
Projet pilote
Domaine pompe à chaleur

Remplacement du chauffage électrique par une installation PAC air/eau (pompe à chaleur)

Etude réalisée par le bureau
CONTI & ASSOCIÉS Ingénieurs SA
17, quai de Versoix – CP 428
CH - 1290 VERSOIX
qui est le seul responsable du contenu.

Sur mandat et avec le soutien de
l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)
et
le Service cantonal de l'énergie de Genève
(ScanE)

Mai 2004

Rapport final

Remplacement du chauffage électrique par une installation PAC air/eau (pompe à chaleur)

Valider les prévisions d'énergie
consommée pour le chauffage

Vérifier la rentabilité et le confort
pour l'utilisateur

Comptabiliser les économies
d'énergie

Effectué sur mandat de

l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)
M. F. Rognon

le Service cantonal de l'énergie de Genève
(ScanE)
M. J. Van der Maas

Un projet du bureau

CONTI & ASSOCIÉS Ingénieurs SA
17, quai de Versoix – CP 428
1290 Versoix
e-mail : e.conti@conti-ingenergy.ch
M. E. Seoane

mené en collaboration avec

Les SIG
Services Industriels de Genève
Chemin Château-Bloch 2 – CP 2777
1211 Genève 2
M. A. Sculati

0. RESUME

Le chemin des Pluviers se situe à Plan-les-Ouates (GE). Les propriétaires ont une association des habitants du chemin des Pluviers : l'ASPLU.

Dans ce quartier, 13 villas ont été construites en 1985 et leur production de chaleur était assurée au moyen de radiateurs électriques directs.

Les locataires n'étaient pas satisfaits de leur système de chauffage électrique à cause des factures élevées d'électricité, du manque de confort dû à la mauvaise répartition de la chaleur et du manque d'eau chaude sanitaire (ECS). Ils ont donc décidé de demander de l'aide au ScanE (Service Cantonal de l'Energie) pour étudier les possibilités de changement de système de chauffage.

Suite à l'approche de l'ASPLU auprès du ScanE, un groupe d'étude a été composé entre l'OFEN (Office Fédéral de l'Energie), le ScanE, les SIG (Services Industriels de Genève) et le bureau d'ingénieurs Conti.

Une étude a été réalisée et il en a résulté que la meilleure solution était le remplacement du chauffage électrique par une installation PAC (pompe à chaleur).

Une offre globale des SIG pour l'ensemble du projet a été faite à 8 propriétaires et 7 d'entre eux ont accepté cette offre (dont un à Bernex). Cette offre permet de proposer aux propriétaires une installation " clé en main ", qui comprend entre autre un engagement des SIG sur la qualité de l'installation et le prix de l'énergie et un respect des coûts.

Les travaux ont été réalisés pendant l'été et l'automne 2000.

Le bureau d'ingénieur Conti s'est occupé d'analyser les performances des 6 installations des Pluviers pendant trois ans (2001, 2002 et 2003). Les résultats et conclusions font l'objet du présent rapport.

Table des matières

0. RESUME.....	1
1. OBJECTIFS ET METHODE	4
1.1 PRÉAMBULE	4
1.2 OBJECTIFS.....	4
2. STATISTIQUES DE CONSOMMATION.....	5
2.1 ANCIENNES CONSOMMATIONS	5
2.2 RELEVÉS DE CONSOMMATION POUR 2001 ET 2002.....	5
2.3 CALCULS DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES.....	9
3. ANALYSE DE FONCTIONNEMENT DES PAC	11
3.1 NOTE SUR LA BIVALENCE DE L'INSTALLATION	11
3.2 PERFORMANCES DES PAC	11
3.3 ÉVOLUTIONS DES CONSOMMATIONS DE CHALEUR.....	11
4. ANALYSE DES PANNES ET ANOMALIES	13
5. RENTABILITE FINANCIERE	14
6. L'EXPLOITATION VUE DE L'UTILISATEUR	16
7. IMPACT ENVIRONNEMENTAL	17
8. AMELIORATIONS POSSIBLES	18
8.1 AMÉLIORATION DU SUIVI	18
8.2 AMÉLIORATION DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES VILLAS	18
9. CONCLUSIONS.....	19
9.1 CE QUI A ÉTÉ RÉALISÉ	19
9.2 BUT FUTUR	19
10. ANNEXES	20
11. REFERENCES	21
12. REMERCIEMENTS	22

Sommaire des tableaux

Tableau 1 : Consommations de chaleur avant la rénovation en 1999.....	5
Tableau 2 : Statistiques de production de chaleur par les PAC en 1999, 2001 à 2003	6
Tableau 3 : Statistiques de consommation d'électricité par les PAC en 2001.....	6
Tableau 4 : Statistiques de consommation d'électricité par les PAC en 2002.....	6
Tableau 5 : Statistiques de consommation d'électricité par les PAC en 2003.....	7
Tableau 6 : Statistiques de consommations électriques en 1999, 2001 à 2003.....	7
Tableau 7 : Statistiques de nombre d'heures et d'enclenchements en 2001 par les PAC.....	7
Tableau 8 : Statistiques de nombre d'heures et d'enclenchements en 2002 par les PAC.....	8
Tableau 9 : Statistiques de nombre d'heures et d'enclenchements en 2003 par les PAC.....	8
Tableau 10 : COPA constructeur et mesuré de 2001 à 2003 pour les PAC des Pluviers (Ge) .	9
Tableau 11 : Economies annuelles réalisées en 2001 à 2003 pour chaque villa suivie.....	14
Tableau 12: Choix des propriétaires concernant le matériel de suivi	16
Tableau 13 : Energie prélevée à l'environnement en 2001	17
Tableau 14 : Energie prélevée à l'environnement en 2002	17
Tableau 15 : Energie prélevée à l'environnement en 2003	17

1. OBJECTIFS ET MÉTHODE

1.1 PRÉAMBULE

Le projet de suivi de 7 installations de pompes à chaleur air/eau s'inscrit dans le cadre du programme national Suisse Energie de l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN). Ce programme vise à stimuler la production de chaleur à basse température par des pompes à chaleur. Le suivi s'inspire de la méthode de projet ANIS (analyse in-situ). Le Service Cantonal de l'Energie (SCANE) contribue au projet.

Le bureau Rhyner Energie suit le fonctionnement d'une installation à Bernex et de deux au Pluviers, tandis que le bureau d'ingénieurs Conti suit les quatre restantes des Pluviers. Les statistiques relevées par les deux bureaux sont envoyées au bureau Hubacher Engineering qui interprète toutes les statistiques des PAC dans le cadre du programme d'analyse in situ (ANIS) à l'échelle fédérale.

Le projet de rénovation du chauffage des villas des Pluviers à Plan-les-Ouates (GE) se déroule en 5 phases résumées ci-après.

L'identification et le diagnostic font partie de la phase 1. La production par PAC avec distribution hydraulique est en mesure de **remplacer le chauffage électrique direct et de diminuer les coûts d'exploitation**.

Des conditions de financement attractives ont convaincu les propriétaires de l'opportunité de changer leur chauffage électrique direct. Le cahier des charges pour la mise en soumission correspond à la phase 2.

L'exécution des travaux, en phase 3, est terminée depuis décembre 2000. Ces travaux ont révélé la nécessité pour le client d'avoir un interlocuteur unique pour la coordination et un chauffagiste rigoureux pour la tenue du planning. La réalisation de la **distribution hydraulique a pris 80% du temps et 60% de l'investissement**. Le reste est alloué à la fourniture et l'introduction de la PAC dans la villa, son interconnexion et le raccordement électrique.

Un rapport intermédiaire après mise en service et réception finale a été rédigé à la fin des travaux, en phase 4.

Les installations ont été suivies en 2001, 2002 et 2003 pendant la phase 5 pour vérifier la **diminution de la consommation électrique de plus de 60%** par rapport à la situation initiale de 1999.

1.2 OBJECTIFS

Selon les préoccupations des intervenants, il est défini trois objectifs pour le suivi :

- Valider les prévisions d'énergie consommée pour le chauffage (préoccupation du concepteur).
- Vérifier la rentabilité et le confort pour l'utilisateur (préoccupation du propriétaire).
- Comptabiliser les économies d'énergie (préoccupation du législateur).

Le rapport fait le bilan et l'analyse énergétique des installations après deux années de fonctionnement sur la base des statistiques relevées par les propriétaires et de l'interprétation par le programme du bureau Hubacher Engineering (**Annexes 2 à 5**).

2. STATISTIQUES DE CONSOMMATION

2.1 ANCIENNES CONSOMMATIONS

Les 6 habitations suivies se situent dans un lotissement de 13 propriétés datant de 1985 localisées au chemin des Pluviers à Plan-les-Ouates (Ge).

Les habitations étaient initialement chauffées par des radiateurs électriques directs (9 à 12 radiateurs), de faible investissement.

L'ancien équipement de chauffage entraîne les inconvénients suivants :

Une facture élevée d'électricité.

Une mauvaise répartition de la chaleur.

Un manque de chaleur pour l'eau chaude sanitaire (ECS) lié au bouilleur électrique trop petit.

Les consommations sont illustrées dans le **Tableau 1** sur la base des relevés des SIG et d'estimations de l'ingénieur:

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Consommation d'ECS (estimée) [kWh]	2'838	4'176	4'176	3'007	2'171	?
Consommation de chauffage (estimée) [kWh]	18'498	9'053	14'054	11'916	5'983	?
Consommation totale mesurée [kWh]	21'336	13'229	18'230	14'923	8'154	?

Tableau 1: Consommations de chaleur avant la rénovation en 1999.

Les consommations antérieures de la villa n°17 sont indisponibles, les locataires étant arrivés au cours de 1999.

La consommation de la villa n°14 est 3 fois moindre que la consommation habituelle car, en 1999, le propriétaire chauffait souvent sa maison avec sa cheminée au bois.

2.2 RELEVÉS DE CONSOMMATION POUR 2001, 2002 ET 2003.

Les compteurs d'énergie sont localisés entre le stock de chaleur et le distributeur hydraulique (voir le schéma hydraulique en **Annexe 1**).

Les statistiques montrent que les 6 propriétaires ont relevé régulièrement les données de fonctionnement de leur installation. Les fichiers des **Annexes 2 à 5** décrivent les relevés effectués. Les paramètres observés sont :

- La production de chaleur des PAC.
- La consommation électrique des PAC en tarif haut.
- La consommation électrique des PAC en tarif bas.
- Le nombre d'heures de fonctionnement.
- Le nombre d'enclenchements.

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Consommation totale mesurée en 1999 [kWh/a]	21'336	13'229	18'230	14'923	8'154	?
Production annuelle de chaleur en 2001 [kWh/a]	20'304	17'399	19'738	13'976	16'871	16'533
Production annuelle de chaleur en 2002 [kWh/a]	18'034	13'329	22'366	13'817	19'153	16'526
Production annuelle de chaleur en 2003 [kWh/a]	19'091	14'596	24'667	14'604	17'426	-

Tableau 2: Statistiques de production de chaleur par les PAC en 1999, 2001 à 2003

La production de chaleur par la PAC (**Tableau 2**) concerne le bouilleur ECS et le chauffage, sauf dans le cas de la villa n°10 où elle n'est destinée qu'au chauffage.

Il n'y a pas de données pour la villa n°17 en 2003, car les propriétaires sont partis durant une très longue partie de cette année et n'ont donc pas pu faire les relevés.

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Consommation en tarif haut [kWh/an] ¹	3'822	2'174	4'512	2'268	3'577	3'540
Consommation en tarif bas [kWh/an] ¹	3'548	4'098	5'574	2'443	3'342	2'883
Consommation totale [kWh/an] ¹	7'370	6'272	10'086	4'711	6'919	6'422
Coût en tarif haut [Fr.-/an] avec 27.76 cts/kWh ¹	1'061	603	1'253	630	993	983
Coût en tarif bas [Fr.-/an] avec 8.58 cts/kWh ¹	304	538	478	210	287	247
Coût total [Fr.-/an] ¹	1'365	1'141	1'731	840	1'280	1'230

Tableau 3: Statistiques de consommation d'électricité par les PAC en 2001

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Consommation en tarif haut [kWh/an] ¹	3'455	1'838	3'661	2'164	3'630	3'678
Consommation en tarif bas [kWh/an] ¹	3'186	3'655	5'139	2'400	3'328	3'220
Consommation totale [kWh/an] ¹	6'641	5'493	8'800	4'564	6'958	6'898
Coût en tarif haut [Fr.-/an] avec 27.76 cts/kWh ¹	959	510	1'016	601	1008	1021
Coût en tarif bas [Fr.-/an] avec 8.58 cts/kWh ¹	273	314	441	206	286	276
Coût total [Fr.-/an] ¹	1'232	824	1'457	807	1'294	1'297

Tableau 4: Statistiques de consommation d'électricité par les PAC en 2002

¹. Les données sont ramenées à 365 jours de saisie pour être comparables d'une villa à l'autre.

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Consommation en tarif haut [kWh/an] ¹	3'902	2'264	4'687	2'494	3'306	-
Consommation en tarif bas [kWh/an] ¹	3'398	4'085	5'078	2'582	2'995	-
Consommation totale [kWh/an] ¹	7'300	6'349	9'765	5'076	6'301	-
Coût en tarif haut [Fr.-/an] avec 27.76 cts/kWh ¹	1'083	629	1'301	692	918	-
Coût en tarif bas [Fr.-/an] avec 8.58 cts/kWh ¹	292	351	436	222	257	-
Coût total [Fr.-/an] ¹	1'375	970	1'737	914	1'175	-

Tableau 5: Statistiques de consommation d'électricité par les PAC en 2003

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Consommation totale mesurée en 1999 [kWh/a]	21'336	13'229	18'230	14'923	8'154	?
Consommation totale relevée en 2001 [kWh/a] ¹	7'370	6'272	10'086	4'711	6'919	6'422
Consommation totale relevée en 2002 [kWh/a] ¹	6'641	5'493	8'800	4'564	6'958	6'898
Consommation totale relevée en 2003 [kWh/a] ¹	7'300	6'349	9'765	5'076	6'301	-

Tableau 6: Statistiques de consommations électriques en 1999, 2001 à 2003

Nous remarquons que la consommation d'électricité (**Tableau 6**) est diminuée de plus de moitié dans la plupart des cas par rapport aux consommations antérieures de 1999.

Pour la villa n°14 la consommation électrique n'est que peu diminuée, ceci vient du fait que ses occupants se chauffaient beaucoup à l'aide de leur cheminée (économies d'électricité !) et depuis l'installation de la PAC l'utilisation de la cheminée a été nettement réduite car le confort et le peu de dépenses (par rapport aux chauffage électrique) apportées par la PAC sont plus qu'intéressantes.

Nous avons donc une consommation électrique plus importante due au fait de la diminution d'utilisation de la cheminée par la PAC, mais une réduction du coût par rapport au chauffage électrique due au fait que le tarif PAC est plus avantageux.

Ceci démontre bien toutes les qualités de la PAC qui sont principalement le coût réduit et le confort pour le propriétaire.

Concernant la villa n°10, la faible consommation d'électricité par la PAC est due au fait qu'il ne l'utilise que pour le chauffage et pas pour l'ECS.

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Heures de fonctionnement [h]*	**	1'901***	3'176	1'607	2'657	2'618
Enclenchement []*	**	3'219***	5'042	3'602	5'481	6'070

Tableau 7: Statistiques de nombre d'heures et d'enclenchements en 2001 par les PAC

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Heures de fonctionnement [h]*	5'615	1'572	2'720	1'506	2'209	3'789
Enclenchement []*	2'002	7'473	4'048	3'858	5'478	7'136

Tableau 8: Statistiques de nombre d'heures et d'enclenchements en 2002 par les PAC

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Heures de fonctionnement [h]*	5'287	1'867	2'915	1'696	1'993	-
Enclenchement []*	2'229	9'512	2'287 ¹	3'557	5'165	-

Tableau 9: Statistiques de nombre d'heures et d'enclenchements en 2003 par les PAC

*. Les données sont ramenées à 365 jours de saisie pour être comparables d'une villa à l'autre.

** Relevés impossibles pendant 198 jours à cause de compteurs en panne ou mal raccordés

*** Données intermédiaires (panne du compteur d'heures/enclenchements du 6 juin au 25 septembre 2001).

¹ Donnée intermédiaire (panne du compteur d'enclenchements dès septembre 2003)

2.3 CALCULS DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES

Les performances sont calculées sur la base des statistiques relevées. Nous nous intéressons essentiellement au coefficient de performance annuel (COPA*).

Le COP de référence (coefficient de performance) de la PAC dépend du circuit source de la chaleur, l'air "A", et du circuit d'utilisation de la chaleur, l'eau du circuit hydraulique "W".

Dans le pire des cas, c'est-à-dire en hiver (A=-7°C, chauffage de l'ECS W=55°C), le COP de référence est de 1.97.

Dans le meilleur des cas, en entre saison (A=10°C, chauffage de la maison W=35°C), le COP de référence est de 4.1.

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Production de chaleur [kWh/a] en 2001	20'304	17'399	19'738	13'976	16'871	16'533
Consommation d'électricité [kWh/a] en 2001	7'370	6'272	10'086	4'711	6'919	6'422
COPA 2001	2.76	2.77	1.96	2.97	2.44	2.57
Production de chaleur [kWh/a] en 2002	18'034	13'329	22'366	13'817	19'153	16'526
Consommation d'électricité [kWh/a] en 2002	6'641	5'493	8'800	4'564	6'958	6'898
COPA 2002	2.72	2.43	2.54	3.03	2.75	2.40
Production de chaleur [kWh/a] en 2003	19'091	14'596	24'667	14'604	17'426	-
Consommation d'électricité [kWh/a] en 2003	7'300	6'349	9'765	5'076	6'301	-
COPA 2003	2.62	2.30	2.53	2.88	2.77	-

Tableau 10: COPA mesuré de 2001 à 2003 pour les PAC des Pluviers (Ge)

En comparant les fonctionnements des PAC d'une villa à l'autre, nous relevons des variations de performance de 10% pour des PAC identiques installées dans un contexte identique (sans tenir compte du résultat de la villa n°7 en 2001 et de ceux de la villa n°10 qui n'est utilisée que pour le chauffage (sans l'ECS)).

On remarque que pour la villa n°7, le COPA a nettement augmenté en 2002 atteignant ainsi une valeur comprise dans les limites du constructeur (voir §3 et §4 pour de plus amples explications).

D'autre part, le COPA de la villa n°5 montre une baisse non négligeable passant de 2.77 à 2.43 puis à 2.30. Ceci est dû en partie à l'utilisation importante du chauffage d'appoint (cheminée, appoint électrique). Il est donc difficile de vérifier et certifier la valeur du COPA pour 2002 et 2003.

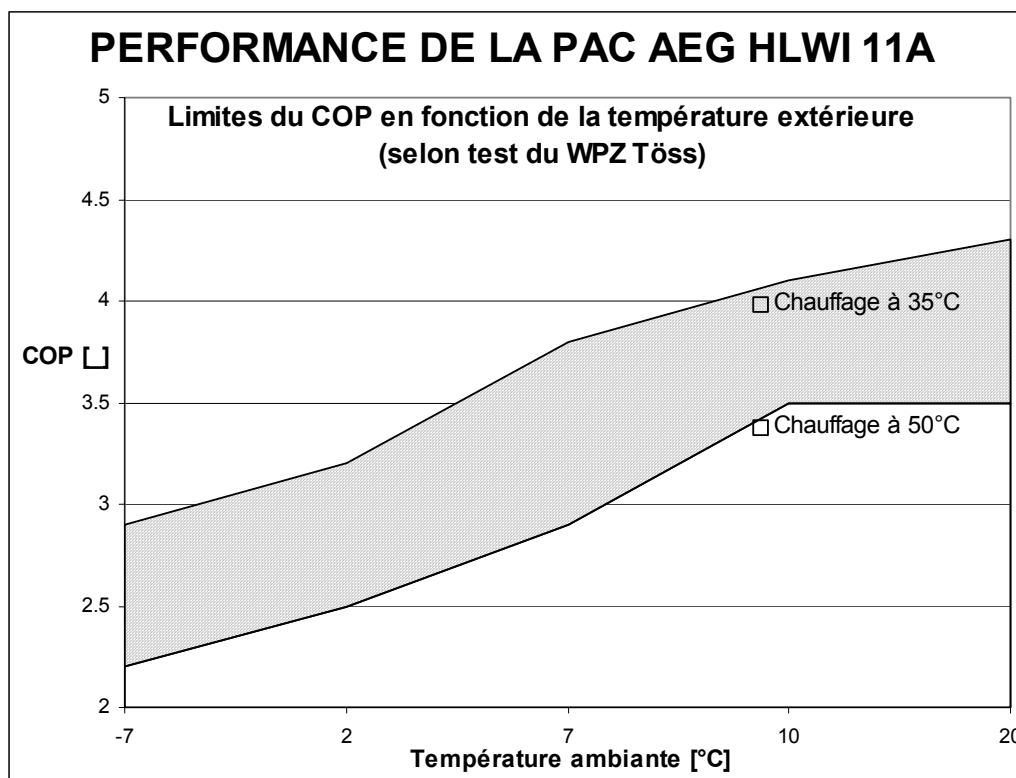
En ce qui concerne la villa n°17, cette baisse peut également s'expliquer par le fait que l'utilisation du chauffage d'appoint fausse le COPA. De plus, après avoir fait des relevés dans chaque villa, nous avons remarqué que le débit de cette villa et celui de la n°7 étaient plus faibles que les autres. Le changement de la pompe de circulation devrait apporter une amélioration non négligeable.

* Source : WPZ-Bulletin du 12 janvier 2002 : A-7/W50 ->COP=2.2 et A-7/W35 ->COP=2.9.

Nous remarquons que le fait que le propriétaire ait accès à l'appoint électrique n'est pas forcément un avantage car celui-ci peut l'enclencher quand il le souhaite et cela fausse le COPA. Ce problème apparaît dans plusieurs villas suivies.

Nous rappelons que l'appoint électrique ne sert que d'appoint au chauffage par très grand froid. Donc normalement, il ne devrait être enclenché que très rarement, voire jamais. Son enclenchement fausse le COPA.

Il est à noter la difficulté à trouver le COPA réel, car il est dépendant des niveaux de la température extérieure et du circuit hydraulique. Or ce circuit de distribution hydraulique est à 55°C au maximum pour le chauffage sanitaire et se situe à 45°C pour le chauffage des radiateurs. Les installations suivies dans le cadre du programme ANIS ont en moyenne un COPA de 2.755.



Graphique 1: Performances en stand d'essai de la PAC installée aux Pluviers.

Température Extérieure [°C]	Chauffage à 50 [°C]	Chauffage à 35 [°C]
-7	2.2	2.9
2	2.5	3.2
7	2.9	3.8
10	3.5	4.1
20	3.5	4.3

Les performances de la PAC en stand d'essai qui sont décrites dans le graphique précédent permettent de s'assurer que les machines fonctionnent normalement.

3. ANALYSE DE FONCTIONNEMENT DES PAC

3.1 NOTE SUR LA BIVALENCE DE L'INSTALLATION

Les PAC choisies par l'entreprise générale sont de type air/eau, individuelles, fonctionnant en mode bivalent avec appoint par résistance électrique.

En cas de grand froid (température extérieure $< -5^{\circ}\text{C}$), la bivalence électrique permet de compléter le chauffage par la PAC au moyen d'une résistance électrique de 2 kW.

Notons à ce propos que les mesures faites in situ par l'OFEN depuis 1995 révèlent que l'appoint est plus un secours et un soutien psychologique qu'un renforcement du manque de puissance. Vu le nombre d'heures annuelles où la température extérieure est inférieure à -5°C , l'appoint électrique ne fonctionne pratiquement jamais. L'ingénieur a commuté l'alimentation de l'appoint sur "off" au niveau du tableau électrique dans chaque villa (en informant les propriétaires) au début de la campagne de suivi début 2001 pour éviter la perturbation des consommations électriques.

3.2 PERFORMANCES DES PAC

Le bon fonctionnement de la PAC est suivi par la surveillance du COPA (voir **Annexe 2 à 5**).

En 2001, cinq des six installations fonctionnent bien démontrant un COPA compris dans les données du constructeur. En 2002, toutes les installations sont comprises dans la plage de bon fonctionnement de la PAC.

En 2001, le mauvais COPA de la PAC de la villa n°7 fait penser à un problème interne de celle-ci. Cependant, en 2002, on remarque que le COPA a nettement augmenté et est à présent conforme aux données du constructeur.

Le nombre d'enclenchements en 2001, pour les installations n°3, 5, 7, 10, 14 et 17, se situe de 10 à 16 fois par jour, tandis que la durée moyenne de fonctionnement de ces mêmes PAC est de 4.3 à 8.7 heures par jour en moyenne annuelle. Le nombre d'enclenchements se situe entre 5.5 et 20.5 fois par jour en 2002 et entre 6 et 26 en 2003, alors que l'on obtient des valeurs de fonctionnement allant de 4.1 à 15.4 heures par jour en moyenne en 2002 et de 4.6 à 14.5 en 2003. On remarque qu'en 2002 et 2003 les marges du nombre d'heures journalières de fonctionnement et d'enclenchements ont augmenté, ce qui signifie une plus importante utilisation des PAC.

Cette durée de fonctionnement montre que les installations ne souffrent pas trop d'enclenchements répétés (pendulation). Ceci montre qu'elles sont bien dimensionnées par rapport aux besoins.

Il est important de préciser que les degrés/jours ainsi que les habitudes des locataires ont une influence non négligeable sur le COPA et qu'il faut donc en tenir compte (comme explication possible) lors de changements importants dans l'évolution de l'utilisation de la PAC d'une année à l'autre.

3.3 EVOLUTIONS DES CONSOMMATIONS DE CHALEUR

Le n°3 a une consommation thermique légèrement inférieure par rapport à la situation antérieure. En effet, sa consommation passe de 21'300 kWh/a en 1999 à 20'300 en 2001, 18'000 en 2002 et 19'000 en 2003, soit une diminution de sa consommation de 5%, 16% et 11% respectivement par rapport à 1999 (chauffage électrique).

Le n°5 présente une très forte augmentation de sa consommation de chaleur puisqu'elle passe de 13'200 kWh/a en 1999 à 17'400 en 2001, puis très proche en 2002 car elle n'atteint que les 13'329 kWh/a et enfin 14'596 en 2003, soit une augmentation de 31%, 1% et 11% respectivement. Donc l'utilisation de la PAC permet globalement une augmentation du confort (plus de chaleur par le chauffage central).

Le n°7 augmente sa consommation de chaleur puisque, de 18'200 kWh/a en 1999, elle passe à 19'700 kWh/a en 2001, puis à 22'400 en 2002 (ceci malgré le fait que depuis fin 2001 cette villa comprend un apport de chaleur supplémentaire provenant du solaire passif sur la véranda) et enfin à 24'700 en 2003, soit une augmentation de 6%, 23% et 36% respectivement. De même que pour la villa n°5, mais ici plus flagrant, l'utilisation de la PAC permet globalement une augmentation du confort.

Le n°10 a une consommation thermique très légèrement inférieure par rapport à la situation antérieure. En effet, sa consommation passe de 14'900 kWh/a en 1999 à 14'000 en 2001, puis à 13'800 en 2002 et enfin à 14'600 en 2003, soit une diminution de sa consommation de 7%, 8% et 2% respectivement. Cette consommation limitée s'explique par le fait que la villa est équipée d'une véranda dont l'apport solaire passif n'est pas négligeable.

Nous relevons une très forte augmentation de la demande de chaleur chez le n°14 qui passe de 8'200 kWh/a en 1999 à 16'900 en 2001, puis à 19'150 en 2002 et à 17'450 en 2003 soit une augmentation de 106%, 134% et 113%. La consommation ancienne montre l'utilisation parcimonieuse de l'électricité pour le chauffage et l'utilisation intense de la cheminée à bois comme appoint. La nouvelle consommation de chaleur est un peu plus élevée que la norme du chauffage des villas puisque l'indice de dépense de chaleur (IDC)* est de 421 MJ/(m².a). Cette consommation s'explique par la présence d'une activité de soins para-médicaux dans cette villa.

* SRE de 167 m², facteur de correction saisonnière de l'IDC 2001 de 1.155.

4. ANALYSE DES PANNES ET ANOMALIES

Les quelques problèmes identifiés ne perturbent que faiblement la prise de statistiques et les interprétations.

Dans l'installation n°3, un problème de circulateur a stoppé le fonctionnement de la PAC durant 35 journées du 25 janvier au 28 février 2001. Dans cette même installation, le compteur d'heures est plusieurs fois remplacé au cours de l'année, la borne de raccordement ne donnant pas la tension suffisante pour activer l'incrémentation. Tout est en ordre depuis le 5 novembre 2001 mais 198 jours de mesures d'heures et d'enclenchements sont perdus.

Dans l'installation n°14, le débitmètre est posé à l'envers pendant les travaux. L'installation est en ordre à partir du 22 janvier 2001.

Un pontage "malheureux" du compteur d'enclenchements court-circuite l'installation n°7 le 26 octobre 2000, la mettant hors service pendant 1 jour.

Concernant l'installation n°7, en décembre 2001, l'installateur a dû remettre du fluide frigorigène dans le circuit de la PAC, laissant supposer à une fuite. Une mesure, avec un appareil détecteur de fuite, réalisée en novembre 2002 par le technicien du fournisseur, a démontré qu'il n'y avait aucune fuite.

Suite à cette intervention, nous avons pensé à un problème pouvant venir de la distribution, en particulier aux pompes installées. Nous avons donc pris l'initiative de faire un relevé sur toutes les villas pour essayer de déterminer d'où venait le problème de la villa n°7.

La seule explication obtenue d'après les résultats a montré que la villa n°7 avait un débit trop faible, d'où une différence de température entre l'aller et le retour trop élevée ce qui pouvait expliquer le mauvais coefficient de performance annuel (COPA).

En **janvier 2003**, la pompe de marque WILO installée dans la villa n°7 fut remplacée par une pompe de marque GRUNDFOS ayant les mêmes caractéristiques. Le résultat fut troublant car le débit passa de 0.670 à 0.930 m³/h et cela malgré le fait que la pompe WILO n'était pas endommagée!!!

Lors de l'analyse (en **février 2003**) des statistiques relevées par le propriétaire de la villa n°7, nous avons été surpris de constater que le COPA en 2002 était passé au-dessus de la barre des 2.5. Le changement de la pompe de circulation n'était donc pas nécessaire.

Nous pensons que tous les problèmes rencontrés en 2001 (arrêts de la PAC, panne du compteur, installation chauffage pour la véranda, etc...) ont eu une influence sur le bon fonctionnement et le rendement de la PAC ce qui a donné un COPA de 1.96. Il y a aussi la possibilité que l'un des occupants de la villa eut enclenché l'appoint électrique.

Nous avons reproduit la statistique globale des pannes et arrêts des 6 installations de la façon suivante :

D'après les valeurs de 2003 concernant le nombre total d'heures de marche des PAC, on peut en déduire le nombre d'heures de marche journalier. Dans notre cas, nous avons calculé en moyenne un fonctionnement de 8 heures par jour, ce qui nous donne le tableau suivant :

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Nombre d'heures de fonctionnement perdues en 2001	280	0	8	0	0	0

En 2002 et 2003 aucun arrêt de PAC est à signaler, ce qui signifie que les installations et le matériel fonctionnent correctement.

5. RENTABILITÉ FINANCIÈRE

Une simulation basée sur les données de consommation de 2001, 2002 et 2003 permet de comparer les économies annuelles par rapport à une même consommation sans PAC.

Les **Annexes 11 à 16** personnalisent ces économies pour chaque villa, ainsi que le tableau 9 ci-dessous.

L'investissement de base (PAC, travaux d'hydraulique, chauffe-eau de 300 l) est de 47'400.- La participation exceptionnelle égale à 10'000.- venant de l'OFEN ramène l'investissement pour le propriétaire à 37'400.-.

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Economies financières en 2001 de la PAC avec tarif PAC [Fr.-/an]*	2'457	2'436	1'559	1'785	2'075	2'167
Durée de retour sur l'investissement (2001) [années]**	15.2	15.4	24.0	21.0	18.0	17.3
Durée de retour sur l'investissement sans aide de l'OFEN (2001) [années]**	19.3	19.5	30.4	26.6	22.8	21.9
Economies financières en 2002 de la PAC avec tarif PAC [Fr.-/an]*	1'944	1'094	2'099	1'560	2'505	1'857
Durée de retour sur l'investissement (2002) [années]**	19.2	34.2	17.8	24.0	14.9	20.1
Durée de retour sur l'investissement sans aide de l'OFEN (2002) [années]**	24.4	43.3	22.6	30.4	18.9	25.5
Economies financières en 2003 de la PAC avec tarif PAC [Fr.-/an]*	2'075	1'225	2'566	1'663	2'286	-
Durée de retour sur l'investissement (2003) [années]**	18.0	30.5	14.6	22.5	16.4	-
Durée de retour sur l'investissement sans aide de l'OFEN (2003) [années]**	22.8	38.7	18.5	28.5	20.7	-

Tableau 11: Economies annuelles réalisées en 2001 à 2003 pour chaque villa suivie

L'économie financière, indiquée sur le tableau ci-dessus, montre quelle est l'économie réalisée par rapport à ce que chaque locataire aurait dépensé s'il utilisait encore son chauffage électrique. Le prix du kWh pour le chauffage électrique est plus élevé que celui pour la consommation électrique de la PAC, donc pour une même consommation de chaleur (pour l'année comptabilisée) on aura une économie.

En 2002, on remarque que la villa n°5 a énormément augmenté sa durée de retour d'investissement par rapport à 2001. Cela est dû au fait qu'elle a diminué considérablement son COPA et donc sa production de chaleur avec sa PAC par l'appoint électrique. En 2003, on constate une diminution de cette valeur ce qui tend à montrer que la situation s'améliore (moindre utilisation de l'appoint).

* Les données brutes sont ramenées à 365 jours de saisie pour être exploitables.

** Rapport de l'investissement par rapport à 1999 sur l'économie annuelle sans prise en compte des annuités.

Pour la villa n°7, on peut constater une diminution progressive de la durée de retour d'investissement, ce qui tend à montrer une bonne utilisation de la PAC donc a une augmentation du COPA.

Les performances sont situées dans les limites des valeurs de test en stand d'essai (Source : WPZ-Bulletin n°22 2000/01). Les économies financières des utilisateurs sont réelles.

En plus de la rentabilité venant des économies de fonctionnement, la valorisation du bien immobilier est augmentée.

6. L'EXPLOITATION VUE DE L'UTILISATEUR

L'exploitation au quotidien et les remarques des propriétaires donnent lieu aux observations suivantes:

- Les réparations des machines sont faites par les SIG dans le cadre de la garantie.
- L'augmentation de confort se traduit par une chaleur mieux répartie.
- Le bruit n'est pas ressenti car, souvent, la PAC est installée à côté de la machine à laver le linge.
- Les deux appareils se confondent du point de vue émission sonore.

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Choix concernant les compteurs de chaleur, d'heures et de nombre d'enclenchements: Reprise ou maintien en place	Reprise gratuite en échange d'un relevé mensuel pendant 3 ans (jusqu'à 2005)	Gestion par le bureau Ryhner	Les appareils seront rendus après la fin de la campagne de mesures (fin 2002)	Gestion par le bureau Ryhner	Reprise gratuite en échange d'un relevé mensuel pendant 3 ans (jusqu'à 2005)	Reprise gratuite en échange d'un relevé mensuel pendant 3 ans (jusqu'à 2005)

Tableau 12: Choix des propriétaires concernant le matériel de suivi

Les propriétaires ont signé la convention de suivi (voir l'**Annexe 12**). Ils s'engagent diversement pour la suite comme le montre le **Tableau 12**.

Le propriétaire de la villa n°7 a décidé de ne pas continuer et de rendre les appareils, alors que ceux des villas n°3 et 14 ont décidé de continuer le suivi énergétique de leur installation. Pour les villas n°5 et 10, il semblerait que les propriétaires aient choisi de continuer, la gestion de ces deux villas est prise en compte par le bureau Ryhner Energie.

7. IMPACT ENVIRONNEMENTAL

La quantification des économies d'énergie électrique donne une idée de la réussite du programme de stimulation de production de chaleur à basse température.

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Production annuelle de chaleur [kWh/an] *	20'304	17'399	19'738	13'976	16'871	16'533
Consommation d'électricité [kWh/an] *	7'370	6'272	10'086	4'711	6'919	6'422
Energie prélevée sur l'environnement [kWh/an] *	12'934	11'127	9'652	9'265	9'952	10'111

Tableau 13: Energie prélevée à l'environnement en 2001

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Production annuelle de chaleur [kWh/an] *	18'034	13'329	22'366	13'817	19'153	16'526
Consommation d'électricité [kWh/an] *	6'641	5'493	8'800	4'564	6'958	6'898
Energie prélevée sur l'environnement [kWh/an] *	11'393	7'836	13'566	9'253	12'195	9'628

Tableau 14: Energie prélevée à l'environnement en 2002

Adresses	PLUVIERS					
N°	3	5	7	10	14	17
Production annuelle de chaleur [kWh/an] *	19'091	14'596	24'667	14'604	17'426	-
Consommation d'électricité [kWh/an] *	7'300	6'349	9'765	5'076	6'301	-
Energie prélevée sur l'environnement [kWh/an] *	11'791	8'247	14'902	9'528	11'125	-

Tableau 15: Energie prélevée à l'environnement en 2003

Les besoins totaux de chaleur sont de 104'821 kWh en 2001 pour chauffer les 6 villas et leur eau chaude sanitaire, de 103'225 kWh en 2002 et de 90'384 kWh en 2003 (pour 5 villas).

Les PAC permettent l'économie d'un total de 63'041 kWh d'électricité en 2001, de 63'871 kWh en 2002 et de 55'593 kWh en 2003 (sans compter la valeur manquante de la villa n°17) (voir aussi **Tableau 6**), c'est-à-dire 60.1%, 59.1% et 61.5% du total des besoins, soit les économies prévues de 60%.

Le projet répond donc aux attentes formulées dans le contrat de suivi.

* Les données brutes sont ramenées à 365 jours de saisie pour être exploitables.

8. AMÉLIORATIONS POSSIBLES

8.1 AMÉLIORATION DU SUIVI

Le compteur de chaleur et le compteur électrique donnent les informations nécessaires pour déterminer le COP annuel. Les compteurs d'heures et du nombre d'enclenchements informent sur le comportement des PAC.

Il est possible d'améliorer le suivi en comptabilisant les consommations de l'appoint avec un 3^{ème} compteur d'heures et d'enclenchements. Un tel comptage donne la certitude du fonctionnement ou non de la résistance d'appoint pour ce système bivalent. Cela permet de calculer le COPA avec plus de précision encore. Dans le cadre de ce projet, qui s'inspire des autres suivis du programme ANIS, un tel niveau d'équipement n'est pas prévu.

Un comptage de la consommation des communs et de la consommation d'ECS peut faciliter la prise des statistiques et permet des analogies en fonction du type de consommateur. Avec cette connaissance nous pouvons estimer plus finement la rénovation d'autres villas chauffées à l'électricité. Ce comptage, peu aisé à réaliser, est estimé par l'ingénieur par relevés de la consommation estivale et extraction des consommations sanitaires sur la base du nombre de résidents.

8.2 AMÉLIORATION DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES VILLAS

Les solutions alternatives suivantes peuvent être considérées. Leur application peut diminuer la demande énergétique des villas en induisant une baisse supplémentaire de la facture.

Malgré l'orientation irrégulière des toits des villas, l'implantation de capteurs solaires sur les pans les plus exposés au soleil est possible, mais cela renchérit l'installation et augmente son retour sur l'investissement.

Le solaire passif dans une véranda, comme dans les villas n°7 et 10, est toujours possible dans les autres villas.

9. CONCLUSIONS

9.1 CE QUI A ÉTÉ RÉALISÉ

Le suivi montre un fonctionnement de six installations de PAC air/eau avec des performances et des diminutions de consommations au niveau des attentes des différents intervenants.

Les économies réalisées entre le fonctionnement avec une PAC ou sans (chauffage électrique) sont très avantageuses. Elles peuvent atteindre des sommes allant de 1'000 à 2'600 Frs par an. L'amortissement devrait se faire en moins de 23 ans globalement, sauf dans le cas de la villa n°5 qui a eu en 2002 un mauvais COPA (utilisation de l'appoint électrique et d'une cheminée), ce qui prolonge son amortissement à environ 34 ans en 2002. Mais cela s'est amélioré en 2003 passant à 30 ans et devrait encore s'améliorer dans les années à venir.

Il est important de souligner que l'aide de 10'000 Frs apportée par l'OFEN a une influence non négligeable sur l'amortissement, ce qui permet de diminuer d'environ 5 ans (25%) l'amortissement.

Globalement, les propriétaires sont très satisfaits de leur installation qui leur permet d'avoir une nette amélioration du confort et de la répartition de la chaleur et une baisse importante de leurs factures électriques.

De plus, la tarification particulière des SIG est très importante, car le prix du kWh électrique passe du simple au triple entre la nuit et la journée, ce qui permet de chauffer le bouilleur pendant la nuit et donc d'avoir une plus faible dépense électrique, d'où une économie plus importante et un retour sur l'investissement diminué. Ceci sans compter que le tarif électrique PAC est plus avantageux que celui du tarif ménage !

Rappelons que l'offre globale PAC des SIG a été un élément déterminant pour les propriétaires en ce qui concerne leur décision à faire la rénovation de leur type de chauffage, étant donné qu'il s'agissait d'offrir une installation " clé en main " comprenant un respect des coûts, un engagement sur la qualité de l'installation et sur le prix de l'énergie.

Pour une future rénovation, des solutions qui faciliteraient les travaux seraient par exemple que l'entreprise qui propose la rénovation soit le seul interlocuteur que les propriétaires aient. Le plus simple serait que cette entreprise joue le rôle de l'entreprise générale (avec ou sans sous-traitant) en assumant, bien entendu, toutes les responsabilités des travaux. De plus, un appareillage plus simple à mettre en œuvre deviendrait un gain en coût, en travail et en temps. Le plus simple est de bien étudier toutes les possibilités disponibles pour ces travaux de rénovations afin d'éviter des imprévus qui prolongeraient la durée des travaux et pourraient engendrer des dégâts pour les propriétaires.

9.2 BUT FUTUR

Vérifier le comportement de la villa n°5 et faire une isolation correcte de la tuyauterie pour éviter des pertes non négligeables de chaleur ce qui améliorerait considérablement le COPA et donc la durée de retour sur l'investissement.

Vérifier le comportement de la villa n°17, pour voir les résultats avec le changement de la pompe de circulation (pas de données en 2003).

10. ANNEXES

Annexe 1: Schéma hydraulique avec localisation des points de mesure.

Annexe 2: Glossaire FAWA

Annexe 3: Fichier de relevés de fonctionnement pour la villa n°3 et 7

Annexe 4: Fichier de relevés de fonctionnement pour la villa n°14 et 17

Annexe 5: Fichier de relevés de fonctionnement pour la villa n°5 et 10

Annexe 6: Protocole de la villa n°3

Annexe 7: Protocole de la villa n°7

Annexe 8: Protocole de la villa n°14

Annexe 9: Protocole de la villa n°17

Annexe 10: Conventions de suivi signées par chacun des propriétaires

Annexe 11: Simulation de fonctionnement et économies pour la villa n°3

Annexe 12: Simulation de fonctionnement et économies pour la villa n°5

Annexe 13: Simulation de fonctionnement et économies pour la villa n°7

Annexe 14: Simulation de fonctionnement et économies pour la villa n°10

Annexe 15: Simulation de fonctionnement et économies pour la villa n°14

Annexe 16: Simulation de fonctionnement et économies pour la villa n°17

11. RÉFÉRENCES

- 1. CONTI & ASSOCIES Ingénieurs SA: -Etude pour le remplacement du chauffage électrique, Villas des Pluviers à Plan-les-Ouates.**

12. REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à

M. Rognon de l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN),

M. Van der Maas du Service Cantonal de l'Energie (SCanE),

pour les conseils apportés lors de cette étude.

Aux propriétaires des Pluviers à Plan-les-Ouates ayant accepté l'astreinte des relevés hebdomadaires.

Le 19 mai 2004 - ES
