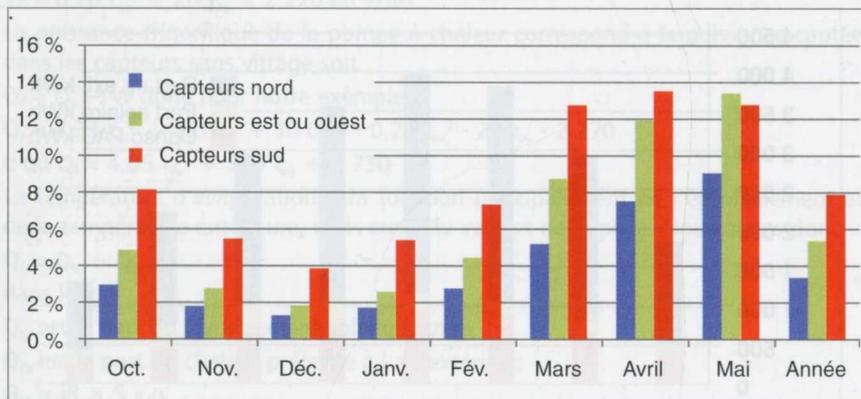


Figure 20 - Part du solaire dans les besoins énergétiques (ville de Rennes).

Si nous rapportons l'énergie solaire captée par rapport à la consommation d'énergie de la PAC, le pourcentage est :

- 35,2 % en façade sud,
- 23,2 % en façade est ou ouest,
- 14,6 % en façade nord.

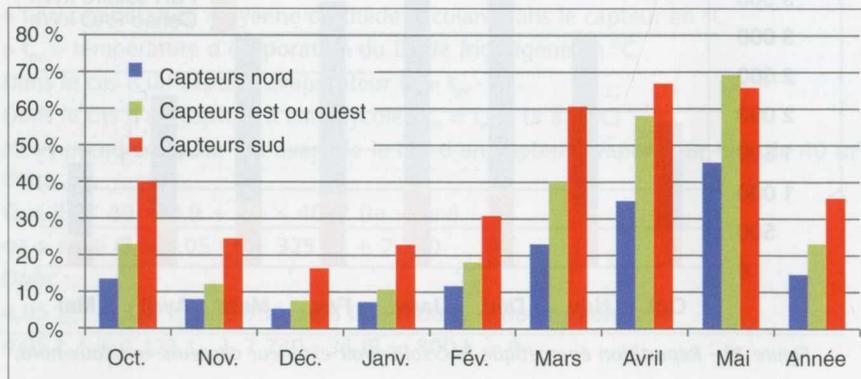


Figure 21 - Énergie solaire captée sur consommation PAC.

Le coefficient de performance moyen annuel varie, suivant l'orientation, entre 4,5 au sud et 4,3 au nord, ce qui est faible.

Si la surface de capteurs est moins importante, le COP diminue beaucoup plus car la température d'évaporation baisse de façon très sensible. Il existe alors un risque de dégivrage tardif des capteurs en hiver, ce qui ne va pas dans le bon sens. Un écart de 15 °C entre t_e et t_{ev} est un maximum.

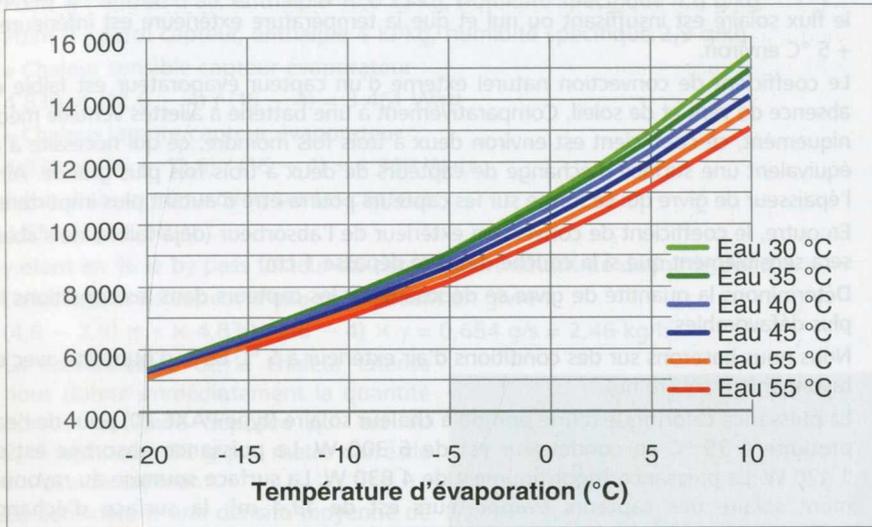


Figure 22 - Variation de la puissance calorifique en fonction de la température d'eau chaude et de t_{ev} .

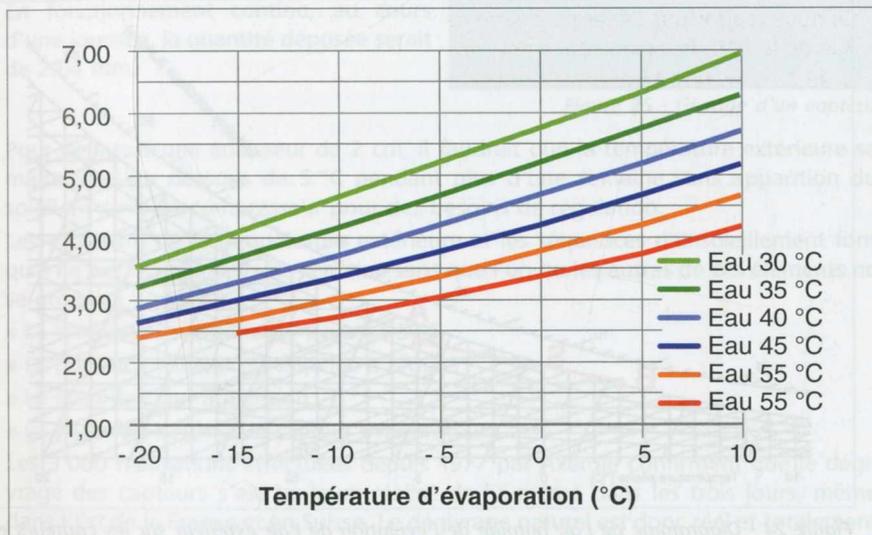


Figure 23 - Évolution du COP en fonction de la température d'eau chaude et de t_{ev} .

2.8 - Le dégivrage naturel... ou pas

Dans les pompes à chaleur puisant l'énergie de l'air extérieur, il se produit un dépôt de givre sur l'évaporateur dès que la température de paroi descend en dessous de 0 °C.

La pompe à chaleur solaire faisant appel (du moins partiellement) à l'air extérieur comme source froide, il se produit un givrage du capteur évaporateur en hiver dès que le flux solaire est insuffisant ou nul et que la température extérieure est inférieure à + 5 °C environ.

Le coefficient de convection naturelle externe d'un capteur évaporateur est faible en absence de vent et de soleil. Comparativement à une batterie à ailettes ventilée mécaniquement, ce coefficient est environ deux à trois fois moindre, ce qui nécessite à Δt équivalent une surface d'échange de capteurs de deux à trois fois plus grande. Ainsi l'épaisseur de givre qui se forme sur les capteurs pourra être d'autant plus importante. En outre, le coefficient de convection extérieur de l'absorbeur (déjà faible) ne s'abaissera sensiblement que si la couche de givre dépasse 1 cm.

Déterminons la quantité de givre se déposant sur les capteurs dans les conditions les plus défavorables.

Nous nous baserons sur des conditions d'air extérieur à 5 °C 85% d'humidité avec un rayonnement solaire nul.

La puissance calorifique d'une pompe à chaleur solaire (type PAXE 20) pour de l'eau produite à 35 °C au condenseur est de 6 300 W. La puissance absorbée est de 1 470 W. La puissance frigorifique est de 4 830 W. La surface soumise au rayonnement solaire des capteurs évaporateurs est de 19,4 m², la surface d'échange convective est de 44,4 m².

La température d'évaporation s'équilibre à - 3 °C.

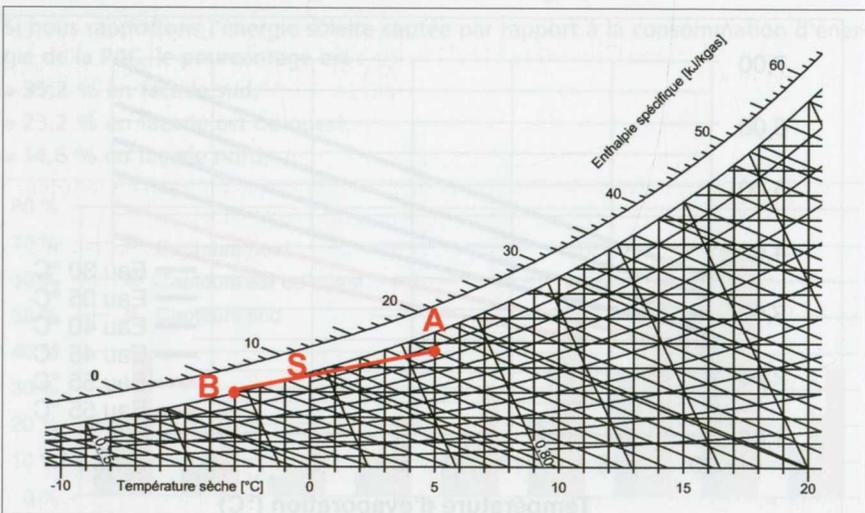


Figure 24 - Diagramme de l'air humide de l'évolution de l'air extérieur sur les capteurs en phase de givrage maximale.

La droite A B représente la droite d'évolution de l'air extérieur au passage de l'évaporateur par convection naturelle. Le point de sortie S est indéfini, tout comme le débit d'air extérieur léchant les capteurs. Nous pouvons cependant déterminer la chaleur sensible et la chaleur latente par rapport à la chaleur totale grâce à la pente de la droite A B.

Point A : entrée d'air, enthalpie 16,6 kJ/kg, humidité spécifique 4,6 g/kg

Point B : paroi capteur, enthalpie 4 kJ/kg, humidité spécifique 2,9 g/kg

● Chaleur sensible capteur évaporateur :

$$4\,830 \times (12,6 - 4) / (16 - 4) = 3\,461 \text{ Watt}$$

● Chaleur latente capteur évaporateur :

$$4\,830 \times (16 - 12,6) / (16 - 4) = 1\,369 \text{ Watt}$$

Débit d'air en convection sur les capteurs :

$$4\,830 / (16 - 4).$$

γ étant en % le by pass facteur du capteur permettant de définir le point S.

Débit masse de vapeur d'eau se déposant en givre :

$$(4,6 - 2,9) \times \gamma \times 4\,830 / (16 - 4) \times \gamma = 0,684 \text{ g/s} = 2,46 \text{ kg/h}$$

La connaissance de la chaleur latente nous donne immédiatement la quantité horaire de givre déposée qui est de 2,46 kg/h, soit 55 g par mètre carré de surface de capteur.

En considérant une densité moyenne de givre de 0,5 kg/dm³, l'épaisseur horaire de givre formée est de 0,11 mm.

En fonctionnement continu, au cours d'une journée, la quantité déposée serait de 2,64 mm.



Figure 25 - Givrage d'un capteur

Pour dépasser une épaisseur de 2 cm, il faudrait que la température extérieure se maintienne en dessous de 5 °C pendant plus d'une semaine sans apparition du soleil, ni arrêt du compresseur pour des besoins de régulation.

Les variations de la température extérieure et les séquences d'ensoleillement font qu'il ne se passe jamais une semaine sans que l'un ou les autres de ces éléments ne se produise :

- La température extérieure dépasse 5 °C,
- La pompe à chaleur est appelée à réguler,
- Le soleil fait son apparition,
- La pluie fait dégivrer le capteur évaporateur.

Les 3 000 réalisations effectuées depuis 1977 par Axergie confirment que le dégivrage des capteurs s'est toujours réalisé de lui-même dans les trois jours, même dans l'Est de la France et en Suisse. Le dégivrage naturel est donc réel et totalement efficace.

Des essais en chambre froide réalisés au Pôle Cristal de Dinan (22) en 2010 ont également permis de confirmer qu'il n'y avait pas de diminution sensible de l'échange thermique par convection naturelle, même après plusieurs jours de fonctionnement continu (sans soleil).

La non nécessité d'un système de dégivrage augmente la performance réelle de la pompe à chaleur et simplifie son circuit, ce qui a pour effet à la fois d'augmenter la fiabilité de l'appareil et d'en diminuer le prix.

2.9 - Impact sur l'effet de serre

Concernant les procès faits à la pollution, il n'est souvent question que des automobiles et l'on oublie que pour chauffer une maison il y a également des rejets de CO_2 .

L'équivalent en kg de dioxyde de carbone émis, est la base choisie pour mesurer l'impact sur l'effet de serre des différents systèmes de chauffage, c'est-à-dire leur responsabilité dans le réchauffement de la planète. Et là - oh surprise ! - on peut se rendre compte que la pollution équivalente en CO_2 d'une maison est souvent supérieure à celle d'une automobile !

L'effet de serre produit par une installation de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire doit tenir compte de l'effet direct (gaz frigorigène émis) et de l'effet indirect dû à la consommation énergétique.

Pour les systèmes fonctionnant à l'électricité, la quantité de CO_2 dégagée pour produire 1 kWh électrique dépend des pays et varie de 0,005 kg de CO_2/kWh à 1,1 kg de CO_2/kWh .

Moyenne internationale : 0,65 kg de CO_2/kWh électrique

Moyenne européenne : 0,50 kg de CO_2/kWh électrique

Moyenne France : 0,14 kg de CO_2/kWh électrique

Bases de calcul :

Effet de serre énergie électrique calculé sur la moyenne européenne, soit 0,50 kg de CO_2/kWh et également sur la base française soit 0,14 kg de CO_2/kWh .

Chaudière de 23 kW avec un rendement de combustion de 88 % et des pertes d'attente de 1,4%.

Exemple :

Installation de chauffage ayant des besoins énergétiques annuels de 10 000 kWh.

L'impact sur l'effet de serre d'une installation de pompe à chaleur dépend de :

- Son coefficient de performance qui détermine sa consommation électrique,
- La quantité d'énergie thermique annuellement produite,
- La consommation d'énergie des auxiliaires,
- La quantité de fluide frigorigène contenue dans le circuit,
- L'aptitude aux fuites de l'installation,
- La durée de vie de l'appareil et la quantité de fluide récupérée en fin de vie.

La nature du fluide frigorigène utilisé :

- R-22 : impact direct de 1700 kg CO₂ / kg de fluide frigorigène
- R-134a : impact direct de 1300 kg CO₂ / kg de fluide frigorigène
- R-407C : impact direct de 1525 kg CO₂ / kg de fluide frigorigène
- R-404A : impact direct de 3900 kg CO₂ / kg de fluide frigorigène
- R-410A : impact direct de 2100 kg CO₂ / kg de fluide frigorigène
- R-290 : impact direct de 3 kg CO₂ / kg de fluide frigorigène
- CO₂ : impact direct de 1 kg CO₂ / kg de fluide frigorigène
- NH₃ : impact direct de 0 kg CO₂ / kg de fluide frigorigène

Les pompes à chaleur existantes sur le marché utilisent presque toutes des HFC R-407C, R-410A, ou R-404A. Certaines utilisaient encore du R-22, ce fluide HCFC est désormais interdit. Les autres fluides de type HFC voient leur avenir compromis par les réglementations européenne et internationale qui prévoient de les faire disparaître progressivement à partir de 2015.

Que restera t-il ?

L'ammoniac (NH₃), fluide naturel du groupe 2, n'est pas utilisé dans les applications domestiques en raison de sa toxicité.

Le propane (R-290), fluide naturel du groupe 3, très utilisé en réfrigération domestique, commence à être utilisé dans les climatiseurs et les pompes à chaleur de petite puissance (le convecteur aérosoleaire de Bernier Energies par exemple). Utilisé en réfrigération au début du 20^{ème} siècle, ce fluide a été abandonné dès l'apparition des CFC en raison de son caractère inflammable. Il revient doucement aujourd'hui grâce à ses performances thermodynamiques et à son impact moindre sur l'effet de serre. Sur le plan de la sécurité, la norme européenne NF60335-2/40-A1 d'octobre 2006 permet d'élargir l'utilisation de ce gaz. Ces évolutions avaient fait l'objet en 2001 d'un dépôt de brevet par l'auteur (N° 0110014 du 26 juillet 2001 : dispositif de ventilation de sécurité pour fluides toxiques ou inflammables).

Le CO₂ (R744) commence à être utilisé dans des pompes à chaleur et des matériels frigorifiques. La difficulté de ce fluide réside essentiellement dans sa forte pression (jusqu'à 150 bar). Il s'est d'abord développé en production d'eau chaude sanitaire mais pas encore dans les systèmes assistés solaires.

La quantité de fluide frigorigène varie en fonction des systèmes, et donc son impact sur l'effet de serre.

Hypothèses retenues

Matériels entièrement assemblés en usine : fuites 3 % par an,

Matériels assemblés sur chantiers : fuites 10 % par an,

Durée de vie 15 ans et récupération 50 % en fin de vie.

Pompes à chaleur assistées solaire étudiées

Pompe à chaleur eau glycolée/eau avec 3 kg de R-134a,

Pompe à chaleur avec capteurs évaporateurs avec 5 kg de R-407C,

Pompe à chaleur avec capteurs évaporateurs avec 2 kg de R-290,

Deux convecteurs aérosolaires avec chacun 150 g de R-290,
Pompe à chaleur air extérieur/eau avec 4 kg de R-410A (à titre de comparaison).

Impact global annuel sur l'effet de serre :

$ES = ESD + ESI$ (s'exprime en kg de CO_2 par an).

ES = Effet de serre direct lié aux fuites de fluides et à la perte d'une partie du gaz en fin de vie de l'appareil.

ESI : Effet de serre indirect lié à la consommation d'énergie.

$ESD_{PAC} = \text{Masse de fluide} \times GWP \times (\text{fuites/an} \% + \% \text{ perdu en fin de vie/durée de vie})$.

$ESI = \text{consommation annuelle d'énergie} \times \text{base kg } CO_2/kWh$.

		Capteurs eau glycolée/eau PAC R-134a	Capteurs évaporateurs PAC R-407C	Capteurs évaporateurs PAC R-290	Convecteurs aérosolaires PAC R-290	Air extérieur/eau R-410A
Consommation PAC kWh		2 850	2 640	2 350	2 463	2 930
Consommation appoint kWh					1 678	1 200
Consommation globale kWh		2 850	2 640	2 350	4 141	4 130
Effet de serre direct ESD kg CO_2 /an		247	1 017	1	0	532
Elec Base 0,14 kg CO_2 /kWh	ESI kg CO_2 /an	399	370	329	580	578
	Effet de serre global kg de CO_2 /an	646	1 386	330	580	1 110
Elec Base 0,5 kg CO_2 /kWh	ESI kg CO_2 /an	1 425	1 320	1 175	2 071	2 065
	Effet de serre global kg de CO_2 /an	1 672	2 337	1 176	2 071	2 597

Tableau 6 - Impact comparatif sur l'effet de serre des pompes à chaleur assistées solaires.

Dans le tableau ci-dessus, une pompe à chaleur air extérieur/eau classique a également fait l'objet du calcul de l'impact sur l'effet de serre (dernière colonne).

Impact sur l'effet de serre des autres énergies :

- Chauffage gaz : **3 200 kg CO_2 / an**
- Chauffage fuel : **3 800 kg CO_2 / an**
- Chauffage électrique : **5 000 kg CO_2 / an (base 0,5 kg CO_2 /kWh)**
1 400 kg CO_2 / an (base 0,14 kg CO_2 /kWh)

L'analyse du tableau montre que les systèmes à détente directe utilisant des HFC ont l'impact sur l'effet de serre le plus important parmi les systèmes de pompes à chaleur aérosoilaires.

En France, où la majeure partie de la production d'énergie électrique est nucléaire, l'effet de serre induit par des capteurs évaporateurs au R-407C est quatre fois plus important qu'avec des capteurs au R-290. Il est clair que l'assemblage et le brasage des raccords sur chantier n'est pas favorable aux systèmes ayant un fluide à fort GWP. On notera également que les systèmes monoblocs au R-134a ont un impact limité sur l'effet de serre du fait de l'assemblage en usine qui permet de limiter considérablement le taux de fuites.

Enfin, il faut également relever que les systèmes fonctionnant avec du R-290 ont un effet de serre direct négligeable et un effet de serre global très faible lié aux performances thermodynamiques du fluide.

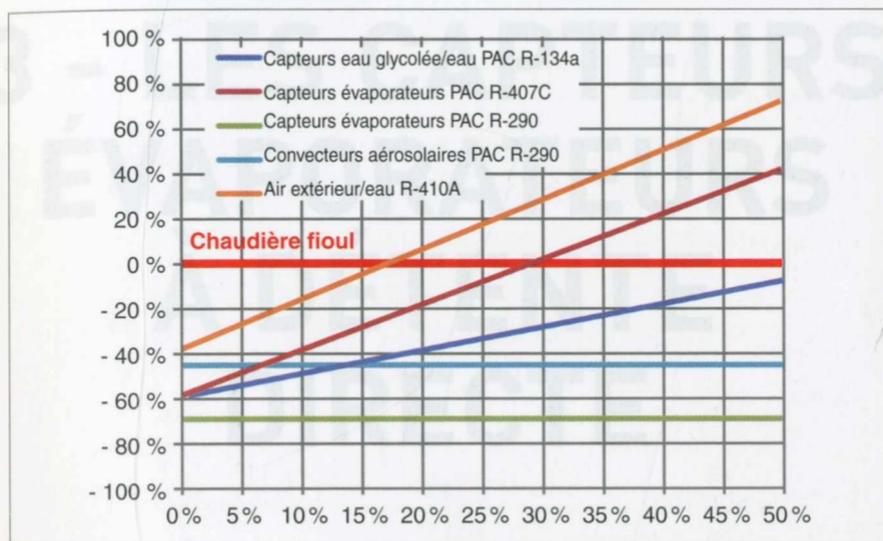


Figure 26 - Augmentation ou diminution de l'effet de serre relativement au fioul, suivant confinement du fluide.

Lorsqu'une fuite de fluide frigorigène survient sur une installation comportant quelques kilogrammes de fluide frigorigène, la charge totale en fluide est généralement perdue. La figure ci-dessus est explicite car elle montre l'augmentation de l'effet de serre en fonction du taux de fuite moyen annuel (un taux de fuite de 20 % correspond en fait à une seule fuite tous les 5 ans et un taux de 50 % correspond à une fuite tous les 2 ans).

Le confinement du fluide frigorigène est fondamental : utilisez de la brasure avec un taux de 40 % d'argent puis nettoyez et peignez vos brasures après contrôle d'étanchéité. En effet, la présence de décapant sur une brasure non nettoyée et non peinte va former un électrolyte avec les condensations, avec apparition de vert de gris puis de fuite au bout de quelques mois ou années.

L'analyse du tableau fait apparaître que les capteurs évaporateurs fonctionnent dans des conditions de température de surface de 20°C à 25°C, ce qui est favorable pour le rendement des capteurs.

En France, où la majeure partie de la production d'énergie électrique est réalisée par le biais de centrales nucléaires, les capteurs évaporateurs fonctionnent à 20°C, ce qui est favorable pour le rendement des capteurs. On notera également que les systèmes fonctionnent à 20°C, ce qui est favorable pour le rendement des capteurs. Enfin, il faut également relever que les systèmes fonctionnent avec du R-290, ce qui est favorable pour le rendement des capteurs.



Figure 20 : Rendement des capteurs évaporateurs en fonction de la température de surface.

Le rendement des capteurs évaporateurs est fonction de la température de surface. Les courbes du graphique ci-dessus montrent que le rendement des capteurs évaporateurs est fonction de la température de surface. Les courbes du graphique ci-dessus montrent que le rendement des capteurs évaporateurs est fonction de la température de surface. Les courbes du graphique ci-dessus montrent que le rendement des capteurs évaporateurs est fonction de la température de surface.



3.1 - Le procédé Axergie

3.1.1 - Principe de fonctionnement au chauffage

La figure 3-18 ci-dessous représente le principe de fonctionnement du procédé développé par Jacques Fernier et sa société Axergie dès 1982. Le fluide circulant dans le capteur était à l'origine le R-12, puis le R-500, le R-134a et le R-407C. Aujourd'hui, le R-290 (propane) est également utilisé, présentant l'avantage d'avoir un impact négligeable sur l'effet de serre.

3 - LES CAPTEURS ÉVAPORATEURS À DÉTENTE DIRECTE



Figure 21 - Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur à capteur évaporateur (Doc: Fernier Energies)

L'originalité de ce procédé réside dans l'évaporateur de la pompe à chaleur qui est constitué de plaques planes soumises directement au rayonnement solaire.

Le capteur monté en toiture ou en façade est en fait l'évaporateur de la pompe à chaleur.

Les deux faces avant et arrière des capteurs évaporateurs permettent une captation de l'énergie de l'air extérieur par convection naturelle.

3 - LES CAPTEURS ÉVAPORATEURS À DÉTENTE DIRECTE

3.1 - Le procédé Axergie

3.1.1 - Principe de fonctionnement en chauffage

La figure ci-après représente le principe de fonctionnement du procédé développé par Jacques Bernier et sa société Axergie dès 1982. Le fluide circulant dans le capteur était à l'origine le R-12, puis le R-500, le R-134a et le R-407C. Aujourd'hui, le R-290 (propane) est également utilisé, présentant l'avantage d'avoir un impact négligeable sur l'effet de serre.

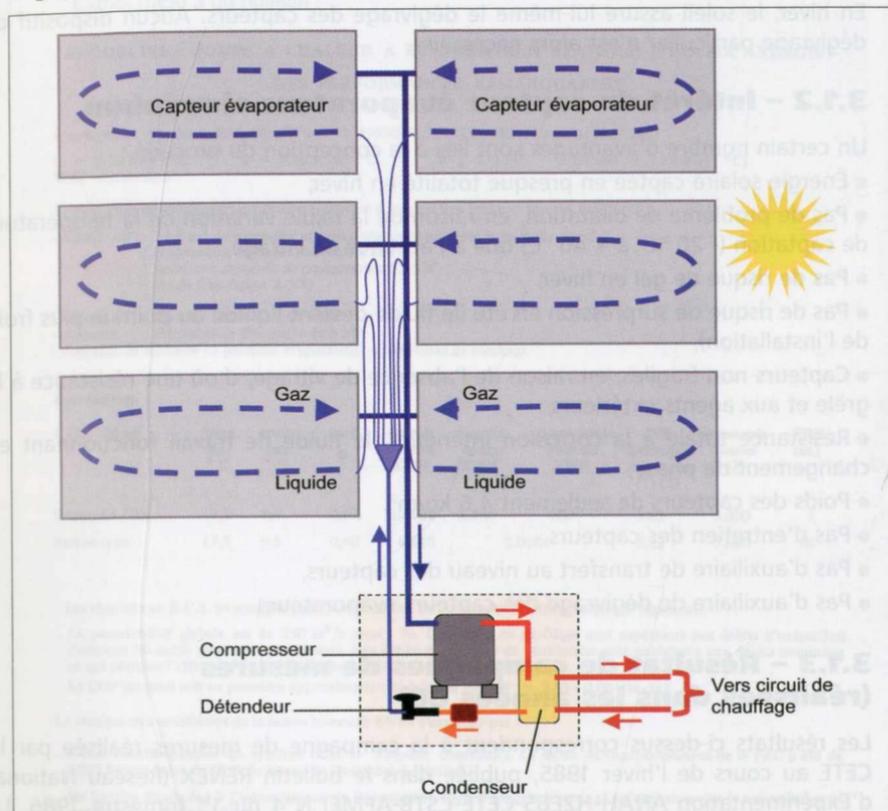


Figure 27 - Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur à capteur évaporateur (Doc. Bernier Energies).

L'originalité de ce procédé réside dans l'évaporateur de la pompe à chaleur qui est constitué de plaques planes soumises directement au rayonnement solaire.

Le capteur monté en toiture ou en façade est en fait l'évaporateur de la pompe à chaleur.

Les deux faces avant et arrière des capteurs évaporateurs permettent une captation de l'énergie de l'air extérieur par convection naturelle.

L'ébullition du frigorigène s'effectue à l'intérieur du circuit intégré des plaques planes. Le fluide frigorigène entre en ébullition dans le capteur sous l'effet du rayonnement solaire. Les vapeurs sont ensuite aspirées par le compresseur. Après compression, le gaz haute pression se dirige vers le condenseur à eau, où le gaz se condense. Le liquide est ensuite renvoyé après détente dans le capteur où il entre de nouveau en ébullition.

Ce procédé de pompe à chaleur peut permettre d'assurer le chauffage intégral des bâtiments sans chauffage d'appoint. Lorsqu'il n'y a pas de soleil, la pompe à chaleur peut toujours fonctionner, elle se comporte alors comme une pompe à chaleur air extérieur/eau.

En hiver, le soleil assure lui-même le dégivrage des capteurs. Aucun dispositif de dégivrage particulier n'est alors nécessaire.

3.1.2 – Intérêt du capteur évaporateur aluminium

Un certain nombre d'avantages sont liés à la conception du procédé :

- Énergie solaire captée en presque totalité en hiver,
- Pas de problème de dilatation, en raison de la faible variation de la température de captation (- 20 °C à + 40 °C) due à l'absence de vitrage,
- Pas de risque de gel en hiver,
- Pas de risque de surpression en été (le fluide devient liquide au point le plus froid de l'installation),
- Capteurs non fragiles, en raison de l'absence de vitrage, d'où une résistance à la grêle et aux agents extérieurs,
- Résistance totale à la corrosion intérieure, le fluide de travail fonctionnant en changement de phase,
- Poids des capteurs de seulement 4,6 kg/m²,
- Pas d'entretien des capteurs,
- Pas d'auxiliaire de transfert au niveau des capteurs,
- Pas d'auxiliaire de dégivrage des capteurs évaporateurs.

3.1.3 – Résultat de campagnes de mesures (réalisées dans les années 80)

Les résultats ci-dessus correspondent à la campagne de mesures réalisée par le CETE au cours de l'hiver 1985, publiée dans le bulletin RENEX (Réseau National d'Expérimentation ANAH-H2E85-CETE-CSTB-AFME) N°4 du 1^{er} trimestre 1986. Le titre indiquait : Pompe à chaleur à évaporateur statique : des performances remarquables.

La pompe à chaleur assistée solaire concernée était une PAXE 20 Axergie. Les capteurs étaient de couleur ocre-jaune installés en façade sud.

Les mesures effectuées il y a près de 30 ans établissaient un COP saisonnier de 3,21, ce qui était exceptionnel car les échangeurs et les compresseurs à pistons de l'époque avaient des performances bien inférieures à celles des compresseurs et échangeurs frigorifiques d'aujourd'hui.

ANAH



RENEX

BULLETIN D'INFORMATION DU RESEAU NATIONAL D'EXPERIMENTATION N°4 1° Trim. 86

Extrait page 3 du bulletin :

ANGOULINS : POMPE A CHALEUR A EVAPORATEUR STATIQUE (PROCÉDÉ AXERGIE) DES PERFORMANCES REMARQUABLES

L'opération : Maison individuelle (R + 1) à ANGOULINS SUR MER (Charente Maritime)

$G = 0,79 \text{ W/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ $B = 0,40 \text{ W/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$ $V = 373 \text{ m}^3$ ($G \text{ réel} = 0,93 \text{ W/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$)
VMC double flux

Le chauffage est assuré par une pompe à chaleur à évaporateur statique (brevet BERNIER).

- PAXE 20 : 20,5 m² de panneaux en tôle d'aluminium laminé type Roll - bond
: 6 panneaux verticaux sur façade Sud
: puissance absorbée au compresseur 1,5 kW
: fluide frigorigène R 500

- Émission : Plancher chauffant AVADIS

- Appoint : Réchauffeur électrique de 6 kW

- Eau chaude sanitaire : 1 panneau évaporateur + 300 litres de stockage

Les résultats

1.10 - 20.05	temp. int. ° C	temp. ext. ° C	coef. B	énergie fournie KWH	énergie comp. KWH	consommée réchauf. KWH	COP thermique saisonnier (1) (2)	économie francs (3)	TRB (an)
Saison 84 / 85	17,5	8,8	0,57	10.500	3.180	300	3,02	5.000	7
Saison type	17,5	9,5	0,40	6.610		2.050	3,22	3.600	10

. Les résultats en E.C.S. ne sont pas significatifs du fait de l'occupation intermittente du logement.

. La perméabilité globale est de 250 m³/h sous 1 Pa. Les débits de soufflage sont supérieurs aux débits d'extraction d'environ 30 m³/h pour les deux vitesses. Les débits spécifiques de ventilation sont supérieurs aux débits nominaux ce qui pénalise l'efficacité de la V.M.C. double flux.

. Le COP mensuel suit en première approximation linéaire, la loi $\text{COP} = 3,69 - 0,06 (t_i - t_e)$

Le résultat très satisfaisant de la saison hivernale 84/85 s'explique par :

. le bon fonctionnement du système (PAC + Plancher chauffant). La durée de fonctionnement de la PAC a été de 2.085 heures (plus de 60 % du temps de Décembre à Février).

. des besoins élevés dus à l'intermittence de l'occupation (peu d'apports interne et solaire) alors que la température de consigne était fixée à 18° C.

(1) COP minimal pendant la pointe de froid de Janvier 85 - 2,61.

La PAC ayant fonctionné 79 % du temps et ayant couvert 91 % des besoins de chauffage. Dans ces conditions climatiques extrêmes, les PAC classiques n'auraient pu fonctionner.

(2) COP thermodynamique (hors réchauffeur) - 3,21

(3) Logement de référence : CEI, besoins de chauffage identiques, 6.610 KWH, 18 KWA, 0,61 F.TTC / kWh

C.E.T.E. du Sud Ouest

Denis COUNILH - Tél. : 56.05.84.66

Figure 28 - Campagne de mesures Angoulins (hiver 1984-85).



Figure 29 - Capteurs évaporateurs Angoulins 1984 (Doc. Axergie)

3.1.4 – Performances du système en 2013

L'évolution des techniques a fait que les performances des pompes à chaleur aéro-solaires ont augmenté de façon significative.

La puissance calorifique évolue beaucoup avec l'ensoleillement ainsi que le coefficient de performance (COP).

Les meilleures performances sont obtenues avec le fluide frigorigène R-290. Prenons l'exemple d'une PAC (modèle PAXE 10) comportant 6 capteurs évaporateurs, soit une superficie de captage de 10 m². Le compresseur au R-290 est du type rotatif et le circuit ne contient qu'un kilogramme de fluide frigorigène. Le COP saisonnier atteint 4,20 sans difficulté.

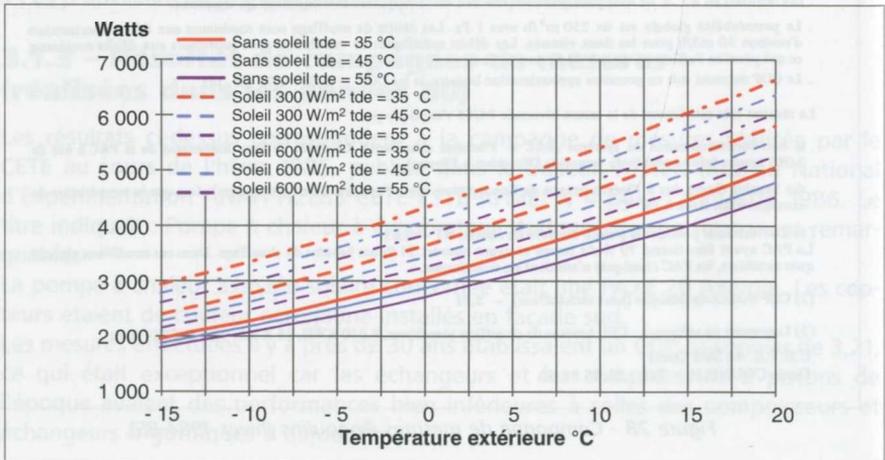


Figure 30 - Puissance calorifique PAXE 10 (Doc. Bernier Energies).

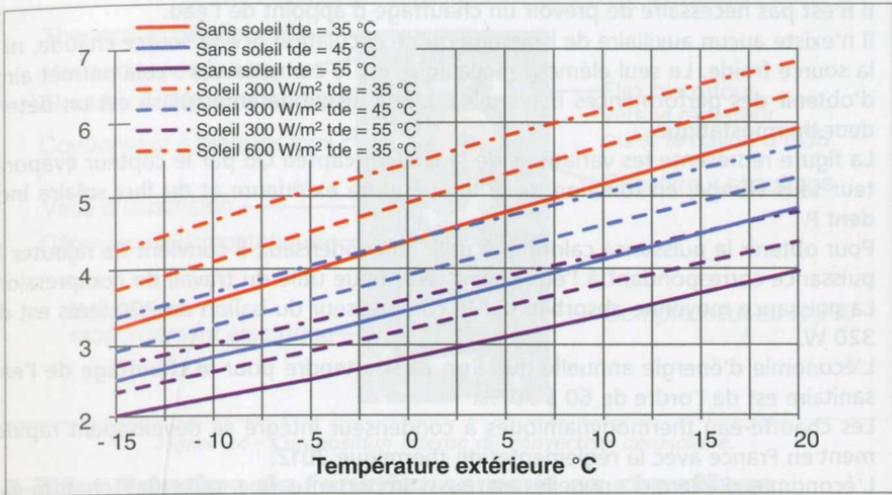


Figure 31 - Coefficient de performance (Doc. Bernier Energies).

3.1.5 - Principe de fonctionnement en production d'eau chaude sanitaire

La figure ci-après représente le schéma de principe de ce chauffe-eau thermodynamique. Celui-ci se compose d'un évaporateur extérieur et d'une unité intérieure comprenant le ballon et le reste du circuit frigorifique.

L'évaporateur de cette pompe à chaleur est constitué par une plaque plane aluminium à circuit intégré.

L'évaporation du fluide frigorigène s'effectue grâce à la chaleur solaire captée et également grâce à la chaleur puisée à l'air extérieur par convection naturelle de l'air sur les deux faces du capteur sans vitrage (avant et arrière).

Cette chaleur est transférée au circuit d'eau du ballon par un condenseur entouré autour de la cuve dans sa partie basse, avec en plus, bien sûr, l'équivalent calorifique du travail de compression.

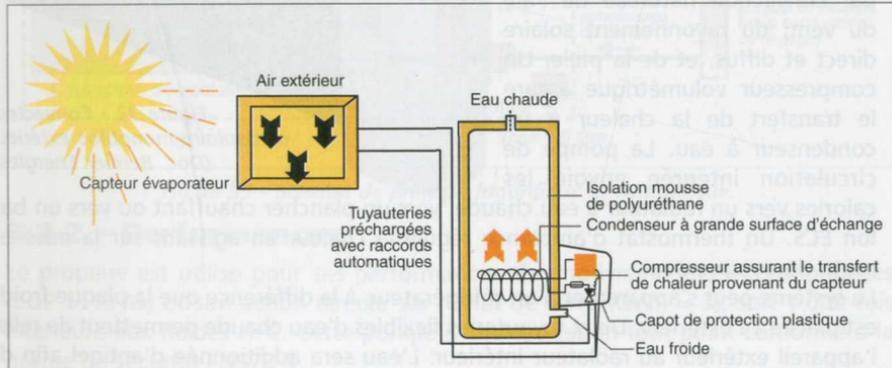


Figure 32 - Principe du chauffe-eau thermodynamique à capteur aérosolaire.

Il n'est pas nécessaire de prévoir un chauffage d'appoint de l'eau.

Il n'existe aucun auxiliaire de brassage ou de circulation ni à la source chaude, ni à la source froide. Le seul élément mécanique est le compresseur ; cela permet ainsi d'obtenir des performances maximales. L'organe de détente utilisé est un détendeur thermostatique.

La figure représente les variations de la chaleur captée Q_0 par le capteur évaporateur sans vitrage, en fonction de la température extérieure et du flux solaire incident P .

Pour obtenir la puissance calorifique utile au condenseur, il convient de rajouter la puissance correspondant à l'équivalent calorifique utile du travail de compression. La puissance moyenne absorbée par le compresseur du ballon de 200 litres est de 320 W.

L'économie d'énergie annuelle que l'on peut attendre pour le chauffage de l'eau sanitaire est de l'ordre de 60 à 70 %.

Les chauffe-eau thermodynamiques à condenseur intégré se développent rapidement en France avec la réglementation thermique 2012.

L'économie d'énergie annuelle est aussi importante que celle des chauffe-eau solaires classiques, avec un coût d'installation bien souvent inférieur.

On notera que ce type de chauffe-eau peut être utilisé en parallèle à une installation de chauffage existante dans le but d'éviter à la chaudière de se mettre en service en période d'été.

3.2 - Convecteur aérosolaire Bernier Energies

Réaliser un système aérosolaire à détente directe sans raccords frigorifiques à effectuer sur chantier, c'est la toute dernière innovation dans le domaine de l'aérosolaire.

Il s'agit d'une pompe à chaleur monobloc extérieure de type aérosolaire/eau. Elle est constituée d'un capteur évaporateur qui capte la chaleur de l'air extérieur par convection naturelle de l'air, du vent, du rayonnement solaire direct et diffus, et de la pluie. Un compresseur volumétrique assure le transfert de la chaleur à un condenseur à eau. La pompe de circulation intégrée envoie les calories vers un radiateur à eau chaude, vers un plancher chauffant ou vers un ballon ECS. Un thermostat d'ambiance régule la chaleur en agissant sur la mise en route du compresseur.

Le système peut s'apparenter à un réfrigérateur, à la différence que la plaque froide est placée à l'extérieur. Deux tuyauteries flexibles d'eau chaude permettent de relier l'appareil extérieur au radiateur intérieur. L'eau sera additionnée d'antigel afin de protéger le système placé à l'extérieur.

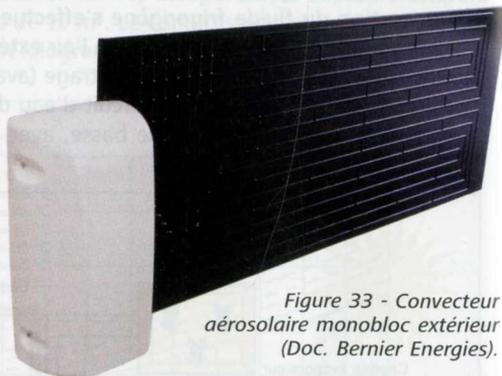


Figure 33 - Convecteur aérosolaire monobloc extérieur (Doc. Bernier Energies).

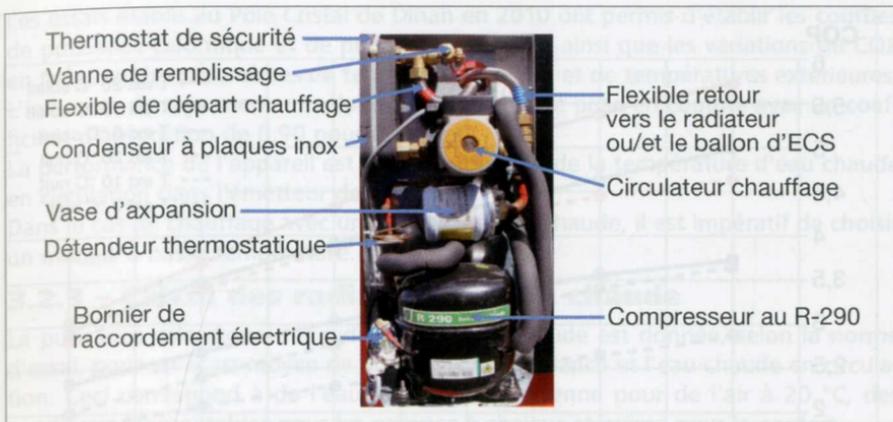


Figure 34 - Composition interne du convecteur aérosolaire.

3.2.1 - Principe de fonctionnement en chauffage

Le convecteur aérosolaire est un appareil de chauffage écologique et économique destiné à remplacer les convecteurs électriques dans l'habitat existant. Deux flexibles relient la partie extérieure à un radiateur à eau chaude. L'eau peut être chauffée jusqu'à 55 °C.

Le capteur évaporateur de 0,8 m × 2 m assure le captage de l'énergie de l'air extérieur par convection naturelle ainsi que celui du rayonnement solaire. Le compartiment thermodynamique est placé à côté du capteur, à l'intérieur d'une carrosserie. Le compresseur volumétrique utilise le propane (150 g) comme fluide frigorigène. Celui-ci se vaporise dans le capteur évaporateur et se condense dans un échangeur en acier inoxydable assurant ainsi le chauffage de l'eau. Le système fonctionne donc selon un cycle de Carnot.

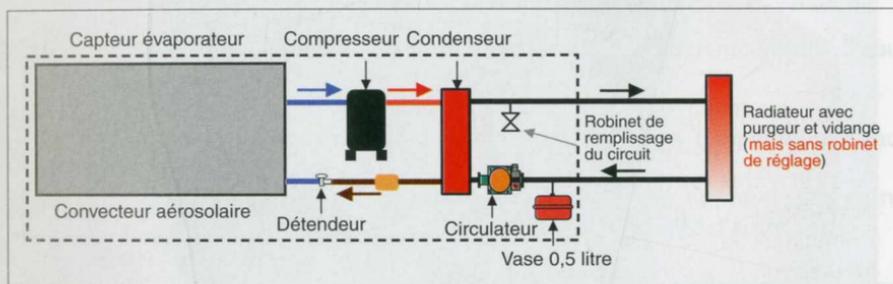


Figure 35 - Schéma de principe frigorifique et hydraulique.

3.2.2 - Performances

Le propane est utilisé pour ses performances thermodynamiques exceptionnelles (COP > 10 %) et son action directe sur l'effet de serre (GWP = 3), soit 1 000 fois inférieure aux fluides HFC. Cette pompe à chaleur est en tout point conforme à la norme de sécurité EN378-3.

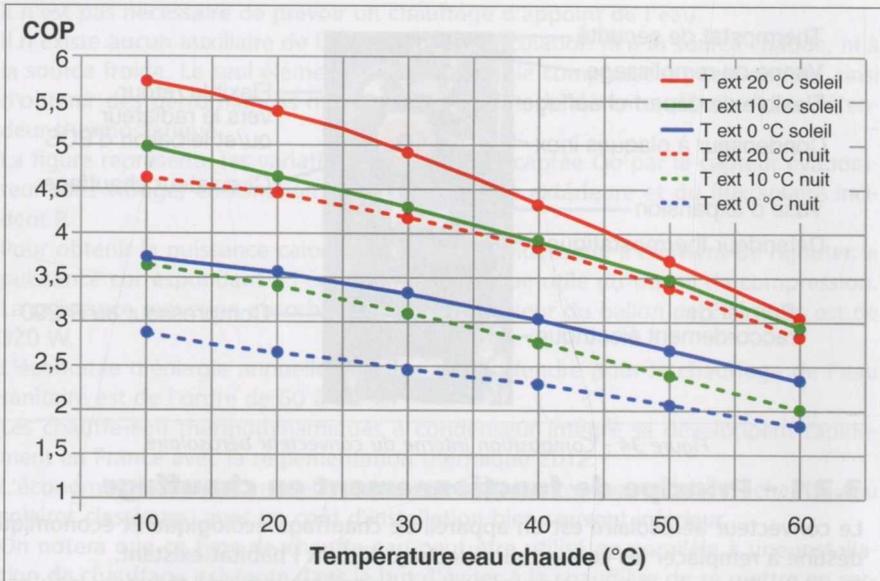


Figure 36 - COP global du convecteur aérosoleire.



Figure 37 - Essais au Pôle Cristal (Dinan - 22).

Les essais établis au Pôle Cristal de Dinan en 2010 ont permis d'établir les courbes de puissance calorifique et de puissance absorbée ainsi que les variations du COP en fonction des paramètres de températures d'eau et de températures extérieures. L'influence du rayonnement solaire a également été prise en compte avec un coefficient d'absorption de 0,90 pour le capteur.

La performance de l'appareil est bien sûr fonction de la température d'eau chaude en circulation dans l'émetteur de chaleur.

Dans le cas de chauffage avec un radiateur à eau chaude, il est impératif de choisir un modèle à basse température.

3.2.3 - Calcul des radiateurs à eau chaude

La puissance calorifique des radiateurs à eau chaude est donnée, selon la norme d'essai, pour un écart moyen de 50 °C entre l'ambiance et l'eau chaude en circulation. Ceci correspond à de l'eau à 70 °C en moyenne pour de l'air à 20 °C, des conditions inacceptables pour les pompes à chaleur et même pour le confort.

Une surface trop chaude du radiateur conduit à :

- des brûlures,
 - des traînées noires sur le mur,
 - un inconfort à proximité,
 - une augmentation des déperditions thermiques due à la montée en température de l'air au plafond,
 - une température au plafond qui monte à 30 °C alors que celle du sol reste à 18 °C.
- Nous devons en conséquence sélectionner les radiateurs pour leur émission calorifique réelle, avec une température d'eau ne dépassant pas 50 °C.

La puissance calorifique émise est :

$$Q_{tm} = Q_{70} \times \left[\frac{50}{(t_m - 20)} \right]^{1,287}$$

Q_{tm} est la puissance calorifique émise par le radiateur à la température d'eau moyenne t_m ,

t_m est la température moyenne de l'eau en circulation dans le radiateur,

Q_{70} est la puissance calorifique émise par le radiateur à la température d'eau moyenne de 70 °C.

Dans la parenthèse, le numérateur 50 correspond au Δt de la norme d'essai entre l'entrée et la sortie d'eau d'une part et la température ambiante d'autre part :

$$50 = (75 + 65)/2 - 20$$

La figure ci-après donne la puissance calorifique émise par un radiateur en fonction de la température moyenne d'eau chaude.

Avec un radiateur du commerce étiqueté 3000 W, l'émission de chaleur du radiateur sera de :

- 3 000 W avec de l'eau chaude à 75 °C/65 °C ($\Delta t = 50^\circ\text{C}$),
- 588 W si l'eau chaude en circulation est à une température de 35 °C/33 °C,
- 1 709 W si l'eau chaude en circulation est à une température de 55 °C/49 °C.

Avec de l'eau chaude circulant à 50 °C/45 °C, le même radiateur aura une puissance calorifique émise de 1 390 W.

Un radiateur vendu pour 3000 W n'émettra donc pas plus de 1 390 W (soit moins de la moitié avec de l'eau à 50 °C au départ).

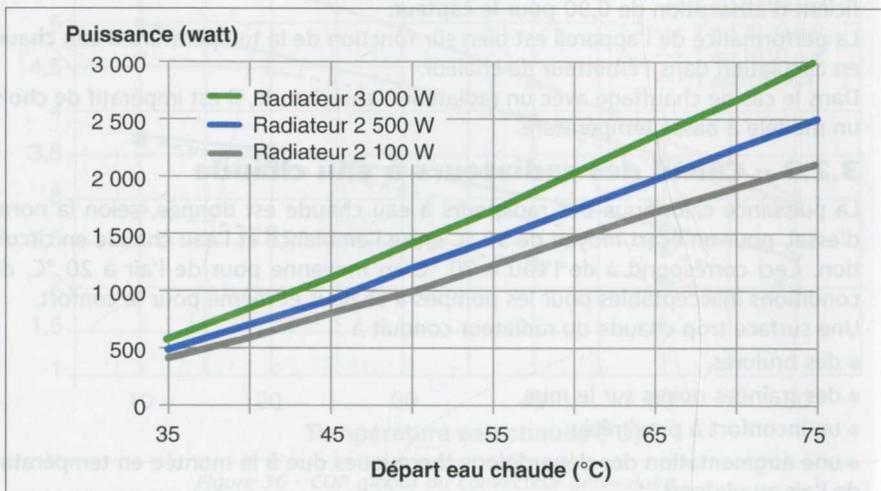


Figure 38 - Puissance calorifique radiateurs à eau chaude.

Il est impératif, avec un convecteur aérosolaire, de sélectionner un radiateur dont la surface est supérieure à la puissance calorifique maximale émise dans les conditions de chauffage. La figure ci-après donne la puissance calorifique émise par un convecteur aérosolaire avec de l'eau à 55 °C.

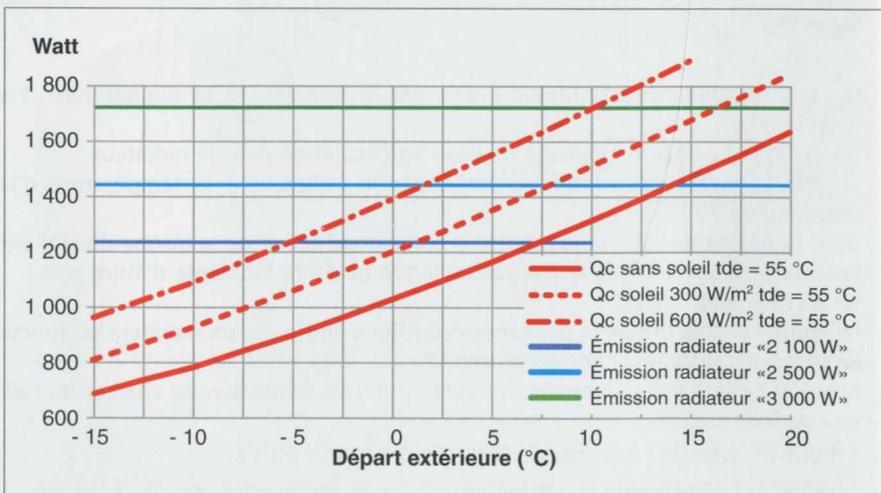


Figure 39 - Puissance calorifique convecteur aérosolaire avec de l'eau à 55 °C

Avec un radiateur de 2 100 W : l'émission de chaleur du radiateur est insuffisante dès 8 °C de température extérieure avec de l'eau à 60 °C. La limite arrivera à plus basse température extérieure avec ensoleillement.

Avec un radiateur de 2 500 W : l'émission de chaleur du radiateur est suffisante jusqu'à 15 °C de température extérieure sans soleil avec de l'eau à 55 °C et à 23 °C de température extérieure avec de l'eau à 60 °C. La limite arrivera à plus basse température extérieure avec ensoleillement.

Avec un radiateur de 3 000 W : l'émission de chaleur du radiateur est largement suffisante jusqu'à 25 °C extérieur sans soleil avec de l'eau à 55 °C. La limite arrivera à plus basse température extérieure avec ensoleillement.

Nous voyons donc qu'un radiateur affichant au moins 3000 W (à $\Delta t = 50$ °C), est indispensable pour ne pas provoquer l'arrêt du convecteur aérosoleire pour surchauffe.

Pour y parvenir, plusieurs radiateurs pourront être installés en parallèle.

3.2.4 - Calcul du point de fonctionnement et de la température d'eau

L'équation de la puissance calorifique en Watt du convecteur aérosoleire est :

$$Q_c = 0,69 t_{ev}^2 + 50,6 t_{ev} + 1\,656 - (0,238 t_{ev} + 12,1)(t_{de} - 35)$$

De même pour la puissance absorbée :

$$W = -0,055 t_{ev}^2 + 5 t_{ev} + 556 + (0,224 t_{ev} + 6,35)(t_{de} - 35)$$

Le dernier terme des équations correspond aux variations de la température d'eau.

t_{de} est la température de départ d'eau chaude en °C,

t_{ev} est la température d'évaporation du fluide frigorigène.

La puissance calorifique émise par le radiateur est :

$$Q_{rad} = Q_{75} \times \left[\frac{50}{(t_{de} - 22)} \right]^{1,287}$$

La puissance calorifique du convecteur aérosoleire est égale à la puissance calorifique émise par le radiateur, soit :

$Q_c = Q_{rad}$ soit :

$$0,69 t_{ev}^2 + 50,6 t_{ev} + 1\,656 - (t_{de} - 35)(0,238 t_{ev} + 12,1) = Q_{75} \times \left[\frac{50}{(t_{de} - 22)} \right]^{1,287}$$

Les 2 inconnues de cette équation sont t_{ev} et t_{de} .

Par ailleurs, au niveau du captage, la puissance frigorifique à l'évaporateur devient :

$$Q_f = Q_c - W$$

$$Q_f = 0,745 t_{ev}^2 + 45,6 t_{ev} + 1\,100 - (0,462 t_{ev} + 18,45)(t_{de} - 35)$$

Nous avons également :

$$Q_f = Q_{fs} + Q_{fa} \text{ dans lequel :}$$

Q_{fs} est la part de rayonnement solaire captée

Q_{fa} est la part de chaleur prélevée à l'air extérieur

$$Q_{fs} = IR \times S_r \times \alpha$$

$$Q_{fa} = \beta \times S_c \times (t_e - t_{ev})$$

IR est l'irradiation solaire globale sur le capteur en W/m^2 (voir tableaux 3 à 5, pages 32 et 33),

α coefficient d'absorption du capteur (fonction de la couleur : voir tableau 2),

β coefficient de convection de l'air sur le capteur (β moyen = $20 W/m^2 \cdot ^\circ C$),

S_r surface du capteur sans vitrage noir soumis au rayonnement solaire = $1,6 m^2$,

S_c surface convective du capteur $3,65 m^2$,

t_e température extérieure $^\circ C$,

t_{ev} température d'évaporation du fluide frigorigène $^\circ C$.

Nous avons donc :

$$Q_f = IR \times 1,6 \times 0,94 + 20 \times 3,65 \times (t_e - t_{ev})$$

$$Q_f = 1,50 IR + 73 (t_e - t_{ev}) \text{ et :}$$

$$Q_f = 0,745 t_{ev}^2 + 45,6 t_{ev} + 1 100 - (0,462 t_{ev} + 18,45) (t_{de} - 35)$$

En égalisant les 2 équations de Qf :

$$1,50 IR + 73 (t_e - t_{ev}) = 0,745 t_{ev}^2 + 45,6 t_{ev} + 1 100 - (0,462 t_{ev} + 18,45) (t_{de} - 35)$$

$$0,745 t_{ev}^2 + 45,6 t_{ev} - 0,462 t_{ev} (t_{de} - 35) - 18,45 (t_{de} - 35) + 1 100 - 1,50 IR - 73 t_e - 73 t_e + 73 t_{ev} = 0$$

$$0,745 t_{ev}^2 + (134,77 - 0,462 t_{de}) t_{ev} - 18,45 (t_{de} - 35) + 1 100 - 1,50 IR - 73 t_e = 0$$

Solution de l'équation :

$$t_{ev} = \frac{0,462 t_{de} - 134,77 + \sqrt{(134,77 - 0,462 t_{de})^2 - 4 \times 0,745 (1 100 - 18,45(t_{de} - 35) - 1,5 IR - 73 t_e)}}{1,49}$$

Ceci va nous permettre d'établir des familles de courbes de puissance calorifique et absorbée en fonction de la température extérieure et du rayonnement solaire.

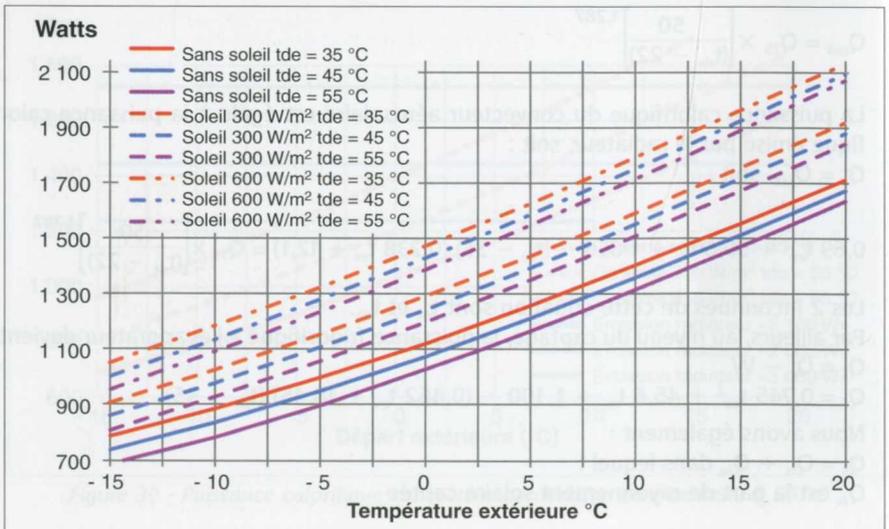


Figure 40 - Courbes de puissance calorifique convecteur aérosolaire.

La taille du radiateur va permettre de calculer la température de départ de l'eau chaude en fonction de la température extérieure et de la présence ou non d'ensoleillement.

Il est à noter que la taille du radiateur devra être ajustée afin de ne pas requérir une température d'eau excessive les jours ensoleillés où la température extérieure demande encore du chauffage. La courbe ci-dessous est établie pour un radiateur de puissance nominale 3 000 W.

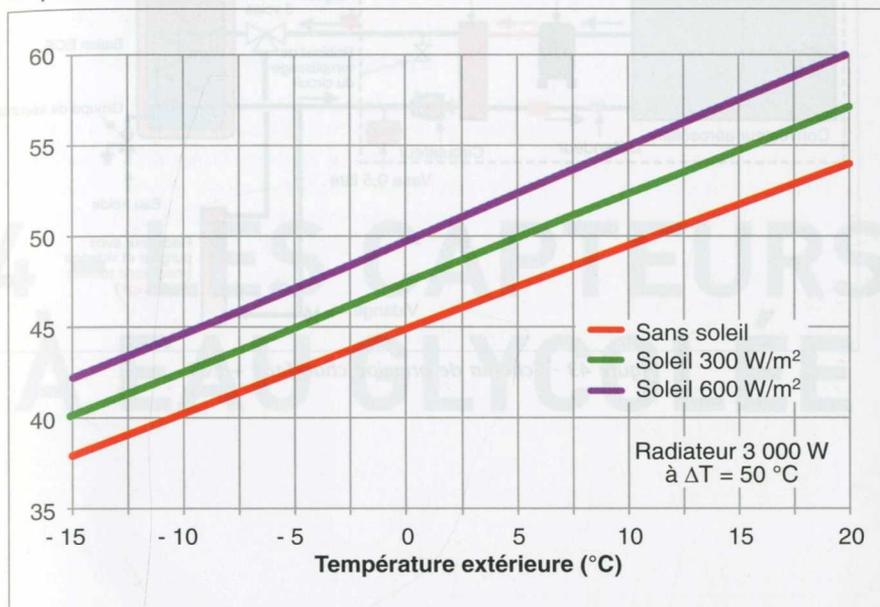


Figure 41 - Température d'eau du radiateur.

3.2.5 - Production d'eau chaude sanitaire

Le convecteur aérosolaire peut également assurer la production d'eau chaude sanitaire.

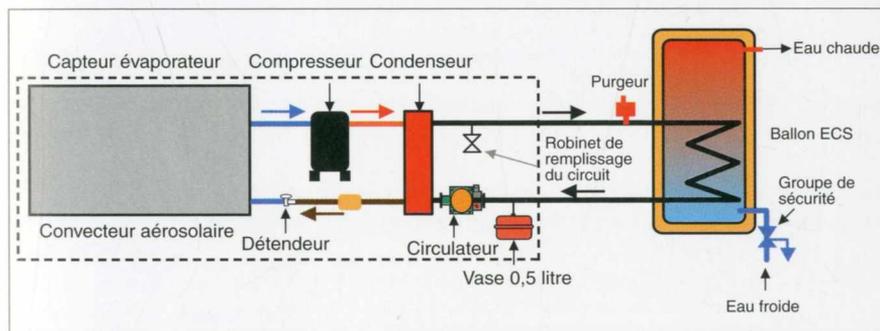


Figure 42 - Schéma de principe convecteur aérosolaire en production d'ECS.

Avec la baisse des besoins énergétiques en chauffage des habitations neuves, on peut également envisager d'assurer le chauffage de base de l'habitation en hiver et la production d'eau chaude en été et en demi-saison.

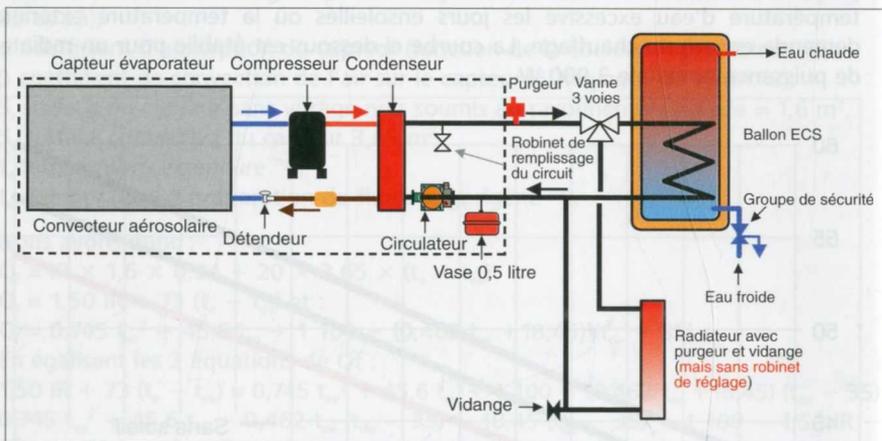


Figure 43 - Schéma de principe chauffage + ECS.

4.1 - Le système Héliopac

Le système est composé d'un capteur solaire basse température, d'une pompe à chaleur eau glycolée/eau et d'un volume de stockage d'eau. Il est associé à une production de chaleur d'appoint traditionnelle (gaz, électrique ou autre, qui doit être capable d'assurer seule la totalité du besoin en hiver. L'ensemble permet d'assurer

4 - LES CAPTEURS À EAU GLYCOLÉE



Figure 44 - Capteur élastomère (Doc. Héliopac)

4.1.1 - Principe de fonctionnement

Le capteur en élastomère est en général installé en toiture des immeubles. De l'assécholes assure le transfert de l'énergie solaire captée vers l'évaporateur de la ou des pompe(s) à chaleur.

Un transfert direct au ballon d'eau chaude lorsque la température du captage est suffisante (en passant par un échangeur intermédiaire) peut également être mis en place en option.

Avec la baisse des besoins énergétiques en chauffage des habitations neuves, on peut également envisager d'assurer le chauffage de base de l'habitation en hiver et la production d'eau chaude en été et en demi-saison.



LES CAPTEURS À EAUX GLYCOLÉES

4.1 - Le système Héliopac

Le système est composé d'un capteur solaire basse température, d'une pompe à chaleur eau glycolée/eau et d'un volume de stockage d'eau. Il est associé à une production de chaleur d'appoint traditionnelle, gaz, électrique ou autre, qui doit être capable d'assurer seule la totalité du besoin en hiver. L'ensemble permet d'assurer la production d'eau chaude sanitaire toute l'année avec une température de sortie de stockage supérieure ou égale à 55 °C.

Le capteur solaire est réalisé en élastomère (EPDM) qui se transforme en échangeur atmosphérique lorsque l'énergie solaire n'est plus disponible (nuit, temps pluvieux, brouillard...) et devient ainsi une source d'énergie pour la pompe à chaleur.

Les collecteurs sont réalisés en ABS pour une très bonne résistance aux U.V.

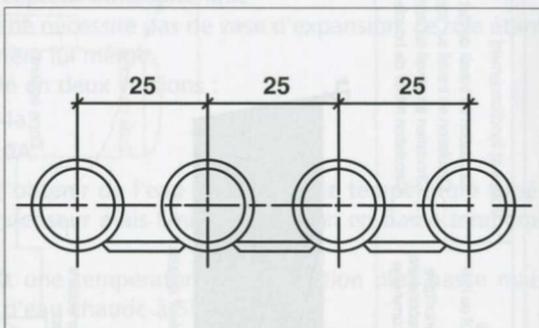
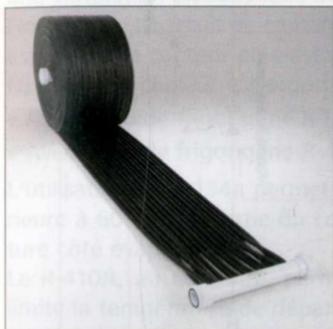


Figure 44 - Capteur élastomère (Doc. Héliopac).

4.1.1 - Principe de fonctionnement

Le capteur en élastomère est en général installé en toiture des immeubles. De l'eau glycolée assure le transfert de l'énergie solaire captée vers l'évaporateur de la ou des pompe(s) à chaleur.

Un transfert direct au ballon d'eau chaude lorsque la température du captage est suffisante (en passant par un échangeur intermédiaire) peut également être mis en place en option.

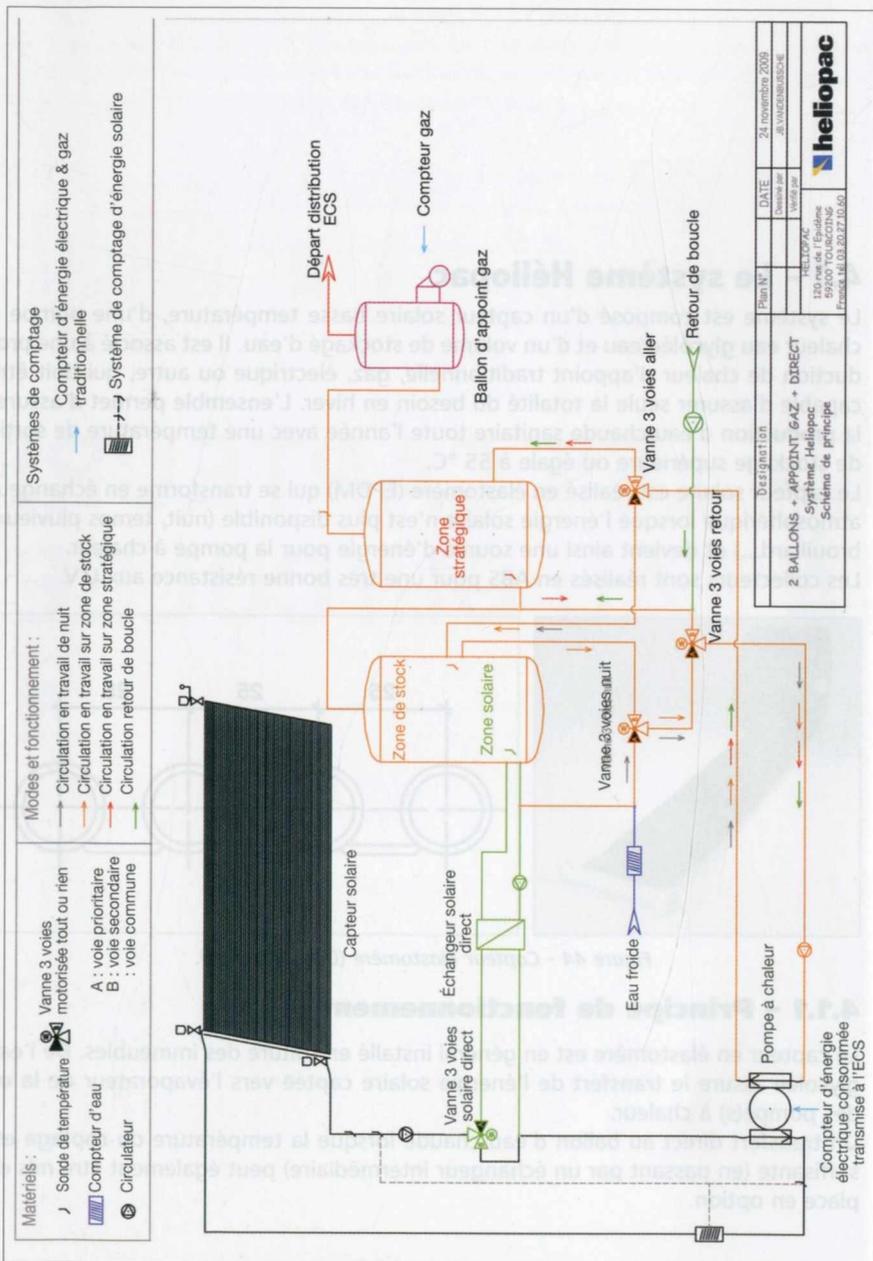


Figure 45 - Schéma de principe production d'ECS système Héliopac.

La chaleur du condenseur de la PAC est transférée à différents niveaux du ballon d'eau chaude. Un jeu de vannes trois voies motorisées permet de faire travailler en priorité les PAC sur la zone de distribution du stockage (ou «zone stratégique»), jusqu'à ce que la température de celle-ci atteigne la consigne, avant de venir réchauffer la zone de stock.

L'ECS produite par la PAC est stockée dans un ou plusieurs ballons raccordés en série, dont le volume sera déterminé par le besoin journalier et le profil de puisage du bâtiment.

Le système n'a recours à un appoint que pour parer à des conditions de fonctionnement extrêmes (pointe de puisage exceptionnelle, température extérieure inférieure à $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, enneigement du capteur...). Si le site ne dispose pas de chauffage collectif, un appoint par résistances électriques suffit, tout en conservant un bilan énergétique annuel très performant.

Les capteurs ne présentent pas de risque de surchauffe même en l'absence de puisage en été. En effet, le capteur n'étant pas isolé en sous face pour pouvoir être utilisé comme «source froide» par le groupe thermodynamique, sa température de stagnation est de $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ suivant la norme EN 12975 (cf. Avis Technique du CSTB N° 14/08-1238).

Pour un échange optimal avec l'atmosphère, le capteur est posé sur support (blocs béton, châssis métallique ou caillebotis) et fixé par des clips adaptés. Cela permet une ventilation en sous face du capteur atmosphérique.

Notons que le circuit de captage ne nécessite pas de vase d'expansion, ce rôle étant assuré par le capteur en élastomère lui même.

La pompe à chaleur est proposée en deux versions :

- Avec le fluide frigorigène R-134a,
- Avec le fluide frigorigène R-410A.

L'utilisation du R-134a permet d'obtenir de l'eau chaude à une température supérieure à $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ à la sortie du condenseur mais limite l'utilisation en basse température côté évaporateur.

Le R-410A, au contraire, permet une température d'évaporation plus basse mais limite la température de départ d'eau chaude à $55\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.1.2 - Performances

Il faut prévoir en moyenne 50 m^2 de capteur sans vitrage par PAC de 12 kW. Cette surface peut être modifiée suivant la performance globale souhaitée. Dans le cadre de projets BBC par exemple, elle pourra être majorée. Elle pourra varier entre 30 et 100 m^2 par module thermodynamique. Il est à noter que le gain apporté par le m^2 de capteur supplémentaire diminue au fur et à mesure que la taille du capteur augmente.

Détermination du coefficient de performance et de la part de l'appoint

Le coefficient de performance global du système prend en compte aussi bien les consommations de la PAC que celles de l'appoint (électrique ou gaz), des pompes et de l'ensemble des pertes thermiques (ballons).

Ce coefficient de performance global du système est annuel tout en tenant compte de la réalité météorologique et de l'usage du bâtiment. Il servira aussi à effectuer le post-traitement sur les consommations données par le calcul RT 2005 sur un générateur traditionnel. Le constructeur a établi des abaques pour les différentes zones climatiques. C'est une méthode qui a le mérite d'être simple, retenue logiquement pour l'obtention du titre V. Il convient de choisir l'abaque correspondant à la zone climatique et au domaine d'application du projet.

Nous nous baserons sur cet exemple.



Figure 46 - Pompe à chaleur HélioPac.

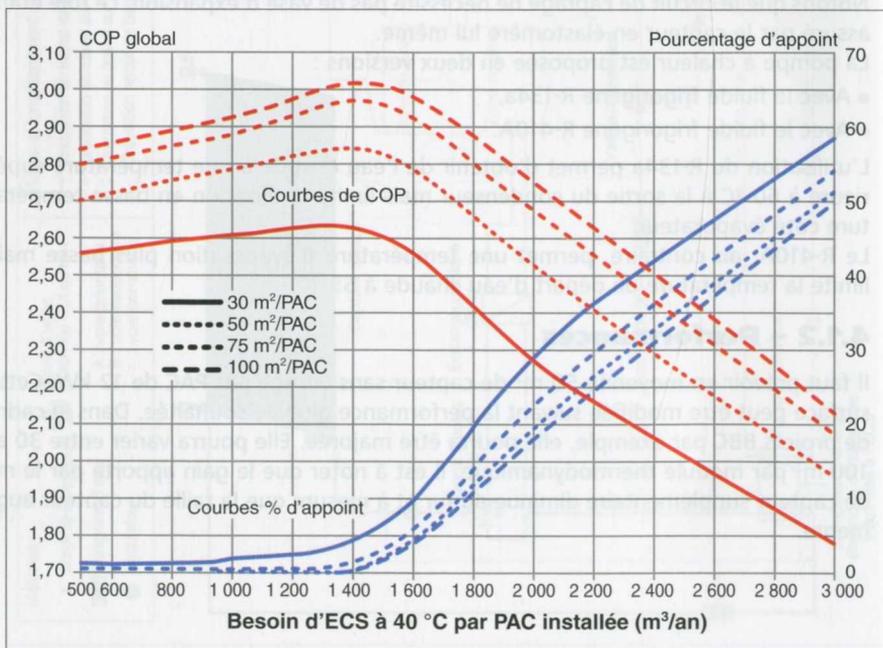


Figure 47 - COP global et pourcentage d'appoint, exemple de logements collectifs, zone H1a (Doc. HélioPac).

Sur cet abaque se trouve en abscisse la consommation annuelle d'ECS divisée par le nombre de pompes à chaleur du projet. Il convient de retenir la courbe de coefficient de performance correspondant à la surface de capteur par PAC choisie pour le projet et de lire en ordonnée sur la gauche du graphique le coefficient de performance obtenu. Dans le cas d'une surface de capteur intermédiaire à deux courbes, il est possible de faire une interpolation linéaire entre deux courbes. La surface effective de capteur solaire est définie comme la surface non touchée par les ombrages éventuels. On retiendra comme surface effective de capteur la surface totale amputée de toutes les parties sur lesquelles un obstacle sur les directions Est/Sud/Ouest apparaît avec une hauteur de plus de 45 °.

De la même façon, on retient la courbe de pourcentage d'appoint correspondant à la surface de capteur par PAC choisie pour le projet, et on obtient en ordonnée sur la droite du graphique la part de l'appoint.

Ces abaques intègrent le rayonnement solaire pour la zone climatique considérée et la convection de l'air sur le capteur pour un vent moyen de 3 m/s.

Il est également possible de déterminer le COP saisonnier et la part de l'appoint à partir du tableau 6.

Logements collectifs													
Surface de capteur/PAC	Zone climatique	Besoin ECS à 40 °C/PAC 500 m ² /an		Besoin ECS à 40 °C/PAC 1 000 m ² /an		Besoin ECS à 40 °C/PAC 1 500 m ² /an		Besoin ECS à 40 °C/PAC 2 000 m ² /an		Besoin ECS à 40 °C/PAC 2 500 m ² /an		Besoin ECS à 40 °C/PAC 3 000 m ² /an	
		Perf.	% appoint	Perf.	% appoint	Perf.	% appoint	Perf.	% appoint	Perf.	% appoint	Perf.	% appoint
30 m ²	H1a	2,56	1,2	2,61	1,9	2,60	6,4	2,27	29,0	2,02	45,0	1,78	58,4
	H1b	2,44	5,2	2,49	7,7	2,44	14,8	2,16	34,9	1,94	49,2	1,73	61,0
	H1c	2,57	2,2	2,62	3,0	2,61	7,6	2,28	30,0	2,04	45,3	1,81	58,2
	H2a	2,58	0,8	2,64	1,3	2,67	3,9	2,42	22,6	2,14	39,4	1,88	54,2
	H2b	2,67	0,0	2,72	0,3	2,78	1,7	2,54	18,9	2,25	36,2	1,98	51,4
	H2c	2,64	0,0	2,70	0,8	2,75	2,9	2,51	20,6	2,24	36,9	1,97	52,0
	H2d	2,67	0,6	2,73	1,8	2,77	4,2	2,53	21,5	2,28	37,1	2,01	51,7
	H3	2,72	0,0	2,80	0,0	2,91	0,3	2,83	9,9	2,60	23,2	2,26	40,9
50 m ²	H1a	2,70	0,6	2,79	0,7	2,83	3,0	2,52	22,7	2,23	39,4	1,96	54,0
	H1b	2,62	2,5	2,69	3,6	2,70	7,8	2,39	27,8	2,15	43,1	1,90	56,4
	H1c	2,73	0,8	2,80	1,0	2,84	3,9	2,54	23,5	2,26	39,8	1,99	54,0
	H2a	2,76	0,0	2,83	0,1	2,91	1,1	2,70	15,9	2,41	32,2	2,10	48,5
	H2b	2,83	0,0	2,90	0,0	3,00	0,9	2,80	14,2	2,53	29,7	2,19	46,7
	H2c	2,82	0,1	2,89	0,1	2,98	1,3	2,77	15,3	2,51	30,6	2,18	47,2
	H2d	2,83	0,1	2,90	0,7	3,00	2,0	2,80	16,3	2,55	30,8	2,22	46,9
	H3	2,88	0,0	2,98	0,0	3,15	0,1	3,06	7,9	2,93	16,7	2,54	35,2
75 m ²	H1a	2,80	0,3	2,88	0,3	2,96	1,9	2,67	19,6	2,37	36,1	2,07	51,5
	H1b	2,72	1,5	2,80	1,7	2,85	4,8	2,55	23,7	2,28	39,6	2,00	53,7
	H1c	2,81	0,4	2,89	0,5	2,97	2,6	2,69	20,0	2,39	36,5	2,10	51,4
	H2a	2,84	0,0	2,92	0,0	3,03	0,6	2,85	13,4	2,58	28,3	2,22	45,8
	H2b	2,91	0,0	2,99	0,0	3,13	0,5	2,96	12,2	2,71	25,6	2,32	43,7
	H2c	2,89	0,1	2,97	0,1	3,10	0,8	2,92	13,2	2,68	27,1	2,32	44,1
	H2d	2,91	0,0	2,99	0,5	3,13	1,5	2,95	14,0	2,72	27,1	2,35	44,2
	H3	2,96	0,0	3,06	0,0	3,28	0,0	3,20	7,0	3,13	13,3	2,72	31,3
100 m ²	H1a	2,84	0,2	2,92	0,2	3,01	1,7	2,75	18,0	2,45	34,2	2,13	49,9
	H1b	2,76	1,1	2,85	1,2	2,91	3,7	2,63	21,5	2,35	37,4	2,06	52,1
	H1c	2,85	0,3	2,94	0,3	3,02	2,0	2,76	18,4	2,47	34,4	2,15	50,2
	H2a	2,87	0,0	2,96	0,0	3,08	0,5	2,91	12,6	2,65	26,3	2,28	44,2
	H2b	2,94	0,0	3,03	0,0	3,18	0,3	3,02	11,3	2,79	23,8	2,39	42,1
	H2c	2,92	0,1	3,01	0,1	3,15	0,8	2,99	12,3	2,75	25,1	2,38	42,7
	H2d	2,95	0,0	3,04	0,5	3,18	1,1	3,01	12,8	2,79	25,3	2,41	42,5
	H3	3,00	0,0	3,11	0,0	3,32	0,1	3,27	6,5	3,21	11,4	2,80	29,5

Tableau 6 - COP saisonnier et appoint par zone climatique (Doc. Héliopac).

- 1 Prenons en exemple une configuration dans laquelle le besoin annuel d'ECS du projet est de 3 000 m³ par an à 40 °C. Le dimensionnement choisi pour le système HélioPac est de 2 Solerpac, 4 000 litres de stockage et 100 m² de capteurs Solerpool.
- 2 Le besoin d'ECS ramené au nombre de PAC est de 1 500 m³/an et la surface de capteurs solaires, de 50 m² par PAC.
- 3 L'abaque nous donne un coefficient de performance annuel de 2,83 et un pourcentage d'appoint de 3 %.
- 4 Nous reprendrons ci-après la méthode de calcul retenue, qui a permis au fabricant d'obtenir le titre V dans la RT 2005 et la RT Existant.

Calcul et intégration dans la RT 2005 ou la RT Existant avec un appoint électrique

Description des systèmes utilisés pour le projet :

- Le système d'eau chaude sanitaire est un ballon électrique collectif.
- Le volume est le volume déterminé par le dimensionnement vu précédemment.
- La constante de refroidissement du (ou des) ballon(s) du projet est égale à zéro car les pertes du ballon sont intégrées dans le coefficient de performance du système HélioPac.

Calcul et intégration dans la RT2005 ou la RT Existant avec appoint autre qu'électrique

Description des systèmes utilisés pour le projet :

- Le système d'eau chaude sanitaire est celui du générateur identique à celui utilisé pour l'appoint.
- La puissance nominale (Pn) est supérieure ou égale à celle calculée pour déterminer l'appoint.
- Le volume est le volume déterminé par le dimensionnement vu précédemment.
- La constante de refroidissement du (ou des) ballon(s) du projet est égale à zéro car les pertes du ballon sont intégrées dans le coefficient de performance du système HélioPac.
- Les autres paramètres sont ceux propres au générateur prévu pour l'appoint.

Post-traitement pour l'intégration dans la RT 2005

Le post traitement s'effectue sur les consommations du projet issues du moteur de calcul Th-C. Les conventions d'annotation sont les suivantes :

- ECS : eau chaude sanitaire,
- C ecs : consommation d'ECS en énergie finale,
- C ecs ep ref : consommation d'ECS en énergie primaire avec générateur de référence,
- Cep : consommation en énergie primaire du projet sans HélioPac,
- Cep corrigé : consommation en énergie primaire du projet après valorisation d'HélioPac,
- Pgs : performance globale du système HélioPac,
- Papp : part annuelle d'énergie utilisée par l'appoint (en %),
- Ctep : coefficient de transformation en énergie primaire de l'énergie d'appoint.

Consommation en énergie finale du système

$$Cec_{\text{Héliopac}} = Cec_{\text{s}}/Pg_{\text{s}}$$

Consommation en énergie primaire du système

$$Cec_{\text{sep}}^{\text{Héliopac}} = Cec_{\text{s}}^{\text{Héliopac}} \times [C_{\text{tep}} \times P_{\text{app}} + 2,58 \times (100 - P_{\text{app}})]/100$$

C_{tep} est défini par la RT2005 en fonction de l'énergie utilisée.

Corrections à apporter à la consommation du projet :

$$Cec_{\text{corrigé}} = Cec - Cec_{\text{sep}}^{\text{pref}} + Cec_{\text{sep}}^{\text{Héliopac}}$$

Un mode de calcul équivalent a été validé par un Titre V pour la RT 2012.

4.1.3 - Installation du capteur en élastomère**Caractéristiques du capteur élastomère**

Dimensions : sur mesure jusqu'à 300 m² en une seule zone

Poids à vide : 4,5 kg/m²

Poids en service : 11,1 kg/m²

Pression de service : 0,8 bar

Coefficient de rendement optique : 0,76

Coefficient échange thermique : 29,64 W/m².K

Température de stagnation : 55 °C (norme EN 12975)

Durée de vie : 30 ans

Garantie : 10 ans

Avis Technique du CSTB n° 14/08-1238

Modes de raccordement

Suivant la configuration de l'installation, deux types de raccords sont possibles : le collecteur départ et le collecteur retour peuvent être groupés ou séparés (cf. schéma ci-dessous).

La configuration avec les collecteurs groupés limite les longueurs de tuyauterie en toiture.

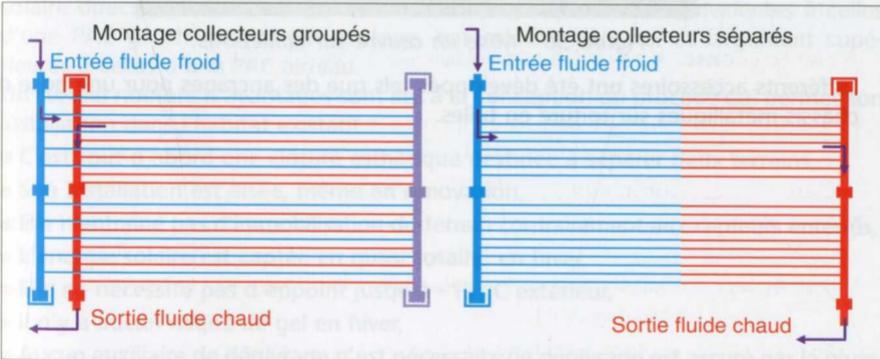


Figure 48 - Configuration des capteurs groupés ou séparés.

Les bobines de capteurs avec collecteurs déjà assemblés aux nappes en EPDM sont déroulées sur leur support, puis assemblées entre elles.

La pose peut s'effectuer sur châssis métallique, en application directe, sur socle en béton, sur une pergola en bois ou encore sur parpaings.

L'intérêt du châssis métallique est la possibilité de pose sur toiture inclinée.



Figure 49 - Pose sur châssis.



Figure 50 - Mise en œuvre sur caillebotis.

Différents accessoires ont été développés tels que des ancrages pour une pose des châssis métalliques sur toiture en tuiles.

4.2 - Clôture énergétique Bernier Energies

4.2.1 - Principe de fonctionnement

Le système se compose d'une pompe à chaleur eau glycolée/eau de type géothermique assurant le chauffage central à eau chaude (ou la production d'eau chaude sanitaire) et d'une clôture énergétique. Les deux sont reliées entre elles par deux tubes de liaison en PEHD.

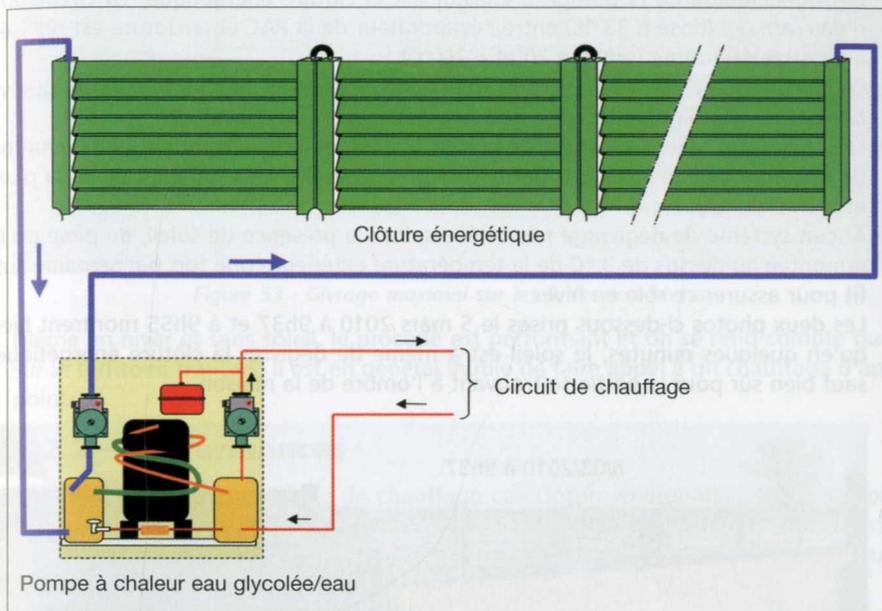


Figure 51 - Schéma de principe de la clôture énergétique.

Le procédé de clôture énergétique permet de valoriser le moindre rayonnement solaire direct ou diffus. Les performances énergétiques sont équivalentes à celles d'une PAC géothermique sur capteurs enterrés horizontaux et largement supérieures à celles d'une PAC air/eau.

Un certain nombre d'avantages sont liés à la conception du procédé qui permet son installation dans l'habitat existant :

- C'est tout d'abord une clôture esthétique destinée à séparer deux terrains,
- Son installation est aisée, même en rénovation,
- Elle n'entraîne pas d'immobilisation du terrain contrairement aux capteurs enterrés,
- L'énergie solaire est captée en quasi-totalité en hiver,
- Elle ne nécessite pas d'appoint jusqu'à -15°C extérieur,
- Il n'y a aucun risque de gel en hiver,
- Aucun auxiliaire de dégivrage n'est nécessaire (le dégivrage est assuré par la pluie, le brouillard, le soleil...),

- Elle permet une économie d'énergie importante, atteignant 75 %,
- Il n'y a aucun bruit au niveau du captage,
- Les capteurs sont résistants à la grêle et aux agents extérieurs,
- Ils ne nécessitent pas d'entretien,
- Leur conception et leur fabrication sont 100 % françaises.

Les inconvénients rencontrés sont peu nombreux.

La source froide de la pompe à chaleur est la clôture énergétique. La circulation d'eau+antigel (dosé à 33 %) entre l'évaporateur de la PAC et la clôture est réalisée à basse température (entre + 20 et - 20 °C).

En hiver, le soleil est rasant, le positionnement vertical de la clôture énergétique va donc permettre la récupération de toute l'énergie solaire incidente.

Les deux faces, avant et arrière de la clôture énergétique, permettent une captation de l'énergie de l'air extérieur par convection naturelle, celle du vent et de la pluie et même du brouillard.

Aucun système de dégivrage n'est nécessaire : la présence de soleil, de pluie ou la remontée au-dessus de 3 °C de la température extérieure une fois par semaine suffit pour assurer ce rôle en hiver.

Les deux photos ci-dessous prises le 5 mars 2010 à 9h37 et à 9h55 montrent bien qu'en quelques minutes, le soleil est à même de dégivrer la clôture énergétique, sauf bien sûr pour la partie se trouvant à l'ombre de la maison.



Figure 52 - Dégivrage naturel de la clôture énergétique.

Le cycle de givrage est très long : il est de plus d'une semaine.

La photographie ci-après, prise le 7 janvier 2010 à 10 heures, par une température extérieure de - 1 °C, montre le givre le plus fort obtenu au cours des 5 derniers hivers.



Figure 53 - Givrage maximal sur les 5 derniers hivers.

Même en hiver et sans soleil, le procédé est performant et on se rend compte que sur le territoire français, il est en général inutile de faire appel à un chauffage d'appoint.

4.2.2 - Performances

La performance d'un système de chauffage par clôture énergétique sera fonction de la taille de la clôture relativement à celle de la pompe à chaleur. Le tableau ci-dessous indique la taille conseillée. On pourra bien entendu prévoir une taille plus importante si besoin est.

Modèle kit de clôture	Clo 8	Clo 12	Clo 16	Clo 20	Clo 24
Nombre de panneaux capteurs 0,86 x 1,48 m	8	12	16	20	24
Longueur clôture en mètres	12	18	24	30	36
Modèle de PAC associée	Géoclo 5	Géoclo 7	Géoclo 9	Géoclo 12	Géoclo 15
Alimentation électrique	Mono	Mono/tri	Mono/tri	Mono/tri	Tri
Puissance calorifique* kW	5,6	7,1/7,1	9,6/9,7	12,3/12,3	14,2
Puissance absorbée* kW	1,5	1,8/1,7	2,4/2,3	3,0/2,9	3,3
COP nominal*	3,8	4,0/4,3	4,0/4,3	4,2/4,3	4,3

*Au régime nominal eau glycolée 0/-3 °C dans les capteurs, eau circuit de chauffage 30/35 °C

Tableau 8 - Caractéristiques de la clôture énergétique Bernier Energies.

Une campagne de mesures a été effectuée en 2009 dans une maison de 160 m² située à Pocé les Bois (35).

La maison, rénovée, a des déperditions thermiques de 10 kW par $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ extérieur.

Le chauffage du rez-de-chaussée et de l'étage est assuré par un plancher chauffant à basse température.

La pompe à chaleur est une PAC géothermique adaptée de puissance calorifique nominale de 9,6 kW et de puissance absorbée de 2,3 kW. La clôture énergétique a une longueur de 24 m.

Les résultats des mesures ont fait l'objet d'une communication au Pôle Cristal de Dinan (22) en octobre 2010.

Les résultats sont donnés en page suivante et un tableau comparatif a été dressé afin de comparer le système de clôture énergétique aux techniques traditionnelles de chauffage et de pompes à chaleur.

Les mesures enregistrées le 16 février 2009 sont intéressantes car la température extérieure a varié entre $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, ce qui correspond à des températures où le givrage sur la clôture énergétique est le plus important car la teneur en eau de l'air extérieur reste élevée.

L'arrêt pour régulation entre 11h et 14h a été favorable pour le dégivrage.

Il est à noter que ce jour froid, le COP de la PAC a varié entre 3,4 et 6 avec une moyenne de 3,9 pour la journée. Le COP est beaucoup plus élevé les jours où la température est supérieure.

Le COP saisonnier de l'installation de chauffage au cours de l'hiver 2008/2009 a été de 3,8. Aucun appel à un chauffage d'appoint complémentaire n'a été nécessaire.

En 2012, pour évaluer l'amélioration des performances, un essai a été fait avec une longueur de clôture augmentée de 18 m, ce qui s'est traduit par une augmentation du COP saisonnier de 3,8 à 4,2 lors de l'hiver suivant.



Figure 54 - Campagne de mesures février 2009.

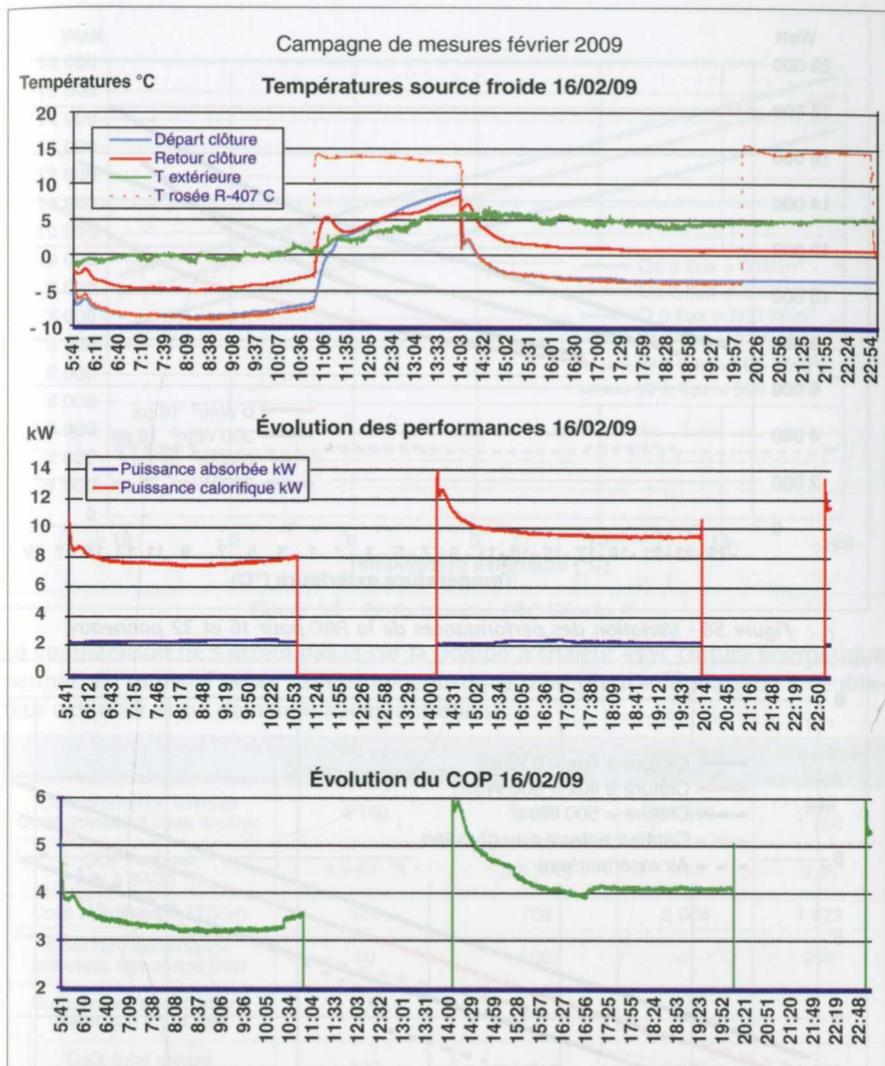


Figure 55 - Campagne de mesures février 2009.

La figure ci-dessus compare le COP d'une pompe à chaleur sur clôture énergétique à une PAC air extérieur/eau (les deux systèmes étant raccordés à un plancher chauffant basse température). On voit par exemple qu'à $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ extérieure, une PAC air/eau (d'excellente qualité) affiche un COP de 2,7 alors que celui d'une PAC géothermique sur clôture énergétique varie de 3,3 sans ensoleillement à 4,1 avec ensoleillement.

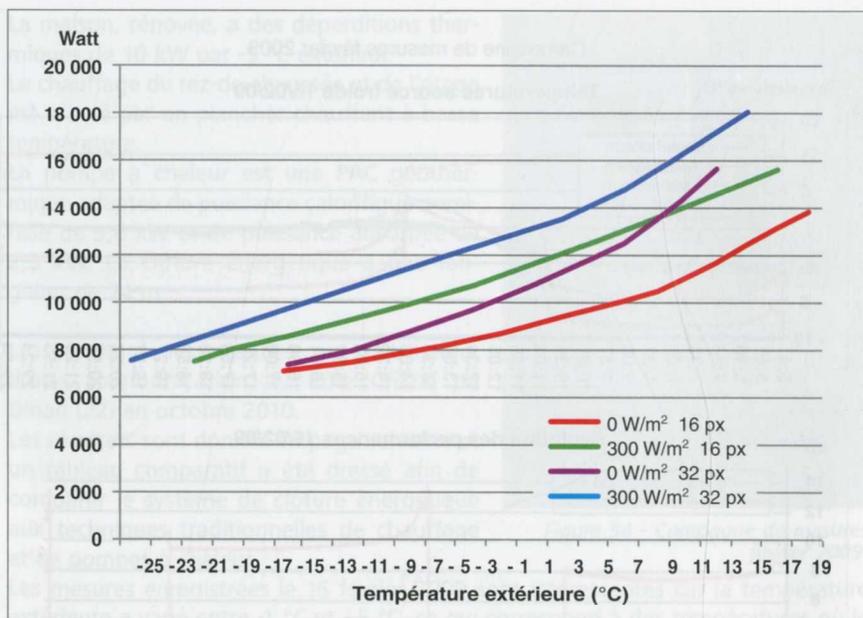


Figure 56 - Variation des performances de la PAC pour 16 et 32 panneaux.

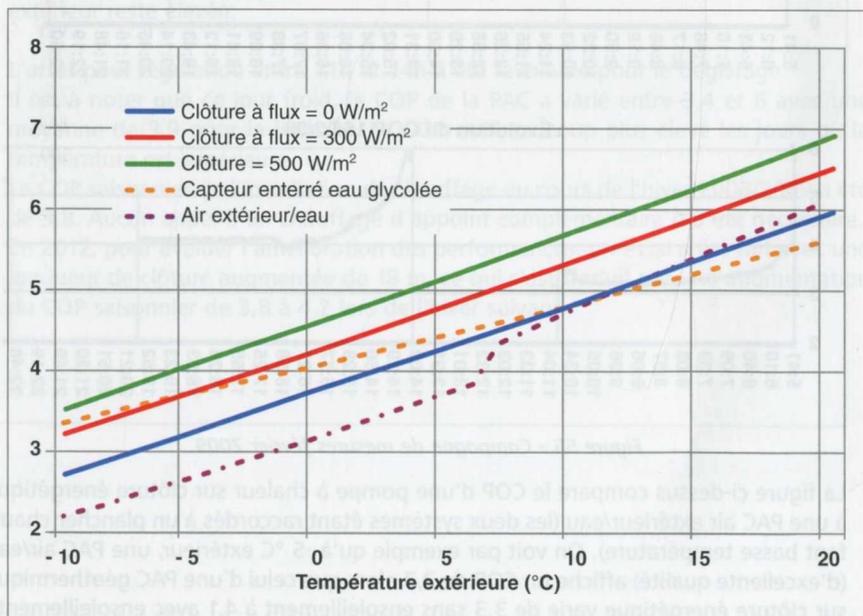


Figure 57 - COP comparatif PAC air/eau et PAC sur clôture.

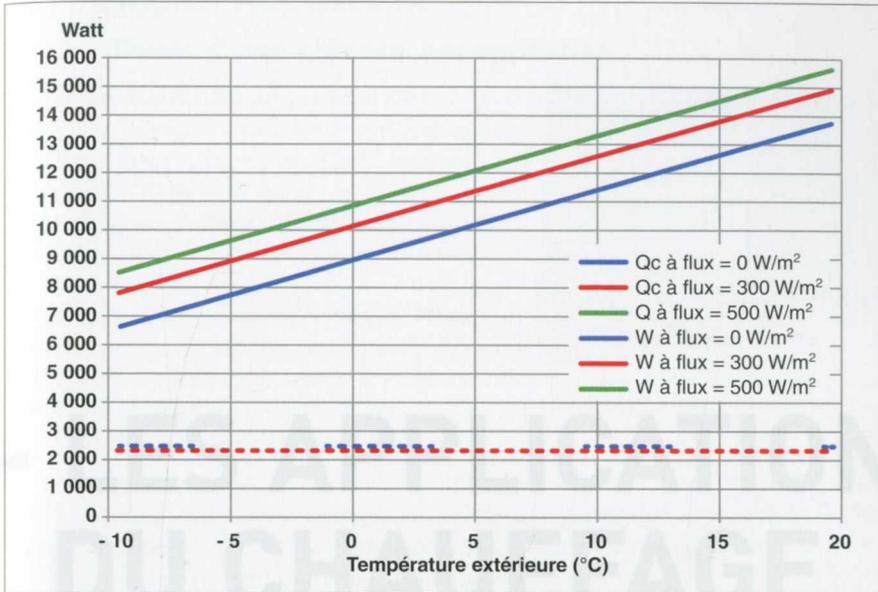


Figure 58 - Performances PAC Géoclo 9.

La comparaison ne s'arrête pas là car la pompe à chaleur avec clôture énergétique permet, en outre, d'éviter l'émission acoustique d'un groupe frigorifique à ventilateur extérieur et ne demande aucun entretien.

	PAC géo Clôture énergétique	PAC air extérieur/eau	Chauffage électrique	Chaudière fioul
Consommation kWh/an Consommation litres fioul/an	4 160	5 660	16 690	300 1 760
COP nominal eau à 30/35 °C	4,3 (0/- 3)	3,5 (7/6)	1	0,95
Coût chauffage € TTC/an	520	708	2 086	1 622
Coût de maintenance entretien, ramonage €/an	80	200	-	250
Supplément abonnement électrique € TTC/an	20	104	104	-
Coût total annuel chauffage € TTC	620	1 012	2 190	1 872
Effet de serre kg CO ₂ /an	748	1 094	2 579	5 355
Niveau sonore	😊	😡	😊	😊

Tableau 9 - Comparaison énergétique et environnementale des systèmes de chauffage.

Les pompes à chaleur de type géothermique eau glycolée/eau sont moins fragiles que les pompes à chaleur sur air extérieur car elles n'ont pas besoin de carte électronique de dégivrage ni de dispositif d'inversion de cycle.

5.1 - Clôture énergétique

5.1.1 - Pose d'une clôture énergétique

La clôture énergétique se compose de :

- » Poteaux de clôture en acier électrozingué avec peinture époxy cuite au four. Entraxe des poteaux : 1,50 m

- » Panneaux de captage d'énergie de $1,48 \times 0,86 \times 0,07$ m réalisés en polyéthylène haute densité résistant aux UV.

- » Duites souples de liaison entre panneaux.

- » Fiancs en acier électrozingué avec peinture époxy cuite au four pour cacher les tuyaux d'alimentation.



Figure 57 - Module de clôture

5 - LES APPLICATIONS DU CHAUFFAGE AÉROSOLAIRE



Figure 60 - Principe de montage de la clôture énergétique.

LES APPLICATIONS DU CHAUFFAGE AÉROSOLAIRE

5.1 - Clôture énergétique

5.1.1 - Pose d'une clôture énergétique

La clôture énergétique se compose de :

- Poteaux de clôture en acier électrozingué avec peinture époxy cuite au four. Entraxe des poteaux : 1,50 m
- Panneaux de captage d'énergie de $1,48 \times 0,86 \times 0,07$ m réalisés en polyéthylène haute densité résistant aux UV.
- Durites souples de liaison entre panneaux,
- Flancs en acier électrozingué avec peinture époxy cuite au four pour cacher les tuyaux d'alimentation et leurs raccords,
- Capots de protection sur chaque poteau.



Figure 59 - Module de clôture énergétique (Doc. BernierEnergies).

La dilatation des panneaux de clôture en PEHD est importante entre l'hiver et l'été (de l'ordre de 2 cm). Cette dilatation est compensée par les durites de liaison en PVC et par l'espace de 1,50 m entre les poteaux qui autorise cette dilatation.

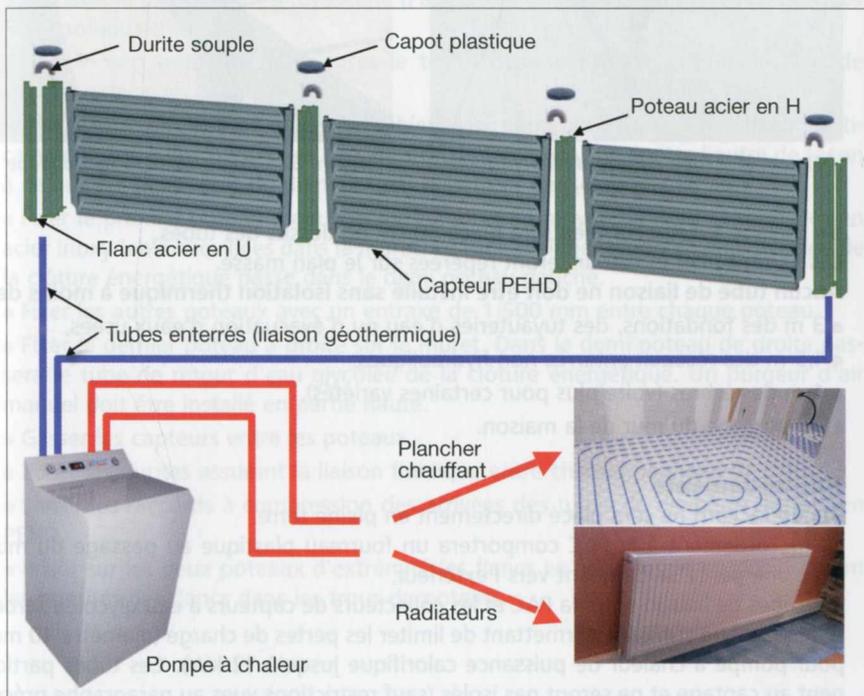


Figure 60 - Principe de montage de la clôture énergétique.

L'alimentation des capteurs de clôture doit être réalisée en tube polyéthylène haute densité (PEHD) diamètre 40 mm (le diamètre sera supérieur si la distance PAC/clôture est supérieure à 50 m ou si la puissance de la PAC est supérieure à 10 kW). Les liaisons clôture/PAC doivent être posées en tranchée. Les liaisons seront enterrées en pleine terre à une profondeur de 0,60 m.



Figure 61 - Tube enterré d'alimentation de la clôture.



Figure 62 - Raccordement hydraulique de la clôture.

Un grillage avertisseur bleu sera placé 30 cm au dessus des tubes. Les liaisons aller et retour seront repérées sur le plan masse.

Aucun tube de liaison ne doit être installé sans isolation thermique à moins de :

- 3 m des fondations, des tuyauteries d'eau ou d'évacuation d'eaux usées,
- 1,5 m des réseaux enterrés non hydrauliques,
- 1 m des arbres (voire plus pour certaines variétés),
- Au passage du mur de la maison.

Raccordements

Aucun raccord ne sera placé directement en pleine terre.

Le raccordement à la PAC comportera un fourreau plastique au passage du mur, avec une pente se dirigeant vers l'extérieur.

Les tubes de liaison entre la PAC et les collecteurs de capteurs à eau glycolée seront d'un diamètre suffisant permettant de limiter les pertes de charge (diamètre 40 mm pour pompe à chaleur de puissance calorifique jusqu'à 12 kW). Ces tubes participent au captage et ne seront pas isolés (sauf restrictions vues au paragraphe précédent).

Il sera prévu une isolation thermique sur le parcours intérieur afin d'éviter les condensations.

Les tubes de liaison aux capteurs seront raccordés à l'entrée et à la sortie de la clôture au moyen de raccords à compression (figure 62, page précédente).

L'autre extrémité des liaisons arrivera à l'arrière de la pompe à chaleur à une hauteur de 1 m du sol.

Le fluide circulant dans les capteurs enterrés sera de l'eau additionnée d'un antigel. Le point de congélation du fluide circulant dans les capteurs sera inférieur à $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Montage de la clôture énergétique

- Choisir l'emplacement de la clôture en privilégiant l'ensoleillement et en évitant, devant, les écrans végétaux à feuillage persistant.
- Choisir une clôture d'une seule rangée (hauteur 0,85 m), pour les sites exposés à des vents forts.
- Préparer bien horizontalement le muret en béton avec une largeur de 20 cm minimum.
- Prévoir des plots en béton pour la fixation des jambes de force pour le cas de clôture réalisée sur deux niveaux (hauteur 1,70 m).
- Préparer le passage de la tuyauterie d'arrivée et de sortie d'eau glycolée dans les demi poteaux d'extrémité.
- Prévoir une tranchée pour poser le tuyau d'alimentation en eau glycolée de chaque extrémité.
- Pour former un poteau en H, assembler deux demi poteaux en les mettant verticalement dos à dos puis en les glissant horizontalement l'un contre l'autre de façon à ce que les languettes du demi poteau pénètrent dans l'autre poteau.
- Fixer le premier poteau à gauche sur le muret au moyen de 4 vis et rondelles en acier inoxydable chevillées dans le muret. Le tube d'alimentation en eau glycolée de la clôture énergétique passe dans le demi poteau gauche.
- Fixer les autres poteaux avec un entraxe de 1 500 mm entre chaque poteau.
- Fixer le dernier poteau à droite sur le muret. Dans le demi poteau de droite passera le tube de retour d'eau glycolée de la clôture énergétique. Un purgeur d'air manuel doit être installé en partie haute.
- Glisser les capteurs entre les poteaux.
- Poser les durites assurant la liaison fluide entre chaque panneau de clôture.
- Serrer les raccords à compression des arrivées des tubes de diamètre 40 mm en PEHD.
- Poser sur les deux poteaux d'extrémité les flancs en tôle laquée en positionnant les bombés des flancs dans les trous du poteau.



Figure 63 - Pose des flancs d'extrémité.



Figure 64 - Pose des capots de protection.

- Installer les colliers en acier inoxydable afin d'assurer l'étanchéité des durites sur les panneaux.
- Poser les capots de protection sur les poteaux.

Montage de la pompe à chaleur

La pompe à chaleur est du type géothermique eau glycolée/eau.

La pompe assurant la circulation d'eau glycolée entre la pompe à chaleur et la clôture énergétique doit être dimensionnée afin de vaincre la perte de charge globale du circuit.

Il sera choisi une pompe à chaleur permettant un fonctionnement performant, sans mise en sécurité basse pression jusqu'à une température d'évaporation de -20°C . L'installation sera réalisée selon les règles applicables aux pompes à chaleur géothermiques.

Remplissage en eau + antigel

Le remplissage s'effectue en veillant à ce que la pression dans le circuit de clôture ne dépasse pas 0,4 bar, correspondant à la pression maximale admissible par les panneaux (figure 65).

- Ouvrir les vannes 1, 3 et 4. Fermer la vanne 2.
- Remplir un bac (de 100 ou 200 litres) d'un mélange d'eau + antigel dosé à 33 %.
- Raccorder le tube souple TS entre le robinet d'eau de ville et la vanne 3 puis ouvrir le robinet d'eau afin d'amorcer le circuit de la pompe PF.
- Retirer le raccordement du tube TS du robinet d'eau de ville et plonger le tube dans le bac (tel que représenté sur le schéma).
- Mettre en service la pompe PF du circuit froid de captage.
- Dès que le bac est vide, arrêter la pompe puis compléter le niveau dans le bac avec un nouveau mélange eau/antigel (compter un total d'environ 25 litres de mélange par panneau de clôture).

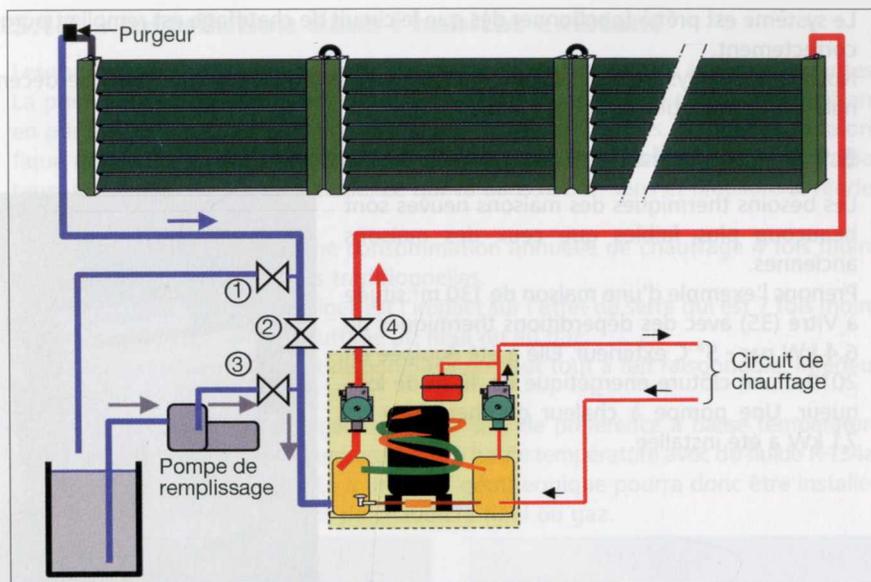


Figure 65 - Remplissage en eau et en antigel.

- Répéter l'opération jusqu'à ce que du liquide retourne dans le bac par la vanne 1.
- Contrôler l'absence de fuite sur le circuit, resserrer les colliers des durites si nécessaire.
- Purger l'air du circuit en laissant circuler la pompe de remplissage.
- Fermer la vanne 1, arrêter aussitôt la pompe de remplissage.
- Fermer la vanne 3.
- Ouvrir la vanne 2.
- Vérifier le bon fonctionnement de la pompe de circulation côté captage.

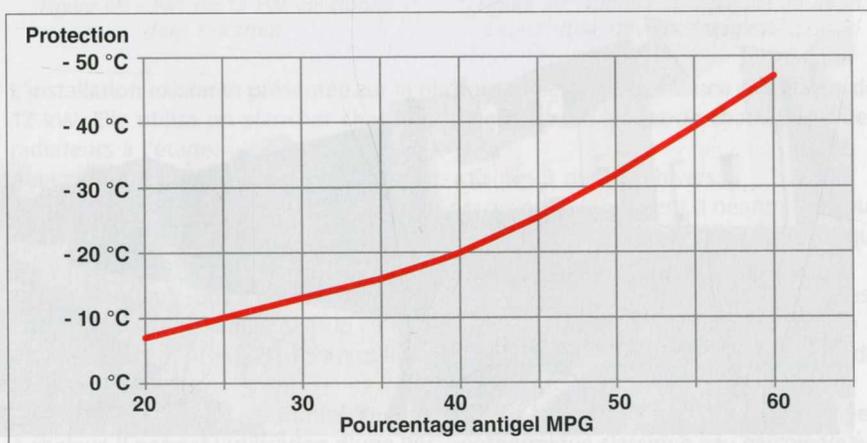


Figure 66 - Dosage antigel.

Le système est prêt à fonctionner dès que le circuit de chauffage est rempli et purgé correctement.

Notons que le système de clôture énergétique ne requiert pas de garantie décennale car l'installation est démontable.

5.1.2 - Installation en construction neuve

Les besoins thermiques des maisons neuves sont beaucoup plus faibles que ceux des maisons anciennes.

Prenons l'exemple d'une maison de 130 m² située à Vitré (35) avec des déperditions thermiques de 6,4 kW par - 5° C extérieur. Elle a été équipée en 2010 d'une clôture énergétique de 18 m de longueur. Une pompe à chaleur géothermique de 7,1 kW a été installée.



Figure 67 - PAC de 7,1 kW sur clôture énergétique.

Le maire de Vitré a accepté de modifier le permis de construire pour l'installation de la clôture énergétique.

Deux tuyauteries en PEHD de diamètre 40 mm ont été placées en tranchée pour alimenter la clôture énergétique en eau glycolée depuis la pompe à chaleur de type géothermique. Il est à noter que ces tuyauteries participent également au captage d'énergie.



Figure 68 - Clôture énergétique de 18 m à Vitré (Doc. Bernier Energies).

5.1.3 - Installation dans l'habitat existant

Les maisons existantes ont souvent des déperditions thermiques assez importantes. La première des choses à effectuer est de limiter les pertes de chaleur en réalisant en priorité les travaux d'isolation des murs, toiture et fenêtres. La puissance calorifique nécessaire va de ce fait baisser et la température d'eau requise par les radiateurs et émetteurs sera plus basse, ce qui va dans le bon sens et améliore le rendement de la future PAC.

Le système permet d'avoir une consommation annuelle de chauffage 4 fois moins coûteuse qu'avec les énergies traditionnelles.

Un autre aspect à ne pas négliger est l'impact sur l'effet de serre qui est 7 fois moins important que celui d'un chauffage au fioul ou au gaz.

La clôture est industrialisée et disponible à un coût tout à fait raisonnable, inférieur à celui d'un forage.

La pompe à chaleur de type géothermique sera de préférence à basse température avec du fluide R-407C. Elle pourra aussi être à haute température avec du fluide R-134a.

La clôture énergétique couplée à une PAC géothermique pourra donc être installée en relèvement ou en remplacement de chaudière fioul ou gaz.



Figure 69 - PAC de 12 kW sur clôture dans l'existant.



Figure 70 - Clôture énergétique de 44 m (Doc. Bernier Energies).

L'installation existante présentée sur la photographie a une puissance calorifique de 12 kW. Elle utilise un plancher chauffant à eau chaude au rez-de-chaussée et des radiateurs à l'étage.

Aucune goutte de fioul n'a été nécessaire lors des 3 derniers hivers.

Une clôture de 30 m de longueur suffisait normalement. Le client a néanmoins souhaité en installer une de 44 m pour équiper toute la longueur de son jardin, ce qui améliore les performances.

Des précautions sont à prendre pour le remplissage en mélange antigel car la pression de service maximale dans la clôture est de 0,4 bar. Le remplissage s'effectue à partir d'un vase intermédiaire en utilisant la pompe de circulation d'eau glycolée de la PAC.

Ce système offre une alternative intéressante aux techniques existantes de pompes à chaleur. Il permet l'utilisation d'une PAC géothermique classique eau glycolée/eau.

Un préchauffage d'eau chaude sanitaire peut également être effectué par le même système.

Figure 71 : PAC de 9 kW sur clôture
(Doc. Bernier Energies)



Les panneaux de clôture énergétique ont été conçus afin de pouvoir éventuellement être superposés, ce qui peut offrir des solutions dans l'habitat existant lorsque la longueur de haie est insuffisante.



Figure 72 - Clôture énergétique sur deux hauteurs (Doc. Bernier Energies).

Le chauffage par clôture énergétique est donc un outil supplémentaire à la disposition des installateurs pour réaliser un chauffage économique et écologique. Afin de résister au vent, il est recommandé de prévoir des jambes de force sur les poteaux, ce qui les rigidifie lorsque les capteurs de clôture sont installés sur deux hauteurs.

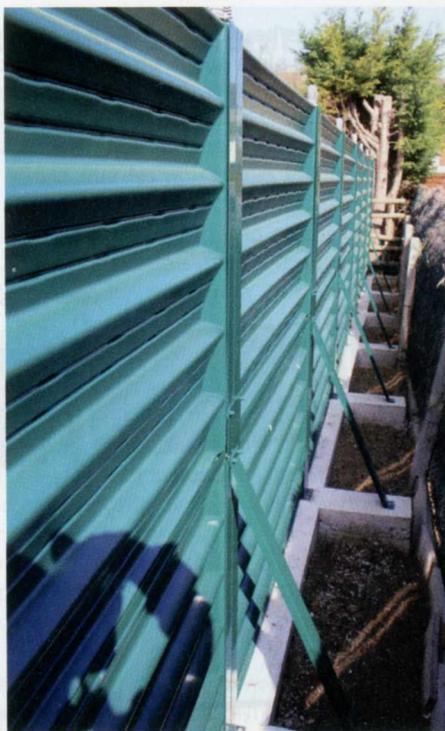


Figure 73 - Jambes de force sur poteaux.

5.1.4 – Chauffage de piscines

Les piscines extérieures ont souvent recours à un chauffage afin de prolonger la période d'utilisation. Les systèmes traditionnellement utilisés sont des pompes à chaleur air extérieur/eau.

L'utilisation d'une clôture énergétique peut offrir des avantages complémentaires importants :

- Fermeture de l'espace bassin, ce qui constitue ainsi une protection pour l'accès de la piscine aux jeunes enfants,
- Absence d'émission acoustique de la clôture, la PAC se trouvant dans le local filtration et non à proximité du bassin,
- Économie d'énergie supérieure à celle d'une PAC air/eau.

Le schéma de raccordement hydraulique proposé en figure 74, présente l'avantage de séparer le fonctionnement du chauffage de celui de la filtration. La pompe de filtration a besoin de fonctionner en général 10 à 12 heures par jour, pour une piscine extérieure et 2 heures par jour pour une piscine intérieure. Cette pompe consomme entre 750 W et 1,5 kW car elle brasse entre 6 et 12 m³/h. Le débit d'eau requis pour

le chauffage varie entre 600 litres/heure et 2 m³/h. Il est donc intéressant de séparer les circuits, ce qui ne nécessite alors que la présence d'un circulateur ne consommant que 100 à 200 W pour assurer le transfert de la chaleur du condenseur vers l'eau du bassin.

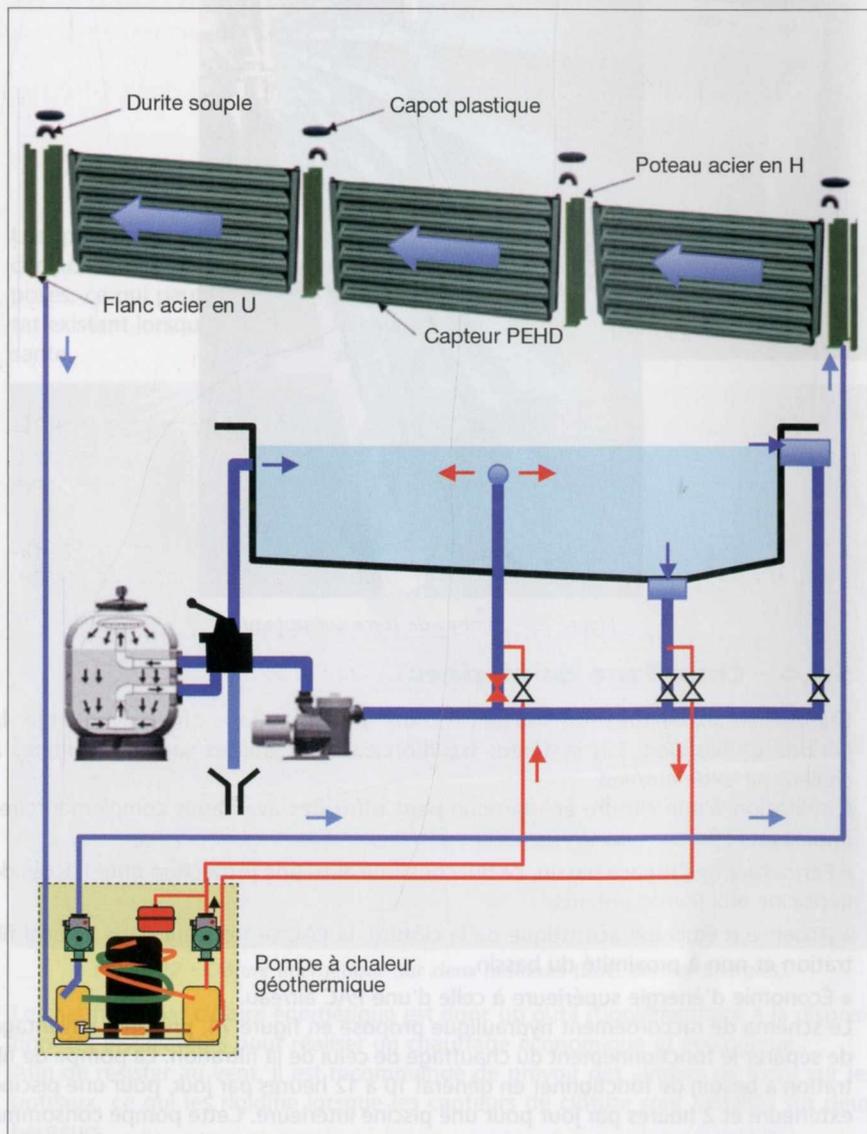


Figure 74 - Chauffage de piscine par clôture énergétique (doc. Bernier Energies).

5.2 - PAC à capteurs évaporateurs

Les applications en chauffage des pompes à chaleur à capteurs atmosphériques à détente directe se trouvent essentiellement en maison individuelle. Quelques rares installations ont néanmoins été réalisées pour le chauffage de bâtiments tertiaires. Ceci s'explique par le fait que les puissances calorifiques nécessaires sont importantes, conduisant à un nombre important de capteurs évaporateurs nécessaires, une charge en fluide frigorigène importante et par conséquent des risques potentiels de fuites de fluide. Ce procédé s'applique donc raisonnablement à des installations de puissance calorifique inférieure à 20 kW.

5.2.1 - Installation des capteurs évaporateurs

Ce type d'installation frigorifique requiert une excellente compétence des installateurs qui en assurent la mise en œuvre. Un certain nombre de règles strictes sont à appliquer afin que l'installation fonctionne correctement et qu'aucune fuite ne puisse intervenir dans les années suivant l'installation.

L'étanchéité des circuits frigorifiques est fondamentale pour garantir les performances et protéger l'environnement.

Il faut également veiller à bien choisir la position des capteurs en fonction de la position de la pompe à chaleur.

Pour assurer le raccordement des capteurs à l'unité pompe à chaleur, l'installation devra comporter :

- un distributeur de liquide servant à l'alimentation des capteurs en fluide frigorigène et comportant autant de brins de distribution que l'installation comporte de capteurs,
- une tuyauterie cuivre de qualité frigorifique pour l'alimentation,
- une tuyauterie cuivre de qualité frigorifique pour l'aspiration,
- un collecteur d'aspiration.

Modèle de PAC	PAXE 7	PAXE 10	PAXE 14	PAXE 20
Nombre de capteurs de 2 m x 0,8 m	4	6	8	12
Puissance calorifique nominale W	3 050	4 010	6 100	8 020
Puissance absorbée nominale W	600	780	1 200	1 560
Fluide frigorigène	R-290	R-290	R-290	R-290
Nombre de brins distributeur	4	6	8	12
Longueur brins 1/4" distributeur	2,5 m	3 m	3 m	3,75 m
Diamètre tube aspiration	5/8"	5/8"	3/4"	3/4"
Diamètre tube d'alimentation liquide	3/8"	3/8"	1/2"	1/2"
Distance maximum PAC/capteurs	30 m	30 m	30 m	30 m

Tableau 10 - Composition d'un kit de PAC aérosolaire à capteurs évaporateurs.



Figure 75 - Exemple de pose en toiture-terrasse avec vue des boucles d'alimentation 1/4" (Doc. Axergie).



Figure 76 - Exemple de fixation des capteurs sur poteaux (Doc. Axergie).

Tous les brins du distributeur alimentant les différents capteurs doivent avoir la même longueur pour équilibrer équitablement le fluide dans chaque capteur évaporateur.

Les distributeurs sont toujours installés verticalement car le fluide détendu distribué est un mélange de liquide et de vapeur frigorigène. Une position différente enverrait plus de liquide dans certains capteurs. La distribution ne serait pas homogène, ce qui nuirait au rendement.

Dans la pompe à chaleur se trouvent tous les éléments de commande et de régulation, notamment le détendeur. Les tubes de liaison qui relient la PAC aux capteurs évaporateurs sont des tubes froids qui ne nécessitent donc pas de calorifuge sur leur parcours à l'extérieur du bâtiment, mais seulement à l'intérieur pour éviter les condensations.

Capteurs évaporateurs plus hauts que la PAC

La tuyauterie d'aspiration remontera au dessus du niveau des capteurs, de même que les brins de distribution, ceci afin d'éviter le siphonage rapide du liquide vers le compresseur pendant l'arrêt.

- La dénivellation totale sera inférieure à 10 mètres,
- Un parcours horizontal est possible, d'une longueur maximale de 30 m.

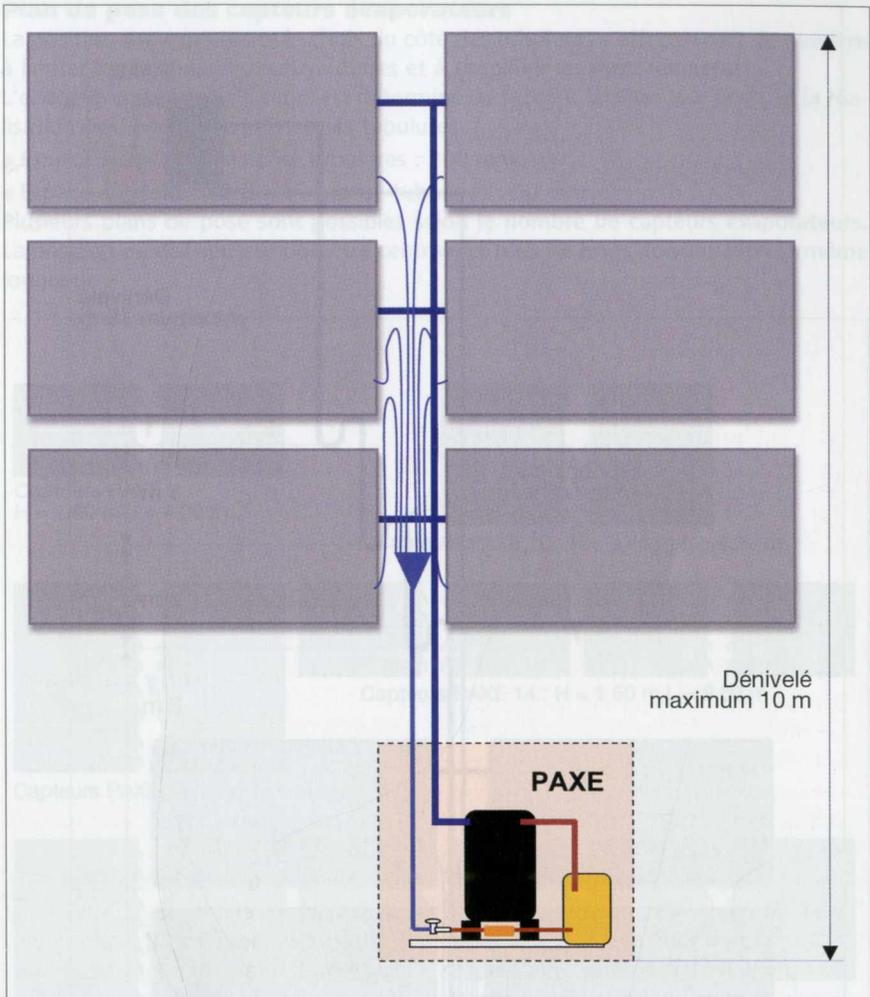


Figure 77 - Capteurs évaporateurs plus hauts que la PAC.

Capteurs évaporateurs plus bas que la PAC

Dans cette configuration, il existe des risques de rétention dans les capteurs de l'huile de lubrification du compresseur. Des précautions sont donc à prendre :

- Des siphons seront confectionnés sur la tuyauterie d'aspiration tous les 3 mètres de déniélé, afin de permettre le retour d'huile au compresseur,
- La hauteur maximale verticale est de 15 mètres,
- Un parcours horizontal est possible, d'une longueur maximale de 30 m.

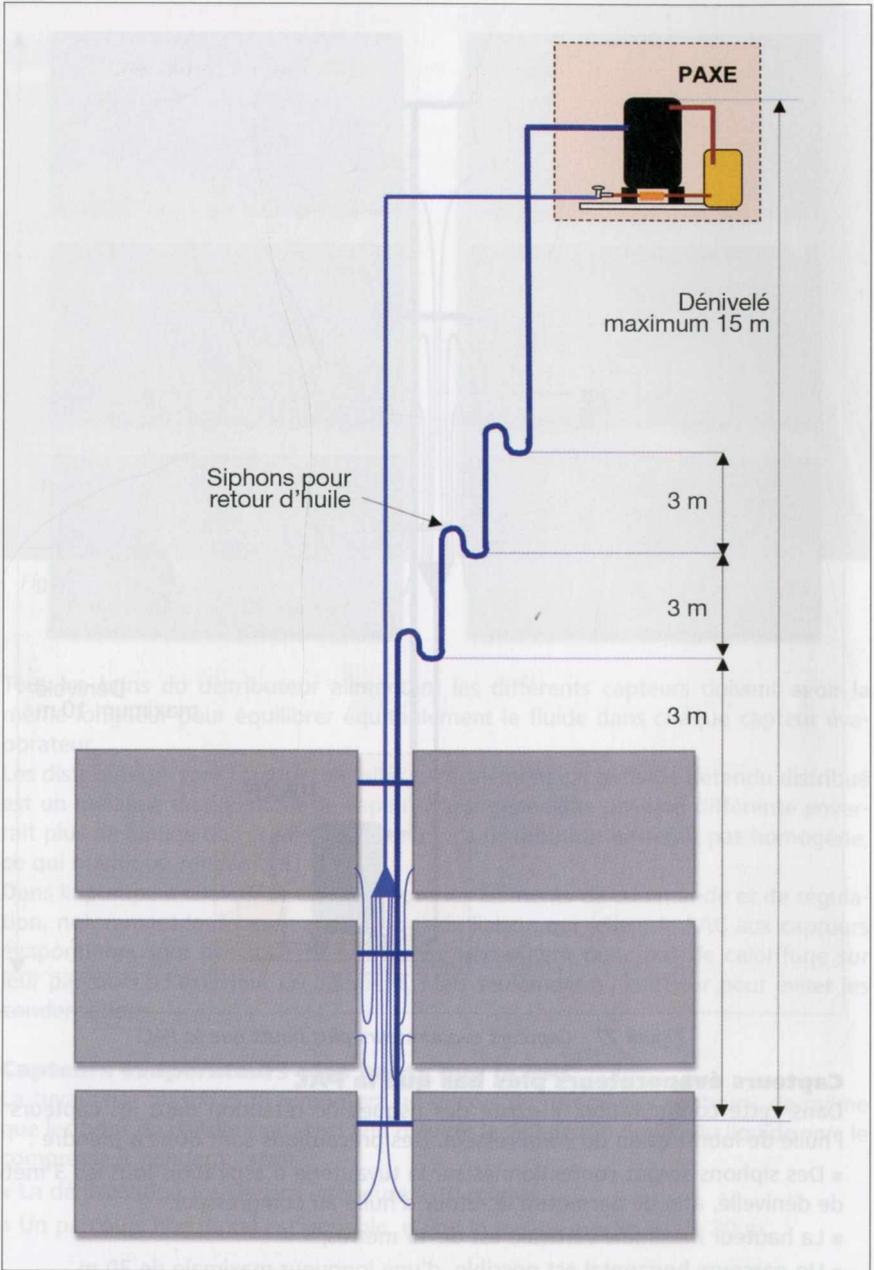


Figure 78 - Capteurs évaporateurs plus bas que la PAC.

Plan de pose des capteurs évaporateurs

La position des capteurs et le choix du côté des tubulures s'effectueront de manière à limiter les longueurs des tuyauteries et à simplifier les raccordements.

L'encombrement des capteurs est déterminé de façon à faciliter leur pose, et la réalisation des raccordements sur les tubulures.

- Espace entre capteurs côté tubulures : 200 mm
- Espace entre capteurs côté opposé tubulures : 50 mm

Plusieurs plans de pose sont possibles selon le nombre de capteurs évaporateurs. La position du distributeur doit être centrale et tous les brins doivent avoir la même longueur.

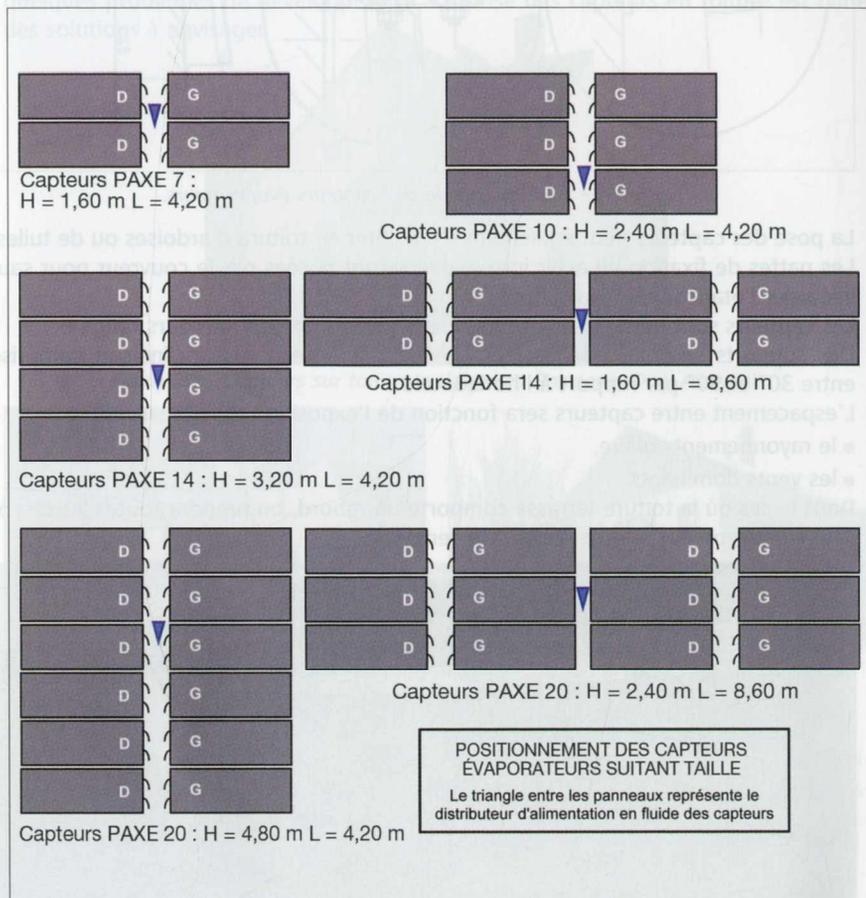


Figure 79 - Positionnement des capteurs évaporateurs selon leur nombre
(Doc. Bernier Energies).

La pose murale des capteurs se fait avec des pattes aluminium et des boulons en acier inoxydable. Le support pourra être un mur ou des poteaux métalliques. Les pattes de fixation assurent un retrait des capteurs de 80 à 150 mn. En cas de pose sur un support fermé (mur, toiture), ce retrait est nécessaire pour accroître la convection de l'air sur la face arrière des capteurs.

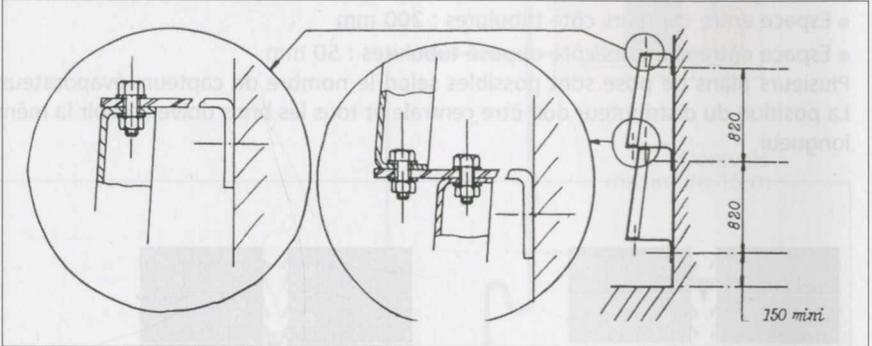


Figure 80 - Fixation murale des capteurs évaporateurs.

La pose des capteurs peut également s'effectuer en toiture d'ardoises ou de tuiles. Les pattes de fixation en acier inoxydable seront posées par le couvreur pour sauvegarder l'étanchéité de la toiture.

Les capteurs sont généralement posés en ligne sur une ou plusieurs rangées.

Des supports seront confectionnés de façon à obtenir une inclinaison comprise entre 30° et 90° par rapport à l'horizontale.

L'espacement entre capteurs sera fonction de l'exposition du site suivant :

- le rayonnement solaire,
- les vents dominants.

Dans le cas où la toiture terrasse comporte un rebord, on prendra toutes les dispositions pour ne pas annuler l'effet du vent.



Figure 81 - Montage en terrasse des capteurs (Doc. Axergie).

5.2.2 – Installation en construction neuve

Comme nous l'avons vu au paragraphe 3.1, la performance du système de chauffage avec plancher chauffant à basse température permettait d'atteindre, 30 ans en arrière, un COP saisonnier mesuré de 3,21 dans une construction neuve. L'évolution des compresseurs frigorifiques permet d'atteindre aujourd'hui sans difficulté un COP saisonnier de 4,2 pour les installations équipées d'un plancher chauffant à eau chaude.

La baisse des besoins énergétiques des habitations va permettre l'installation de systèmes de petite puissance calorifique.

L'intégration architecturale des capteurs évaporateurs peut poser à cette technique quelques problèmes de développement. La pose des capteurs en toiture est l'une des solutions à envisager.



Figure 82 - Capteurs sur toiture ardoises en Bretagne (Doc. Axergie).



Figure 83 - Capteurs en Rhône-Alpes (Doc. Axergie).



Figure 84 - Capteurs sur chalet en Suisse (Doc. Axergie).

Ces photographies d'installation de capteurs évaporateurs montrent que les architectes doivent parfois faire part d'ingéniosité pour permettre une intégration réussie des capteurs sur la maison.

5.2.3 – Installation dans l'existant

L'installation d'un système de pompe à chaleur assistée solaire avec capteurs évaporateurs peut s'effectuer en relèvement ou en remplacement de chaudière.

La pompe à chaleur placée dans une carrosserie polyester peut s'installer à l'exté-

rieur de la maison. Ceci facilite les opérations de tirage au vide et de charge en gaz de l'installation.



Figure 85 - Remplissage en gaz d'une PAC installée à l'extérieur
(Doc. Axergie).

La première difficulté dans l'existant est de définir avec certitude les besoins thermiques du bâtiment à chauffer (on retrouve aussi quelquefois cette difficulté dans les bâtiments neufs mal réalisés). Le deuxième point à connaître est la température de l'eau de chauffage. Là encore, ce n'est pas toujours évident.

Avant d'installer une pompe à chaleur aérosolaire en rénovation du chauffage, on doit regarder les améliorations possibles à apporter au bâti.

Selon l'ADEME, la chaleur s'échappe d'une maison mal isolée :

- 30 % par les combles et toiture,
- 25 % par les murs,
- 10 à 15 % par les vitres et fenêtres,
- 7 à 10 % par les sols.

Isoler les combles et la toiture sera donc la priorité en termes d'isolation, c'est souvent la solution la plus efficace et la moins coûteuse.

L'économie d'énergie que l'on peut attendre de l'isolation peut atteindre 50 % et plus, mais les investissements sont élevés en ce qui concerne l'isolation des murs et le remplacement des vitrages.

Une fois effectuées les améliorations possibles du bâti, on peut opter pour les solutions suivantes :

- PAC aérosolaire assurant la totalité de la puissance calorifique,
- PAC aérosolaire en chauffage de base avec appoint chaudière ou électrique,
- PAC aérosolaire en relèvement de chaudière.

La première solution peut s'avérer coûteuse si les déperditions thermiques sont élevées et surtout si la température requise par les radiateurs est supérieure à 55 °C au plus froid de l'hiver.

PAC aérosoleire en chauffage de base avec appoint chaudière ou électrique

Le choix d'une PAC aérosoleire avec appoint est une solution qui peut se réaliser assez fréquemment.

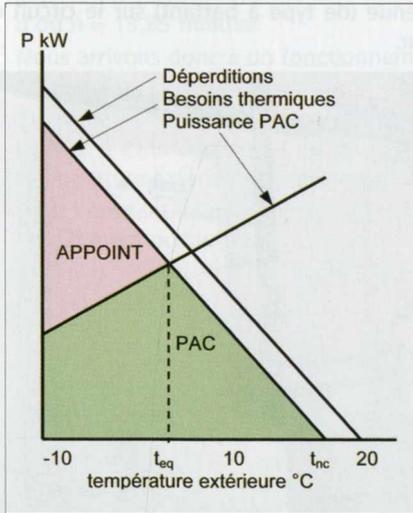


Figure 86 - Logique PAC aérosoleire avec appoint.

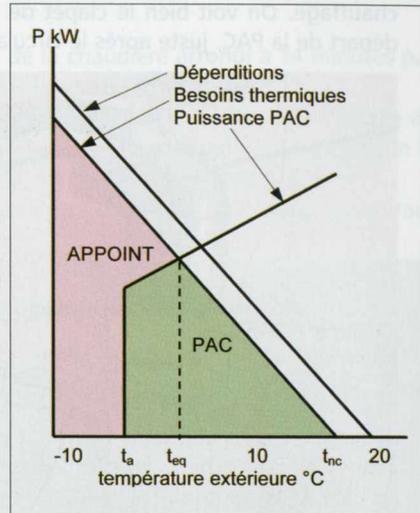


Figure 87 - Logique PAC en relève de chaudière.

Dans ce mode de fonctionnement, la PAC est à même d'assurer l'intégralité du chauffage à partir d'une température extérieure t_{eq} dite température d'équilibre. En dessous de cette température, la PAC fonctionne en permanence et un appoint se met en service occasionnellement pour compléter la puissance insuffisante les jours les plus froids. Dans cette configuration, la température d'eau chaude au départ de la PAC sera bien entendu compatible avec la machine et inférieure à 50°C , l'appoint assurant le réchauffage à 55°C si nécessaire. Si une température d'eau supérieure est requise par les radiateurs, nous avons toujours la possibilité d'augmenter la taille des radiateurs ou d'installer des radiateurs supplémentaires. Nous pouvons aussi opter pour la solution de PAC en relève de chaudière.

PAC aérosoleire en relève de chaudière

Dans le mode de fonctionnement en relève de chaudière, la température d'eau exigée par les radiateurs est quelquefois trop élevée pour la PAC, ce qui contraint à l'arrêter en dessous d'une température extérieure t_a . Le schéma représentant la logique de fonctionnement en relève de chaudière le montre bien. Lorsque la température extérieure est inférieure à t_a , la chaudière assure seule le chauffage du bâtiment. Entre t_a et t_{eq} , la pompe à chaleur fonctionne en permanence et la chaudière assure l'appoint.

Mode de régulation PAC + chaudière

Dans le cas d'un appoint chaudière, on optera de préférence pour un fonctionnement en alternatif asservi (comme on peut le voir sur la photographie de l'installation ci-après), où la PAC est raccordée en parallèle de la chaudière sur le circuit de chauffage. On voit bien le clapet de retenue (de type à battant) sur le circuit de départ de la PAC, juste après le circulateur.



Figure 88 - Installation de la PAC en alternatif asservi (Doc. Axergie).

Ce système de régulation est simple et se comprend aisément avec un exemple. Prenons le cas où la température extérieure est inférieure à t_{eq} . La PAC a une puissance calorifique insuffisante pour maintenir la température souhaitée dans le bâtiment. Le besoin de chaleur est, par exemple, de 13 kW et la PAC ne produit que 10 kW, la chaudière ayant une puissance calorifique de 23 kW.

$$Q_c \text{ PAC} = 10 \text{ kW}$$

$$Q_c \text{ Ch} = 23 \text{ kW}$$

$$BT = 13 \text{ kW}$$

La chaudière va fonctionner n minutes par heure.

La PAC va fonctionner $(60 - n)$ minutes par heure (fonctionnement alternatif asservi).

Pour cet exemple, nous avons donc :

$$BT = (n \times Q_c \text{ Ch} + (60 - n) \times Q_c \text{ PAC}) / 60 \text{ soit :}$$

$$13 \times 60 = n \times 23 + (60 - n) \times 10$$

$$780 - 600 = 23n - 10n$$

$$\text{d'où } n = 13,85 \text{ minutes}$$

Nous arrivons donc à un fonctionnement de la chaudière arrondi à 14 minutes par heure et un fonctionnement de la PAC de 46 minutes par heure.

Ce mode de régulation permet d'éviter les retours d'eau trop chaude à l'entrée de la PAC. Il évite également de faire circuler l'eau dans la chaudière au dessus de la température extérieure t_{eq} et lorsque la PAC est en fonctionnement.

Dans l'existant, la pose des capteurs évaporateurs s'effectue en général sur un mur du bâtiment ou sur un mur de clôture.

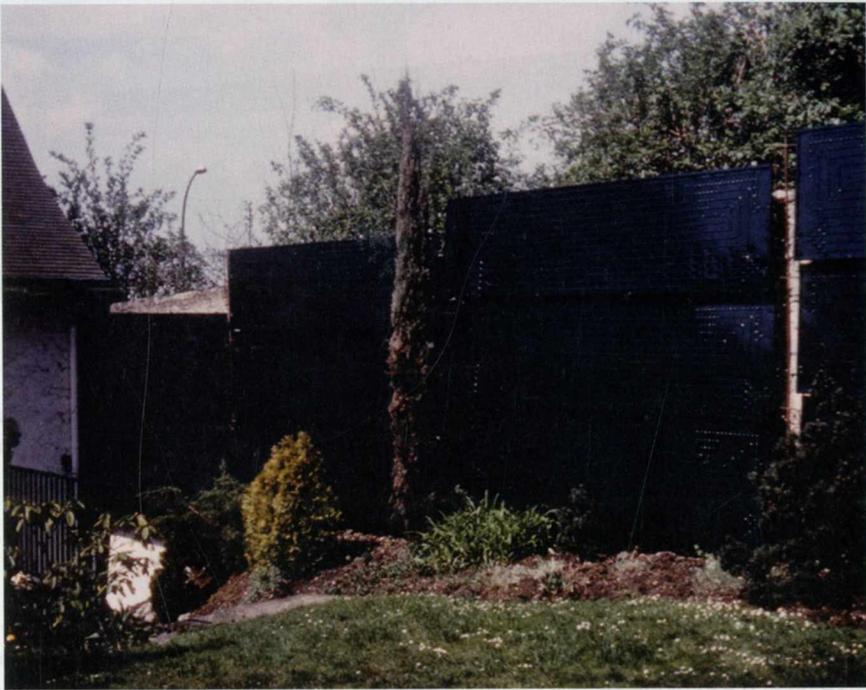


Figure 89 - Installation des capteurs évaporateurs sur un mur de clôture (Doc. Axergie).



Figure 90 - Installation des capteurs sur un mur de maison (Doc. Axergie)

Économie d'énergie

L'économie d'énergie que l'on peut atteindre avec une installation de PAC aérosolaire avec capteurs évaporateurs pourra dépasser 75 % dans le cas de plancher chauffant, et 60 % à 70 % en présence de radiateurs.

5.2.4 - Chauffage de piscines

Les piscines extérieures ont souvent recours à un chauffage afin de prolonger la période d'utilisation.

Le schéma de raccordement hydraulique proposé figure 74, peut être utilisé. Il présente l'avantage de séparer le fonctionnement du chauffage de celui de la filtration. Le débit d'eau requis pour le chauffage varie entre 600 litres/h et 2 m³/h. Il est donc intéressant de séparer les circuits, ce qui ne nécessite que la présence d'un circulateur ne consommant que 100 à 200 W pour assurer le transfert de la chaleur du condenseur vers l'eau du bassin.

La chaudière va fonctionner n minutes par heure.
La PAC va fonctionner $(60 - n)$ minutes par heure (fonctionnement complémentaire).



Figure 91 - Capteurs évaporateurs chauffant une piscine (doc. Axergie).

5.3 - Le convecteur aérosoleire

Le principe de fonctionnement est décrit au paragraphe 3.2

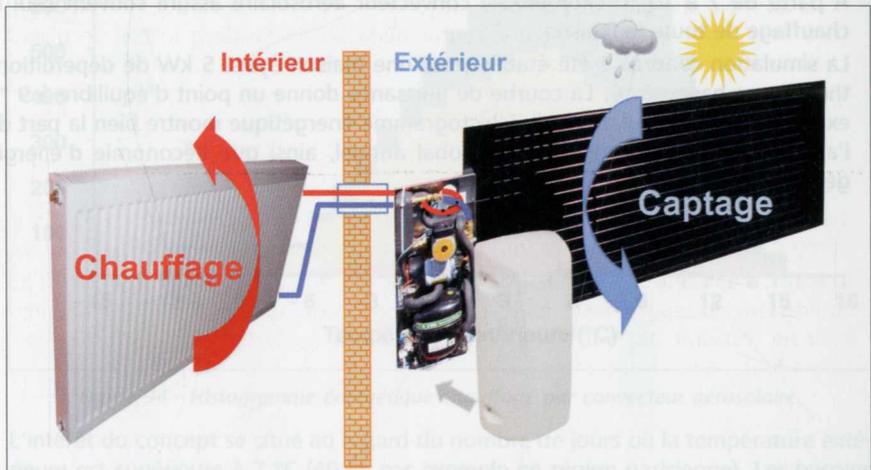


Figure 92 - Principe du convecteur aérosoleire en chauffage (Doc. Bernier Energies).

Un compresseur volumétrique assure le transfert de la chaleur à un condenseur à eau. La pompe de circulation envoie les calories vers un radiateur à eau chaude ou un plancher chauffant. Un thermostat d'ambiance régule la chaleur en agissant sur la mise en service du compresseur.

Le système peut s'apparenter à un réfrigérateur, à la différence que la plaque froide est placée dehors. Deux tuyauteries flexibles d'eau chaude permettent de relier l'appareil extérieur au radiateur intérieur. L'eau sera additionnée d'antigel afin de protéger le système placé à l'extérieur.

La régulation est assurée par un thermostat d'ambiance filaire ou radio commandant directement le compresseur frigorifique et le circulateur.

5.3.1 - Remplacement de convecteurs électriques

Cet appareil monobloc extérieur a été conçu au départ pour assurer le remplacement de convecteurs électriques et de planchers chauffants électriques dans l'habitat existant. Il peut également être utilisé en construction neuve avec un plancher chauffant à eau chaude ou des radiateurs à basse température ou une batterie à eau chaude (cas du double flux ou du simple flux par insuflation genre Ventilairsec).

5.3.2 - Bilan énergétique

Aujourd'hui encore, le séjour/salle à manger d'une maison individuelle représente 50 à 70 % des consommations de chauffage d'une habitation.

Installer un seul convecteur aérosoleire dans le séjour en remplacement d'un convecteur électrique peut permettre d'économiser jusqu'à 45 % sur le chauffage total de la maison.

Chauffer le séjour à 20 ou 21 °C participe en outre au chauffage des chambres (à 18 °C en moyenne).

À partir de 7 à 10 °C extérieur, le convecteur aérosoleire assure souvent seul le chauffage de toute la maison.

La simulation ci-après a été établie pour une maison ayant 5 kW de déperditions thermiques base - 6 °C. La courbe de puissance donne un point d'équilibre à 9 °C extérieur avec un seul appareil. L'histogramme énergétique montre bien la part de l'appoint électrique dans le bilan global annuel, ainsi que l'économie d'énergie générée.



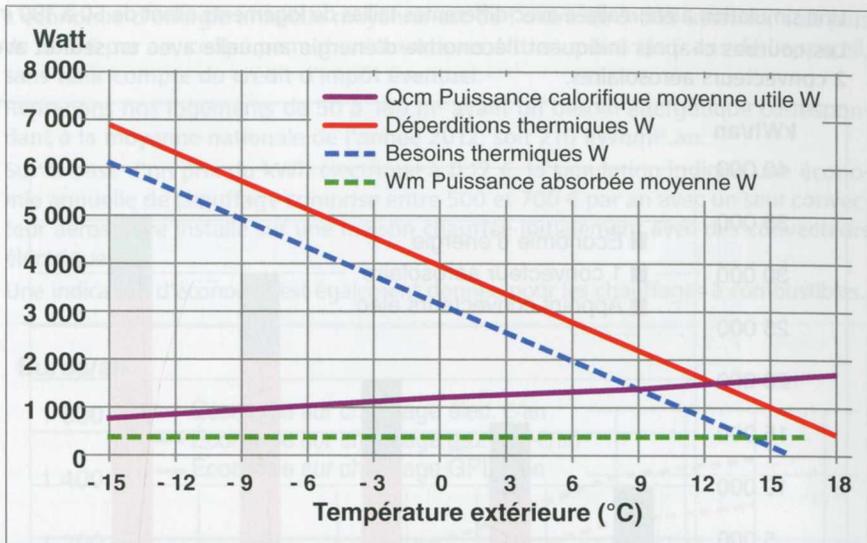


Figure 93 - Besoins et puissances calorifiques.

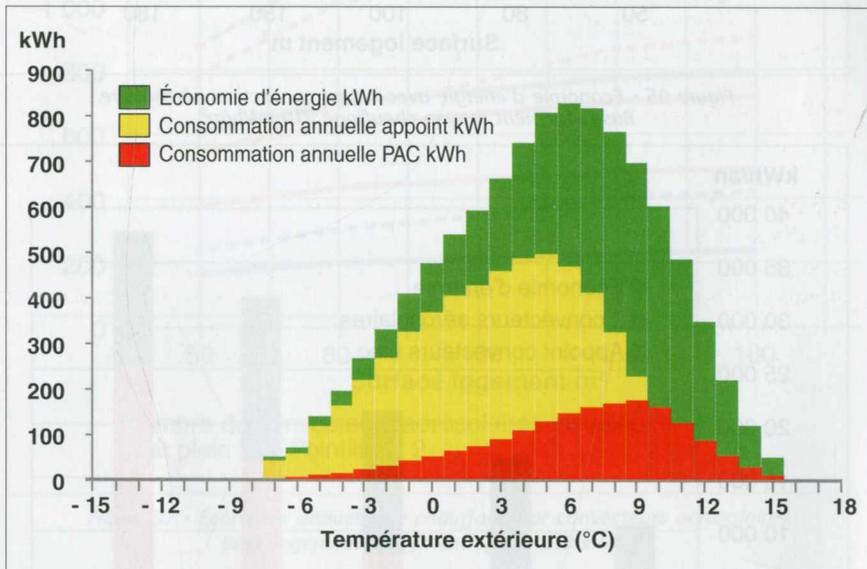


Figure 94 - Histogramme énergétique chauffage par convecteur aérosoleaire.

L'intérêt du concept se situe au regard du nombre de jours où la température extérieure est supérieure à 7 °C (40 % par exemple en région parisienne). Les besoins thermiques ne sont alors pas élevés mais très fréquents. Une petite PAC va en conséquence permettre d'économiser une grande quantité d'énergie.

Une simulation a été réalisée avec différentes tailles de logements allant de 50 à 180 m². Les courbes ci-après indiquent l'économie d'énergie annuelle avec un seul et avec 2 convecteurs aérosoleires.

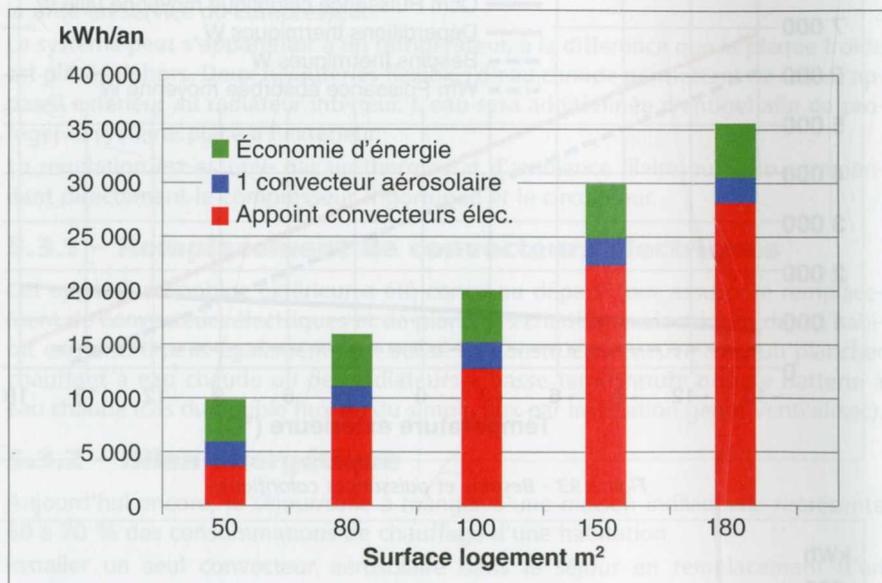


Figure 95 - Économie d'énergie avec 1 seul convecteur aérosoleire.
Base logement moyen chauffage 210 kWh/m².

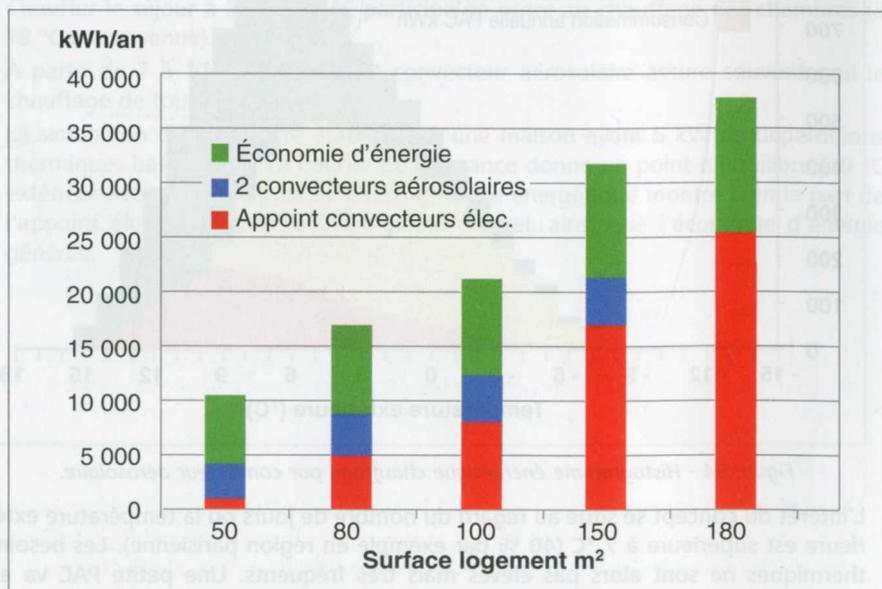


Figure 96 - Économie d'énergie avec 2 convecteurs aérosoleires.

L'économie d'énergie annuelle moyenne est de l'ordre de 5 000 kWh/an, soit plus de 600 € par an, ce qui permet un amortissement en moins de 5 ans de l'appareil, sans tenir compte du crédit d'impôt éventuel.

Reprenons nos logements de 50 à 180 m² ayant un besoin énergétique correspondant à la moyenne nationale de l'année 2012, soit 210 kWh/m².an.

Sur la base d'un prix du kWh électrique à 0,12 €, la simulation indique une économie annuelle de chauffage comprise entre 500 et 700 € par an avec un seul convecteur aérosolaire installé sur une maison chauffée initialement avec des convecteurs électriques.

Une indication d'économie est également donnée pour les chauffages à combustibles.

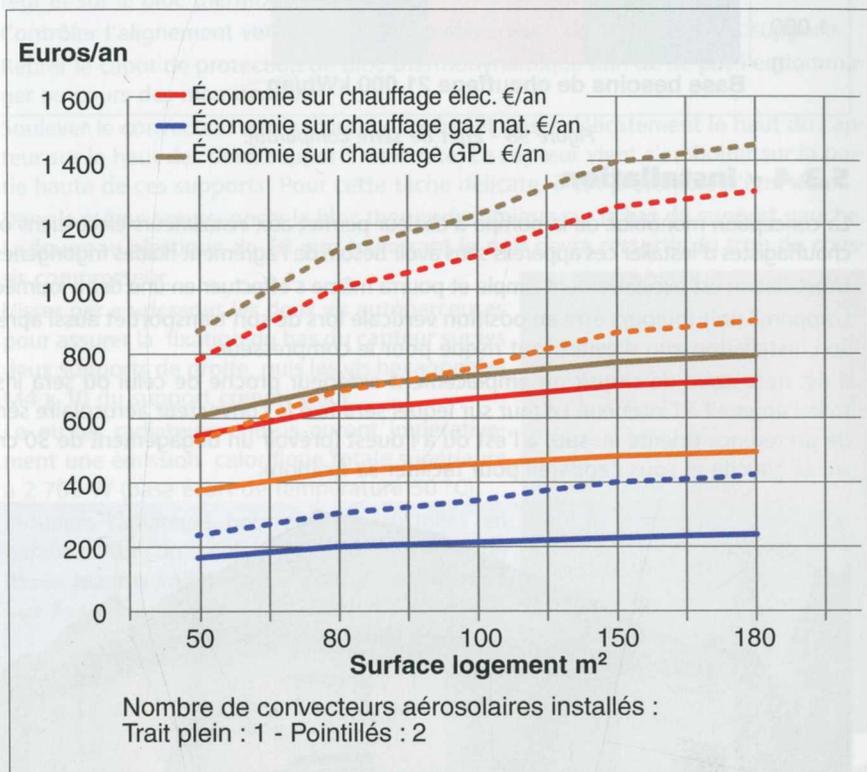


Figure 97 - Économie annuelle de chauffage par convecteurs aérosolaires.
Base logement moyen chauffage 210 kWh/m².

5.3.3 - Impact sur l'effet de serre

Le graphique page suivante met en situation un convecteur aérosolaire sur un système de chauffage existant électrique, à gaz ou au fioul, et comptabilise l'impact annuel sur l'effet de serre en kg de CO₂ dans les différentes hypothèses.

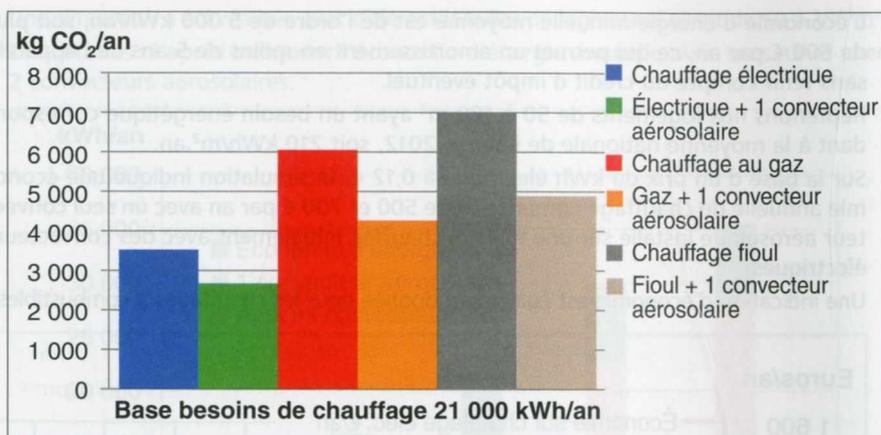


Figure 98 - Effet de serre comparatif.

5.3.4 - Installation

La conception monobloc de la pompe à chaleur permet aux installateurs électriciens ou chauffagistes d'installer ces appareils sans avoir besoin de l'agrément fluides frigorigènes. L'installation est excessivement simple et pourra même s'effectuer en une demi-journée. L'appareil doit toujours être en position verticale lors de son transport et aussi après son installation afin d'éviter tout risque pour le compresseur.

Il est nécessaire de choisir un emplacement extérieur proche de celui où sera installé l'appareil à l'intérieur. Le mur sur lequel sera fixé le convecteur aérosoleilaire sera de préférence orienté au sud, à l'est ou à l'ouest (prévoir un dégagement de 30 cm sur la gauche et sous l'appareil pour faciliter sa fixation).



Figure 99 - Convecteur aérosoleilaire installé.

Figure 98 - Comparatif d'impact sur 2 convecteurs aérosoleilaire.

Il faut repérer l'emplacement où sera réalisé le percement du mur afin d'assurer le passage des flexibles et de l'alimentation électrique. On vérifiera préalablement qu'aucune canalisation d'eau, de gaz ou électrique ne se situe à l'endroit des percements.

Percer un trou de 60 mm dans le mur extérieur de la maison, destiné à passer les tuyauteries flexibles et l'alimentation électrique.

Poser ensuite un tube plastique de diamètre 60 mm dans ce trou et réaliser l'étanchéité avec le mur à l'intérieur et à l'extérieur. Ce tube arrivera à ras de la paroi côté intérieur et dépassera de 8 à 9 cm du mur côté extérieur.

Fixer sur le mur les 3 supports en acier galvanisé destinés à être vissés sur le capteur et sur le bloc thermodynamique.

Contrôler l'alignement vertical et la tenue mécanique de la fixation des supports. Retirer le capot de protection du bloc thermodynamique afin de ne pas l'endommager au cours des manutentions.

Soulever le convecteur aérosolaire monobloc et poser délicatement le haut du capteur sur le haut des deux supports de droite. Le capteur vient s'emboîter sur la partie haute de ces supports. Pour cette tâche délicate, il est préférable d'être deux.

Dans le même temps, poser le bloc thermodynamique sur le bas du support gauche. Le fourreau plastique de 60 mm traversant le mur devra ressortir du trou du châssis compresseur.

Visser par en-dessous les deux vis autoperceuses pour assurer la fixation du bas du capteur sur les deux supports de droite, puis les vis hexagonales M4 x 10 du support compresseur.

Les radiateurs choisis auront impérativement une émission calorifique totale supérieure à 2 700 W (base écart de température 50 °C).

Plusieurs radiateurs pourront être installés en parallèle sur un seul convecteur aérosolaire.

Mais aucun robinet ne doit être installé sur les radiateurs.



Figure 100 - Installation du radiateur intérieur.

La performance du convecteur sera meilleure avec des radiateurs très largement dimensionnés.

Un plancher chauffant à eau chaude pourra être installé à la place de radiateurs.

Passer dans le fourreau plastique de diamètre 60 mm, deux tubes pour la circulation d'eau (ils passent ainsi à l'intérieur de la maison).

Raccorder au circulateur et au condenseur les 2 écrous 3/4" des flexibles en y incorporant un joint d'étanchéité 3/4". Le flexible bleu raccordé à l'entrée du circulateur sera obligatoirement raccordé en bas du radiateur.

Pour compenser les pertes de charge de la liaison hydraulique et du radiateur, le circulateur possède 3 vitesses. La vitesse sera sélectionnée afin d'obtenir le débit d'eau minimum nécessaire.

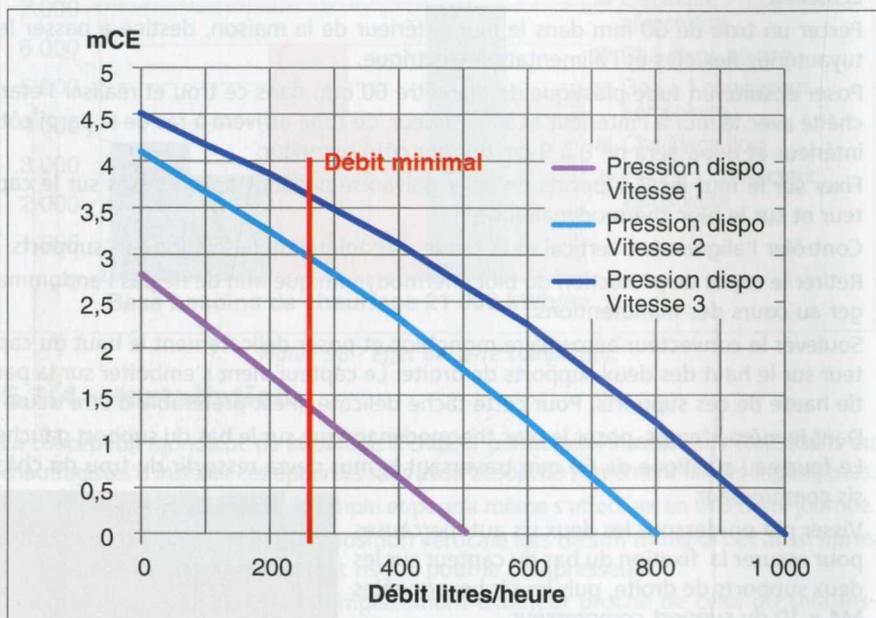


Figure 101 - Pression hydraulique disponible selon la vitesse.

Il faut ensuite relier côté intérieur les 2 tubes - l'un en bas et l'autre en haut - de l'échangeur du radiateur (**sans aucun robinet thermostatique ou autre**). On installera sur le côté opposé, en haut un purgeur, et en bas un raccord pour la vidange du circuit.

Après passage du câble d'alimentation électrique du convecteur aérosolaire, injecter de la mousse de polyuréthane dans le fourreau plastique de 60 mm afin d'isoler thermiquement les tuyauteries flexibles de liaison et d'éviter les entrées d'air parasites par cet orifice.

Le circuit hydraulique sera rempli en mélange eau/antigel à partir du robinet de remplissage installé dans le boîtier extérieur. La purge d'air sera réalisée au niveau du radiateur.

La mise en service du convecteur aérosolaire pourra s'effectuer seulement après que les raccordements électriques et hydrauliques ont été achevés et tous les circuits correctement purgés.



Figure 102 - Installation d'un convecteur aérosolaire (vue givrée).

SANITAIRE

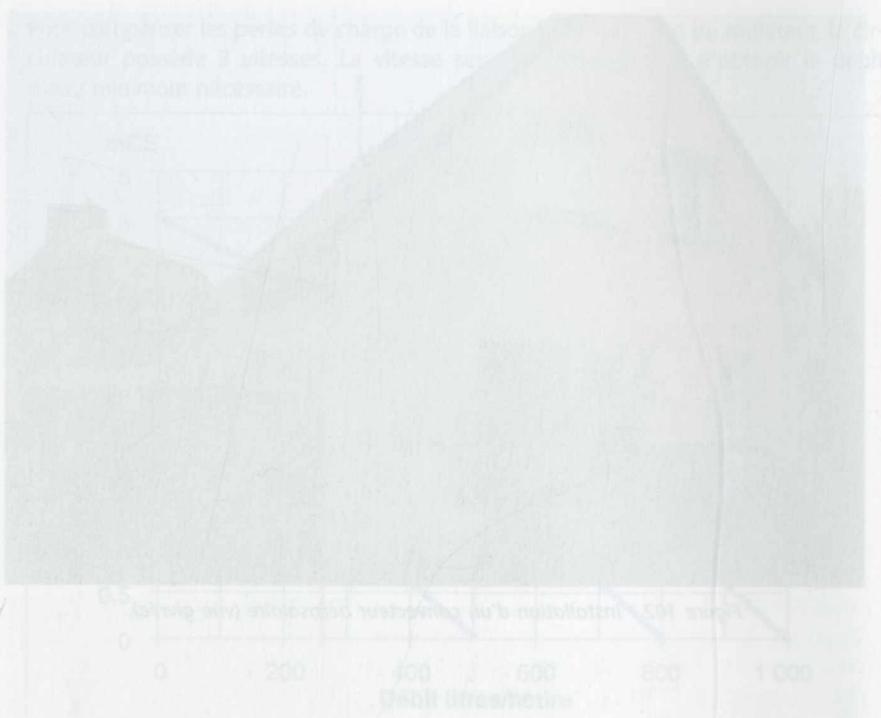


Figure 101 - Pression hydraulique disponible selon la vitesse.

Il faut ensuite relier côté intérieur les 2 tubes - l'un en bas et l'autre en haut - de l'échangeur du radiateur (sans aucun robinet thermostatique ou autre). On installe sur le côté opposé, en haut un purgeur, et en bas un raccord pour le vidange du circuit.

Après passage du câble d'alimentation électrique du convecteur aérosoleire, injecter de la mousse de polyuréthane dans le fourreau plastique de 60 mm afin d'isoler thermiquement les tuyauteries flexibles de liaison et d'éviter les entrées d'air parasites par cet orifice.

Le circuit hydraulique sera rempli en mélange eau/antigel à partir du robinet de remplissage installé dans le boîtier extérieur. La purge d'air sera réalisée au niveau du radiateur.

La mise en service du convecteur aérosoleire pourra s'effectuer seulement après que les raccordements électriques et hydrauliques ont été achevés et tous les circuits correctement purgés.



6.1 - Procédé Héliopac en tertiaire et collectif

Le système est composé d'un capteur solaire à basse température, d'une ou plusieurs pompes à chaleur eau-eau et d'un volume de stockage. Il est associé à une production d'appoint traditionnelle, gaz ou électrique (ou autre), qui doit être capable d'assurer seule la totalité du besoin en hiver.

Les domaines d'applications sont le logement collectif, l'hébergement, l'hôtellerie, la restauration et les équipements sportifs.

6 - APPLICATIONS EN EAU CHAUDE SANITAIRE

Figure 103 - Logements à Mantes-la-Jolie (Doc. Héliopac)



Figure 104 - Chauffage avec 4 PAC ECS (Doc. Héliopac)

6 - APPLICATIONS EN EAU CHAUDE SANITAIRE

6.1 - Procédé Héliopac en tertiaire et collectif

Le système est composé d'un capteur solaire à basse température, d'une ou plusieurs pompes à chaleur eau-eau et d'un volume de stockage. Il est associé à une production d'appoint traditionnelle, gaz ou électrique (ou autre), qui doit être capable d'assurer seule la totalité du besoin en hiver.

Les domaines d'applications sont le logement collectif, l'hébergement, l'hôtellerie, la restauration et les équipements sportifs.



Figure 103 - Logements à Montevrain (Doc. Héliopac).



Figure 104 - Chaufferie avec 4 PAC ECS (Doc. Héliopac).

6.1.1 – Logements collectifs et hébergement

À partir de la surface habitable moyenne des logements, on peut déterminer le besoin annuel en ECS à 40 °C, en mètres cubes par logement.

L'équation de la courbe retenue, dans le cadre du titre V, est la suivante :

$$B_{\text{ECS/LOGT}} = 3E-0,5x^3 - ' 0,09x^2 + 1,2242x - 2,2398$$

La lecture de l'abaque ci-après permet de calculer directement cette valeur. Il suffit de la multiplier par le nombre de logements pour obtenir la consommation annuelle d'ECS du bâtiment.

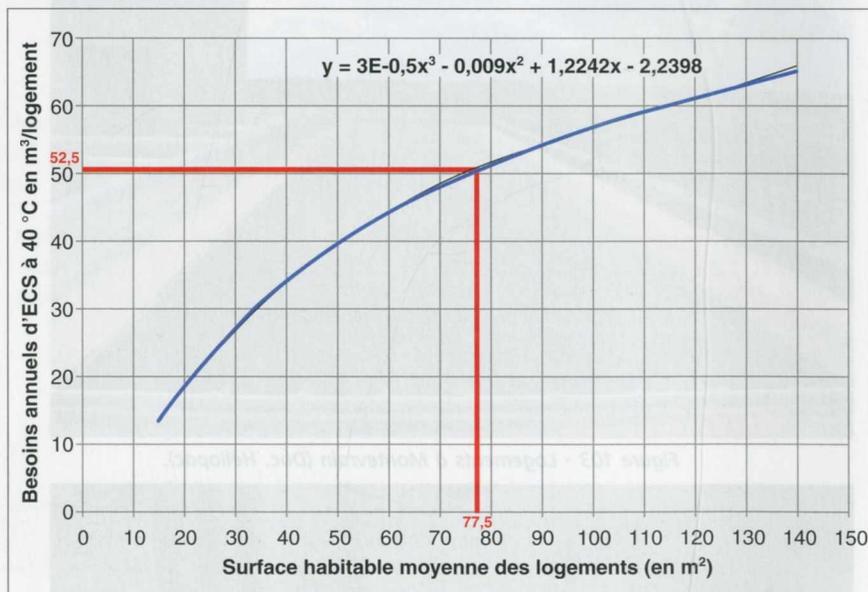


Figure 105 - Calcul du besoin d'ECS en logements collectifs.

En hébergement, le besoin d'ECS se détermine en fonction du nombre de chambres. Il est égal à 17,16 m³ à 40 °C par an et par chambre.

La consommation annuelle d'énergie sera définie par le COP saisonnier et la part de l'appoint.

La figure suivante les indique, par exemple, pour la zone H2b.

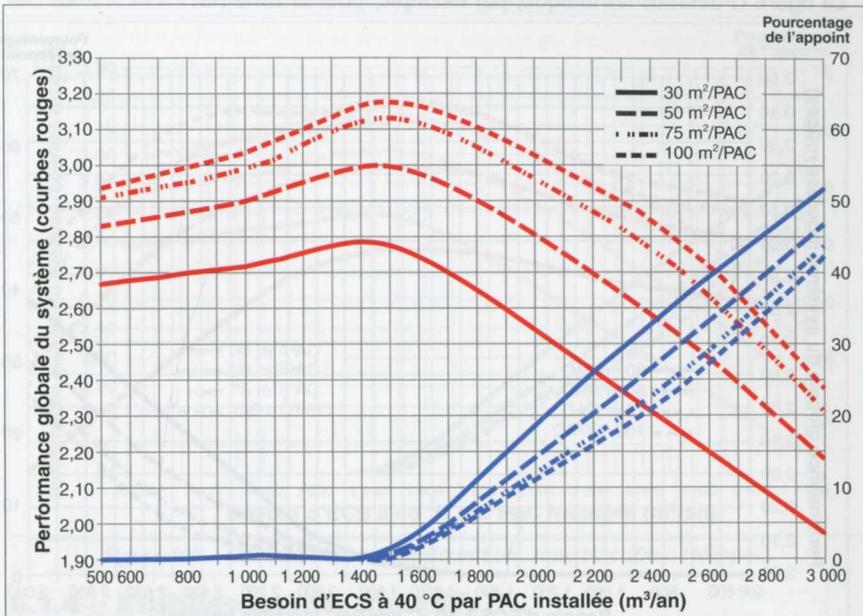


Figure 106 - COP saisonnier en logements collectifs, zone H2b (Doc. Héliopac).

6.1.2 - Hôtellerie

En hôtellerie, le besoin d'ECS se détermine en fonction de la catégorie de l'hôtel, de la présence ou non d'une blanchisserie et du nombre de chambres.

Catégorie de l'hôtel	Besoin annuel d'ECS à 40 °C en m³/chambre
1 ☆ sans blanchisserie	34,68
1 ☆ avec blanchisserie	43,28
2 ☆ sans blanchisserie	47,45
2 ☆ avec blanchisserie	56,05
3 ☆ sans blanchisserie	60,49
3 ☆ avec blanchisserie	69,09
4 ☆ sans blanchisserie	73,26
4 ☆ avec blanchisserie	81,86

Grâce au tableau ci-dessus, on détermine le besoin moyen par chambre d'hôtel. Il faut ensuite multiplier cette valeur par le nombre de chambres pour obtenir le besoin total en m³/an.

La consommation d'énergie annuelle sera définie par le COP saisonnier et la part de l'appoint.

Figure 109 - COP saisonnier en établissements sportifs, zone H2a (Doc. Héliopac).

La figure ci-dessous les indique, par exemple, pour la zone H3.

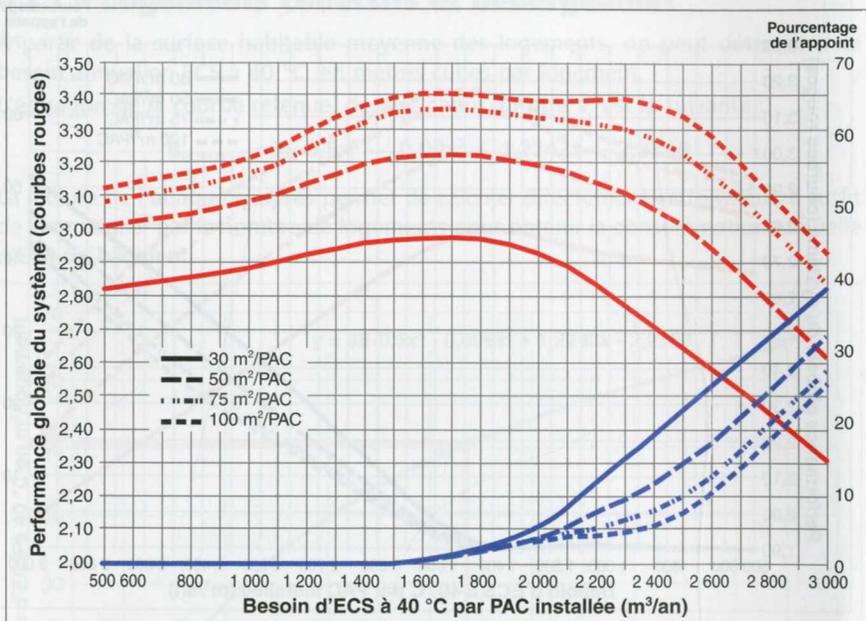


Figure 107 - COP saisonnier en hôtellerie, zone H3 (Doc. HélioPac).

6.1.3 - Restauration

En restauration, le besoin d'ECS se détermine en fonction du nombre de repas par service, du nombre de services par jour (1 ou 2 services) du type de restauration (traditionnelle ou self).

Type de restauration	Besoin annuel d'ECS en m ³ à 40 °C par repas
Self, 1 service par jour	2,52
Self, 2 services par jour	4,94
Traditionnel, 1 service par jour	6,50
Traditionnel, 2 services par jour	13,26

Grâce au tableau ci-dessus, on détermine le besoin moyen par repas. Il faut ensuite multiplier cette valeur par le nombre de repas par service pour obtenir le besoin total en m³/an.

La consommation d'énergie annuelle sera définie par le COP saisonnier et la part de l'appoint.

La figure ci-dessous les indique, par exemple, pour la zone H2c.

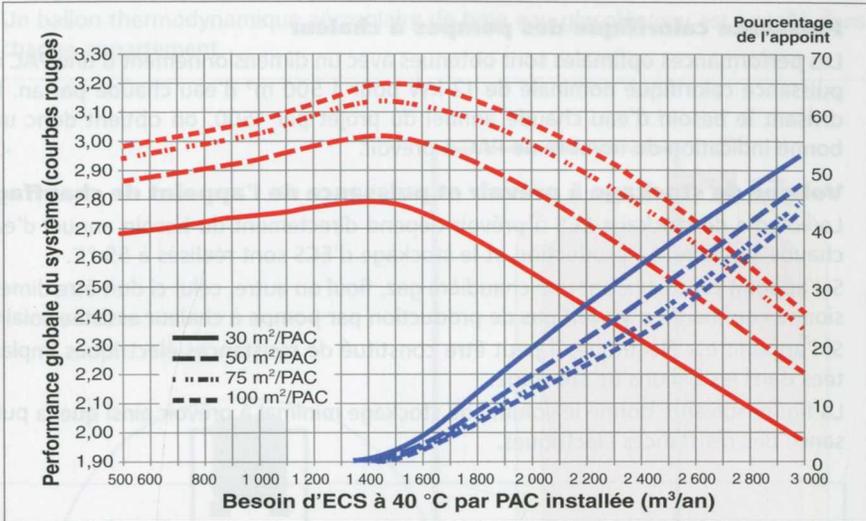


Figure 108 - COP saisonnier en restauration, zone H2c (Doc. Héliopac).

6.1.4 - Établissements sportifs

Pour les établissements sportifs, le besoin d'ECS se détermine en fonction du nombre de douches installées. Il est égal à 62,4 m³ à 40 °C par an par douche installée. La consommation d'énergie annuelle sera définie par le COP saisonnier et la part de l'appoint.

La figure suivante les indique, par exemple, pour la zone H2a.

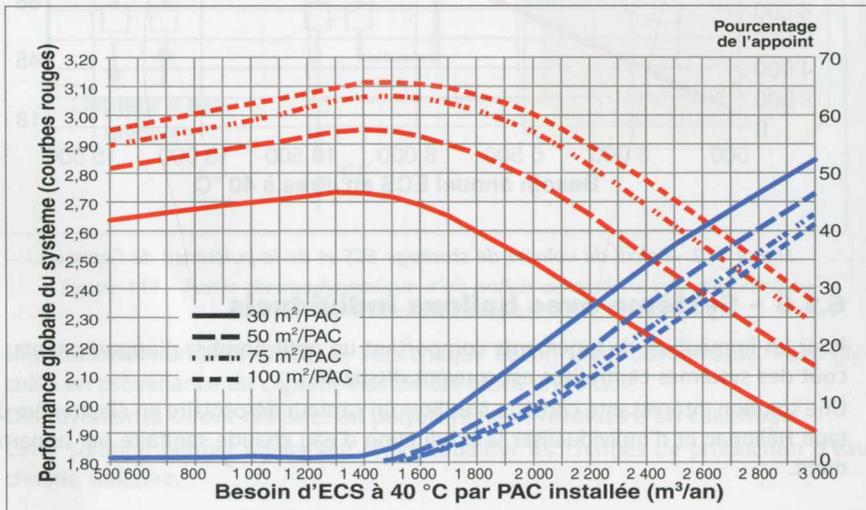


Figure 109 - COP saisonnier en établissements sportifs, zone H2a (Doc. Héliopac).

6.1.5 - Dimensionnement des équipements thermiques

Puissance calorifique des pompes à chaleur

Les performances optimales sont obtenues avec un dimensionnement d'une PAC de puissance calorifique nominale de 12 kW pour 1 500 m³ d'eau chaude par an. En divisant le besoin d'eau chaude annuel du projet par 1500, on obtient donc une bonne indication du nombre de PAC à prévoir.

Volume de stockage à prévoir et puissance de l'appoint de chauffage

Le volume de stockage ECS à prévoir dépend directement du besoin annuel d'eau chaude sanitaire. La production et le stockage d'ECS sont réalisés à 55 °C.

Si l'appoint est assuré par une chaudière gaz, fioul ou autre, celui-ci doit être dimensionné comme s'il n'y avait pas de production par pompe à chaleur assistée solaire. Si l'appoint est électrique, il peut être constitué de résistances électriques implantées dans les ballons de stockage.

La figure suivante donne le volume de stockage minimal à prévoir ainsi que la puissance des résistances électriques.

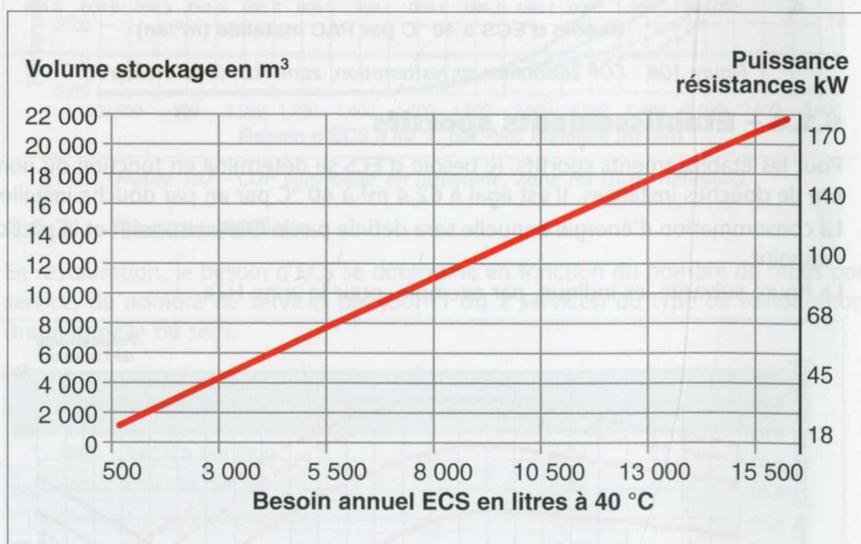


Figure 110 - Calcul du volume de stockage ECS et de la puissance de l'appoint.

6.1.6 - Système avec ballons individuels

Pour les immeubles de logements comportant un petit nombre d'appartements, le coût des systèmes centralisés est souvent dissuasif.

Une solution intéressante consiste à utiliser un capteur aérosolaire en élastomère du type Héliopac et d'individualiser la production d'eau chaude sanitaire par appartement.

Une clôture énergétique peut aussi être installée à la place du capteur élastomère. Un ballon thermodynamique aérosolaire de type eau glycolée/eau est installé dans chaque appartement.

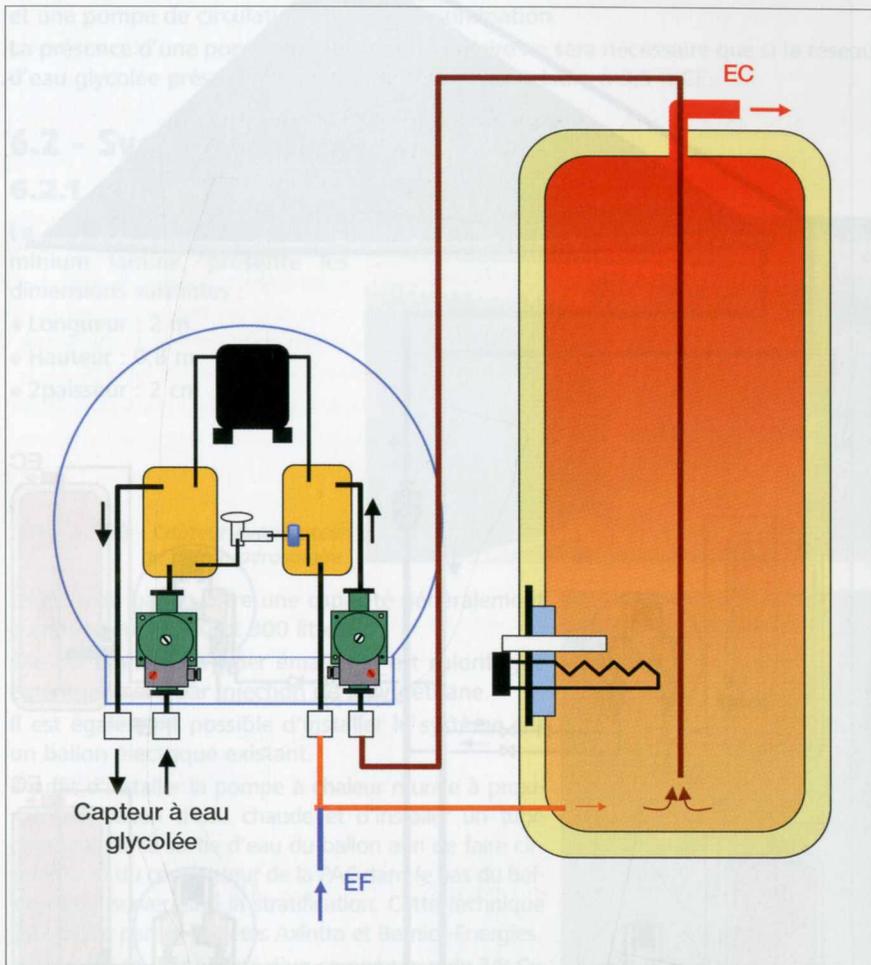


Figure 111 - Partie thermodynamique d'un ballon aérosolaire eau glycolée/eau (doc. Bernier Energies).

Une colonne montante distribuée, vers chaque ballon thermodynamique, l'eau glycolée en provenance du capteur élastomère placé en toiture.

Ces tuyauteries seront réalisées en polyéthylène et revêtues d'un calorifuge.

Cette solution permet également d'individualiser les charges de production d'eau chaude sanitaire.

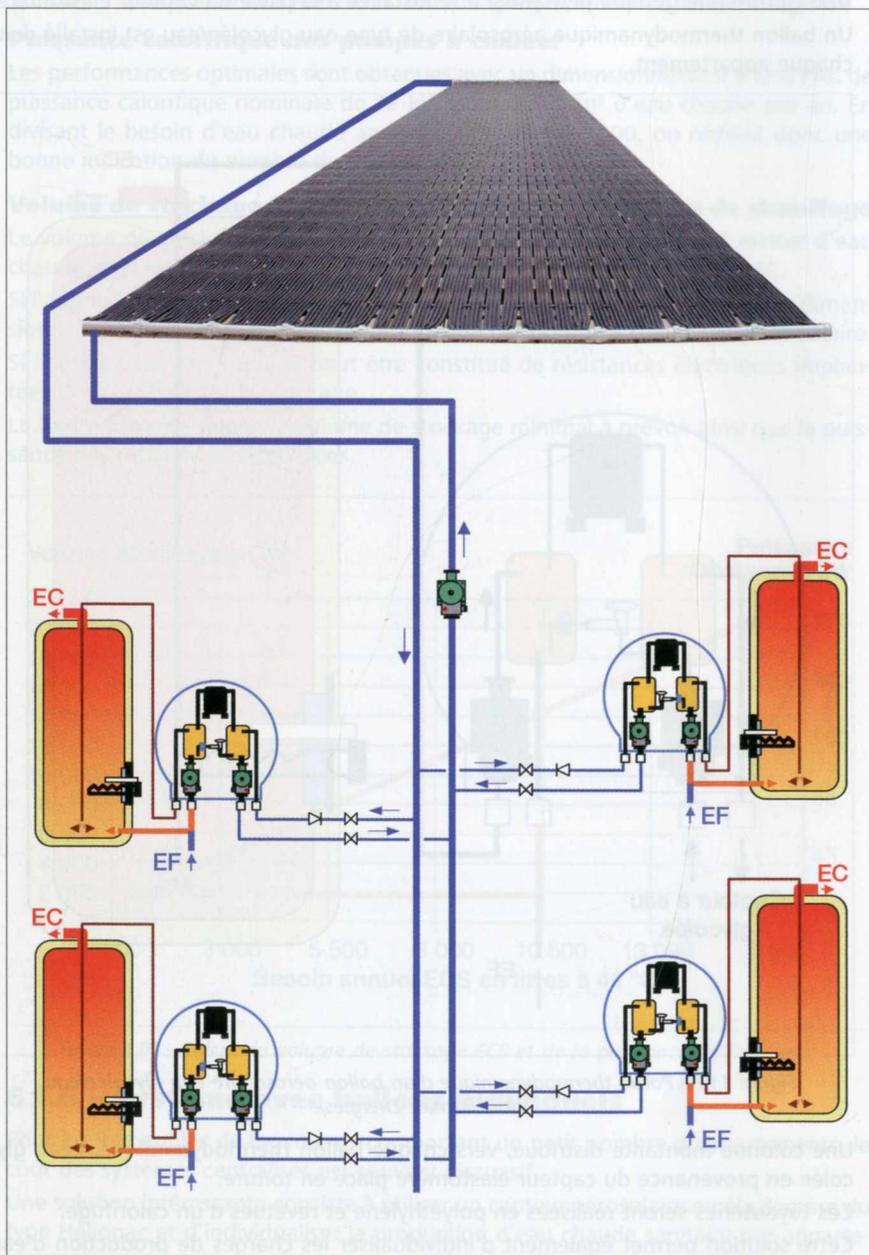


Figure 112 - Schéma de principe d'une production d'ECS aérosoilaire décentralisée.

Un autre intérêt réside dans le fait qu'un bouclage sur le circuit d'ECS n'est plus nécessaire, avec à la clé de substantielles économies d'énergie.

Chaque circuit de ballon comporte un clapet de retenue, deux vannes d'isolement et une pompe de circulation à basse consommation.

La présence d'une pompe de circulation primaire ne sera nécessaire que si le réseau d'eau glycolée présente une perte de charge supérieure à 3,5 mCE.

6.2 - Système Axergie

6.2.1 - Chauffe-eau individuel

Le capteur évaporateur, en aluminium laminé, présente les dimensions suivantes :

- Longueur : 2 m
- Hauteur : 0,8 m
- Epaisseur : 2 cm



Figure 113 - Capteur évaporateur de ballon aérosolaire.

La cuve du ballon offre une capacité généralement comprise entre 200 et 300 litres.

Elle est réalisée en acier émaillé et est calorifugée extérieurement par injection de polyuréthane.

Il est également possible d'installer le système sur un ballon électrique existant.

Il suffit d'installer la pompe à chaleur murale à proximité du ballon d'eau chaude et d'installer un tube plongeur sur la sortie d'eau du ballon afin de faire circuler l'eau du condenseur de la PAC dans le bas du ballon et conserver ainsi la stratification. Cette technique est utilisée par les sociétés Axintra et Bernier-Energies.

Le chauffe-eau est équipé d'un compresseur de 3/8 Cv. L'organe de détente utilisé est un détendeur thermostatique, qui permet d'adapter le fonctionnement aux périodes avec et sans soleil.

Un thermostat pré-réglé en usine à 55 °C est installé dans le ballon. Son rôle est de mettre en service le compresseur, qui est le seul organe mécanique avec le circulateur classe A de 25 W. Il est prévu une sécurité de température (ou de haute pression) au refoulement du compresseur.



Figure 114 - Chauffe eau aérosolaire mural (doc. Bernier Energies).

6.2.2 - Installation du chauffe-eau individuel

Le capteur évaporateur sans vitrage sera placé en toiture ou en mur de façade. On laissera un espace de 5 cm à 15 cm entre le capteur et le support pour favoriser la libre circulation de l'air sur la face arrière du capteur.

La figure 113 représente un capteur évaporateur de chauffe-eau thermodynamique installé sur un mur. Le capteur est relié au bloc thermodynamique mural par deux tuyauteries préchargées en fluide frigorigène et équipées de raccords automatiques à opercule. Les deux tuyauteries sont froides, il n'est donc pas nécessaire de les calorifuger sur leur parcours extérieur (on pourra toutefois le faire sur le parcours intérieur, pour éviter la condensation).

Le ballon s'installe à proximité du bloc mural, ce peut être un chauffe-eau électrique standard. Le raccordement hydraulique du bloc thermodynamique au ballon s'effectue comme sur la figure 111 : un tube en PE plongeant du départ ECS vers le fond du ballon aspire l'eau qui est ensuite chauffée dans le condenseur double enveloppe du bloc thermodynamique. L'eau chauffée est ensuite réinjectée en partie basse du ballon. Un kit comportant le tube plongeur (à couper à hauteur) est livré avec le système.

Le groupe de sécurité (à prévoir sur l'alimentation d'eau froide) sera raccordé sur le réseau d'eaux usées.

6.2.3 - Applications ECS tertiaire

Diverses réalisations ont été effectuées par Axergie dans le secteur tertiaire :

- Maisons de retraite,
- Campings,
- Villages de vacances,
- Casernes,
- Écoles,
- Centres de balnéothérapie,
- Hôpitaux,
- Hôtels,
- Restaurants.



Figure 115 - Chauffe-eau aérosoleaire de grande capacité (camping) (doc. Axergie).



Figure 116 - Capteurs évaporateurs d'un chauffe-eau de 3 000 litres (doc. Axergie).

Les capteurs évaporateurs des chauffe-eau aérosolaires étant réalisés en aluminium, ils peuvent être cintrés et ainsi épouser des formes particulières comme cela a été le cas pour un village de vacances situé sur l'île de Ré où plusieurs abris arrondis enferment trois ballons d'eau chaude aérosolaires. Le capteur est cintré pour suivre la forme du bâtiment.



Figure 117 - Ballons aérosolaires en village de vacances doc. Axergie).

6.3 - Convecteur aérosolaire ECS

Le convecteur aérosolaire, tel qu'il est décrit au chapitre 3.2 trouve également son application en production d'eau chaude sanitaire.

Le groupe monobloc extérieur assure le chauffage de l'eau d'un circuit fermé qui transmet la chaleur à un ballon d'eau chaude comportant un échangeur intégré.

Ce système est apprécié des plombiers-chauffagistes car il ne demande que des liaisons hydrauliques et ne nécessite pas d'intervention sur le circuit frigorifique.

Les ballons d'eau chaude sont des ballons standards du commerce qui peuvent, du coup, se remplacer aisément.

Il est également possible d'installer le système sur un ballon électrique existant. Il suffit d'installer un tube plongeur sur la sortie d'eau du ballon afin de faire circuler l'eau du condenseur de la PAC dans le bas du ballon et conserver ainsi la stratification. Dans ces conditions, le circuit de la PAC ne comprend pas d'antigel et toutes précautions seront prises afin d'éviter le gel en cas de coupure de courant par temps très froid.

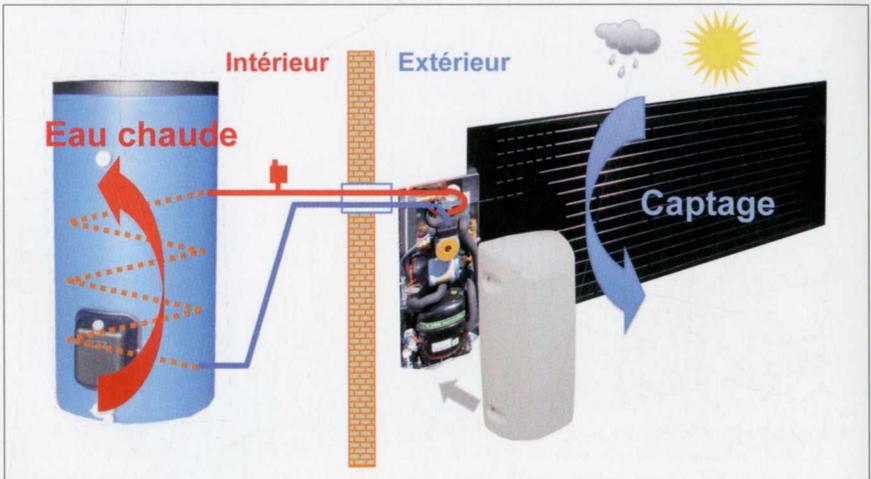


Figure 118 - Schéma de principe convecteur aérosolaire en production d'ECS (doc. Bernier Energies).



Les capteurs solaires sont réalisés en aluminium, les peintures soignées et sont conçus pour durer longtemps. Ils sont conçus pour être installés sur un toit ou un mur. Ils sont conçus pour être installés sur un toit ou un mur. Ils sont conçus pour être installés sur un toit ou un mur.

2.2 - Convecteur aéro-solaire EC

Le convecteur aéro-solaire est un appareil qui permet de chauffer l'air de la pièce où il est installé. Il est composé d'un capteur solaire et d'un convecteur. Le capteur solaire est un panneau qui absorbe l'énergie solaire et la transforme en chaleur. Le convecteur est un appareil qui permet de chauffer l'air de la pièce où il est installé. Il est composé d'un capteur solaire et d'un convecteur. Le capteur solaire est un panneau qui absorbe l'énergie solaire et la transforme en chaleur. Le convecteur est un appareil qui permet de chauffer l'air de la pièce où il est installé.



7.1 - Couplage capteurs solaires et géothermie

7.1.1 - Géothermie intégrée, procédé Dupraz

La géothermie intégrée est un procédé qui a été développé par Michel Dupraz en 2006. Elle utilise un double captage :

- Un capteur solaire ou une pile énergétique à l'extérieur,
- Une réserve enterrée régénérable.

Elle fonctionne sur les mêmes principes que la géothermie classique ou l'aérothermie : l'énergie est captée à l'extérieur puis restituée à l'intérieur du bâtiment à une température plus élevée grâce à une pompe à chaleur eau glycolée/eau.

La réserve régénérable enterrée est constituée par un réseau de tubes en PEHD placé dans des couches poreuses de sable ou de graviers, l'ensemble étant enterré à 1,5 m environ sur une bûche.

7 - LES SYSTÈMES HYBRIDES

1^{er} cas : si l'apport calorifique du capteur naturel extérieur est inférieur au besoin en chauffage, l'excédent est restitué à la réserve enterrée, par élévation de sa température.

2^{ème} cas : si l'apport calorifique du capteur naturel extérieur est supérieur au besoin, c'est la réserve rechargeable enterrée qui fournit la chaleur manquante. Même en période hivernale extrême, le système reste très performant (COP annuel moyen > 4). Au plus froid, la température de la réserve rechargeable enterrée reste de 0°C, tout en produisant une immense quantité d'énergie (80 calories par gramme d'eau transformée en glace).

Ce procédé est bien adapté aux régions froides.



Figure 119 - Principe de la géothermie intégrée Dupraz

7 - LES SYSTÈMES HYBRIDES

7.1 - Couplage capteurs solaires et géothermie

7.1.1 - Géothermie intégrée, procédé Dupraz

La géothermie intégrée est un procédé qui a été développé par Michel Dupraz en 2006. Elle utilise un double captage :

- Un capteur solaire ou une pile énergétique à l'extérieur,
- Une réserve enterrée régénérable.

Elle fonctionne sur les mêmes principes que la géothermie classique ou l'aérothermie : l'énergie est captée à l'extérieur puis restituée à l'intérieur du bâtiment à une température plus élevée grâce à une pompe à chaleur eau glycolée/eau.

La réserve régénérable enterrée est constituée par un réseau de tubes en PEHD placé dans des couches poreuses de sable ou de graviers, l'ensemble étant enterré à 1,5 m environ sur une bâche.

Ce qui différencie la géothermie intégrée de la géothermie classique, ce sont ses sources d'approvisionnement en énergie naturelle qui sont multiples (terre, air, eau, solaire) et qui s'additionnent. Elle fonctionne selon deux modes qui alternent naturellement au gré des saisons :

1^{er} cas : si l'apport calorifique du capteur extérieur est supérieur au besoin en chauffage, l'excédent est stocké dans la réserve rechargeable enterrée, par élévation de sa température.

2^{ème} cas : si l'apport calorifique du capteur naturel extérieur est inférieur au besoin, c'est la réserve rechargeable enterrée qui fournira la chaleur manquante.

Même en période hivernale extrême, le système reste très performant (COP annuel moyen > 4). Au plus froid, la température de la réserve rechargeable enterrée reste de 0 °C, tout en produisant une immense quantité d'énergie (80 calories par gramme d'eau transformée en glace).

Ce procédé est bien adapté aux régions froides.



Figure 119 - Principe de la géothermie intégrée Dupraz.

7.1.2 – Géothermie et clôture énergétique

Le principe consiste à utiliser une clôture énergétique en plus d'un capteur enterré (horizontal ou par sondes verticales) sur le circuit de l'évaporateur de la PAC.

Au départ de l'évaporateur, deux circulateurs indépendants assurent le transfert de l'eau glycolée :

- Soit vers le capteur enterré,
- Soit vers la clôture énergétique,
- Soit vers les deux.

Lorsque la pompe à chaleur est à l'arrêt, un thermostat différentiel permet de comparer la température de la clôture à celle du capteur enterré :

- Si la température du capteur enterré est inférieure à celle de la clôture, les deux circulateurs sont en service, permettant la recharge thermique du terrain (que la PAC soit en fonctionnement ou pas),
- Si la température du capteur enterré est supérieure à celle de la clôture, le circulateur de la clôture est mis à l'arrêt, le prélèvement thermique de la PAC ne se faisant alors que sur le capteur enterré.

En fait, la clôture permet d'augmenter le COP de la PAC, essentiellement en demi-saison, ce qui correspond à la plus grande partie de la saison d'hiver. Le COP saisonnier annuel peut atteindre 5 avec ce dispositif optimisé.



Figure 120 - Étrelles (35) : capteur enterré de 800 m sur 200 m² (doc. Bernier Energies).



Figure 121 - Étrelles (35) : clôture énergétique de 24 m (doc. Bernier Energies).

Ce concept peut également s'installer :

- Pour renforcer un captage existant défaillant,
- Dans le cas où seul un petit terrain est disponible pour la géothermie.

Au cours de ces dernières années, nombre d'installations géothermiques ont été réalisées avec une surface de terrain insuffisante pour le captage, ou encore avec insuffisamment de tubes. Une clôture énergétique installée sur ces installations défaillantes permettra de résoudre le problème.

7.2 - Couplage capteurs solaires classiques et PAC

Cette technique n'a, pour ainsi dire, jamais fait l'objet de promotion par les industriels du chauffage.

Les capteurs vitrés ou sous vide ne peuvent pas être utilisés comme source froide directe d'une pompe à chaleur lorsque le soleil est absent. En effet, le vitrage est un frein au transfert de chaleur entre l'air extérieur et l'eau glycolée en circulation, il conduirait en plus à de la condensation ou du givrage entre la vitre et la plaque absorbante du capteur.

L'utilisation couplée à un stockage est cependant possible. Le capteur charge le stockage et la pompe à chaleur pourra épuiser l'énergie thermique contenue dans celui-ci jusqu'à une température supérieure à 0 °C.

C'est ce concept que propose la société Effiziento : un stockage sert de source froide à la pompe à chaleur, celui-ci étant régénéré par les capteurs solaires. Notons que dans ce principe, les capteurs solaires sont présentés en option.

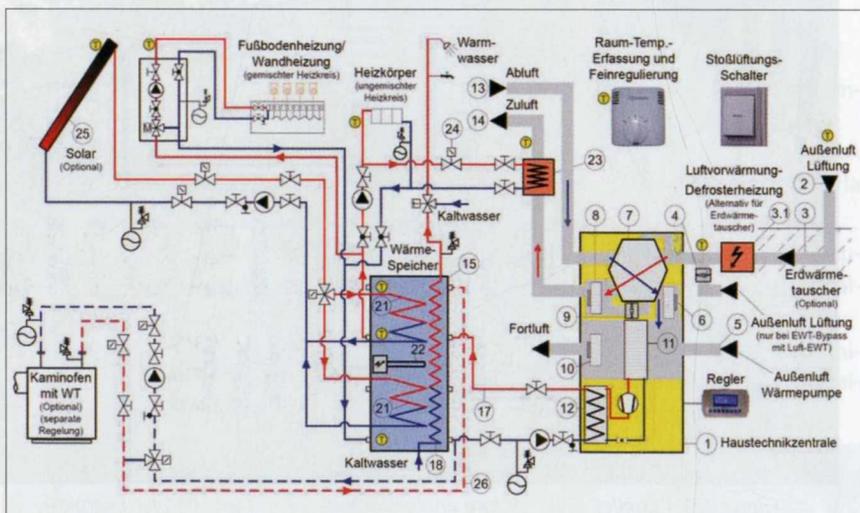


Figure 122 - Principe du couplage PAC / capteurs solaires (doc. Effiziento).

8.1 - Le parc des logements existants

Il se vend un chauffage électrique toutes les 6 secondes en France. Cela représente un marché annuel de 3,2 millions d'appareils.

L'électricité est la deuxième énergie la plus utilisée pour le chauffage (33 %) et la première pour l'eau chaude sanitaire (45,5 %).

Le secteur résidentiel compte 33 millions de logements, dont 18,6 millions de maisons individuelles, 57 % d'entre elles ont été construites avant 1975.

Aujourd'hui la consommation moyenne de chauffage des logements existants est de 210 kWh/m² an, soit 4 à 5 fois celle des logements neufs.

D'après les prévisions, cette moyenne restera plus de 10 ans à s'abaisser à 150 kWh/m² an. Le prix des énergies explose et tout indique qu'il continuera d'augmenter.

8 - ÉCONOMISONS L'ÉNERGIE

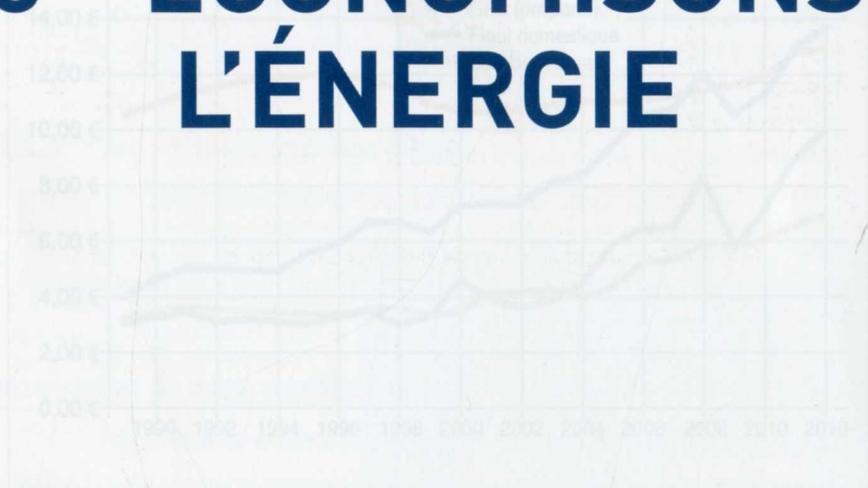


Figure 123 - Évolution des prix de l'énergie

Source : Ministère de l'écologie, du Développement durable et de l'Énergie, Service de l'observation et des statistiques (SDES)

Début 2011, à la fin d'un hiver très rigoureux, 10 % des Français déclarent avoir souffert du froid pendant au moins vingt-quatre heures dans leur logement. Le niveau de revenu mais aussi l'équipement thermique influent sur la capacité des ménages à se chauffer correctement.

Alors que faire ?

L'utilisation couplée à un stockage est cependant possible. Le capteur charge le stockage et la pompe à chaleur pourra épuiser l'énergie thermique contenue dans celui-ci jusqu'à une température supérieure à 0 °C.

C'est ce concept que propose la société Effalento : le stockage sert de source froide à la pompe à chaleur, celui-ci étant réchauffé par les capteurs solaires. Notons que dans ce principe, les capteurs solaires sont présents en continu.



Figure T22 - Principe du couplage PAC / capteurs solaires (doc. Effalento)

8.1 - Le parc des logements existants

Il se vend un chauffage électrique toutes les 6 secondes en France. Cela représente un marché annuel de 3,2 millions d'appareils.

L'électricité est la deuxième énergie la plus utilisée pour le chauffage (33 %) et la première pour l'eau chaude sanitaire (45,5 %).

Le secteur résidentiel compte 33 millions de logements, dont 18,6 millions de maisons individuelles ; 57 % d'entre elles ont été construites avant 1975.

Aujourd'hui la consommation moyenne de chauffage des logements existants est de 210 kWh/m².an, soit 4 à 5 fois celle des logements neufs.

D'après les prévisions, cette moyenne mettra plus de 10 ans à s'abaisser à 150 kWh/m².an. Le prix des énergies explose et tout indique qu'il continuera d'augmenter.

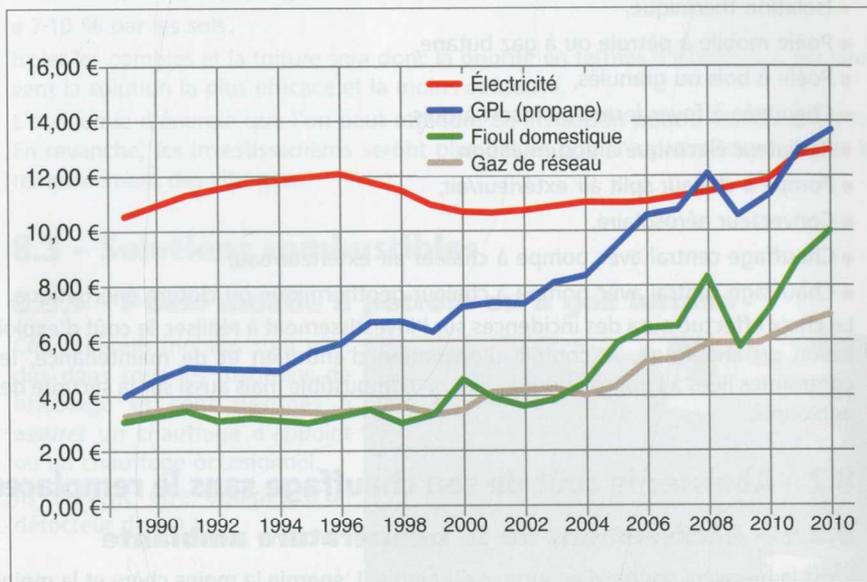


Figure 123 - Évolution des prix de l'énergie.

Source : ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie - Service de l'observation et des statistiques (SOeS).

Début 2011, à la fin d'un hiver très rigoureux, 10 % des Français déclaraient avoir souffert du froid pendant au moins vingt-quatre heures dans leur logement. Le niveau de revenu mais aussi l'équipement thermique influence sur la capacité des ménages à se chauffer correctement.

Alors que faire ?

Trois voies s'ouvrent à nous :

- Agir sur l'isolation thermique du logement,
- Jouer sur l'utilisation du chauffage,
- Modifier le système de chauffage.

Une solution intéressante consiste à effectuer un bouquet de travaux privilégiant l'isolation thermique et un système de chauffage économique et écologique. Ceci peut permettre sous certaines conditions d'obtenir un prêt à taux 0 % et un crédit d'impôt.

Dans le but d'abaisser le coût de son chauffage, le particulier opte souvent pour diverses solutions plus ou moins heureuses et coûteuses :

- Abaissement de la température ambiante,
- Isolation thermique,
- Poêle mobile à pétrole ou à gaz butane,
- Poêle à bois ou granulés,
- Cheminée à foyer fermé ou insert à bois,
- Radiateur électrique à accumulation,
- Pompe à chaleur split air extérieur/air,
- Convecteur aérosoilaire,
- Chauffage central avec pompe à chaleur air extérieur/eau,
- Chauffage central avec pompe à chaleur géothermique ou clôture énergétique.

Le choix effectué aura des incidences sur l'investissement à réaliser, le coût d'exploitation du chauffage, le confort, l'obligation d'entretien et de maintenance, les contraintes liées à l'approvisionnement en combustible mais aussi sur la sécurité des personnes.

8.2 - Abaisser le coût de son chauffage sans le remplacer

8.2.1 - Abaissement de la température ambiante

C'est la première source d'économie d'énergie. L'énergie la moins chère et la moins polluante est celle que l'on ne consomme pas.

Un abaissement de température de 1 °C permet d'économiser 7 % d'énergie.

En cas d'absence du logement, il faut baisser la température de 3 à 4 °C, et pas seulement lorsque l'on part en week-end (ceci sans couper le chauffage).

La mise hors gel à 8 °C du chauffage pourra également être réalisée mais il ne faut surtout pas arrêter la ventilation afin d'éviter condensation et moisissures.

Sans perdre de vue qu'au retour des occupants, réchauffer l'habitation demandera plus d'énergie que si on l'avait laissée à température, en raison de l'inertie de la construction. Ceci conduira à un inconfort pendant toute la période de remontée en température.

Le soir, il faut fermer volets, rideaux et persiennes afin de limiter les pertes par les fenêtres, ce sont des remparts contre le froid.

Toutes les pièces n'ont pas besoin d'être chauffées à 22 °C comme la salle de bains. Il faut adapter la température à chaque pièce : les chambres se contentent de 16 °C à 18 °C, la cuisine de 18 °C et le séjour de 20 °C.

On pourra programmer la température des pièces en fonction de l'occupation. Les convecteurs électriques possèdent souvent des moyens de programmation de température.

8.2.2 – Isolation thermique

Selon l'ADEME, la chaleur s'échappe d'une maison mal isolée :

- 30 % par les combles et la toiture,
- 25 % par les murs,
- 10-15 % par les vitres et fenêtres,
- 7-10 % par les sols.

Isoler les combles et la toiture sera donc la priorité en termes d'isolation. C'est souvent la solution la plus efficace et la moins coûteuse.

L'économie d'énergie que l'on peut attendre de l'isolation pourra atteindre 50 %. En revanche, les investissements seront plus élevés pour l'isolation des murs et le remplacement des vitrages.

8.3 – Solutions combustibles

8.3.1 – Poêle mobile à pétrole ou à gaz butane

Ces appareils mobiles sont vendus dans tous les magasins de bricolage et sont destinés à assurer un chauffage d'appoint ou un chauffage occasionnel. Ils doivent être équipés d'un détecteur de CO !



Figure 124 - Poêles à pétrole.

Il est indispensable de contrôler que les entrées d'air neuf soient suffisantes car les gaz de combustion (dioxyde de carbone et vapeur d'eau) sont évacués directement dans la pièce chauffée. Les risques pour la santé sont donc réels avec ces systèmes, il est donc recommandé de les éteindre pendant la nuit.

Contrairement aux idées reçues, le coût de ce chauffage est, à énergie équivalente, plus élevé que celui des convecteurs électriques. On ne fait donc pas d'économies, bien au contraire...

L'approvisionnement en combustible et le remplissage de l'appareil sont également des contraintes supplémentaires non négligeables.

8.3.2 – Poêle à bois ou à granulés

Les poêles sont en général installés dans la salle de séjour. On choisira de préférence un appareil labellisé Flamme Verte.

Un conduit de cheminée conforme à la réglementation est indispensable.

Il faut aussi contrôler les grilles d'entrée d'air permettant une combustion sans risque.

Il est préférable, lors de l'installation, de faire appel à un professionnel pour éviter tout risque lié à la sécurité.

Cette solution est intéressante et économique car elle peut abaisser de 30 à 50 % le coût du chauffage. Des coûts complémentaires existent cependant au niveau de l'entretien annuel lié au ramonage du conduit. On retrouve les contraintes liées à l'approvisionnement en combustible qui peut être soit du bois, soit des granulés. Il convient d'avoir un lieu de stockage à l'abri de l'humidité pour le bois ou les granulés. Les systèmes d'approvisionnement des poêles à granulés peuvent produire des nuisances acoustiques.



Figure 125 - Poêle à bois.

8.3.3 – Cheminée à foyer fermé ou insert à bois

En période de grand froid, le chauffage au bois domestique joue un rôle majeur pour l'équilibre du réseau électrique : il évite l'appel d'une puissance supplémentaire d'environ 6 500 MW et l'achat par le réseau d'un courant d'origine fossile à un prix très élevé en période de pointe.

Les inserts sont des foyers fermés conçus pour être insérés dans une structure existante, l'âtre d'un foyer de maçonnerie traditionnel.

Pour passer d'une flamme uniquement décorative à une flamme de chauffage, les inserts sont la solution idéale.

Une cheminée à foyer ouvert ne chauffe pas réellement, son rendement ne dépasse pas les 20 % : beaucoup de bois brûlé pour peu de chaleur. En installant un insert bois «Flamme Verte», le rendement passe à plus de 70 % (voire 85 % pour certains).

Le coût de l'énergie du chauffage est diminué de 30 à 50 %.

Le ramonage des conduits de fumée est obligatoire deux fois par an dans la plupart des cas, en fonction du Règlement sanitaire départemental (RSD).



Figure 126 - Insert à bois.

Les feuillus durs (chêne, hêtre, frêne, charme, noyer, fruitiers...), qui brûlent lentement, sont les plus appréciés pour le chauffage domestique. Outre l'essence du bois, son taux d'humidité est un critère essentiel pour un usage de qualité de son appareil. En effet, il intervient directement sur le contenu énergétique. Entre un bois sec prêt à l'emploi (moins de 20 % d'humidité rapportée à la masse brute) et un bois fraîchement coupé (45 % d'humidité rapportée à la masse brute), l'énergie restituée est divisée par deux !

Le bois de chauffage, fraîchement abattu, doit être stocké au minimum deux ans pour obtenir une combustion optimale.

Les émissions de monoxyde de carbone, elles, ont été divisées par 8 sur les meilleurs appareils. Sur tous les appareils Flamme Verte, la concentration est réduite à moins de 0,3 % du volume des fumées.

8.4 - Solutions électriques

8.4.1 - Radiateur électrique à accumulation

Pour présenter un intérêt, les radiateurs à accumulation nécessitent la présence d'une tarification de nuit (heures creuses) bien inférieure à celle de jour (heures pleines).

Les radiateurs électriques à accumulation consomment de l'énergie électrique la nuit en tarif heures creuses, la stockent et la restituent le jour.

Pour une déperdition thermique de 1 500 W, il faudra un radiateur à accumulation d'une puissance de $1\ 500 \times 3 = 4\ 500$ W. si on veut accumuler en 8 heures l'énergie nécessaire pour chauffer 24 h.

Cet appareil aura un poids de 200 kg minimum pour effectuer le stockage dans les briques réfractaires. La régulation électronique est complexe car il faut anticiper l'énergie à stocker : si dans la journée il fait grand soleil, on aura malgré tout une restitution inutile de chaleur.

Il n'y a aucune économie d'énergie électrique avec ce type de radiateur, bien au contraire. Tout juste une économie financière de 10 à 20 % sur la facture d'électricité en consommant en heures creuses.

Pour alimenter électriquement ces appareils, il est nécessaire que le câble d'alimentation soit de grande section et que le disjoncteur soit adapté, tout comme l'abonnement électrique.



Figure 127 - Radiateur électrique à accumulation.

8.4.2 - Pompe à chaleur split air extérieur/air

La solution la plus courante est l'installation d'une pompe à chaleur air extérieur/air de type mono-split. L'unité intérieure est placée en général en partie haute d'un mur du séjour (ou des chambres). Le groupe extérieur prélève la chaleur de l'air extérieur.

Le marché actuel est énorme avec 333 775 installations réalisées en France en 2012, dont les trois quarts en mono-split.



Figure 128 - Unité extérieure PAC air extérieur/air.

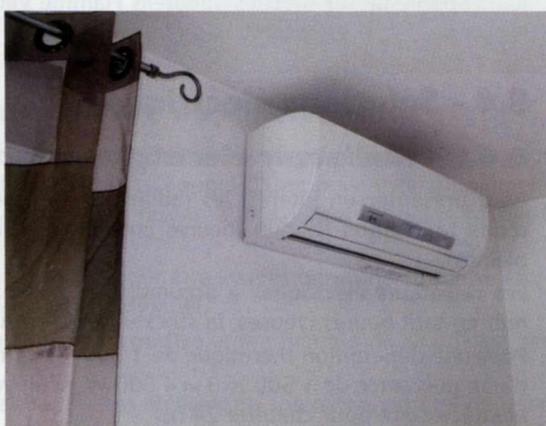


Figure 129 - Unité intérieure PAC air extérieur/air.

Ces appareils sont avant tout des équipements destinés à climatiser les locaux en été. En effet, le positionnement des unités murales en partie haute des pièces est bien adapté au rafraîchissement car l'air froid, plus lourd, descend naturellement. Il n'en est pas de même en hiver où l'air chaud, plus léger, stagne en partie haute des pièces.

De nombreuses installations conduisent à de mauvaises surprises pour l'utilisateur :

- Qualité très inégale parmi les produits présents sur le marché,
- Gêne acoustique dans les pièces chauffées en plus de celle du groupe extérieur,
- Inconfort en raison de surchauffes en partie haute des pièces et température insuffisante en partie basse (25 °C à 28 °C au plafond et 17 °C à 20 °C au sol),
- Augmentation des déperditions thermiques dues à la surchauffe en partie haute des pièces,
- Inconfort lié aux mouvements d'air,
- Economies d'énergie plus faibles que prévu (entre 15 et 40 %),
- Impact environnemental important,
- Coût d'installation relativement élevé,
- Installation exclusivement réalisée par des installateurs possédant l'agrément fluides frigorigènes,
- Entretien fréquent des filtres à air,
- Fuites de fluide frigorigène relativement fréquentes,
- Contrôle annuel d'étanchéité nécessaire conduisant à des dépenses supplémentaires,
- Produits fabriqués presque exclusivement hors Union européenne.

8.4.3 - Chauffage central avec pompe à chaleur air extérieur/eau

Ce système s'adapte essentiellement aux installations avec chauffage central existant.

Il convient tout d'abord de vérifier que les radiateurs à eau chaude installés dans chaque pièce ont une surface d'échange suffisante. Viendra ensuite l'étude de la pompe à chaleur air extérieur/eau. Il s'en est installé 52 779 unités en 2012.

Afin d'obtenir de bonnes performances avec la PAC, les radiateurs seront choisis pour chauffer avec de l'eau à 50 °C maximum. Au delà, une pompe à chaleur à haute température devient nécessaire. Celle-ci est néanmoins plus coûteuse et moins performante de 30 % qu'un modèle air/eau basse température.

Un chauffage d'appoint sera en général nécessaire pour les jours les plus froids afin de compenser la baisse de puissance de la PAC et le dégivrage.

L'économie d'énergie que l'on peut atteindre avec un tel système est variable de 30 à 50 %.

Un entretien est nécessaire pour le nettoyage de l'évaporateur et le contrôle annuel des fuites, conformément à la réglementation. Installation et entretien sont exclusivement réalisés par des installateurs possédant l'agrément fluides frigorigènes pour les appareils à deux unités.

Le choix de l'unité extérieure et son emplacement s'effectueront avec soin en raison des nuisances acoustiques qu'elle engendre.



Figure 130 - PAC air extérieur/eau.

8.4.4 - Chauffage central avec pompe à chaleur géothermique

Ce système s'adapte essentiellement aux installations avec chauffage central existant.

Il convient tout d'abord de vérifier que les radiateurs à eau chaude installés dans chaque pièce ont une surface d'échange suffisante. Viendra ensuite l'étude de la pompe à chaleur géothermique. Il s'en est installé 6 448 unités en 2012, le marché étant en forte baisse.

Afin de permettre à la PAC d'avoir de bonnes performances, les radiateurs seront choisis pour chauffer avec de l'eau à 50 °C maximum.

Figure 129 - Unité extérieure
PAC air extérieur/eau

Figure 129 - Unité intérieure PAC air extérieur/eau

En ce qui concerne le captage de l'énergie, celui-ci sera assuré de préférence par un capteur à eau glycolée qui pourra être soit :

- Un capteur enterré horizontal,
- Des capteurs corbeilles,
- Des sondes verticales.

Le choix du captage s'effectuera en fonction des possibilités du terrain, du terrassement et aussi du prix de capteur. Il est rare de pouvoir installer des capteurs horizontaux dans l'existant, faute de terrain disponible.

Le chauffage d'appoint pour les jours les plus froids ne sera en général pas nécessaire avec ces systèmes.

L'économie d'énergie que l'on peut atteindre est importante et varie de 60 à 75 %.



Figure 131 - Sonde géothermique sur forage vertical.

8.4.5 - Solution de pompe à chaleur assistée solaire

Elle est étudiée en détail dans cet ouvrage, aux chapitres suivants :

- Clôture énergétique,
- PAC à capteurs évaporateurs,
- Convecteur aérosolaire,
- PAC et capteurs élastomère.

Le choix du capteur est fonction de la température de l'air ambiant et de la température de l'eau de chauffage. Les capteurs sont classés en fonction de leur température de fonctionnement. Les capteurs sont classés en fonction de leur température de fonctionnement. Les capteurs sont classés en fonction de leur température de fonctionnement.

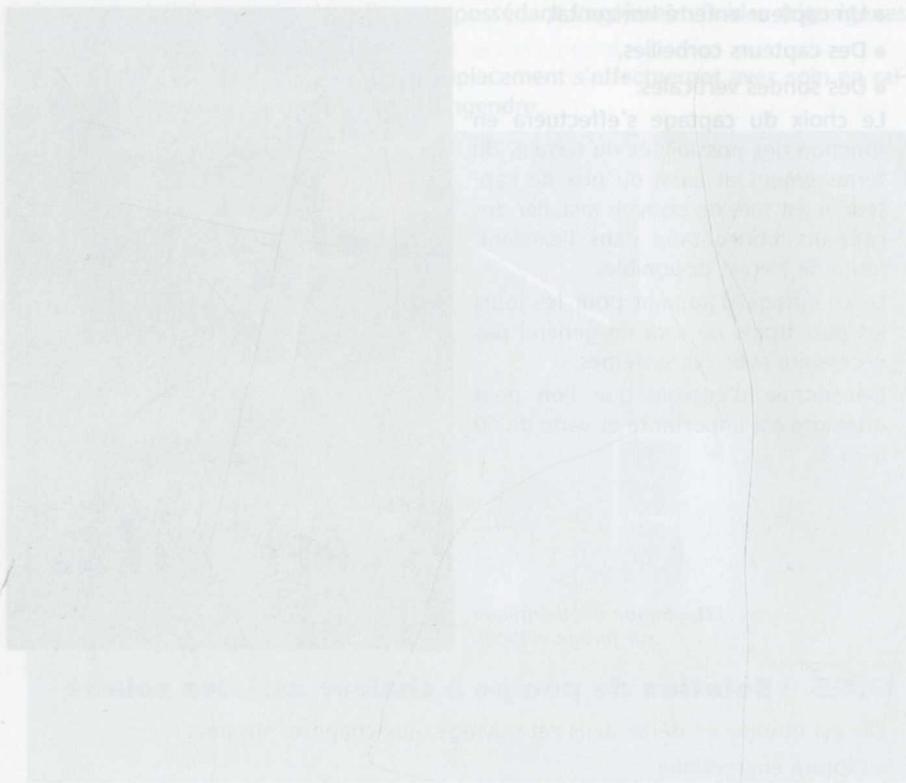


Figure 130 - PAC air extérieur de 3kW - 021 wgw

4.4.4 - Chauffage central avec pompe à chaleur géothermique

Ce système est adapté aux installations aux températures élevées et moyennes.

Il convient tout d'abord de vérifier que les radiateurs ont une surface d'échange suffisante. Viendra ensuite l'étude de la pompe à chaleur géothermique. Il y en a 5 443 unités en 2012, le marché étant en forte hausse.

Afin de permettre à la PAC d'avoir de bonnes performances, les radiateurs seront choisis pour chauffer avec de l'eau à 50 °C maximum.

Livres

- « La pompe de chaleur mode d'emploi, par J. Bernier, Editions Pye Livres, 1983.
- « La pompe de chaleur mode d'emploi, par J. Bernier, Editions Pye Livres, 1983.
- « Itinéraire du frigoriste, par J. Bernier, Editions Pye Livres, 1983.
- « Chauffage et rafraîchissement par pompe à chaleur, par J. Bernier, Editions Pye Livres.
- « Solaire actif et passif, par C. Cardonnel, 1983, Les Editions Eyrolles.

Sites internet

- « bernier-energies.fr, ines.solaire.free.fr, heliopac.fr, ademe.fr, meteo-france.fr
- Météo Chailles Pwik : jnj41.com

9 -

Études, articles revues

- « Les pompes à chaleur, source ADEME.
- « Des pompes à chaleur, source ADEME.
- « Irradiation solaire en France par SOLARGIS.
- « Guide eau chaude solaire ADEME.
- « La pompe à chaleur dans l'individuel, une solution : La PAC solaire, par J. Bernier, R.P.F. octobre 1983.
- « Le point sur les pompes à chaleur, par J. Bernier, R.P.F. mai 1978.
- « Le chauffe-eau solaire thermodynamique, valoriser les apports solaires, par J. Bernier, Bâtiment Energie N° 22, septembre 1982.
- « Marché du chauffage électrique, source Planetoscope.
- « Eau chaude et chauffage électrique, source CEREN.
- « Facteurs d'émission de CO₂ pour les combustibles, les chiffres ADEME, 2005.
- « Surcoût du chauffage, source Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Énergie (SDES).
- « Inconfort dû au froid dans les logements, source Commissariat général au Développement durable, service de l'observation et des statistiques.
- « Statistiques sur les intoxications avec les appareils de chauffage, source Direction générale de la santé, sous direction de la Prévention des risques liés à l'environnement et à l'alimentation.

BIBLIOGRAPHIE

Livres

- **La pompe de chaleur mode d'emploi**, par J. Bernier, Pyc Editions 1979 tome 1,
- **La pompe de chaleur mode d'emploi**, par J. Bernier, Pyc Editions 1981 tome 2,
- **Itinéraire du frigoriste**, par J. Bernier, 1992/1993 et 2004, Editions Pyc Livres,
- **Chauffage et rafraîchissement par pompe à chaleur**, par J. Bernier, 2008 Editions Pyc Livres,
- **Solaire actif et passif**, par C. Cardonnel, 1983, Les Editions Parisiennes.

Sites internet

- bernier-energies.fr, ines.solaire.free.fr, heliopac.fr, ademe.fr, meteofrance.fr
Météo Chailles Piwik : jmj41.com

Études, articles revues

- **Logiciel CALSOL** développé par INES.
- **Dossiers techniques Axergie**, Héliopac, Bernier Energies.
- **Irradiation solaire en France** par SOLARGIS.
- **Guide eau chaude solaire** ADEME.
- **La pompe à chaleur dans l'individuel, une solution** : La PAC solaire, par J. Bernier, R.P.F. octobre 1983.
- **Le point sur les pompes à chaleur**, par J. Bernier, R.P.F. mai 1978.
- **Le chauffe-eau solaire thermodynamique, valoriser les apports solaires**, par J. Bernier, Bâtiment Energie N° 22, septembre 1982.
- **Marché du chauffage électrique**, source Planetoscope.
- **Eau chaude et chauffage électrique**, source CEREN.
- **Facteurs d'émission de CO₂ pour les combustibles**, les chiffres ADEME, 2005.
- **Surcoût du chauffage**, source Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie (SOEs).
- **Inconfort dû au froid dans les logements**, source Commissariat général au développement durable, service de l'observation et des statistiques.
- **Statistiques sur les intoxications avec les appareils de chauffage**, source Direction générale de la santé, sous direction de la Prévention des risques liés à l'environnement et à l'alimentation.

- Le chauffage au bois : un moyen efficace pour réduire les pointes de consommations électriques (Syndicat des énergies renouvelables).
- Flamme Verte, label de qualité des appareils de chauffage au bois pour la maison.
- Rénovation : quels critères pour choisir sa PAC ? par J. Bernier, Revue Chaud Froid Performance N° 725, juillet 2009.
- Marché des PAC : Thermpress N° 723 du 11 février 2013.
- Convecteur aérosolaire au propane : une solution économe en énergie, par J. Bernier et A. Galmard, Colloque Pôle Cristal du 8 octobre 2012.
- Capteurs atmosphériques et pompe à chaleur : valoriser le rayonnement solaire en hiver, colloque Pôle Cristal des 7-8 octobre 2010, J. Bernier.
- Convecteur aérosolaire : valoriser le rayonnement solaire en hiver, par Jacques Bernier et Alain Galmard : Revue générale du Froid, septembre 2012.
- Comment chauffer sa maison pour moins cher, par Alain Galmard et Jacques Bernier : revue Chaud Froid Performance, mars 2013.

Qui est Jacques Bernier ? C'est avant tout un chef d'entreprise, un architecte et un pionnier qui a dépensé beaucoup de son énergie à faire fonctionner, créer, fabriquer et former à de nombreuses reprises.

Pour mieux connaître l'auteur, voici les quelques lignes de son parcours, même si la description peut paraître fastidieuse (à moins, bien sûr, d'être un spécialiste de la lire !).

Jacques Bernier a effectué des études de 1960

• 1960 : BTS Frigoriste LTE Raspail

• 1960 : Diplôme d'ingénieur en Physique du Froid du CNRS (ce diplôme d'ingénieur portera sur les pompes à chaleur assistées solaires, voir le chapitre de cet ouvrage).

Des 1973, il consacre sa vie professionnelle à la pompe à chaleur et s'implique. Il présente la première méthode de calcul de la puissance de la pompe à chaleur du Cote d'Azur et de la Corse.

Son parcours est jalonné par de nombreuses réalisations, notamment dans le domaine du chauffage. Pas vraiment un homme du froid, pas vraiment un spécialiste chaud : tout est au milieu.

À partir de 1975, il publie ses articles sur les pompes à chaleur dans la Revue Générale du Froid, l'Électrotechnique, l'Institut Français de l'Énergie, et en publiant également des livres techniques sur le sujet.

Il a été quelque temps expert judiciaire en froid, mais sa véritable vocation reste la création et la fabrication de nouveaux matériels, principalement autour de l'économie d'énergie et de la protection de l'environnement.

C'est un bonheur, il créera et sera à la tête de plusieurs entreprises de fabrication de pompes à chaleur, comme Asergie, Airpar, et Bernier Énergies.

10.1 - Publications

Il publie son premier article sur les pompes à chaleur en 1974 dans la Revue Générale du Froid.

Entre 1975 et 2013, près d'une centaine d'articles techniques viendront dans la Revue Pratique du Froid, Chaud Froid Plomberie, L'Électrotechnique, Les Cahiers Techniques du Bâtiment, la revue CVC de l'AICTE, etc.

Il participe à de nombreuses conférences sur les pompes à chaleur, les calorifères, les déshumidificateurs thermodynamiques, le froid chimique, la récupération et la substitution des fluides frigorigènes.

« Le chauffage au bois : un moyen efficace pour réduire les pointes de consommations électriques (Syndicat des énergies renouvelables).

« Flamme Verte, label de qualité des appareils de chauffage au bois pour la maison.

« Rénovation : quels critères pour choisir sa PAC ? par J. Bernier, Revue Chaud Froid Performance N° 725, juillet 2009.

« Marché des PAC : Thermopress N° 723 du 11 février 2013.

« Convecteur aérosoleaire au propane : une solution économe en énergie, par J. Bernier et A. Galmard, Colloque Pôle Cristal du 8 octobre 2012.

« Capteurs atmosphériques et pompe à chaleur : valoriser le rayonnement solaire en hiver, colloque Pôle Cristal des 7-8 octobre 2010, J. Bernier.

« Convecteur aérosoleaire au propane et pompe à chaleur assistée solaire un duo gagnant, par Jacques Bernier et Alain Galmard, Colloque Pôle Cristal du 8 octobre 2012.

« Comment chauffer sa maison pour moins cher, par Alain Galmard et Jacques Bernier.

10-À PROPOS DE L'AUTEUR



Qui est Jacques Bernier ? C'est avant tout un chef d'entreprise, un «rebelle» et un pionnier qui a dépensé beaucoup de son énergie... pour l'économiser, créer, fabriquer et former à de nouveaux procédés.

Pour mieux connaître l'auteur, voici les grandes lignes de son parcours, même si la description peut paraître fastidieuse (de toute façon vous n'êtes pas obligés de la lire !).

Jacques Bernier a effectué des études de froid :

- **1968** : BTS Frigoriste LTE Raspail
- **1980** : Diplôme d'Ingénieur en Physique du Froid du CNAM et de l'IFFI (la thèse d'ingénieur portera sur les pompes à chaleur assistées solaires, c'est-à-dire le titre de cet ouvrage).

Dès **1973**, il consacre sa vie professionnelle à la pompe à chaleur et à l'innovation. Il présente la première méthode de calcul de consommations des PAC au congrès du Comité Français d'Electrothermie à Versailles.

Son parcours atypique d'ingénieur frigoriste le mènera à s'occuper presque exclusivement de chauffage. Pas vraiment un homme du froid, pas vraiment un homme du chaud : tout juste entre les deux.

À partir de **1977**, il partage ses connaissances en assurant les formations sur les pompes à chaleur, la récupération et le remplacement des fluides frigorigènes à l'IFE (Institut Français de l'Energie), et en publiant également des livres techniques sur le sujet.

Il a été quelque temps expert judiciaire en froid, mais sa véritable vocation reste la création et la fabrication de nouveaux matériels, principalement autour de l'économie d'énergie et de la protection de l'environnement.

C'est un bossueur. Il créera et sera à la tête de plusieurs entreprises de fabrication de pompes à chaleur, comme Axergie, Airpac, et Bernier Energies.

10.1 - Publications

Il publie son premier article sur les pompes à chaleur en 1974 dans la Revue Générale du Froid.

Entre 1975 et 2013, près d'une centaine d'articles techniques suivront dans la Revue Pratique du Froid, Chaud Froid Plomberie, L'installateur, Les Cahiers Techniques du Bâtiment, la revue CVC de l'AICVF, etc.

Il participe à de nombreuses conférences sur les pompes à chaleur, les caloducs, les déshumidificateurs thermodynamiques, le froid chimique, la récupération et la substitution des fluides frigorigènes.

On retiendra aussi ses livres techniques (dont vous avez le dernier entre les mains !) :

- **1979 : LA POMPE DE CHALEUR MODE D'EMPLOI Tome 1** : de la théorie à la pratique (372 pages). Préface de Maxime Duminil (directeur du laboratoire de l'IFFI). Ce livre est un ouvrage de base sur les pompes de chaleur. Calcul des cycles thermodynamiques, rendement énergétique, coefficients de performances, technologie, calcul des consommations, divers types de pompes de chaleur, méthodes de sélection, entretien, dépannage... (Pyc Editions).
- **1981 : LA POMPE DE CHALEUR MODE D'EMPLOI Tome 2** : applications pratiques (572 pages). Ce livre est un ouvrage pratique traitant des applications des pompes de chaleur (Pyc Editions).
- **1983 : AIDE MEMOIRE DU THERMICIEN**. Rédaction de la partie de l'ouvrage traitant des pompes de chaleur.
- **1992/1993 et 2004 : ITINERAIRE DU FRIGORISTE**. Manuel d'intervention (232 pages). Préface d'André Gac (Directeur de l'IIF). Il s'agit d'un manuel pratique traitant du dépannage et de l'entretien des installations frigorifiques, de la récupération pratique des CFC, de la substitution des fluides frigorigènes, et aussi des aspects énergétiques du froid (Editions Pyc Livres).
- **2004 : LA POMPE A CHALEUR - Déterminer, installer, entretenir** (256 pages). Préface de Roger Casari (ingénieur conseil). Cet ouvrage traite du principe des pompes à chaleur, du choix du système en fonction de l'effet de serre, des techniques de calculs, des règles d'installation, des critères de bon fonctionnement (Editions Pyc Livres).
- **2008 : CHAUFFAGE ET RAFFRAICHISSEMENT PAR POMPE A CHALEUR** (260 pages). Préface de Jean-Louis Bal (directeur de l'ADEME). Cet ouvrage complète le précédent en y intégrant les évolutions technologiques (Editions Pyc Livres).

Depuis 1979...



... à aujourd'hui

Figure 132 - Les livres édités de 1979 à 2008.

- 2013 : L'AEROSOLAIRE OU LA POMPE A CHALEUR ASSISTEE SOLAIRE (entre vos mains).

10.2 - Action associative

- Administrateur de l'AFF jusqu'en 2000.
- Président de la Commission nationale des pompes à chaleur de 1996 à 2000. Il assurera la coordination (et l'écriture partielle) des 6 guides techniques sur les pompes à chaleur édités par l'AFF et EDF en 1998.
- Secrétaire de l'association ADPM (Association des pompes à chaleur et des machines à froid, ex club Crin) de 1995 à 2000.
- Membre de la commission pompes à chaleur de l'IIF jusqu'en 2002,
- Membre de l'AICVF et de l'AFF,
- Administrateur du Pôle Cristal, CRT froid climatisation de Dinan (22).

10.3 - Inventer et entreprendre

Sur la base, notamment, de ses 72 brevets d'invention, Jacques Bernier va créer un grand nombre de produits innovants qui seront exploités par différents constructeurs, tels que les sociétés AEROPLAST, AIRPAC, ALDES, AXERGIE, BERNIER ENERGIES, CLIMASTAR, ELF, FAIVELEY, SYREC, THERECO.

10.3.1 - Pompe à chaleur double flux

Dès 1975, Jacques Bernier crée la pompe à chaleur air/air double flux et le caloduc gravitaire. Sa première exposition à Batimat lui vaudra la médaille d'or de l'innovation du salon.

Il assurera la réalisation d'une gamme de trois appareils et le suivi d'essais au laboratoire EDF les Renardières.

La société AEROPLAST exploitera la licence et deviendra en 1976 le premier constructeur de pompes à chaleur en France.

La société THERECO exploitera le procédé pour les applications tertiaires et de grande puissance.

La société ALDES développera en 2009 son procédé double flux mixte avec production d'eau chaude sanitaire.

Brevet N° 7503133 du 31 janvier 1975 : installation d'échange thermique par pompe de chaleur.

Brevet N° 0956802 du 30 septembre 2009 : installation de ventilation mécanique contrôlée de type double flux thermodynamique réversible avec production d'eau chaude sanitaire.

Brevet N° 97011540 du 15 septembre 1997 : dispositif de recyclage d'air destiné aux installations de ventilation comportant un ventilateur de recyclage et trois volets de surpression.

Brevet N° 9804006 du 17 avril 1998 : système de distribution d'air multidirectionnel intégré dans le plancher d'un bâtiment, que l'on peut coupler à un plancher chauffant.

Brevet N° 0100261 du 10 janvier 2001 : pompe à chaleur mixte chauffage et eau chaude sanitaire.

10.3.2 - Créateur de la pompe à chaleur solaire

En 1976, Jacques Bernier invente la première pompe à chaleur à capteur évaporateur solaire sans vitrage, en utilisant un évaporateur aluminium du même type que ceux utilisés dans les réfrigérateurs ménagers.



Figure 133 - Remise de la médaille de l'Académie des sciences.

Les travaux et recherches effectués sur le sujet vaudront à J. Bernier la médaille de l'Académie des Sciences en 1980.

En 1981, il recevra le prix pour l'énergie de la Société Générale remis par Raymond Barre, Premier ministre.



Figure 134 - Prix pour l'énergie remis par Raymond Barre, Premier ministre.

Figure 132 - Les livres édités de 1975

1981-1984 : Étude, conception et réalisation du procédé de chauffe-eau solaire thermodynamique.

Les procédés de chauffe-eau et chauffage solaire thermodynamiques seront industrialisés et commercialisés par sa société AXERGIE. Réalisation d'une gamme complète d'appareils. Essais aux laboratoires du CETIAT et du CSTB, essais sur site avec l'AFME.

Jacques Bernier est récompensé en 1983 par le grand prix du concours Lépine et sera également primé au salon Interclima par le prix Techniques et perspectives des Cahiers techniques du bâtiment.



Figure 135 - Remise du grand prix du concours Lépine par un directeur de l'AFME.

L'ensemble de ses travaux lui vaudra la même année les Palmes académiques et le prix de l'Institut Français de l'Energie.

Brevet N° 7624987 du 17 août 1976 : appareil pour l'utilisation de la chaleur solaire.

Brevet N° 7821575 du 20 juillet 1978 : pompe à chaleur à échangeurs statiques.

Brevet N° 7905266 du 28 février 1979 : pompe à chaleur à échangeurs statiques pour chauffage et production d'eau chaude aérosolaire.

Brevet N° 8312117 du 21 juillet 1982 : évaporateur pour une installation à boucle thermodynamique fermée (brevet exploité par la Sté AXERGIE qui a obtenu avec ce produit la médaille de bronze et le prix technique et perspectives à Interclima 1983).

Brevet N° 0850683 du 4 février 2004 : dispositif de transfert de chaleur comprenant une enceinte pré-équipée.

Brevet N° 0611047 du 15 décembre 2006 et N° 0513399 du 28 décembre 2005 : système de production de chaleur avec capteur mixte solaire et atmosphérique couplé à une pompe à chaleur.

10.3.3 – Clôture énergétique

En 2010, la clôture énergétique destinée à servir de source de chaleur aérosoilaire pour une pompe à chaleur eau glycolée/eau sera primée par une médaille d'or au concours Lépine et au salon des inventions de Genève.

Brevet N° 0704052 du 6 juin 2007 : système de capteur atmosphérique sans vitrage couplé à une pompe à chaleur.

Brevet N° 01000867 du 3 mars 2010 : système de capteur atmosphérique sans vitrage et pompe à chaleur (extension Europe).

10.3.4 – Convecteur aérosoilaire

En 2012, le convecteur aérosoilaire, commercialisé par Bernier Energies, obtiendra le grand prix et une médaille d'or au salon des inventions de Genève.

Brevet N° 2010 02263 du 28 mai 2010 : système de chauffage avec pompe à chaleur monobloc extérieure à capteur évaporateur.

Brevet international (Europe, Chine, etc.)



Figure 136 - Quelques lauriers...

10.3.5 – Capteurs solaires

Brevet N° 7829836 du 19 octobre 1978 : capteur solaire gonflable.

Brevet N° 7905266 du 28 février 1979 : appareil pour l'utilisation de la chaleur solaire (capteur solaire à caloduc).

Brevet N° 9215786 du 28 décembre 1992 : dispositif de captation solaire à capteur stockeur souple.

10.3.6 – Pompe à chaleur chimique

De 1990 à 1991 : étude, réalisation et essais, pour la société Faiveley, d'un prototype de machine frigorifique à réaction chimique $MnCl_2/NH_3$. Etude de la partie thermodynamique, définition des échangeurs, conception d'un logiciel de commande et régulation, réalisation d'un pilote et des prototypes assurant la réfrigération de camions réfrigérés à $- 22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

En 1993, pour ELF Aquitaine : étude de faisabilité, dimensionnement et chiffrage d'un climatiseur Stelf 50 kW type COP2 (3 sels $CaCl_2$, $MnCl_2$, $BaCl_2/NH_3$) avec transferts thermiques par caloducs superposés.

Brevet N° 9109498 du 26 juillet 1991, brevet international PCTFR9200736 : système de refroidissement de réacteurs utilisant un seul échangeur extérieur.

Brevet N° 9109499 du 26 juillet 1991, brevet international PCTFR9200735 : système de chauffage de réacteurs utilisant une seule source chaude.

Brevet N° 9208618 du 10 juillet 1992 : réacteur de machine frigorifique chimique ou à adsorption.

Brevet N° 9209026 du 22 juillet 1992 : dispositif de production de froid indirecte par évaporation condensation d'un fluide.

Brevet N° 0307918 du 30 juin 2003 : pompe à chaleur à sorption solide/gaz comportant un échangeur unique par réactif et des transferts thermiques par fluides biphasiques.

10.3.7 – Caloduc

En 1976 : étude et réalisation du récupérateur de chaleur double flux à caloduc gravitaire RX pour Aeroplast (80 000 appareils fabriqués sous licence de 1975 à 1982) et pour Thereco.

En 1992 : étude et réalisation pour Faiveley du système de refroidissement de la tour du char Leclerc. Le système a été retenu par GIAT et a été équipé 200 chars.

La technologie brevetée proposée a permis de diviser par deux le coût du système de refroidissement.

En 1993 : étude pour le CNET d'un nouveau système de climatisation des centraux téléphoniques utilisant un climatiseur split-system, comportant un dispositif économiseur par caloduc à distance.

Brevet N° 7503133 du 31 janvier 1975 : caloduc gravitaire (brevet exploité par Aeroplast et Thereco).

Brevet N° 8007511 du 1^{er} avril 1980 : installation d'échanges thermiques à circuits multiples d'évaporation condensation.

Brevet N° 9200281 du 14 janvier 1992 : caloduc à circuits superposés.

Brevet N° 9201865 du 19 février 1992 : caloduc à mélange zéotropique de fluides.

10.3.8 – Récupération des CFC

La récupération des fluides frigorigènes a inspiré à J. Bernier plusieurs technologies simples, faisant appel au refroidissement de la bouteille de récupération afin d'accélérer le transfert.

Brevet N° 9105233 du 29 avril 1991, brevet international PCTFR9200378 : installation de transfert de fluide frigorigène des installations frigorifiques par pompe à chaleur.

Brevet N° 9206830 du 5 juin 1992 : appareil portatif de récupération des CFC à adsorption ou réaction chimique.

10.3.9 – Autres systèmes frigorifiques et pompes à chaleur

Brevet N° 7424788 du 17 juillet 1974 : pompe de chaleur à inversion de cycle.

Brevet N° 7609961 du 6 avril 1976 : procédé et installation de séchage d'un fluide gazeux (brevet exploité par la société Thereco).

Brevet N° 79400508.2 européen du 18 juillet 1979 : installation de chauffage d'une pièce d'habitation par pompe à chaleur.

Brevet N° 8106498 du 27 mars 1981 : pompe à chaleur air/eau.

N° 8204664 du 17 mars 1982 : pompe à chaleur à évaporateur enterré et condenseur noyé (première pompe à chaleur sol/sol à capteur cuivre plastifié).

Brevet N° 8702358 du 20 février 1987 : conception d'une pompe à chaleur à capteurs enterrés. Brevet N° 8516897 du 13 novembre 1985 : pompe à chaleur réversible assurant la climatisation d'une pièce et la production d'eau chaude sanitaire.

Brevet N° 8712205 du 8 décembre 1987 : pompe à chaleur monobloc avec réserve d'eau chaude et d'eau glacée.

Brevet N° 9012975 du 19 octobre 1990 : installation de déshumidification par pompe à chaleur et caloducs.

Brevet N° 9401059 du 1^{er} février 1994 : dispositif de production de froid économiseur d'énergie, autonome ou intégrable dans le circuit des machines frigorifiques.

Brevet N° 95014528 du 8 décembre 1995 : dispositif de déshumidification par pompe à chaleur.

Brevet N° 95014527 du 8 décembre 1995 : dispositif de stockage mobile de chaleur ou de froid.

Brevet N° 96013930 du 13 novembre 1996 : dispositif de production de froid économiseur d'énergie intégrable dans le circuit des pompes à chaleur et fonctionnant suivant le principe du caloduc à distance.

Brevet N° 96013929 du 13 novembre 1996 : chauffe-eau thermodynamique à capteur enterré.

Brevet N° 96013928 du 13 novembre 1996 : installation de chauffage d'une pièce d'habitation par pompe à chaleur.

Brevet N° 97002660 du 4 mars 1997 : dispositif de désurchauffe des gaz refoulés par le compresseur d'une pompe à chaleur comprenant des moyens d'échange thermique entre deux circuits de condensation (sol/sol).

Brevet N° 97001861 du 24 septembre 1997 : dispositif de régulation de plusieurs zones de chauffage des installations de pompe à chaleur (sol/sol).

Brevet N° 9803546 du 23 mars 1998 : échangeur de chaleur à enveloppe externe en tube plastique.

Brevet N° 98004946 du 17 avril 1998 : dispositif de remplissage des installations hydrauliques.

Brevet N° 0014090 du 2 novembre 2000 : procédé et dispositifs de commande d'un moteur alternatif à deux enroulements d'induit.

Brevet N° 0014756 du 14 novembre 2000 : échangeur de chaleur comportant une enveloppe externe en tube plastique.

Brevet N° 0102113 du 15 février 2001 : capteur géothermique oblique.

Brevet N° 0108438 du 22 juin 2001 : échangeur de chaleur ou de froid démontable en queue de cochon.

Brevet N° 0110014 du 26 juillet 2001 : pompe à chaleur à dispositif de ventilation de sécurité pour fluides toxiques ou inflammables.

Brevet N° 0307918 du 30 juin 2003 : dispositif thermique économiseur d'énergie anti-légionellose et anti-bactérien.

Brevet N° 0308151 du 3 juillet 2003 : échangeur de pompe à chaleur récupérateur de la chaleur d'un liquide comportant un ou plusieurs serpentins installés dans un bac.

Achévé d'imprimer par Timedian à Villejust
Dépôt légal : octobre 2013

Jacques Bernier

L'aérosolaire ou la pompe à chaleur assistée solaire

Le captage aérosolaire consiste en l'utilisation du soleil et de l'air extérieur comme source froide d'énergie pour l'évaporateur d'une pompe à chaleur. Il utilise des capteurs froids, sans vitrage.

Il s'agit d'un captage atmosphérique qui permet de récupérer la chaleur solaire, la chaleur sensible et latente de l'air extérieur, l'effet du vent et celui de la pluie et du brouillard.

Le but de l'aérosolaire est d'optimiser la récupération de chaleur en s'affranchissant des problèmes de dégivrage liés en hiver à la captation de l'énergie de l'air extérieur.

Le nom aérosolaire a été créé par Jacques Bernier, auteur de cet ouvrage.

En 1976, Jacques Bernier invente la pompe à chaleur à capteur évaporateur sans vitrage et dépose son premier brevet en utilisant un évaporateur aluminium du même type que ceux utilisés dans les réfrigérateurs ménagers.

En 2010, il développe et fait breveter une clôture énergétique destinée à servir de source de chaleur aérosolaire pour une pompe à chaleur eau glycolée/eau. Ce procédé sera primé par une médaille d'or au concours Lépine et au salon des inventions de Genève. Le système, très largement décrit dans cet ouvrage, s'adapte essentiellement au chauffage de la maison individuelle.

Puis 2011 voit l'apparition du convecteur aérosolaire. Ce système breveté est une pompe à chaleur monobloc avec capteur atmosphérique intégré qui remplace les convecteurs et les chauffe-eau électriques dans l'habitat existant. Son principe de fonctionnement et ses applications sont également développés dans ce livre. Jacques Bernier, ingénieur frigoriste, dépositaire de nombreux brevets, a consacré sa vie professionnelle à la pompe à chaleur. Il est l'auteur de nombreux ouvrages dont «*Itinéraire du frigoriste*» et «*Chauffage et rafraîchissement par pompe à chaleur – déterminer, installer, entretenir*».



édité par
PYC LIVRES www.edipa.fr

