



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement,
des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral de l'énergie OFEN

Rapport final, 30 juin 2015

Mesures in situ sur pompes à chaleur à régulation de puissance et sur chauffe-eau pompe à chaleur

Impressum

31 juillet 2015

Mandant :

Office fédéral de l'énergie OFEN, 3003 Berne

Mandataire :

Hubacher Engineering, Tannenbergrasse 2, 9032 Engelburg

Auteurs :

Peter Hubacher (direction du projet)

Carlos Bernal (travail technique in situ)

Groupe de suivi :

Rita Kobler, Office fédéral de l'énergie OFEN

**Cette étude a été réalisée pour le compte de l'Office fédéral de l'énergie.
Le contenu et les conclusions du présent rapport n'engagent que son auteur.**

Office fédéral de l'énergie OFEN, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen · Adresse postale : CH-3003
Berne · tél. 031 322 56 11, fax 031 323 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.admin.ch/bfe

Table des matières

0	Résumé	5
	Abstract	7
1	Chauffe-eau pompe à chaleur.....	8
1.1	Informations générales.....	8
1.2	Déroulement du projet.....	8
1.2.1	Etude et collecte d'informations sur les produits.....	8
1.2.2	Concept de mesure.....	8
1.2.3	Prise de contact avec les fournisseurs du marché	9
1.2.4	Prise de contact avec les propriétaires d'installations	9
1.3	Etendue du projet.....	9
1.3.1	Echantillon d'installations	9
1.3.2	Appareils de mesure fixés sur les installations	10
1.4	Résultats des mesures et analyse	11
1.4.1	Etude scientifique consacrée à l'efficacité des chauffe-eau pompe à chaleur réalisée au WPZ de Buchs (extrait du rapport NTB)	12
1.4.2	Installation 1320 - résultats des mesures et évaluation	13
1.4.3	Installation 1321 - résultats des mesures et évaluation	14
1.4.4	Installation 1322 - résultats des mesures et évaluation	15
1.4.5	Installation 1323 - résultats des mesures et évaluation	16
1.4.6	Installation 1324 - résultats des mesures et évaluation	17
1.4.7	Installation 1325 - résultats des mesures et évaluation	19
1.4.8	Installation 1326 - résultats des mesures et évaluation	20
1.4.9	Installation 1327 - résultats des mesures et évaluation	21
1.4.10	Expériences supplémentaires recueillies en cours de fonctionnement	21
1.5	Résumé.....	24
2	Pompes à chaleur à régulation de puissance (Inverter)	27
2.1	Informations générales.....	27
2.2	Déroulement du projet.....	27
2.2.1	Etude de la documentation	27
2.2.2	Renseignements pris auprès des fournisseurs.....	27
2.2.3	Problèmes	27
2.3	Etendue du projet.....	28
2.3.1	Echantillon des installations	28
2.3.2	Appareils de mesure fixés sur les installations	29
2.3.3	Configuration des installations	29
2.3.4	Mise en service et début des mesures	30
2.4	Résultats des mesures et analyse	31
2.4.1	Installation 1300 - résultats des mesures et évaluation	32
2.4.2	Installation 1301 - résultats des mesures et évaluation	32
2.4.3	Installation 1302 - résultats des mesures et évaluation	33
2.4.4	Installation 1303 - résultats des mesures et évaluation	34
2.4.5	Installation 1304 - résultats des mesures et évaluation	35
2.4.6	Installation 1305 - résultats des mesures et évaluation	36
2.4.7	Installation 1306 - résultats des mesures et évaluation	37
2.4.8	Installation 1307 - résultats des mesures et évaluation	38

2.4.9	Installation 1308 - résultats des mesures et évaluation	39
2.4.10	Installation 1309 - résultats des mesures et évaluation	40
2.4.11	Installation 1310 - résultats des mesures et évaluation	41
2.4.12	Installation 1311 - résultats des mesures et évaluation	43
2.4.13	Installation 1312 - résultats des mesures et évaluation	44
2.4.14	Installation 1313 - résultats des mesures et évaluation	45
2.4.15	Installation 1314 - résultats des mesures et évaluation	46
2.5	Mesure des émissions sonores	47
2.6	Résumé	47
3	Suite de la procédure.....	50

0 Résumé

La société Hubacher Engineering a présenté le projet « Mesures in situ sur pompes à chaleur à régulation de puissance et sur chauffe-eau pompe à chaleur » à l'OFEN pour deux raisons : d'une part, ces nouvelles technologies ont commencé à s'établir sur le marché suisse, et les données concernant leur efficacité sont très intéressantes. D'autre part, il s'agissait de déterminer comment ces installations fonctionnent réellement in situ et quels facteurs doivent absolument être pris en compte au moment de la planification et de l'exploitation.

Les chauffe-eau pompe à chaleur ont été analysés à l'aide d'un concept de mesure simple. Comme les premières analyses se sont soldées par des résultats très médiocres, nous avons voulu déterminer si la simple mesure des valeurs de débit était suffisamment précise. Grâce au soutien de l'OFEN, nous avons pu réaliser des mesures analogues dans le centre de tests pour les pompes à chaleur à Buchs (WPZ: *Wärmepumpentestzentrum*). Celles-ci ont prouvé que les mauvais résultats n'étaient pas dus au concept de mesure. Par la suite, le WPZ a vérifié l'efficacité en laboratoire au moyen du profil de soutirage défini pour l'une des installations analysées in situ. Les résultats se sont avérés tout aussi médiocres. Enfin, les mesures effectuées sur un chauffe-eau électrique (boiler) d'une contenance de 300 litres, également à l'aide de trois profils de soutirage distincts, ont corroboré nos conclusions : elles présentaient les mêmes caractéristiques que celles réalisées sur les chauffe-eau pompe à chaleur.

Selon la quantité d'eau chaude consommée, le coefficient de performance (COP) se situe à environ 0,8 pour une consommation quotidienne de 20 litres/jour et entre 1,6 et 2,8 pour 150 litres/jour en cas de soutirage plus important.

Nous en avons tiré deux conclusions importantes. Selon les données de consommation établies dans le cadre de ce projet, les accumulateurs d'eau chaude installés dans les maisons individuelles sont nettement trop grands ; d'autre part, en raison des pertes thermiques, le soutirage de petites quantités influence fortement l'efficacité, si bien que les indications techniques du fabricant en la matière sont impossibles à atteindre. Néanmoins, nous pouvons confirmer qu'un chauffe-eau pompe à chaleur est environ trois fois plus efficace qu'un chauffe-eau électrique, et ce indépendamment de la quantité d'eau consommée.

Les pompes à chaleur air-eau à régulation de puissance (Inverter) ont présenté des résultats semblables lors du premier cycle de mesures. Au départ du projet, nous n'avons pas pu tester toutes les installations dans les délais, faute d'avoir pu obtenir ou organiser l'adresse d'une installation pour chaque équipement ou fabricant. Certaines pompes à chaleur n'étaient pas encore livrables et/ou le logiciel n'était pas encore prêt à l'emploi. Différentes installations ont été équipées d'un nouveau logiciel et certains composants échangés au cours de la période de mesures.

Voilà pourquoi il nous a fallu prolonger l'analyse de ces installations également. La qualité des données relevées prouve que cette prolongation était justifiée, puisque les conclusions et les expériences recueillies sont aussi utiles que précieuses.

Les résultats quant à eux varient fortement. Cinq appareils se sont avérés peu efficaces. Des améliorations s'imposent, non seulement dans le domaine des pompes à chaleur, mais aussi pour la planification, le dimensionnement et le raccordement hydraulique. Par ailleurs, il est clairement démontré que les installateurs doivent apporter leur contribution. Les données relevées sur six des installations analysées se rapprochent de celles de bonnes pompes à chaleur air-eau standard conventionnelles. Seules quatre installations atteignent les valeurs élevées qui ont été publiées. Ces résultats sont donc également porteurs de bonnes nouvelles : à condition de prendre les bonnes mesures, il est possible d'obtenir de bons résultats.

D'une part, la nécessité d'adapter, respectivement de réduire la puissance en cas de hausse de la température extérieure est confirmée. Nous partons du principe que la régulation de la puissance du compresseur et du ventilateur doit être corrélée à la température extérieure.

Nous avons également mesuré les émissions sonores de dix des quinze pompes à chaleur à régulation de puissance (Inverter). Ces mesures n'ont pas été très faciles à réaliser en raison de bruits parasites parfois considérables. Pourtant, les conclusions sont positives. Lorsque les pompes à chaleur air-eau à régulation de puissance sont placées à 1,5–3,0 m de distance des

équipements extérieurs, leur niveau de pression acoustique ne devrait pas entraîner de problèmes sur le plan acoustique.

Selon les résultats de l'analyse, les équipements de plusieurs fournisseurs ne sont pas encore arrivés à maturité. Par ailleurs, la planification, le dimensionnement et l'exploitation sont essentiels sur ces installations. Le Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur GSP a repris l'idée d'une approche au niveau du système dans son ensemble. Il a élaboré le PAC système-module, qui préconise que tous les composants doivent provenir du même fournisseur. Le système et son fonctionnement sont sélectionnés sur la base de critères clairement définis.

Abstract

The Project "field analysis on power controlled heat pump and heat pump boilers" was initiated by Hubacher Engineering with the BFE because on the one hand new technologies were establishing themselves in the Swiss market with interesting claims about their efficiency and on the other were questions about how good they really were in operation and how they should be efficiently installed and operated.

The **heat-pump-boiler** system was analyzed using a simple measurement approach. The first results were very disappointing and caused a re-evaluation of the chosen measurement method to clarify if measuring flow values was sufficiently accurate. Thanks to the support of the BFE we were able to test an analogue measurement setup at the WPZ (Heat Pump Centre). The results confirmed the measurement approach taken as valid. The efficiency was then compared with results from the field tests and was found to be equally poor. The final confirmation was made by measuring a 300 liter Electric boiler with 3 different "consumption profile. This also showed the same properties as the heat-pump-boiler.

Depending on the water usage, the COP was around 0.8 at a daily consumption of 20 (l/d) and between 1.6-2.8 by 150 (l/d)

So we have two important conclusions. The warm water reservoirs in family residences are too large and the small quantities of water used at one time have a large negative impact on efficiency due to heat losses. Thus the claimed efficiencies of the manufacturers are not achieved. However, it still can be confirmed that a heat-pump-boiler is approximately 3 x more efficient than an equivalent Electric water heater. This is independent of low or high hot water use.

The Inverter air/water heat pumps showed a similar picture in the first test stage. In the beginning it was not possible to test all the installations within time plan. The root causes for this were delays in obtaining an address where a suitable installation could be found, the equipment was not deliverable or the software was not ready for its operation. During the measurement cycle various installations had software updates and components were replaced

This resulted in delays for the analysis itself. However, the quality of the measurement data obtained justify the delay. The results of the analysis are valuable.

The results that were obtained vary greatly. Five installations showed poor efficiency and need to be optimized. This was not only the due to the heat pump but also the installation planning, rating and hydraulic integration. There is a clear need for improvement in the installations process. Six installations were in the range of a good conventional series air/water heat pump. Only four installations achieved the higher values that had been claimed. The message is clear, when the correct procedures are followed the increased efficiency can be achieved.

Experience obtained from operating the installations has shown that when high ambient temperatures prevail the power must be reduced. It is assumed that the power control of the compressor and ventilator should be controlled according to outside temperature.

Noise measurements were made on 10 of the sample of 15 Inverter heat pumps. In some cases, external noise sources complicated the measurement process. A positive result was however achieved. At a distance of 1.5-3.0m from the external unit minimal noise issues are to be expected.

The result of this analysis shows that the development by several suppliers is not complete. Also the planning, capacity calculation and operation plays a major role for these installations. The idea that a system approach should be taken has been taken up by the FWS. System modules have been developed where components from the same manufacturer must be taken. The system choice and the operation are then according to clearly defined criteria.

1 Chauffe-eau pompe à chaleur

1.1 Informations générales

Le chauffe-eau pompe à chaleur constitue une bonne alternative aux accumulateurs d'eau chaude avec chauffage électrique direct. L'analyse in situ neutre vise à réunir les principales conclusions et informations sur son efficacité, son exploitation et sa rentabilité à l'intention des installateurs et des utilisateurs.

Selon le Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC), les chauffe-eau électriques (boilers) ne sont désormais plus autorisés, ni pour de nouvelles installations, ni pour l'assainissement d'installations d'eau chaude sanitaire. Autrement dit, les chauffe-eau pompe à chaleur prennent de l'importance notamment lorsqu'il s'agit d'assainir des installations de chauffage. Selon le site topten.ch, la Suisse compte aujourd'hui encore environ un million de chauffe-eau électriques, qui représentent 3% de la consommation électrique totale du pays (2 TWh).

Les chauffe-eau pompe à chaleur ne doivent en règle générale pas respecter le temps de délestage imposé par les fournisseurs d'électricité ; ils peuvent donc produire de l'eau chaude en cours de journée afin de répondre à une consommation importante. Ce type de pompe à chaleur refroidit souvent l'air ambiant en-dessous du point de rosée et lui retire de l'humidité ; il peut donc s'avérer très intéressant de le placer dans une pièce de séchage, le linge séchant alors nettement plus vite. Lorsque l'humidité de l'air ambiant est à 70%, le point de rosée se situe à quelque 9,0°C. Le refroidissement généré étant de quelque 2K, aucun problème d'humidité dû au refroidissement des murs de la pièce n'est à craindre.

1.2 Déroulement du projet

1.2.1 Etude et collecte d'informations sur les produits

Nous avons rassemblé la documentation, les données techniques et la documentation de vente de tous les produits et marques connus représentés sur le marché, avant d'examiner la documentation technique de chaque produit en vue d'évaluer ses chances sur le marché et son aptitude à être soumis à un examen de mesures.

1.2.2 Concept de mesure

Le concept de mesure n'est pas si simple, la production de chaleur devant être mesurée par le biais des conduites d'eau chaude et froide. La circulation et le chauffage à résistance électrique destiné, le cas échéant, à un chauffage d'appoint ont été pris en compte en tant que facteurs d'influence perturbateurs.

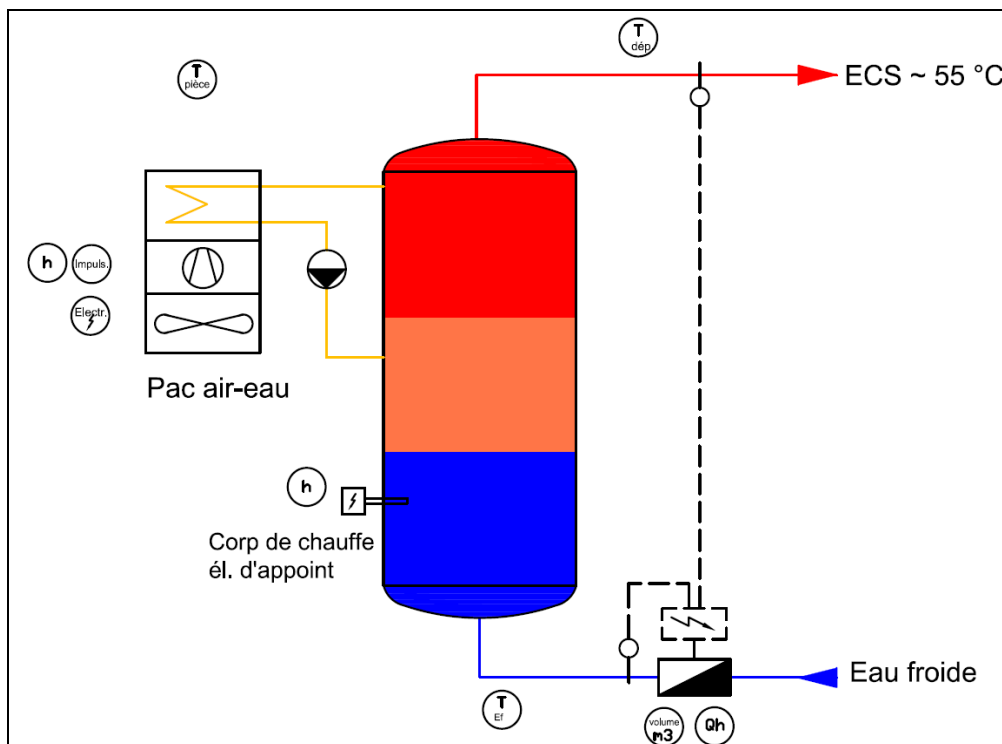


Figure 1 : Plan des points de mesure pour chauffe-eau pompe à chaleur

Les installations ont été analysées en conséquence, et les résultats reportés dans le plan des points de mesure. Le soutirage de faibles quantités d'eau chaude doit lui aussi être saisi avec suffisamment de précision. Renseignements pris auprès du fournisseur des compteurs de chaleur (compteurs à ultrasons), nous pouvons confirmer que le relevé de quantités aussi faibles (p. ex. pour se laver les mains) est suffisamment précis. Afin d'examiner cette question importante sur le plan qualitatif de façon encore plus détaillée, le WPZ a effectué des mesures complémentaires sur la base d'un profil de soutirage réel, défini sur la base de données résultant des mesures in situ. Pour évaluer la qualité des chauffe-eau pompe à chaleur, le WPZ a appliqué des spécifications de contrôle normalisées en matière de profils de soutirage.

1.2.3 Prise de contact avec les fournisseurs du marché

Nous avons contacté tous les fournisseurs qui entraînent en ligne de compte afin de leur présenter l'objectif de ces mesures in situ. Presque tous ont accueilli le projet favorablement et ont proposé leur soutien. Certains contacts ont pu être noués par l'intermédiaire de services cantonaux de promotion.

1.2.4 Prise de contact avec les propriétaires d'installations

Notre sélection définitive réunissait au total huit installations, pour lesquelles nous avons sollicité le consentement des propriétaires. Il est extrêmement important de les informer et de leur expliquer clairement en quoi consiste leur collaboration ; la qualité de ces analyses dépend en effet de leur motivation, puisque ce sont eux qui procèdent au relevé des données. L'une des installations a malheureusement dû être remplacée, le propriétaire n'ayant pas manifesté la motivation et le soutien requis.

1.3 Etendue du projet

1.3.1 Echantillon d'installations

Tableau 1 : Liste des chauffe-eau pompe à chaleur

N° installation	Désignation	Contenance	Emplacement	Source de chaleur	Temp. ambiante moyenne	Période de mesure
1320	THASCH01	300	Réduit	Air ambiant	17.5	24.10.12 - 14.5.15
1321	JONERL59	300	Chaufferie (gaz)	Air ambiant	21.1	24.10.12 - 30.1.15
1322	GOSREH14	300	Buanderie	Air ambiant	13.7	18.12.12 - 25.3.15
1323	WILQUE09	300	Buanderie	Air ambiant	12.2	10.11.12 - 17.4.15
1324	JONWIN21	250	Chaufferie (gaz)	Air ambiant *	13.7	18.12.12 - 1.5.15
1325	FREHAL09	285	Chaufferie (mazout)	Air ambiant	18.9	05.12.14 - 3.5.15
1326	NÄFOBE21	270	Buanderie	Air ambiant	15.3	28.10.14 - 9.5.15
1327	ABTSON74	270	Chaufferie (gaz)	Air ambiant	19.0	01.12.14 - 3.6.15

Remarques : * en été, commutation manuelle sur l'air extérieur

Tableau 2 : COP indiqué dans la documentation du produit

N° installation	COP	Pour	Norme	Puissance chauffage Qh	Température ECS	Fluide frigorigène
1320	3.10	A15/W15-55	EN16147	1.96	60 *	R134A
1321	3.20	A15/W15-55	EN255-3	1.98	60 *	R134A
1322	3.56	A15/W15-45	EN255	1.52	60 *	R134A
1323	3.56	A15/W15-45	EN255	1.52	60 *	R134A
1324	3.20	A15/W15-55	EN16147	2.78	60 *	R134A
1325	2.90	A15/W15-55	EN16147	1.66	55	R134A
1326	3.70	A15/W15-55	EN255-3	1.7	55/65**	R134A
1327	3.30	A15/W15-55	EN16147	1.42	55	R134A

Remarques : * température de l'eau chaude définie comme valeur de consigne, convient aussi comme protection contre la légionellose (p. ex. 1 fois par semaine)
 **dès la saison de chauffage 2014/15, diminution à 55°C
 Installation 1323 a dû être remplacée en raison de problèmes

1.3.2 Appareils de mesure fixés sur les installations

Le compteur de chaleur (technique à ultrasons) est monté dans la conduite d'eau froide, la deuxième sonde est placée dans la conduite d'eau chaude à l'aide d'une vanne 3 voies à bille. Un compteur électrique permet de relever l'électricité consommée par le compresseur, le ventilateur et le régulateur. Les heures de fonctionnement quant à elles sont enregistrées au moyen de compteurs horaires et de compteurs d'impulsion.



Figure 2 : Compteur de chaleur dans la conduite d'eau froide et deuxième sonde dans la conduite d'eau chaude



Figure 3 : Compteurs des heures de fonctionnement et d'impulsion pour le compresseur et le chauffage d'appoint

Le compteur de chaleur NeoVac 2WR6 n'a été intégré qu'au moment de la mise en service et du contrôle des équipements de mesure, en remplacement du tuyau provisoire monté durant la phase de construction. Pour ce faire, il a suffi de fermer les deux vannes d'arrêt et de déplacer la vanne à bille après la mise en place de la sonde dans le départ. Tous ces chauffe-eau pompe à chaleur sont raccordés au réseau électrique au moyen d'une prise électrique. Le compteur élec-

trique a été placé entre le chauffe-eau et la prise. Afin de pouvoir attribuer la quantité d'électricité consommée aux différents composants, le compresseur et le chauffage d'appoint ont été équipés de compteurs des heures de fonctionnement.

Les quantités soutirées étant pour certaines très faibles, elles n'ont pas été faciles à mesurer, une situation que nous avons quelque peu sous-estimée. Afin d'y voir plus clair sur l'enregistrement des données de mesure, des essais parallèles ont été réalisés sur des chauffe-eau pompe à chaleur en collaboration avec le WPZ. Ces tests ont prouvé que les mesures in situ étaient suffisamment exactes. Ils ont démontré notamment qu'en cas de faibles profils de soutirage in situ, la production d'eau chaude sanitaire était nettement moins efficace. Cela dit en passant, nous sommes parvenus à la même conclusion dans le cas d'un chauffe-eau électrique.

1.4 Résultats des mesures et analyse

Au total, huit installations ont été mesurées et analysées sur une période prolongée (cinq installations en 2013-2015 et trois en 2014-2015). Ainsi, les points de mesure étaient suffisamment nombreux pour procéder à l'analyse et à l'évaluation prévues. Les données ont été relevées tous les cinq à dix jours. Nous avons enregistré et évalué les données des installations en modes de fonctionnement tant hivernal qu'estival.

Au cours de la phase initiale qui a suivi la mise en service des installations, les analyses ont notamment révélé des problèmes de fonctionnement et des pannes. Les données n'ont donc pas toutes pu être évaluées dès le départ. En ce qui concerne l'efficacité des chauffe-eau pompe à chaleur, nous avons été très surpris de constater que les valeurs relevées étaient nettement inférieures aux résultats des tests (COP) publiés pour les équipements dotés d'un label de qualité. Quant aux autres appareils, ils n'ont pas non plus atteint les valeurs indiquées dans les fiches techniques. Il nous fallait donc déterminer le pourquoi et le comment de ce manque d'efficacité. Quels étaient les écarts et pouvait-il s'agir d'une erreur de mesure ?

Sur les cinq premiers appareils analysés, la valeur de consigne pour l'eau chaude sanitaire a initialement été fixée à 60°C, la température en fin de cycle de charge indiquée par le fabricant dans la documentation technique (cf. Tableau 2), et a été atteinte dans la plupart des cas. Nous n'avons enregistré aucune réclamation sur la température ou la quantité d'eau chaude sanitaire disponible. Pour les mesures effectuées en hiver 2014/2015, la température en fin de cycle a été ramenée à 55° pour tous les appareils.

La charge d'eau chaude a eu lieu uniquement en période de bas tarif. Les relevés des heures de fonctionnement du chauffe-eau pompe à chaleur et du corps de chauffe électrique ont révélé que les chauffages électriques d'appoint n'ont pas été mis à contribution. Par conséquent, ils ne pouvaient pas être responsables des coefficients de performance (COP) médiocres. Notre attention s'est donc reportée sur les pompes à chaleur, respectivement sur leur dimensionnement et leur comportement en cours de fonctionnement.

Nous n'avons pas tardé à comprendre que la consommation d'eau chaude sanitaire pouvait constituer un facteur important. Vu l'extrême dispersion des coefficients de performance enregistrés, nous avons supposé qu'elle était liée au comportement de consommation des propriétaires des installations. En effet, la consommation d'eau chaude sanitaire est très variable : tantôt on se lave seulement les mains, tantôt on prend une douche ou un bain. Elle a une grande influence sur le fonctionnement des chauffe-eau pompe à chaleur, mais aussi sur les pertes thermiques (y compris les pertes à l'arrêt), ce qui accroît encore les écarts sur le plan de l'efficacité. D'un autre côté, la consommation de faibles quantités d'eau fait partie du quotidien. Seule l'installation 1322 est équipée d'un thermosiphon.

Les résultats sont les mêmes pour presque toutes les installations : l'efficacité a nettement diminué lorsque les quantités soutirées étaient plus modestes. Après la publication des premiers résultats, les fournisseurs ont entrepris des démarches pour améliorer l'efficacité.

Il est évident que les éventuelles lacunes conceptuelles risquent d'influer sur l'efficacité des différentes installations. D'une part, les installations sélectionnées pour l'analyse in situ sont choisies de façon aléatoire ; d'autre part, certains défauts déjà existants ont été considérés comme un fait établi. L'échantillon des installations comprend donc des installations de bonne et de moins bonne qualité. Par exemple, toutes ne sont pas équipées d'une conduite d'eau chaude avec siphon, la circulation par thermosiphon n'est donc pas empêchée de façon généralisée. Les pertes supplé-

mentaires qui en résultent et qui grèvent l'efficacité font partie des expériences et des faits constatés lors des analyses in situ.

1.4.1 Etude scientifique consacrée à l'efficacité des chauffe-eau pompe à chaleur réalisée au WPZ de Buchs (extrait du rapport NTB)¹

L'efficacité des chauffe-eau pompe à chaleur mesurée sur le terrain étant inférieure à celle établie sur le banc d'essai, il s'agissait de déterminer si la chaleur produite in situ pouvait être mesurée de façon suffisamment précise. Nous avons donc comparé la précision d'une méthode de mesures in situ et celle d'un système appliqué à des conditions de laboratoire. Différentes mesures avec différents volumes de soutirage d'eau chaude ont montré que la première satisfaisait aux critères de précision requis. Cela dit, il faut veiller à ce que le dimensionnement du système de mesure in situ soit adapté au débit consommé par le ménage.

Comparaison des systèmes de mesure (en laboratoire et in situ)

Le compteur de chaleur 2WR6 de NeoVac permet de mesurer des débits variant entre 0,5 et 50 litres/minute. En l'occurrence, il était donc correctement dimensionné pour procéder à la comparaison des mesures. Selon les indications du fournisseur, la précision des mesures varie au maximum de 1,5%.

Tableau 3 : Résultats des mesures comparées au WPZ

	Volume nominal	Quantité soutirée		Ecart
		Laboratoire	In situ	
	[Litre]	[kWh]	[kWh]	[%]
Chauffe-eau PAC1	285	19.168	19.000	0.9
Chauffe-eau PAC2	300	18.743	19.000	4.1
Chauffe-eau PAC3	270	19.147	19.000	0.8

Conclusion selon le rapport NTB : l'hypothèse selon laquelle le compteur de chaleur NeoVac 2WR6 ne permet pas de mesurer de faibles soutirages avec suffisamment de précision n'a pas été confirmée. Les écarts ne dépassent pas les limites de précision. Lors de mesures in situ par contre, il est possible que les débits prélevés soient inférieurs à 0,5 litre/minute. En présence de soutirages aussi faibles, on peut s'attendre à d'importants écarts avec le compteur NeoVac 2WR6 (pour plus de détails, voir note 1 en bas de page)

Efficacité corrélée à la quantité soutirée

Dans le même temps, le WPZ a lui aussi analysé l'efficacité des chauffe-eau pompe à chaleur. Le rapport précise que, même lors de mesures réalisées en laboratoire dans des conditions idéales, l'efficacité s'est avérée nettement moins bonne en cas de soutirage très faible. A titre comparatif, le même type de mesure a été effectué sur un chauffe-eau électrique dans des conditions identiques ; les résultats sont semblables. Les mesures ont été réalisées dans le respect de la norme EN 16147.

Tableau 4 : Résultats obtenus avec différents profils de soutirage (mesures en laboratoire WPZ)

Profil de soutirage		S	M	XL
Quantité soutirée *	Litre	40	110	360
Chauffe-eau PAC3	COP	1.5	2.6	2.98
Chauffe-eau él.	COP	0.68	0.85	0.94

* Correspond environ aux besoins journaliers d'ECS

Les deux types d'accumulateurs d'eau chaude accusent une perte d'efficacité lorsque la quantité soutirée est plus modeste. Avec le plus petit profil de soutirage, le coefficient de performance du chauffe-eau pompe à chaleur chute à 1,50 (environ la moitié du coefficient défini avec un profil XL). En revanche, l'efficacité du chauffe-eau électrique ne concède que quelque 30%. Cet exemple montre que l'influence du profil de soutirage sélectionné est plus importante sur l'efficacité des

¹ Projet OFEN 2014 : «Labormessungen zur Effizienz von Wärmepumpen-Warmwasserspeicher (mesures de laboratoire sur l'efficacité des chauffe-eau pompe à chaleur)», NTB Buchs

chauffe-eau pompe à chaleur que sur celle des chauffe-eau électriques. Précisons cependant que même avec le petit profil de soutirage S, le chauffe-eau pompe à chaleur est plus que deux fois plus efficace que le chauffe-eau électrique.

1.4.2 Installation 1320 - résultats des mesures et évaluation

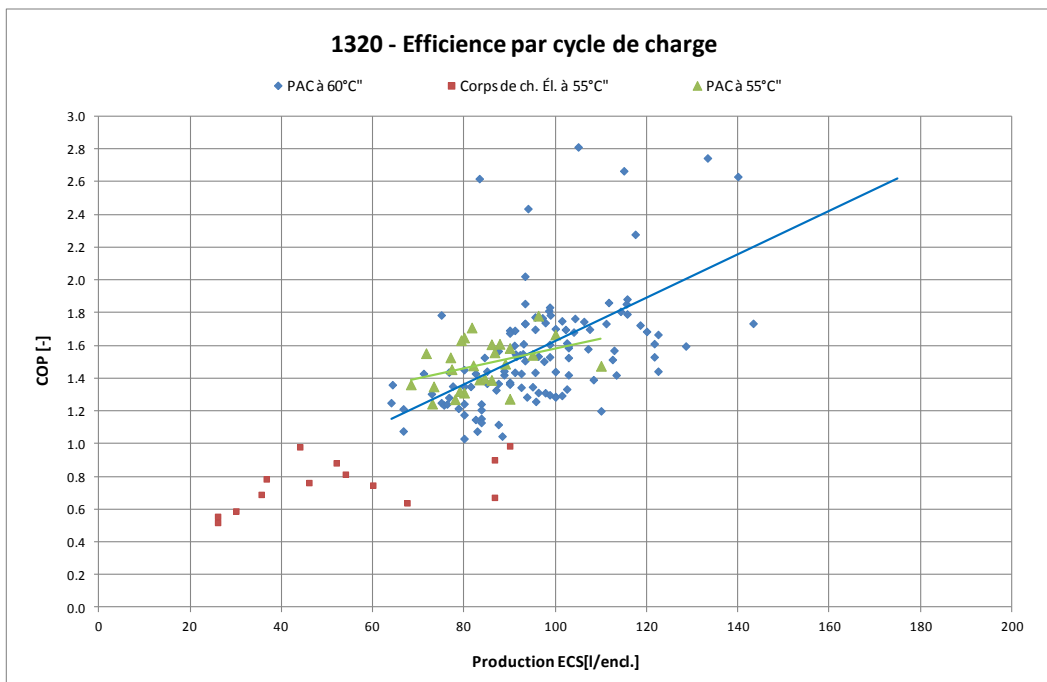


Figure 4 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport à la durée de fonctionnement par cycle de charge

La consommation correspond plus ou moins au profil de soutirage « M » en laboratoire, dont le coefficient de performance moyen est de 2,6. Les coefficients de performance atteints par cette installation (entre 1,2 et 2,0) sont nettement plus faibles. L'installation s'enclenche une fois par jour en moyenne. La consommation quotidienne moyenne est de 113 litres/jour.

Cette situation a plusieurs explications. La conduite d'eau chaude sanitaire n'a pas de thermosiphon à la sortie de l'accumulateur ; de plus, elle est montée sans isolation directement au-dessus de la sortie d'air (air froid), d'où un refroidissement supplémentaire. Ces deux inconvénients peuvent tout à fait influencer le résultat. Ces défauts n'ayant été supprimés que le 23 mai 2015, leurs effets n'ont plus pu être mesurés. Les durées de fonctionnement sont idéales, aucune durée de fonctionnement très courte n'a été signalée.

De plus, entre le 4 et le 31 décembre 2014, nous avons tenté de produire de l'eau chaude sanitaire uniquement avec le corps de chauffe électrique. Ces données ont été relevées tous les deux jours. Ici aussi, les résultats étaient médiocres. Le rendement se situait à 0,75 en moyenne, certaines valeurs ne dépassant pas 0,5. Nous avons néanmoins constaté une chose intéressante : le chauffe-eau électrique s'est enclenché en moyenne 2,8 fois par jour, contre une fois seulement pour la pompe à chaleur. Les quantités soutirées les plus faibles ont généré les rendements les plus bas. Si ces déclarations, faites sur une période de mesure d'environ un mois, ne sont pas encore certifiées sur le plan statistique, elles correspondent en grande partie aux mesures effectuées en laboratoire.

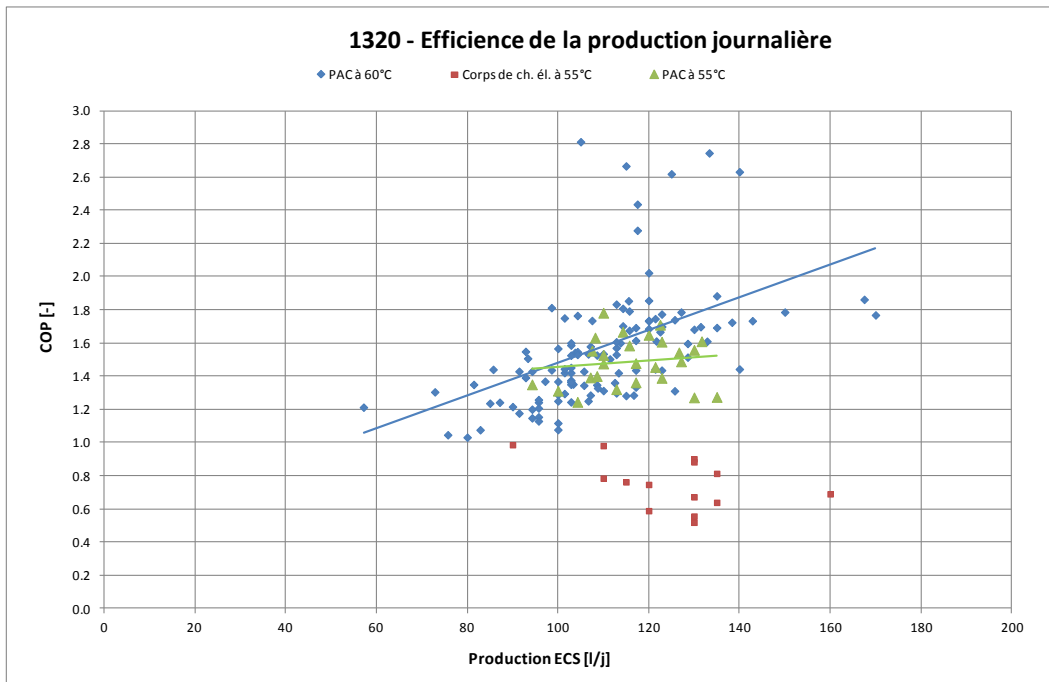


Figure 5 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport à la quantité soutirée par production journalière

1.4.3 Installation 1321 - résultats des mesures et évaluation

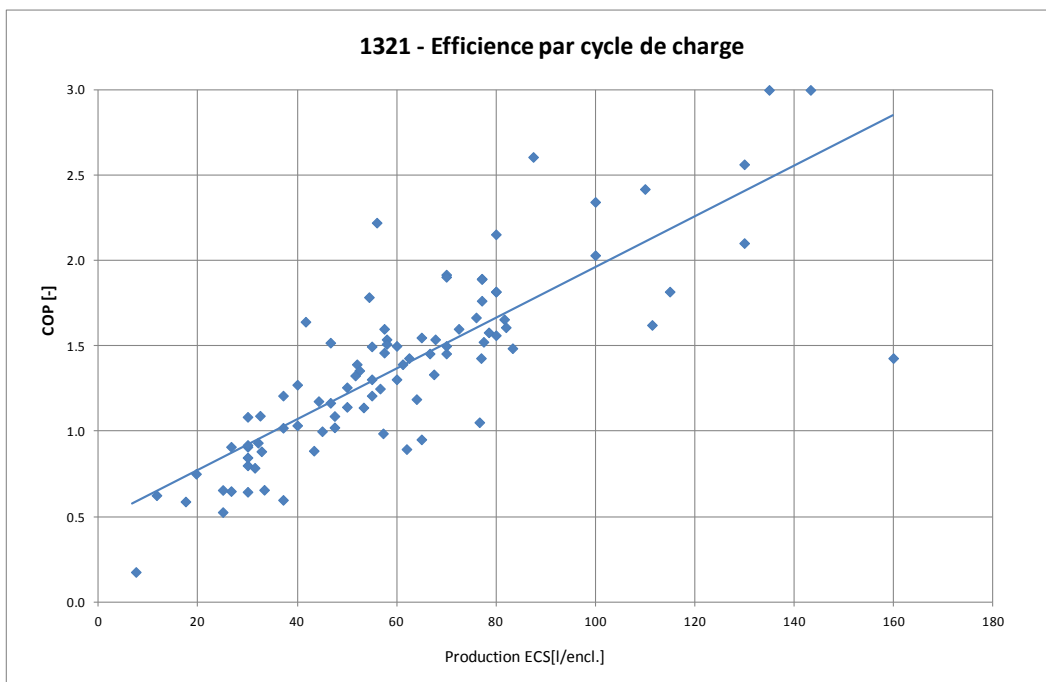


Figure 6 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport à la durée de fonctionnement par cycle de charge

Les durées de fonctionnement varient fortement (1,7-6,0 heure/jour). De très nombreux cycles de charge durent en moyenne 4,2 heures par jour. Leur durée est manifestement liée à la commande et à la régulation de l'installation. Celle-ci ne produit de l'eau chaude sanitaire qu'une fois par jour.

Les résultats sont étroitement corrélés. Cette installation montre clairement elle aussi que souvent, la consommation effective d'eau chaude sanitaire est nettement inférieure à la consommation planifiée. Les pertes ont donc un effet considérable sur l'efficacité d'une telle installation. Ici aussi, la plupart des coefficients de performance sont inférieurs à 2,0. Avec une consommation quotidienne de 60 litres en moyenne, cette installation correspond - lorsqu'on la compare aux valeurs mesurées en laboratoire - au profil de soutirage «S», dont le coefficient de performance a été mesuré à 1,5. Les rares données relevées avec des coefficients de performance entre 2,0 et 3,0 prouvent

qu'en présence de soutirages plus conséquents (100-150 litres), l'efficacité de cette installation peut s'améliorer.

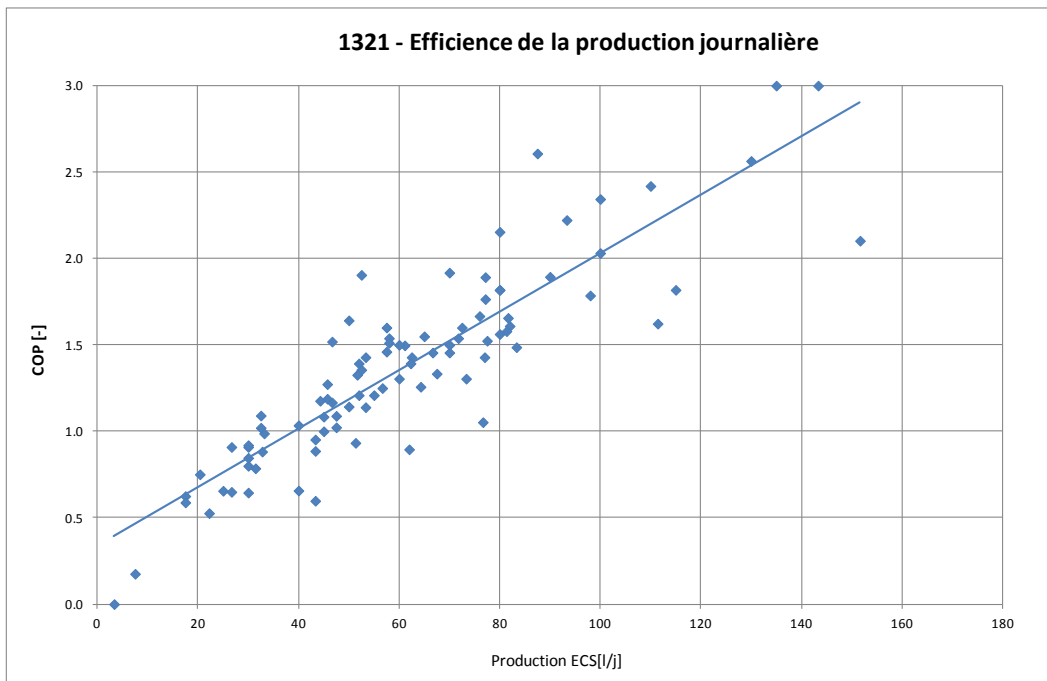


Figure 7 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport au soutirage par production journalière

1.4.4 Installation 1322 - résultats des mesures et évaluation

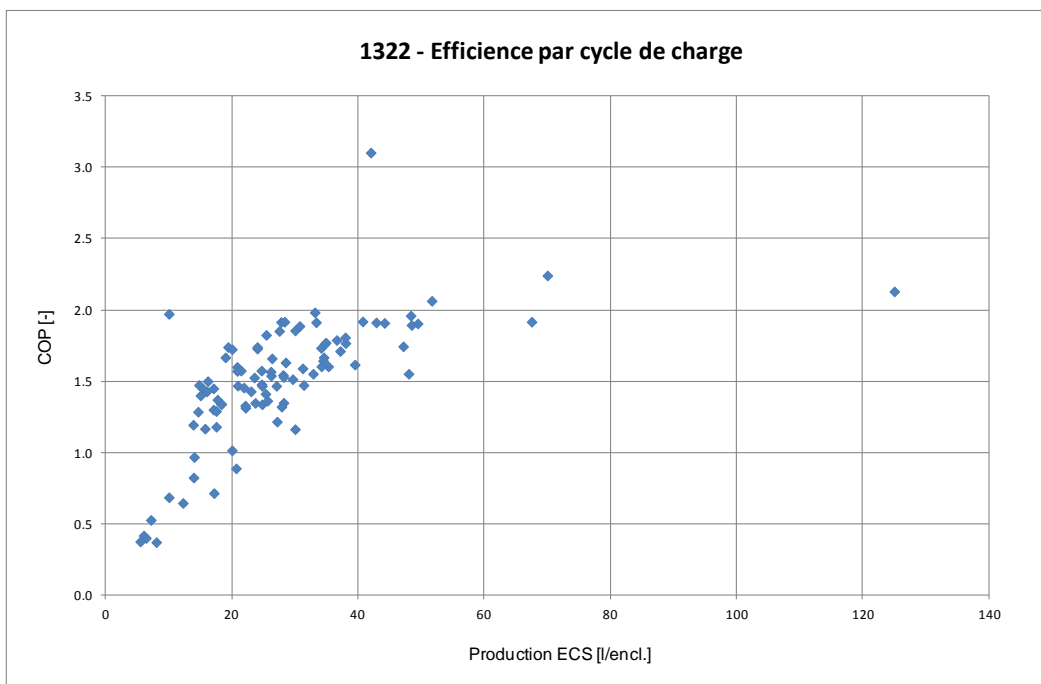


Figure 8 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport à la durée de fonctionnement lors du cycle de charge

L'installation a pu être analysée plus en détail grâce à la prolongation des mesures. Contrairement à son ancien mode de fonctionnement, l'installation n'était plus limitée au bas tarif et pouvait fonctionner toute la journée. C'est la seule installation dotée d'un thermosiphon à la sortie de la conduite d'eau chaude.

Les durées de fonctionnement, qui totalisent en moyenne 1,5 heure/enclenchement, sont un peu plus courtes que celles de la plupart des autres modèles.

Si l'installation est irréprochable, l'efficacité n'est pas excellente, du fait des besoins d'eau chaude nettement plus modestes ; ces derniers totalisent 76 litres/jour et se situent dans la fourchette inférieure (entre les profils de soutirage «S» et «M»). Conformément à l'évaluation du WPZ, le coefficient de performance devrait avoisiner 2,0.

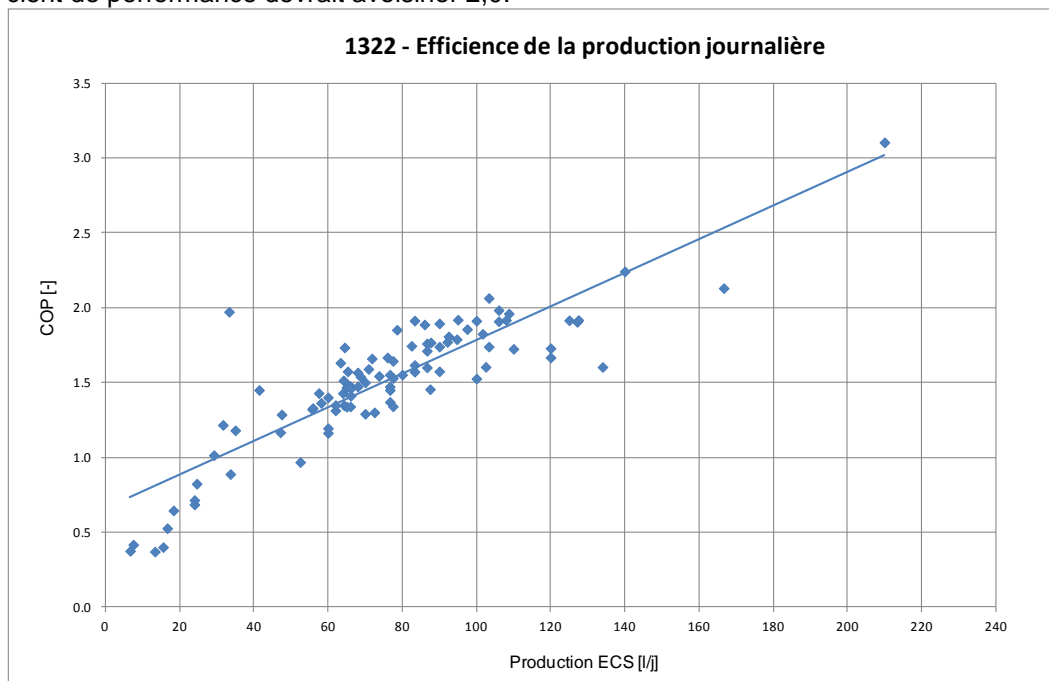


Figure 9 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport au soutirage par production journalière

1.4.5 Installation 1323 - résultats des mesures et évaluation

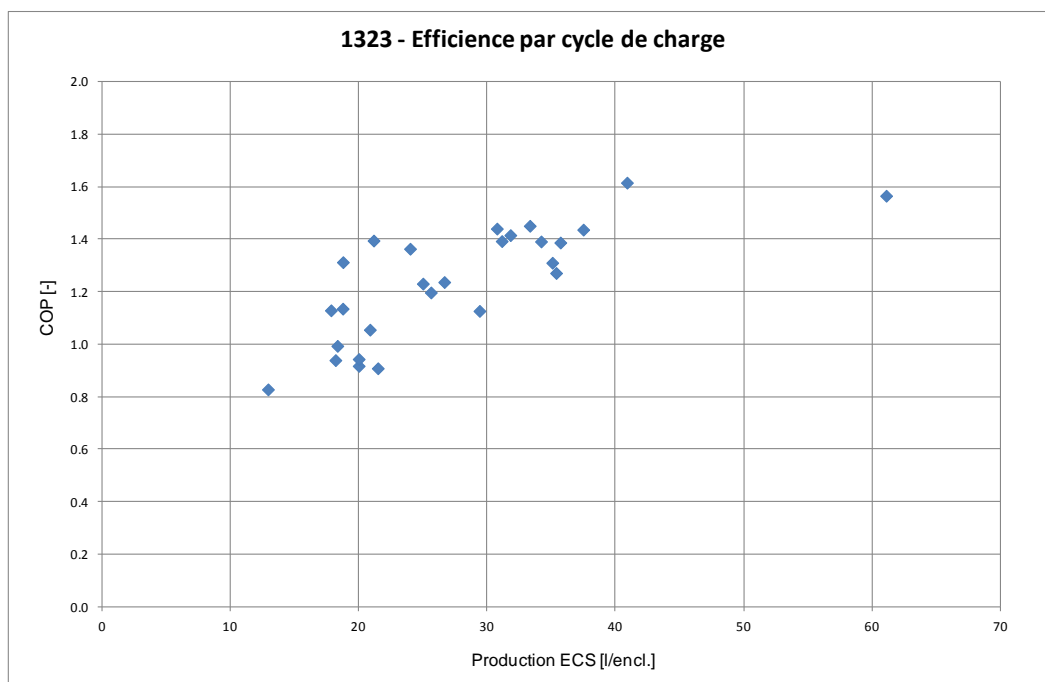


Figure 10 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport à la durée de fonctionnement lors du cycle de charge

Les données initialement relevées pour cette installation n'ont malheureusement pas pu être utilisées pour l'analyse en raison de problèmes d'exploitation. Nous avons rencontré des problèmes tant au niveau de l'exploitation que de l'enregistrement des données de consommation.

Les données de fonctionnement et de consommation sont presque identiques à celles de l'installation 1322. Les durées de fonctionnement de 1,8 heure/enclenchement environ se situent dans la moyenne ; les quantités soutirées quant à elles (81 litres/jour) se situent dans la fourchette inférieure.

L'analyse des données mesurées présente les mêmes caractéristiques que la plupart des installations testées. Si l'on en croit les mesures en laboratoire, le coefficient de performance escompté devrait être de quelque 2.0, ce qui n'est de loin pas le cas. Même si cette installation présente des données de consommation analogues et qu'elle est du même type que l'installation 1322, son coefficient de performance est inférieur d'environ 0,7.

La température de la pièce (température à la source), inférieure de 5K en moyenne, représente la principale différence. Elle est déterminante pour l'écart constaté. L'installation n'a pas de thermosiphon dans la conduite d'eau chaude et la sortie de l'accumulateur d'eau chaude n'est pas isolée.

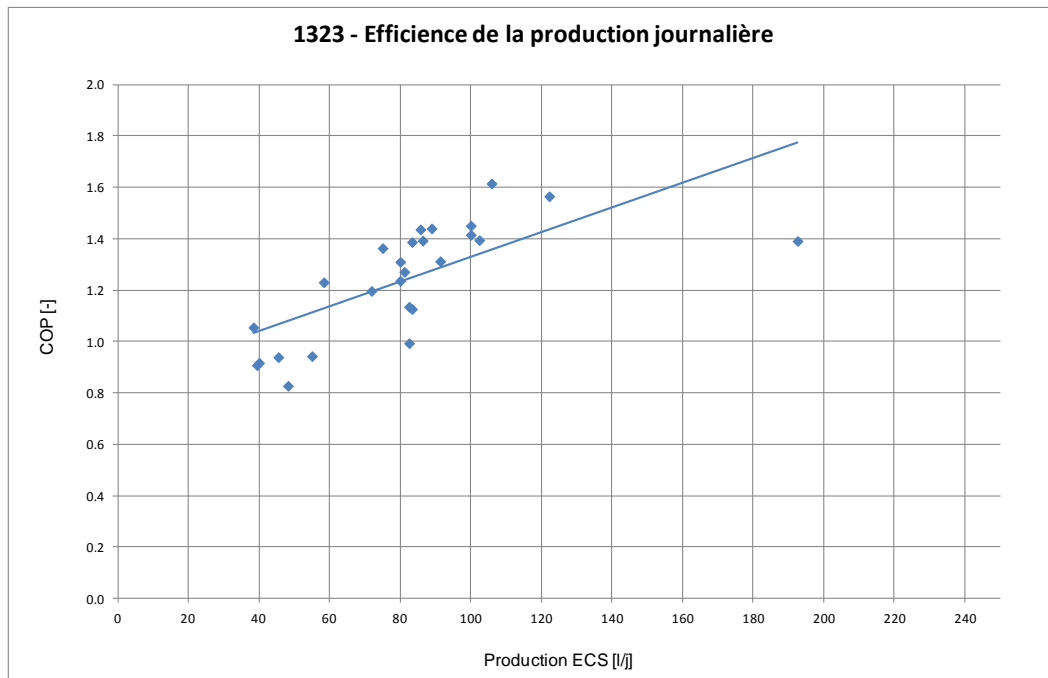


Figure 11 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport au soutirage par production journalière

1.4.6 Installation 1324 - résultats des mesures et évaluation

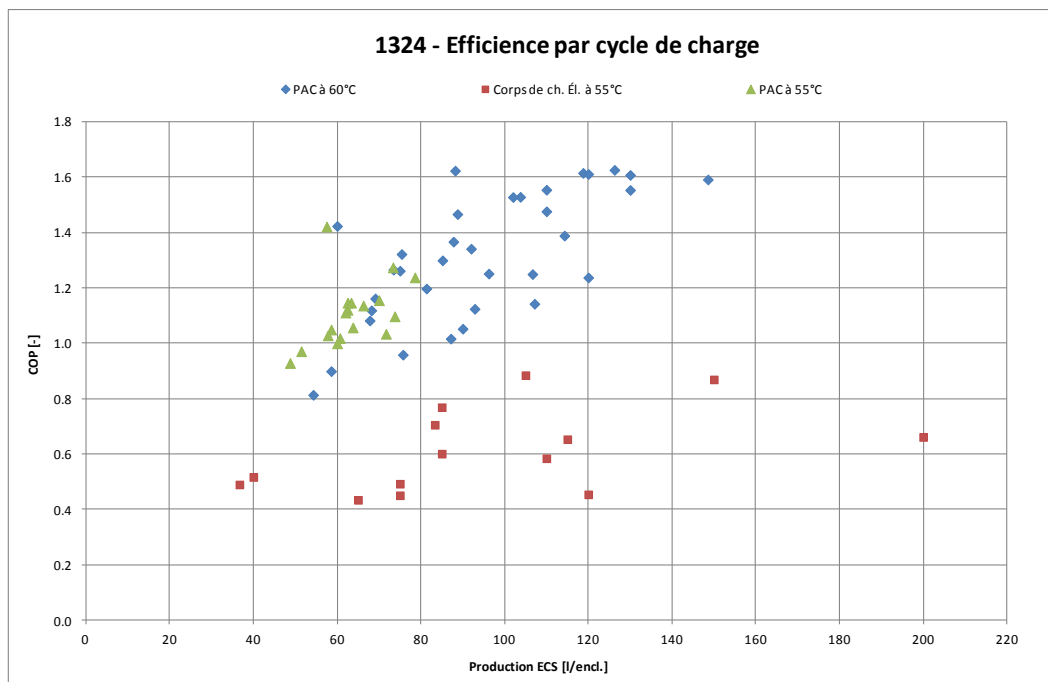


Figure 12 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport à la durée de fonctionnement lors du cycle de charge

Avec 94 litres/jour, cette installation consomme à peu près la même quantité d'eau chaude que les installations examinées précédemment. Le coefficient de performance escompté est de 2,0. Les

mesures supplémentaires effectuées lorsque seul le corps de chauffe électrique était en marche sont similaires à celles de l'installation 1320.

Malgré les efforts entrepris, les résultats ne se sont pas améliorés durant la seconde phase de mesure, ce que montrent clairement les graphiques des Figures 11 et 12.

La durée de fonctionnement de cette installation est plutôt longue (3,4 heures/enclenchement). Ici aussi, nous avons tenté de faire fonctionner l'installation non pas uniquement en période de bas tarif, mais tout au long de la journée (24 heures). Nous nous attendions à ce que l'eau chaude sanitaire soit produite directement après les pointes de consommation plutôt que durant la nuit, où le chauffe-eau électrique est chargé et prêt pendant des heures sans que cela soit nécessaire, et refroidit en conséquence.

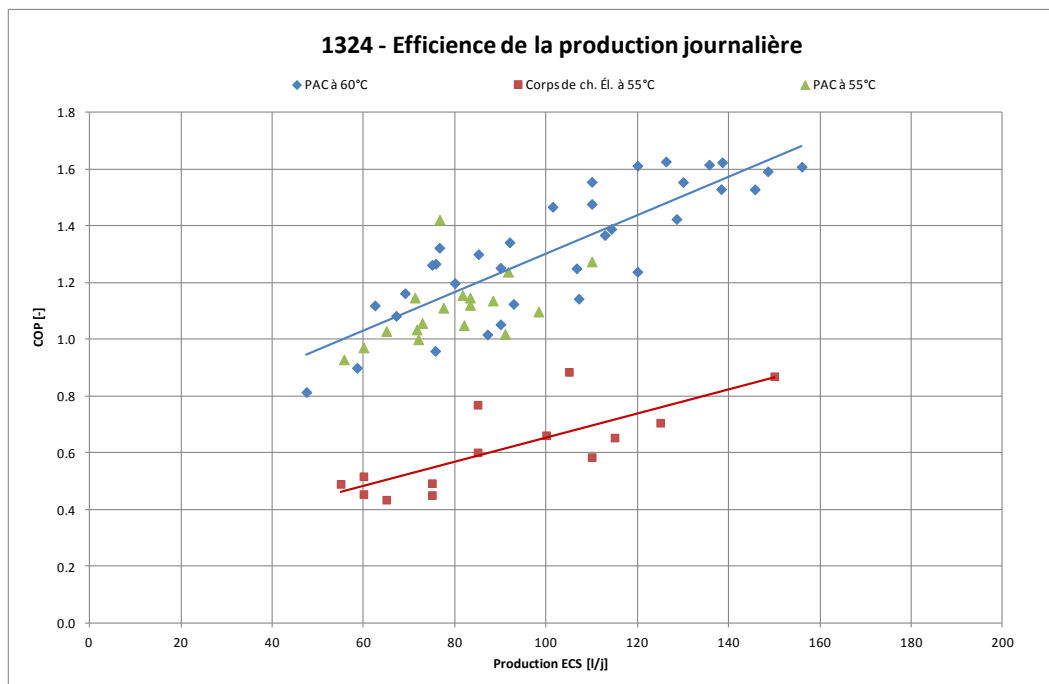


Figure 13 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport au soutirage par production journalière

Le coefficient de performance, qui se situe entre 1,0 et 1,6, est insuffisant. Le fonctionnement, la régulation et la construction du chauffe-eau électrique (amenée d'eau, isolation, etc.) peuvent certainement être optimisés.

1.4.7 Installation 1325 - résultats des mesures et évaluation

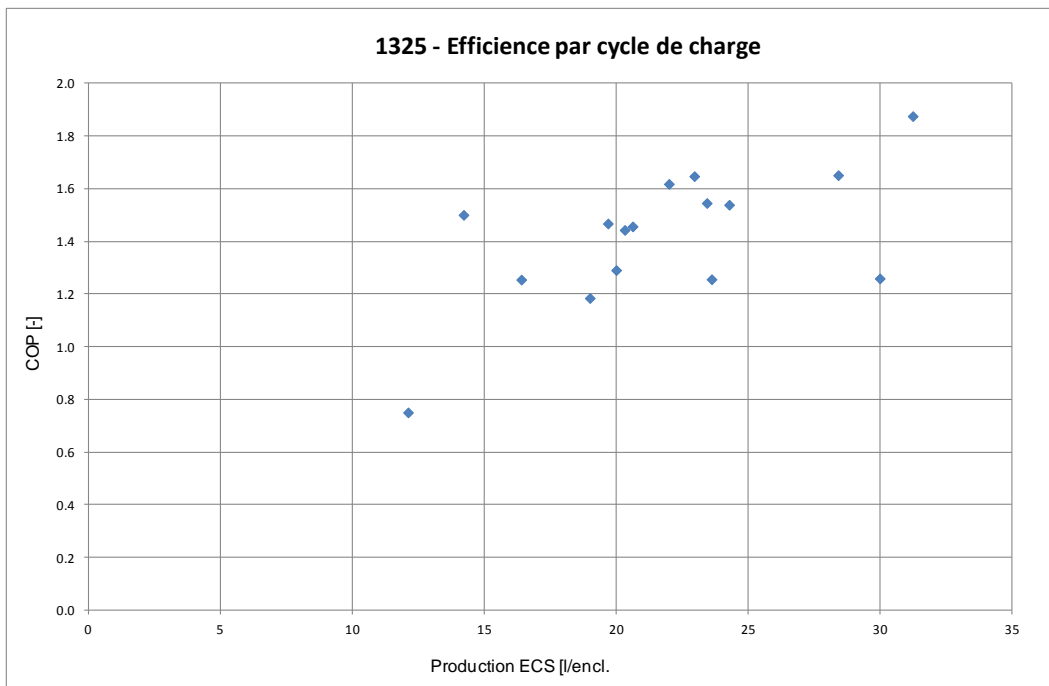


Figure 14 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport au soutirage lors du cycle de charge

Avec 89 litres/jour, cette installation consomme à peu près la même quantité d'eau chaude que les installations examinées précédemment. Le coefficient de performance escompté est de 2,0.

La durée de fonctionnement de cette installation (1,42 heure/enclenchement) est plus courte que celle des autres installations. La durée de fonctionnement quotidienne totalise 5,6 heures. Cependant, contrairement aux installations 1320-1324, cette installation s'enclenche environ quatre fois par jour en moyenne. Ici aussi, nous avons tenté de faire fonctionner l'installation non pas uniquement en période de bas tarif, mais toute la journée (24 heures). Les quatre phases de fonctionnement visent en principe à produire l'eau chaude directement après les pointes de consommation en vue d'optimiser l'efficacité (moins de pertes dues au refroidissement).

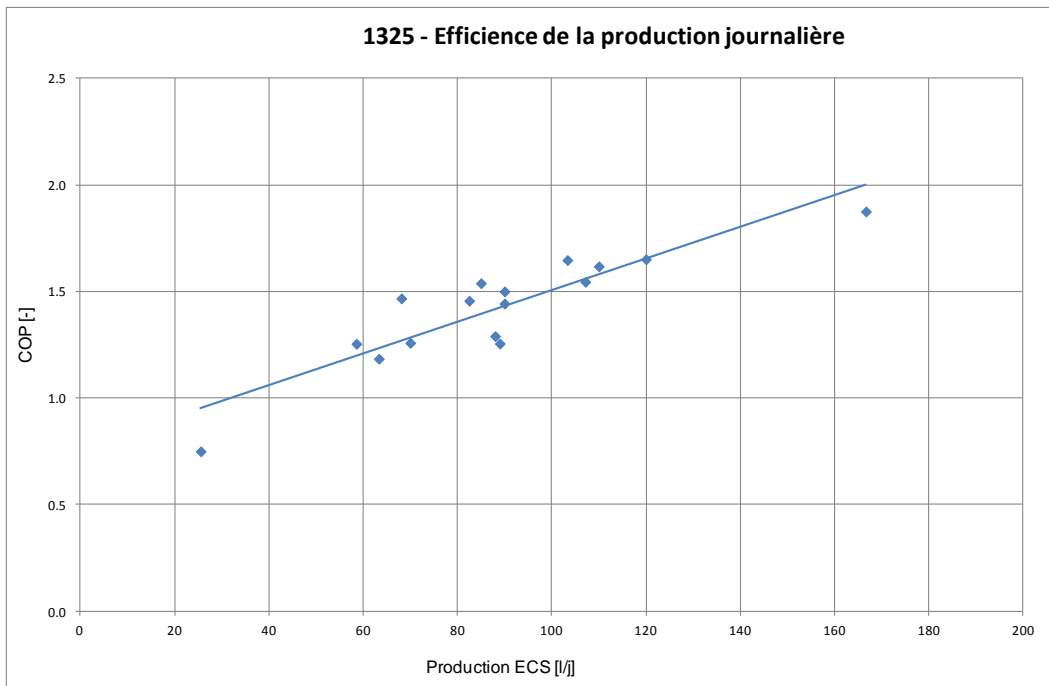


Figure 15 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport au soutirage par production journalière

Le coefficient de performance situé entre 1,2 et 1,9 est insuffisant. Le fonctionnement, la régulation et éventuellement la construction de l'accumulateur (amenée d'eau, isolation, etc.) peuvent certainement être optimisés.

1.4.8 Installation 1326 - résultats des mesures et évaluation

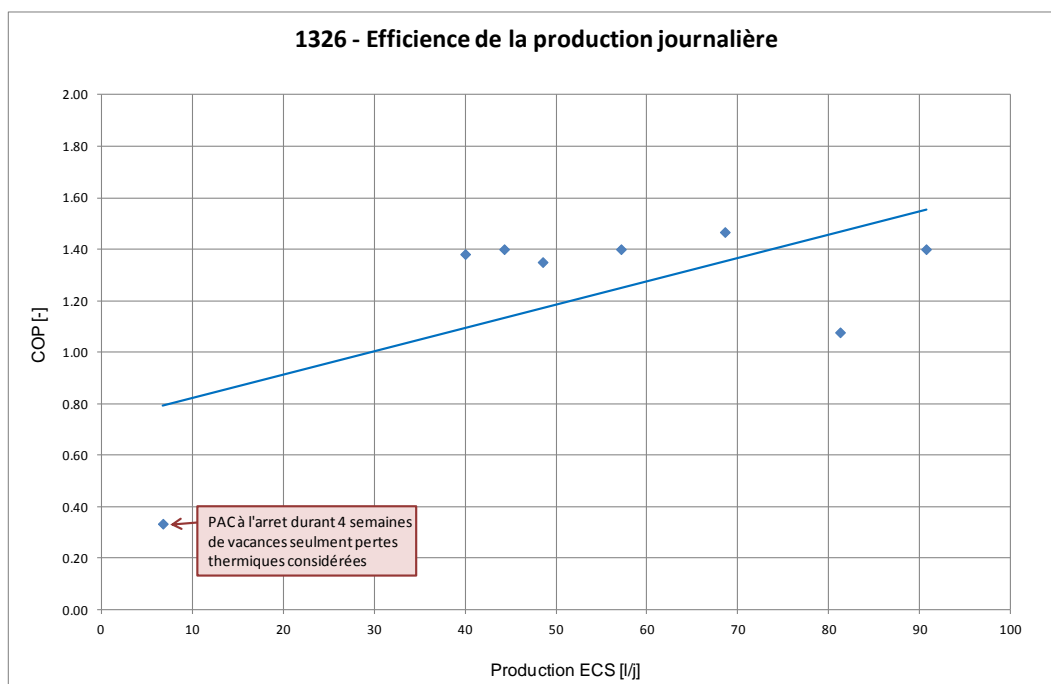


Figure 16 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport au soutirage par production journalière

La consommation d'eau chaude de cette installation est très modeste (55 litres/jour). Conformément aux mesures effectuées dans le laboratoire du WPZ, un petit profil de soutirage «S» ne devrait générer qu'un coefficient de performance d'environ 1,5.

Malheureusement, suite à des difficultés liées à la construction et à l'organisation, cette installation n'a pu être mise en service que très tard. De plus, les données de mesure n'ont été relevées que de façon très irrégulière. L'installation est restée hors service pendant quatre semaines et a lentement refroidi. Durant ce temps, la régulation a consommé 9,0 kW d'énergie électrique, soit 184 W/jour.

Comme il s'agissait d'un modèle compact venant de l'étranger, il n'a pas été possible d'enregistrer le nombre d'enclenchements. La durée de fonctionnement quotidienne moyenne avoisinait 2,6 heures/jour.

Le coefficient de performance situé entre 1,1 et 1,5 est insuffisant. Le fonctionnement, la régulation et la construction du chauffe-eau électrique (amenée d'eau, isolation, etc.) peuvent certainement être optimisés.

1.4.9 Installation 1327 - résultats des mesures et évaluation

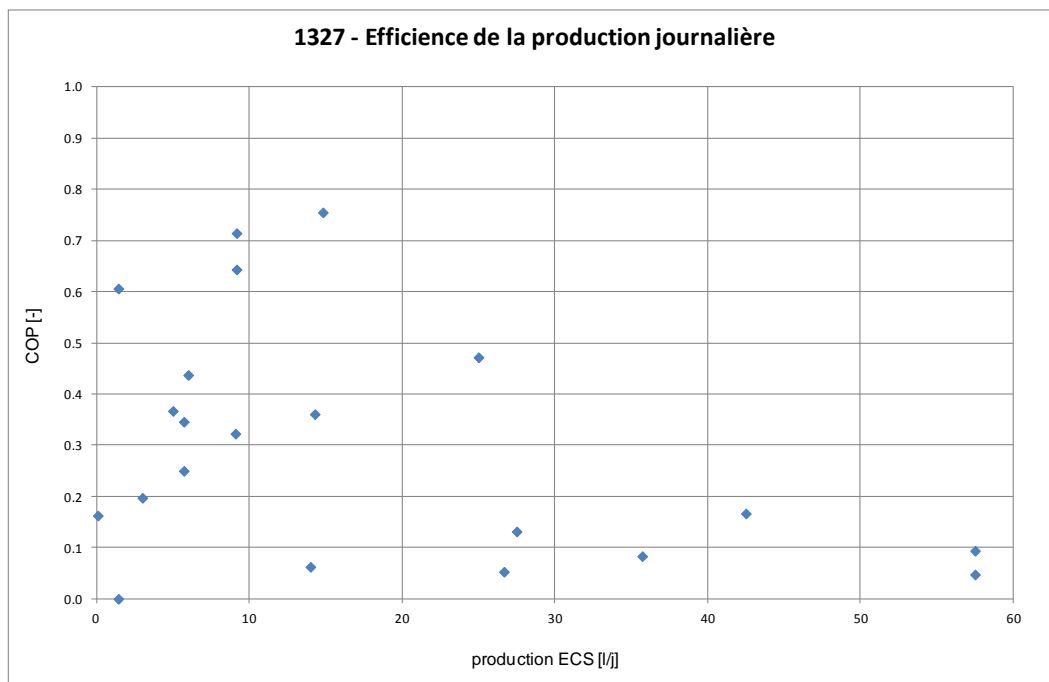


Figure 17 : COP du chauffe-eau pompe à chaleur par rapport au soutirage par production journalière

Au départ, nous avons hésité à intégrer ce chauffe-eau au programme de mesures. De plus, le montage et la mise en service ont pris du retard, si bien qu'en fin de compte, les mesures n'ont duré que six mois. Nous avons néanmoins pris cette installation en considération parce que précisément, elle représentait un cas particulier. Elle se situe dans une maison peu habitée, la consommation d'eau chaude y est par conséquent très faible, à peine 25 litres/jour. Dans le même temps, de nombreux efforts ont été déployés pour minimiser la consommation d'eau chaude : tous les robinets sont munis de réducteurs de débit, le pommeau de douche tout particulièrement. Avec un chauffe-eau pompe à chaleur d'une capacité de 270 litres, on ne pouvait pas s'attendre à une efficacité élevée.

En effet, le coefficient de performance est extrêmement faible (entre 0,1 et 0,7). En optimisant les durées de fonctionnement de l'installation et en procédant à certaines adaptations techniques (chauffe-eau plus petit), l'efficacité pourrait être nettement améliorée. La solution consisterait à installer un chauffe-eau pompe à chaleur d'une capacité maximale de 100 litres pouvant être chauffé rapidement.

1.4.10 Expériences supplémentaires recueillies en cours de fonctionnement

Afin d'intégrer les questions et les particularités du fonctionnement de l'installation 1324 à l'analyse, nous avons eu recours à de petits enregistreurs de données entre le 14 janvier et le 23 avril 2013 pour procéder à des relevés de données complémentaires durant la période de chauffage et durant la mi-saison.

Lors du cycle de charge analysé, il s'est avéré que l'eau était chauffée à une température en fin de cycle de 45-50°, en fonction de la température dans la zone de la sonde. Dans ce contexte, les températures des gaz chauds ont été mesurées à 66-78° C au maximum, contre 45-53°C pour les liquides. Dans la partie supérieure de l'accumulateur, l'eau chaude était à 55°C.

La température de la pièce n'est pas fortement influencée. Entre le début et la fin du cycle de charge, nous avons constaté une diminution de la température de la pièce de $\Delta T \approx 1,8K$. Celle-ci retrouve sa température initiale en l'espace d'une demi-heure environ.

Nous avons profité de la période de mesures pour analyser l'humidité des pièces pour toutes les installations sélectionnées. Nous n'avons constaté aucun problème dû à l'accroissement de l'humidité à ce jour.

La température de la pièce dans laquelle se situe l'installation 1324 a été analysée en hiver et durant la mi-saison. Au vu de la chaleur extraite de l'air ambiant durant le cycle de charge, la tempé-

rature de la pièce chute de moins de 2K et retrouve très vite son niveau initial. Le volume de la pièce est d'environ 47 m³ et répond donc aux conditions définies par le fournisseur. La température a été mesurée au milieu de la pièce à une hauteur de 1,5 m.

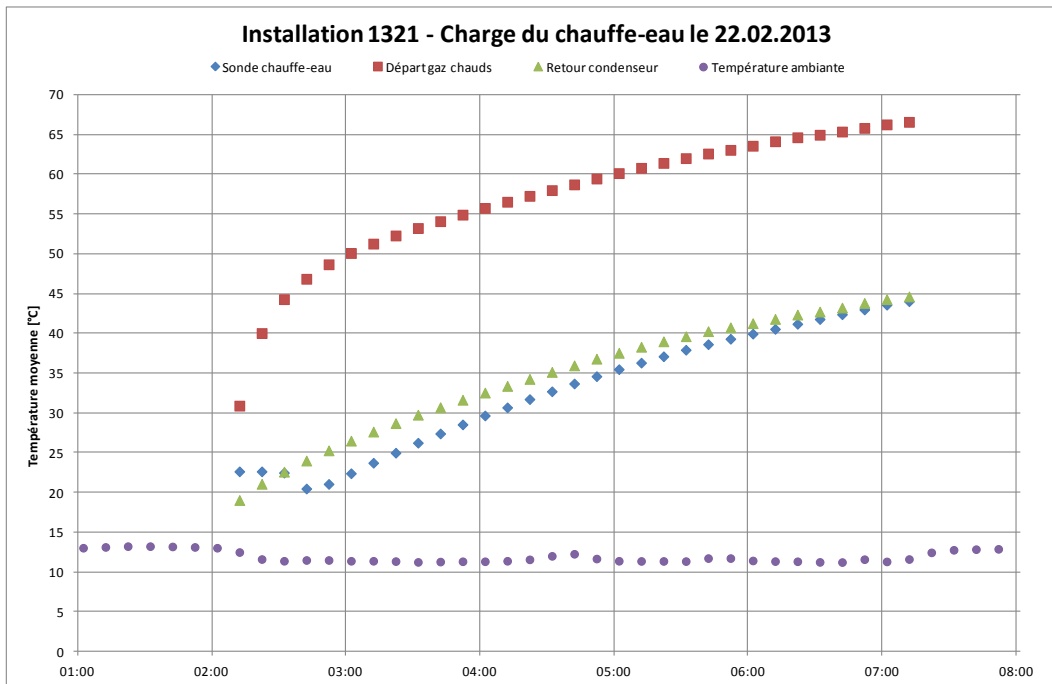


Figure 18 : Cycle de charge d'eau chaude sanitaire et température de la pièce le 22 février 2013

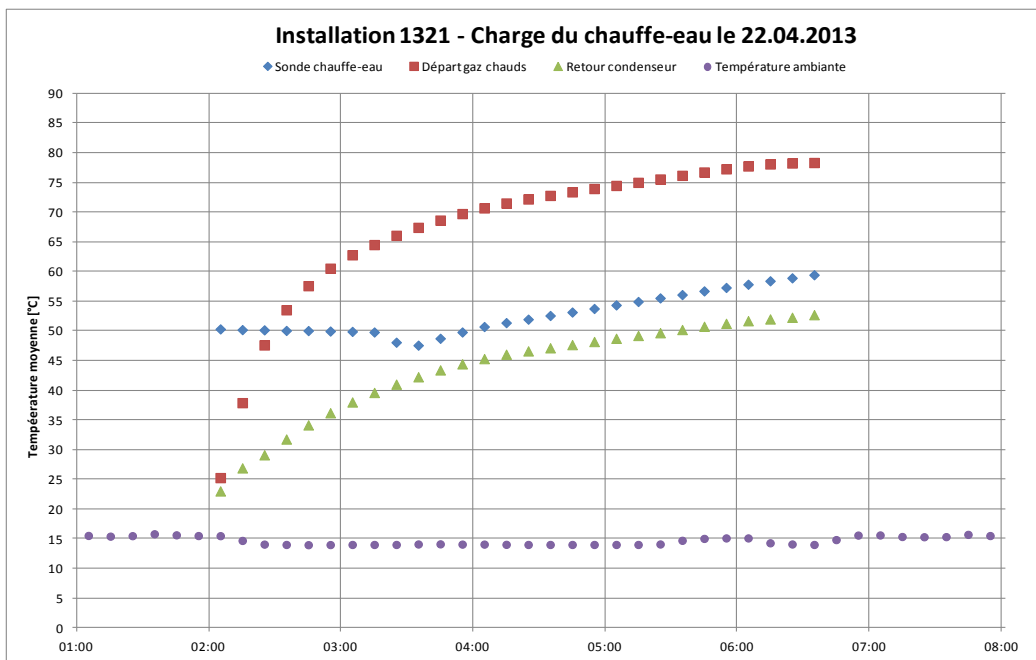


Figure 19 : Cycle de charge d'eau chaude sanitaire et température de la pièce le 22 avril 2013

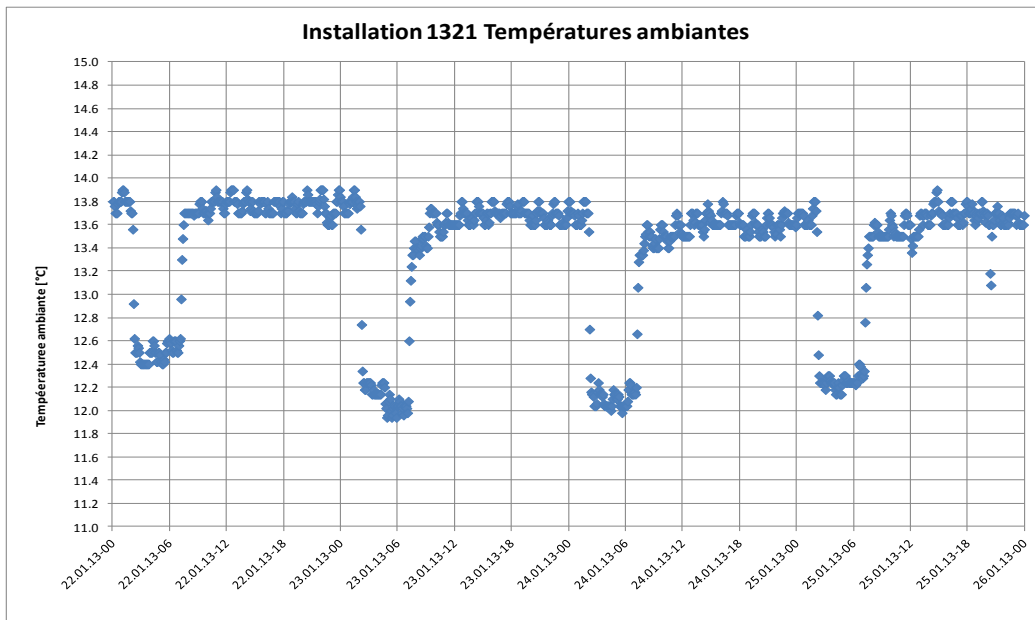


Figure 20 : Evolution de la température de la pièce lors du cycle de charge du chauffe-eau pompe à chaleur

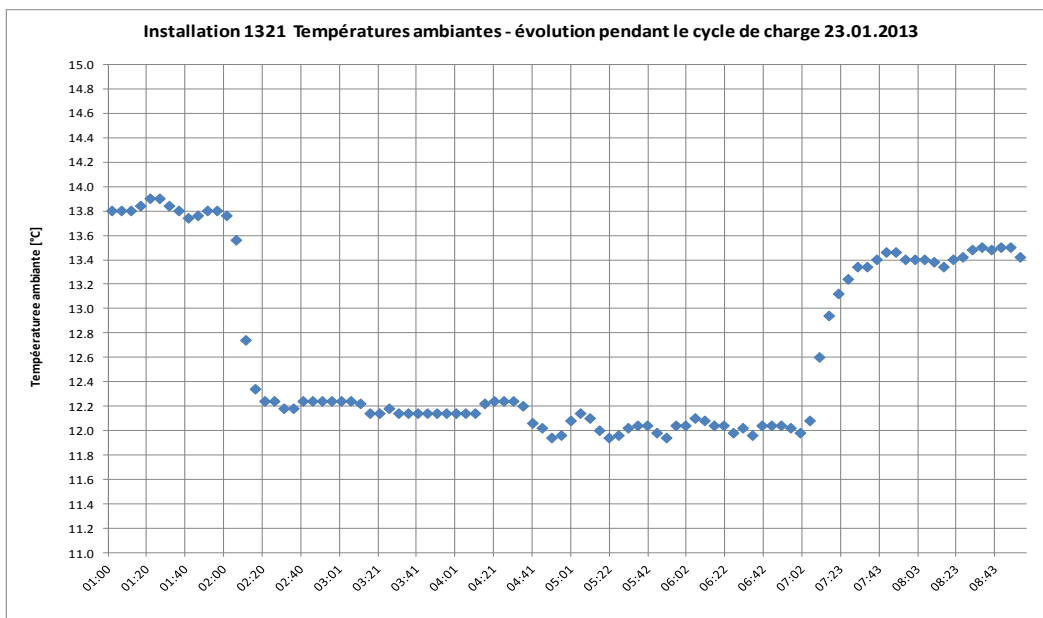


Figure 21 : Evolution de la température de la pièce lors du cycle de charge du chauffe-eau pompe à chaleur

La température de la pièce diminue de quelque 2K en l'espace de 20 minutes environ ; par la suite, elle se maintient à ce niveau de façon quasi constante. En d'autres termes, elle se stabilise et ne retrouve son niveau initial qu'après le déclenchement de la pompe à chaleur, en l'espace de quelque 30 minutes seulement.

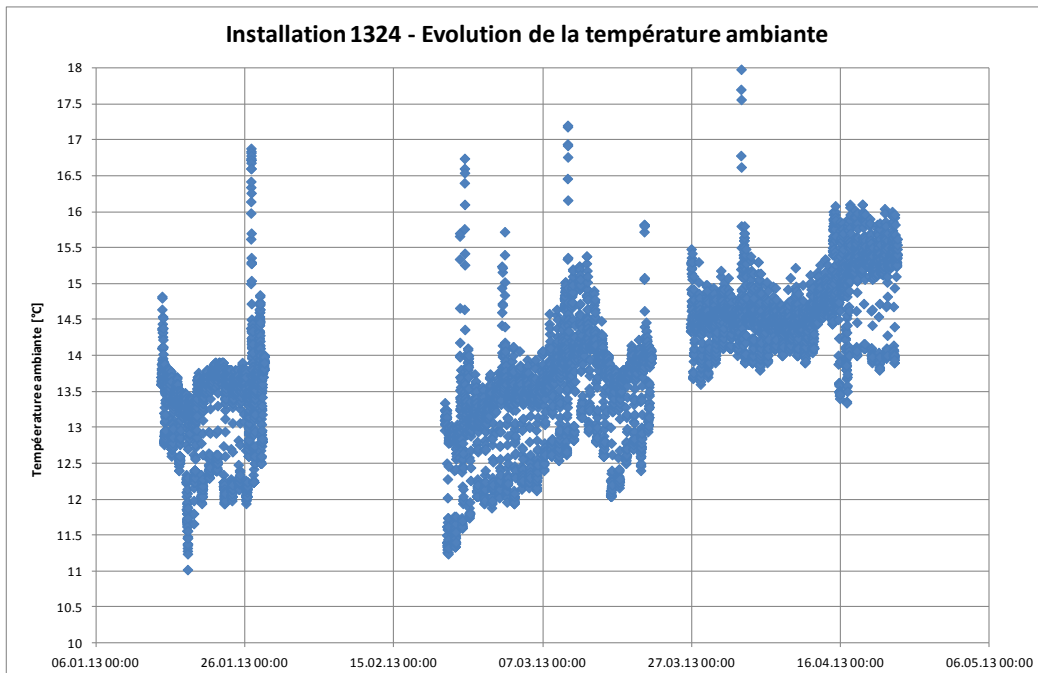


Figure 22 : Evolution de la température de la pièce durant la période de mesure (avec interruptions)

Les résultats de cette analyse complémentaire ne font pas de doute. Lorsque les prescriptions des fournisseurs et fabricants sont respectées, aucun problème n'est à craindre suite à une chute de température excessive dans la pièce dans laquelle est installée la pompe à chaleur.

1.5 Résumé

L'analyse de ces huit installations a fourni d'importants résultats et permis de recueillir de précieuses expériences. Il est essentiel d'en informer également l'industrie, afin qu'elle puisse en tirer ses propres conclusions. Des entretiens ont déjà eu lieu à ce sujet avec les sociétés concernées et ImmoClimat Suisse, l'association suisse leader de la technique de chauffage, d'aération et de climatisation.

Le graphique de la Figure 23 montre que si le soutirage (litres/jour) diminue, tous les équipements examinés atteignent un coefficient de performance d'environ 1,0 pour 20 litres/jour; dans des conditions identiques, le fonctionnement en mode électrique mesuré in situ (corps de chauffe électrique) analysé sur deux installations atteint une efficacité entre 0,4 et 0,5. La dispersion des coefficients de performance, respectivement la divergence en présence de soutirages accrus, est due aux défauts mentionnés, et certainement aussi aux différents degrés d'efficacité des pompes à chaleur.

Sur le plan de l'efficacité, aucun des chauffe-eau pompe à chaleur analysés n'atteint les coefficients de performance indiqués dans la documentation technique, même de loin. Ces écarts sont dus à différents facteurs. Les principales différences sont énumérées ci-après.

- La consommation d'eau chaude est nettement inférieure aux besoins d'eau chaude définis dans la norme SIA 385-3.
- Le WPZ effectue des mesures selon la norme, le profil de soutirage et la taille de l'accumulateur sont donc attribués en fonction. Les résultats des analyses se fondent donc sur des chiffres de consommation plus élevés.
- Au WPZ, les appareils sont mesurés sur le banc d'essai. Les mesures in situ en revanche portent sur des valeurs influencées par des défauts d'installation et de fonctionnement, les coefficients sont donc moins réjouissants.
- Les faibles soutirages laissent supposer que les accumulateurs de ces petits chauffe-eau pompe à chaleur ont tendance à être surdimensionnés.

- Les pertes thermiques des chauffe-eau pompe à chaleur sont uniquement liées à la température de l'eau chaude sanitaire, et non à la consommation effective. Par conséquent, plus la consommation est faible, plus leur effet sur l'efficacité est important.
- Sur les installations in situ, certaines conditions importantes pour assurer un fonctionnement optimal, comme par exemple un thermosiphon ou l'isolation des manchons de raccordement ou des conduites d'eau chaude, font défaut. Des conditions qui pourtant devraient être respectées selon les normes ou les directives du fabricant. Or, celles-ci manquent à différents égards ou sont incomplètes, d'où la nécessité d'intervenir dans ce domaine. Il s'avère indispensable d'élaborer des directives d'application générale précisant les caractéristiques essentielles à respecter pour l'installation et le fonctionnement.

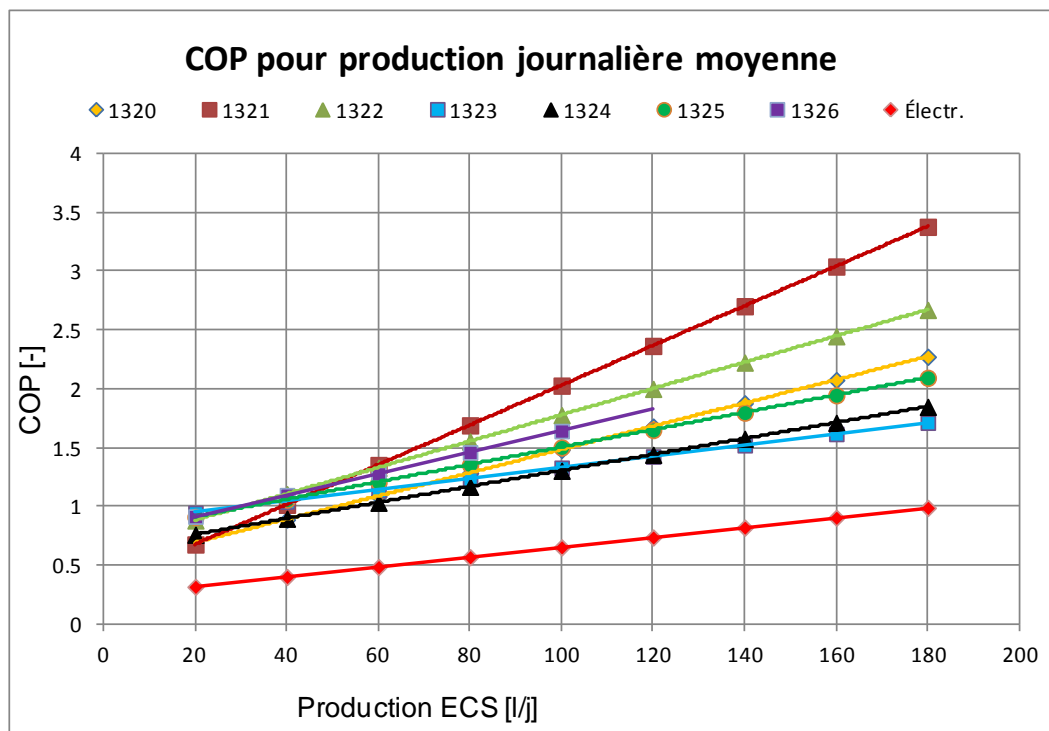


Figure 23 : Moyenne des coefficients de performance (régression linéaire) des sept chauffe-eau pompe à chaleur analysés durant la période de mesures

L'industrie a pris note de la situation et a l'intention d'élaborer une notice d'information sur le dimensionnement des chauffe-eau pompe à chaleur. Celle-ci devrait préciser les critères essentiels du dimensionnement, et tout spécialement de la planification et de l'installation.

Que les planificateurs et les installateurs ne respectent pas toujours les conditions et directives de planification prédéfinies est un fait établi. La branche manque de filières de formation et de perfectionnement, le savoir-faire fait défaut. Une situation qui relève de la compétence des associations professionnelles et des organisations concernées.

De même, la branche peut tenir compte à l'avenir des conclusions et des expériences recueillies ici. L'encouragement d'un chauffe-eau pompe à chaleur muni d'un plus petit accumulateur est un postulat important. Selon les exigences posées, un appareil d'une contenance de 50 à 100 litres devrait s'avérer plus performant tout en couvrant une grande partie de la consommation d'eau. Même en y intégrant la quantité requise pour le remplissage d'une baignoire, un accumulateur de 50 - 100 litres resterait suffisant.

A titre comparatif, citons le chauffe-eau électrique analysé dans le laboratoire du WPZ, qui fait état d'un coefficient de performance de 0,68 - 0,94.

D'autre part, nous avons constaté que la température de la pièce dans laquelle est installé un chauffe-eau pompe à chaleur ne diminue que faiblement, à condition que les instructions de montage soient respectées. Cette conclusion est à interpréter de façon positive. En outre, un chauffe-eau retire de l'humidité à l'air ambiant, ce qui représente un avantage de taille notamment dans les buanderies et les pièces de séchage.

Même si les chauffe-eau analysés ne répondent pas aux attentes en matière d'efficacité, nous pouvons affirmer qu'un chauffe-eau pompe à chaleur est environ trois fois plus efficace qu'un chauffe-eau électrique de même contenance.

C'est un signal très clair pour la branche, respectivement pour les fabricants de ce type d'appareil, qui montre clairement où il est nécessaire d'intervenir. Il est possible d'améliorer l'efficacité des systèmes dans leur ensemble, y compris de la planification, du dimensionnement et du montage ; tout particulièrement si des chauffe-eau encore plus petits combinés avec une pompe à chaleur aussi performante font leur entrée sur le marché.

La situation et la comparaison des mesures de laboratoire et des analyses in situ ont été présentées et discutées lors d'un colloque organisé à l'école supérieure de Buchs SG.

2 Pompes à chaleur à régulation de puissance (Inverter)

2.1 Informations générales

Les pompes à chaleur air-eau à régulation de puissance (Inverter) sont des appareils prometteurs ; leur efficacité devrait être nettement plus élevée; une analyse de laboratoire effectuée par l'école supérieure de Lucerne le confirme. Comme ces pompes à chaleur peuvent être régulées lorsqu'elles fonctionnent en charge partielle, elles sont intéressantes surtout pour les projets d'assainissement.

Ces pompes à chaleur Inverter sont très fortement « encouragées » sur le marché suisse. Par conséquent, il est important de relativiser les affirmations qui faussent la concurrence de marché et de fournir des informations et des évaluations neutres non seulement aux utilisateurs, mais aussi aux installateurs.

Dans le cas des pompes à chaleur à régulation de puissance, il est important que les équipements auxiliaires, notamment le ventilateur, puissent être régulés en mode d'exploitation en charge partielle. En règle générale, ces appareils nécessitent une stratégie de régulation optimale. Le dégivrage de l'évaporateur devrait s'en trouver amélioré, notamment durant la mi-saison (0-7°C).

Les installateurs comme les consommateurs finaux doivent pouvoir se fonder sur des analyses et des tests neutres (évaluations) pour élaborer et appliquer une argumentation crédible sur le marché.

Un autre avantage de ces pompes à chaleur air-eau Inverter est l'aspect acoustique. Les pompes à chaleur air-eau actuellement disponibles sur le marché, notamment les équipements installés à l'extérieur, posent régulièrement problème sur le plan sonore. Les pompes à chaleur Inverter par contre peuvent tourner en régime « silence », leur niveau de pression acoustique est donc moindre, surtout la nuit. En limitant la vitesse de rotation du compresseur et du ventilateur, il est donc plus facile de respecter les valeurs limite.

2.2 Déroutement du projet

2.2.1 Etude de la documentation

Les différents produits présentent certaines divergences. Notre examen a révélé que sur l'un des produits, seule la vitesse de rotation de l'évaporateur-ventilateur varie en fonction de la température extérieure. Il ne s'agit donc pas d'une véritable pompe à chaleur Inverter, raison pour laquelle nous ne l'avons pas intégrée à l'échantillon des installations.

2.2.2 Renseignements pris auprès des fournisseurs

Comme le choix d'adresses appropriées devait avant tout se faire par l'intermédiaire des fabricants et des fournisseurs, le temps investi pour la sélection des installations a constitué un point critique. En effet, nous ne disposions pas d'un nombre suffisant de contacts directs et de projets pour nous procurer ces adresses par nous-mêmes. Pour plusieurs objets qui entraient en ligne de compte, le timing était même dépendant des modalités de livraison des appareils.

2.2.3 Problèmes

La technologie étant relativement récente, certains problèmes étaient malheureusement inévitables. Deux fournisseurs ont repoussé la livraison de l'installation de mois en mois. Finalement, les appareils ont tout de même pu être mis en service.

D'autre part, les logiciels de commande et de régulation de deux appareils ont nécessité plusieurs mises à jour, qui toutes ont nécessité des démarches complémentaires en vue de régler les problèmes de fonctionnement dus au nouveau réglage, etc. Ces adaptations ou modifications d'en-

vergure ont dû être enregistrées et délimitées avec précision dans le cadre du projet de mesures et de l'analyse.

Enfin, en raison des adaptations et des mises à jour précisées, il n'a pas toujours été facile pour les propriétaires des installations de relever les données requises à intervalles réguliers et de les enregistrer correctement.

2.3 Etendue du projet

2.3.1 Echantillon des installations

Echantillon des installations disponibles pour l'enregistrement des données et l'analyse.

Tableau 5: Liste des installations avec pompe à chaleur Inverter

Installation	Désignation	Utilisation		Qh	COP	Qh	COP	Période de Mesure
		Chauffage	ECS	(100%)				
				pour A-7W35		pour A2W35		Dès M. en S.
1300	NIETAN14	x		12.72	2.55	9.20	3.20	10.06.13 - 03.05.15
1301	GOLSEE17	x	x	11.65	2.40	10.87	3.05	04.12.13 - 03.05.15
1302	ABTGAI56	x	x	9.18	2.57	10.73	3.20	10.10.12 - 04.05.15
1303	ZUFCH15	x	x	9.14	2.57	11.67	3.38	21.12.12 - 01.05.15
1304	FELTAM73	x	x	10.79	3.40	8.20	3.42	21.12.12 - 26.04.15
1305	TRIWEI03	x	x	11.87	2.23	8.44	3.27	16.01.13 - 01.05.15
1306	ZIHWIL02	x		9.50	2.60	7.37	3.80	30.12.12 - 03.05.15
1307	KÜTBRA19	x		11.80	3.05	8.14	3.89	14.03.13 - 10.06.15
1308	WILRIE79	x	x	8.20	2.60	9.60	3.20	22.02.13 - 10.05.15
1309	LOMSTO33	x	x	12.70	2.70	8.50	3.80	26.06.13 - 09.05.15
1310	WILVOR04	x		12.40	2.94	7.60	4.02	03.12.14 - 30.04.15
1311	IGIFEL06	x	x	11.80	3.05	8.14	3.89	17.09.14 - 03.06.15
1312	SCHTRO18	x		12.00	3.00	8.50	3.90	03.12.14 - 31.05.15
1313	WANSON06	x	x	13.88	2.90	8.99	3.94	21.11.14 - 14.6.15
1314	PFYBER13	x	x	6.40	2.48	5.80	3.67	02.12.14 - 06.05.15

Remarque: COP et Qh sont donnés par le fabricant

Avant de pouvoir évaluer ce type de pompes à chaleur in situ, nous avons dû surmonter quelques difficultés initiales (2012). En effet, certains équipements en provenance d'Extrême-Orient étaient très fortement représentés en Europe, mais encore inédits sur le marché suisse. D'autres, développés tout récemment, nécessitaient encore un certain perfectionnement. Nous avons rassemblé les données techniques en dépouillant la documentation des fournisseurs. Certaines données provenaient de tests effectués par des organismes de contrôle externes.

Souvent, la collecte de données techniques a été un véritable tour de force. Dans certains cas en effet, les données de puissance d'une exploitation à 100% et à charge réduite, nécessaires pour une comparaison technique, n'étaient pas encore disponibles. Quant aux données techniques publiées, elles étaient encore lacunaires et manquaient de clarté. Nous n'avons pas pu établir les données d'une exploitation à puissance réduite, respectivement avec une vitesse de rotation du compresseur réduite pour tous les équipements examinés.

En raison des retards accumulés, certaines installations n'ont été mises en service que début 2013. Une fois les appareils enfin installés et mis en service, des problèmes sont survenus au niveau de la commande et de la régulation. Par ailleurs, certains appareils ont par la suite été retirés de l'échantillon des installations. L'une des installations a été livrée avec presque six mois de retard. Comme il s'agissait d'un appareil intéressant, cette installation a tout de même été intégrée au projet d'analyses in situ réalisées sur des pompes à chaleur Inverter.

En raison de la situation à laquelle nous étions confrontés, nous avons décidé de prolonger le projet jusqu'en 2015, afin que les expériences d'exploitation et l'analyse de l'efficacité puissent être évaluées sur une période plus longue. Au vu des conclusions de l'analyse des données, nous avons contacté différents fournisseurs afin de discuter des optimisations envisageables. Par ailleurs, toutes les sociétés concernées ont été invitées à une manifestation d'information durant laquelle les résultats ont été présentés de façon anonyme. La discussion qui a suivi a montré que la

situation, respectivement les conclusions et expériences recueillies, trouvaient un écho favorable. Les sociétés représentées souhaitaient mettre cette analyse in situ à profit pour optimiser leurs propres produits.

2.3.2 Appareils de mesure fixés sur les installations

Les appareils de mesure ont été installés par des entreprises de chauffage et électriques sur la base des offres soumises. Les corps de chauffe électriques d'appoint ont été équipés soit d'un compteur d'heures de fonctionnement, soit d'un second compteur électrique.

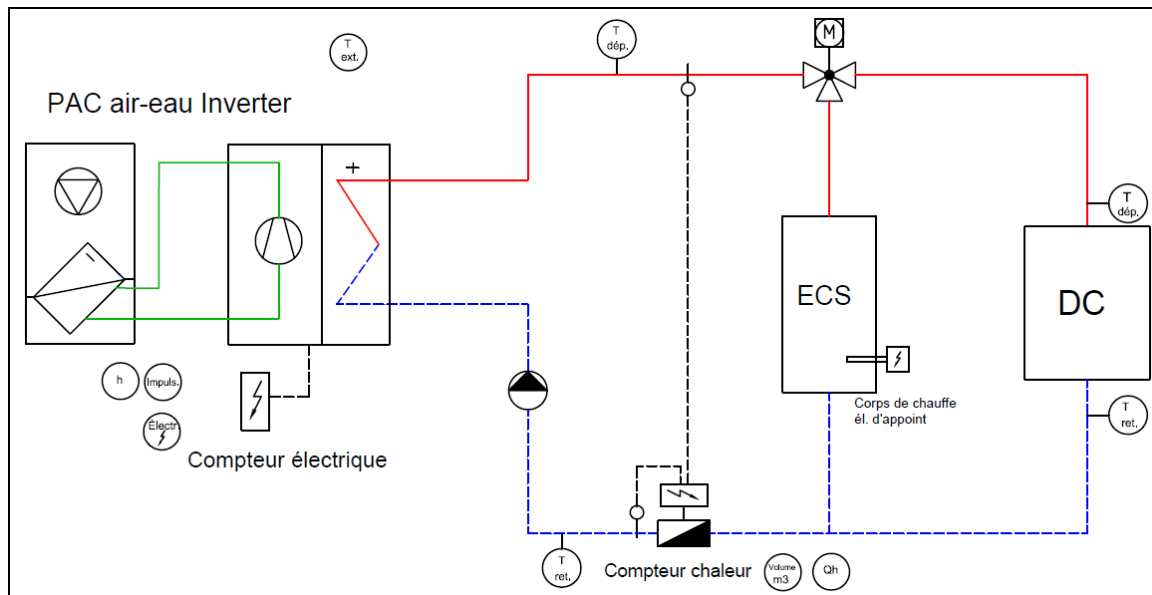


Figure 24 : Schéma de principe de pompes à chaleur Inverter et leurs points de mesure

2.3.3 Configuration des installations

La configuration technique des équipements externes et internes variant d'une installation à l'autre, les techniques de mesure applicables ont été définies au cas par cas.



Figure 25 : Unité intérieure d'une pompe à chaleur Inverter



Figure 26 : Unité extérieure

La plupart des installations sont des modèles split composés d'une unité extérieure et d'une unité intérieure. Le compresseur est intégré soit à l'équipement intérieur, soit à l'équipement extérieur.

2.3.4 Mise en service et début des mesures

Le montage de compteurs de chaleur et de compteurs électriques a été réalisé sur quatre installations jusqu'à mi-décembre 2012. Ces installations de la phase initiale ont été mises en service au second semestre 2012 et au premier semestre 2013. Le projet ayant été prolongé d'une année, cinq installations supplémentaires sont venues rejoindre les premières au second semestre 2014. Toutes les installations ont été analysées durant un à deux hivers et durant la mi-saison: les deux périodes d'exploitation principales, à savoir l'hiver et la mi-saison (exploitation en charge partielle) ont donc pu être évaluées. Par ailleurs, nous avons également relevé et évalué les données d'exploitation des installations à production d'eau chaude sanitaire en été.

2.4 Résultats des mesures et analyse

Les divergences des régimes de chauffage durant l'hiver et la mi-saison ont suscité un vif intérêt, tout comme celles concernant la charge du chauffe-eau. Les premières analyses ont rapidement révélé que l'efficacité des pompes à chaleur Inverter est étroitement corrélée à la température extérieure. D'autre part, nous avons constaté également que si la température extérieure est plus élevée au moment de la charge du chauffe-eau, la puissance de la pompe à chaleur a un effet plutôt négatif sur l'efficacité. L'hypothèse selon laquelle la vitesse de rotation du compresseur et du ventilateur doit être réduite en cas de hausse de la température extérieure a été admise et confirmée sur plusieurs installations en cours de projet. D'autre part, la variation de la quantité d'eau dans le condenseur a également eu un effet positif sur l'efficacité de certaines installations.

Dans la mesure du possible, les propriétaires des installations devaient relever les données à un rythme hebdomadaire, conformément à la liste ci-dessous. L'efficacité a été analysée et définie sur la base de ces relevés.

Tableau 6 : Exemple de relevé des données

Date	Heure	Compteur él. kWh		Compteur chaleur kWh		Heures de fonctionnement		Nbre enclench		Compteur chaleur	Temp.	Temp. Chauffage					
		HT	BT	Avant accu.	Après accu.	1. h	2. h	1. h	2. h	ECS kWh	ext.	Départ	Retour	Δ T	Débit	Puissance	
		C1	C2	C3	C4	C5	C5.1	C6	C6.1	C7	°C	°C	°C	*K	m3/h	kW	
				Accumulateur						BWW							
21.12.2012	10:45	1049.4		0		2009.25		1450		0	4.3	40	40	0	1.716	0	
22.12.2012	6:45	1091.5		100		2029.00		1460		3	2.9	45	43	2.3	1.707	4.3	
26.12.2012	14:50	1201.4		445		2119.75		1507		28	9	36	34	1.9	1.701	3.6	
27.12.2012	22:50	1258		598		2151.75		1519		39	5.4	43	41	2.3	1.69	4.5	
28.12.2012	11:25	1282		658		2164.20		1524		45	5.8	43	41	2.1	1.704	4.1	
29.12.2012	8:10	1316		755		2185.00		1531		51	3.3	46	44	2.4	1.708	4.9	
30.12.2012	13:30	1364		883		2215.00		1541		58	5.9	41	41	0.1	1.7		
31.12.2012	12:15	1406.2		988		2234.15		1549		68	2.9	45	43	2.3	1.707	4.6	
01.01.2013	11:10	1442.9		1094		2258.10		1558		72	5.8	43	41	1.9	1.697	3.7	
02.01.2013	11:20	1474.7		1189		2281.07		1567		78	5.2	44	39	4.2	1.714	8.1	
05.01.2013	10:50	1602.9		1522		2352.40		1590		106	6.4	42	38	3.7	1.69	7.3	
11.01.2013	9:50	1845.1		2160		2492.50		1647		116	2.7	46	42	4.1	1.695	7.9	
13.01.2013	12:25	1966.7		2421		2513.50		1671		148	2.9	46	44	2.2	1.695	4.3	
17.01.2013	19:50	2225.5		2987		2645.60		1714		176	-1.7	51	47	4	1.677	7.6	
18.01.2013	13:30	2282.3		3098		2663.00		1721		182	-1.4	50	46	4.1	1.686	8	
19.01.2013	17:15	2349.8		3248		2689.90		1731		189	4.8	43	40	2.8	1.694	5.5	
25.01.2013	14:40	2680.4		3899		2829.40		1795		210	1.2	47	43	3.8	1.696	7.1	
27.01.2013	11:35	2806.2		4267		2874.25		1810		222	1	47	45	2.1	1.681	4.1	

Par ailleurs, en vue de relever et d'évaluer les phases d'exploitation en charge partielle et totale avec précision, nous avons parfois eu recours à des enregistreurs de données. Ces mesures visent à constater le comportement des installations, respectivement à démontrer si elles fonctionnent réellement lorsque la charge est régulée comme prévu et si l'efficacité est meilleure que celle des installations conventionnelles. Pour que la capacité de chauffage puisse être adaptée dans une aussi large mesure, la pompe à chaleur doit être dimensionnée correctement ; en effet, les avantages ne sont pas suffisamment perceptibles sur une installation surdimensionnée. Lorsqu'une installation est bien conçue, l'efficacité de la pompe à chaleur, notamment le coefficient de performance annuel, est nettement plus intéressante. Un avantage qui non seulement répond aux besoins des utilisateurs, mais qui a son importance également dans le cadre de la stratégie de la Suisse en matière d'efficacité énergétique.

Les graphiques ci-après donnent un aperçu détaillé de l'efficacité des différentes installations. Le coefficient de performance est indiqué en corrélation avec la température extérieure. Les températures extérieures prises en compte pour l'analyse sont des valeurs journalières moyennes indiquées par les stations météorologiques les plus proches, et qui semblaient également appropriées sur le plan géographique.

Ces températures moyennes journalières, déterminées sur la base de l'intervalle des relevés en tant que valeurs médianes, ont été corrigées de 0,5K par 100 m de différence entre l'altitude de l'installation et celle de la station météorologique. Cette façon de procéder a été appliquée dès le départ pour les analyses in situ (ANIS), puis pour les analyses in situ sur l'assurance-qualité des pompes à chaleur (AQ-PAC), et elle a fait ses preuves. Ainsi, les températures extérieures ont été relevées selon une méthode simple. Le relevé manuel de la température extérieure, de même que les températures de départ et de retour, ont uniquement été consignés à des fins de contrôle et à titre d'information sur les valeurs instantanées.

2.4.1 Installation 1300 - résultats des mesures et évaluation

Dans le cas de l'installation 1300, la régulation de la puissance évolue dans la bonne direction. La température de chauffage moyenne (sortie du condenseur) était de 31,5°C. Un appareil standard équipé de la technologie actuelle devrait fournir des résultats semblables (COP annuel entre 3,2 et 3,5). Le débit massique du condenseur demeure constant.

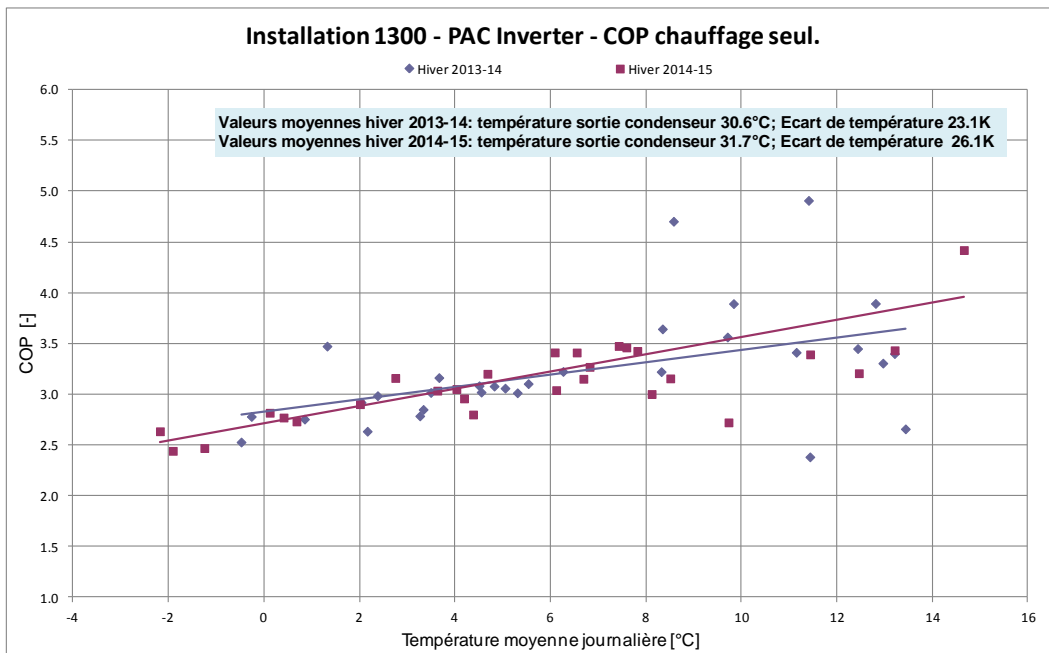


Figure 27 : Installation 1300, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

2.4.2 Installation 1301 - résultats des mesures et évaluation

Dans le cas de l'installation 1301, la valeur de référence est moins satisfaisante en cas de hausse de la température extérieure ; la régulation du compresseur n'en tient probablement pas compte. En cas de hausse de la température, l'efficacité devrait s'améliorer, et non baisser. La température de chauffage moyenne (sortie du condenseur) se situait entre 34,6 et 37,0°C, l'écart de température atteignait 28 à 32,6 K.

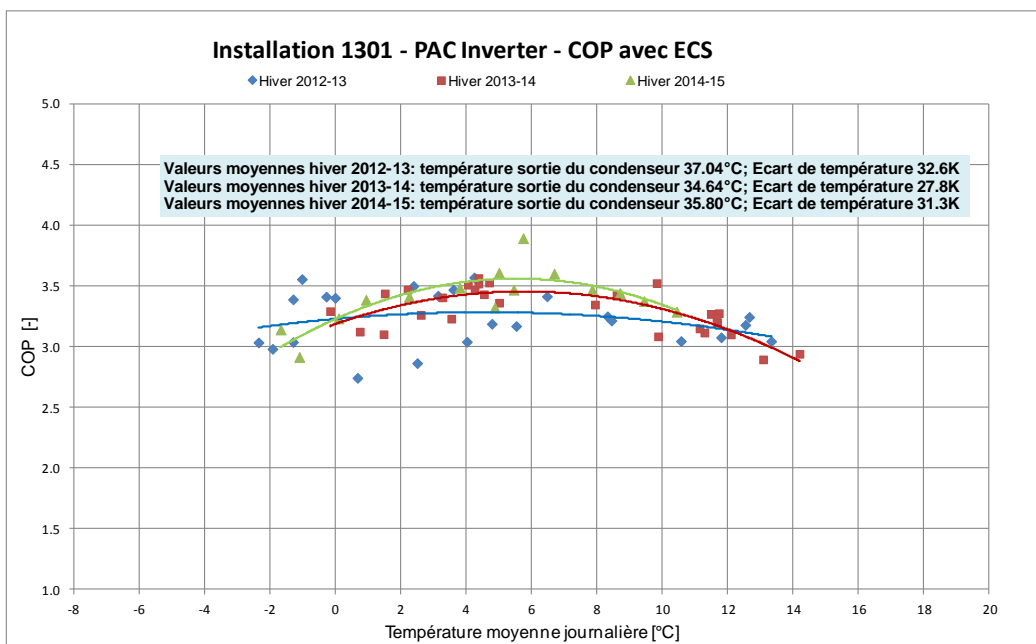


Figure 28 : Installation 1301, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

La chute des coefficients de performance (efficacité) en cas de hausse de la température extérieure est contraire aux attentes et ne correspond pas non plus aux réalités physiques.

Le débit massique du condenseur a deux constantes : l'une plus basse en mode de chauffage (env. 1,0 m³/h) et l'autre plus élevée pour la charge du chauffe-eau (env. 1,5 m³/h).

Pour ce qui concerne la préparation d'eau chaude sanitaire en été, le degré d'efficacité est comparable à celui des pompes à chaleur eau-air standard. Ce qui frappe tout particulièrement, c'est la chute de la droite de régression au fur et à mesure que la température extérieure augmente, alors qu'elle devrait s'accroître en régime de chauffage.

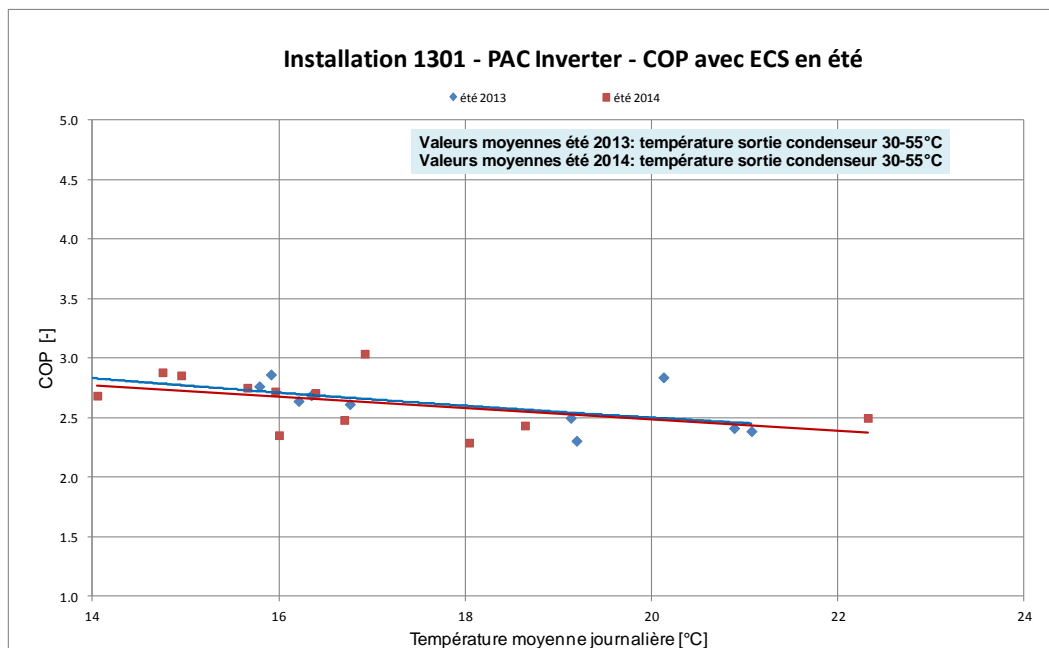


Figure 29 : Installation 1301, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement estival

2.4.3 Installation 1302 - résultats des mesures et évaluation

La régulation de puissance de l'installation 1302 tient compte de la hausse de la température extérieure. Cependant, l'installation fonctionne mal : la distribution de chaleur est mal planifiée et ne peut pas être régulée (surface de chauffage par les murs). La température de chauffage moyenne (sortie du condenseur) atteignait 35,3 à 37,0°C, l'écart de température moyen se situait à quelque 30 à 33K. Compte tenu de ces conditions favorables, on serait en droit d'attendre une efficacité plus élevée. Dans des conditions de laboratoire (A-2/W35), le coefficient de performance de la pompe à chaleur s'est inscrit à 3,4.

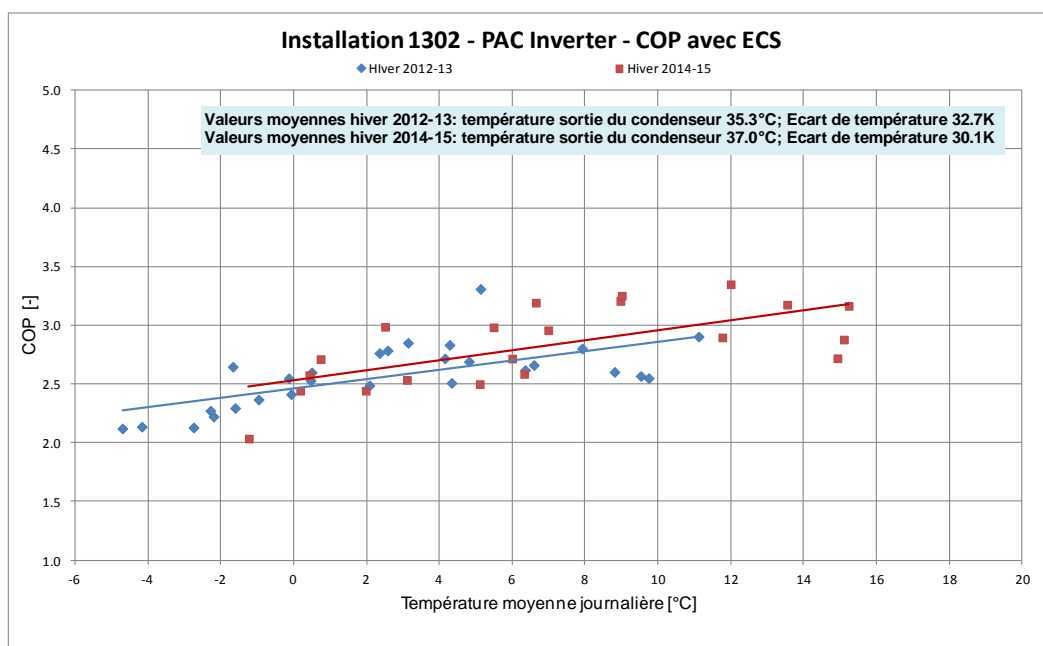


Figure 30 : Installation 1302, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

Le débit massique est demeuré constant à env. 1,2 m³/heure et est resté le même également lors de la charge du chauffe-eau. Comme pour l'installation 1301, le coefficient de performance de la préparation d'eau chaude sanitaire, qui se situe à 2,5, est inférieur aux attentes. Dans des conditions de laboratoire (WPZ: A-7/W45), le coefficient de performance de la pompe à chaleur s'est inscrit à 3,4.

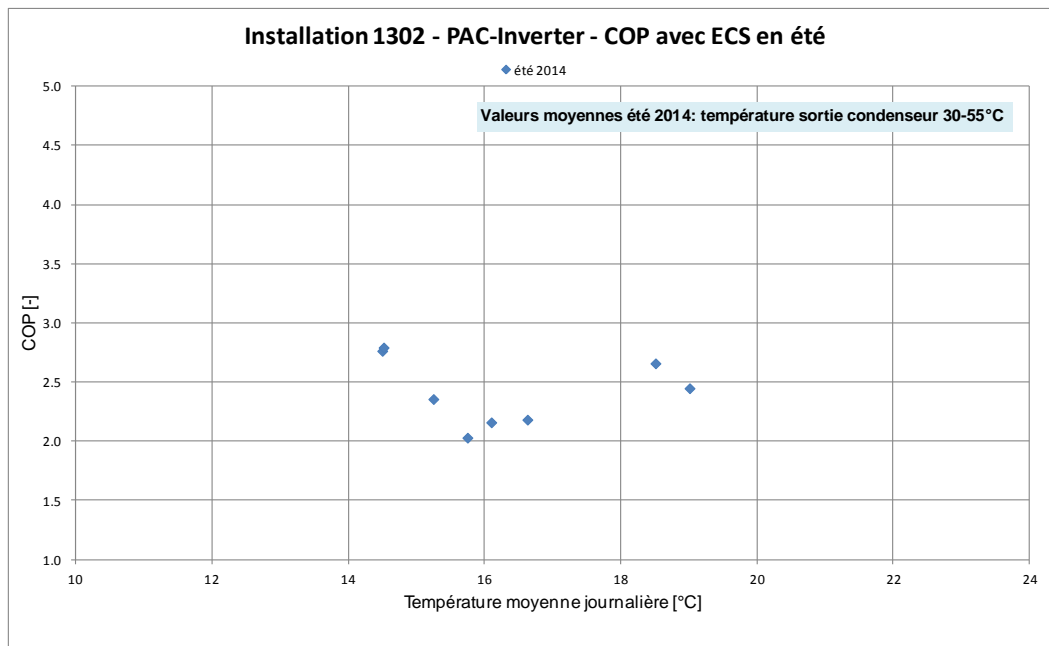


Figure 31 : Installation 1302, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement estival

2.4.4 Installation 1303 - résultats des mesures et évaluation

Le mauvais fonctionnement de cette installation est dû au système choisi et au raccordement hydraulique. Elle est équipée d'un accumulateur combiné et d'une installation solaire thermique ; d'autre part, la régulation de puissance de la pompe à chaleur est insuffisante. La température de chauffage moyenne à la sortie du condenseur est demeurée pratiquement constante à 42,5°C, indépendamment de la température extérieure. Cette condition est manifestement nécessaire pour pouvoir garantir la charge, respectivement l'accumulation d'eau chaude sanitaire.

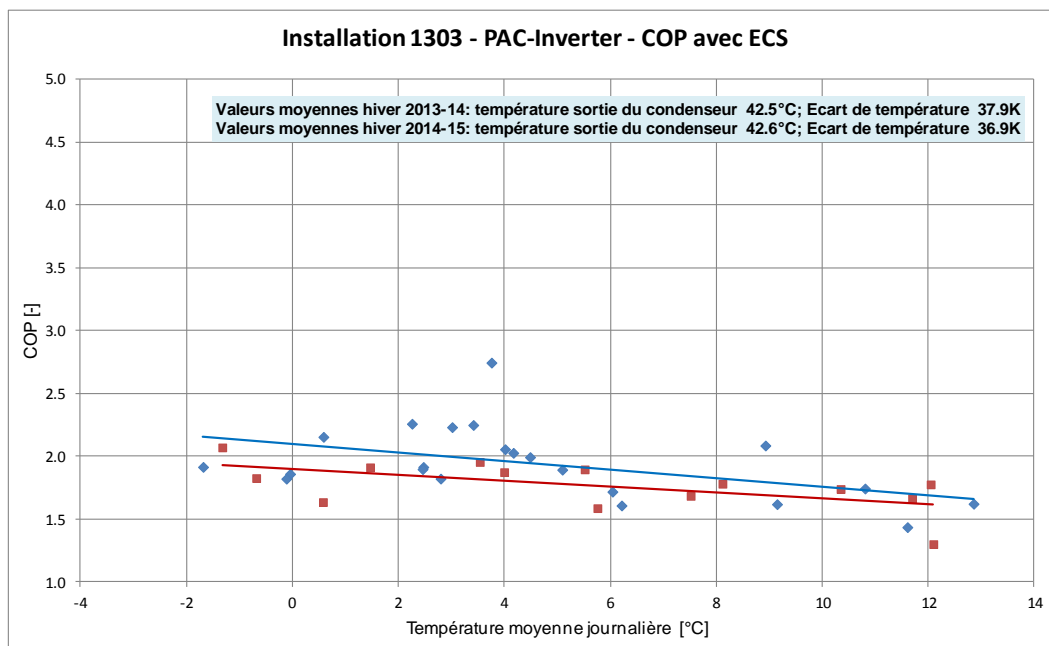


Figure 32 : Installation 1304, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

Une fois de plus, ce type de concept s'est avéré complexe sur le plan de la régulation et ne fonctionne que si tous les composants sont combinés de façon optimale (PAC système-module²).

2.4.5 Installation 1304 - résultats des mesures et évaluation

Cette installation aussi fonctionne nettement moins bien. En cas de hausse de la température extérieure cependant, l'efficacité s'améliore nettement. La régulation de puissance de cette pompe à chaleur n'est pas corrélée à la température extérieure. Le débit massique du condenseur demeure constant, et est resté le même également pour la charge du chauffe-eau.

Cette installation présente des caractéristiques semblables à celles d'une pompe à chaleur air-eau conventionnelle.

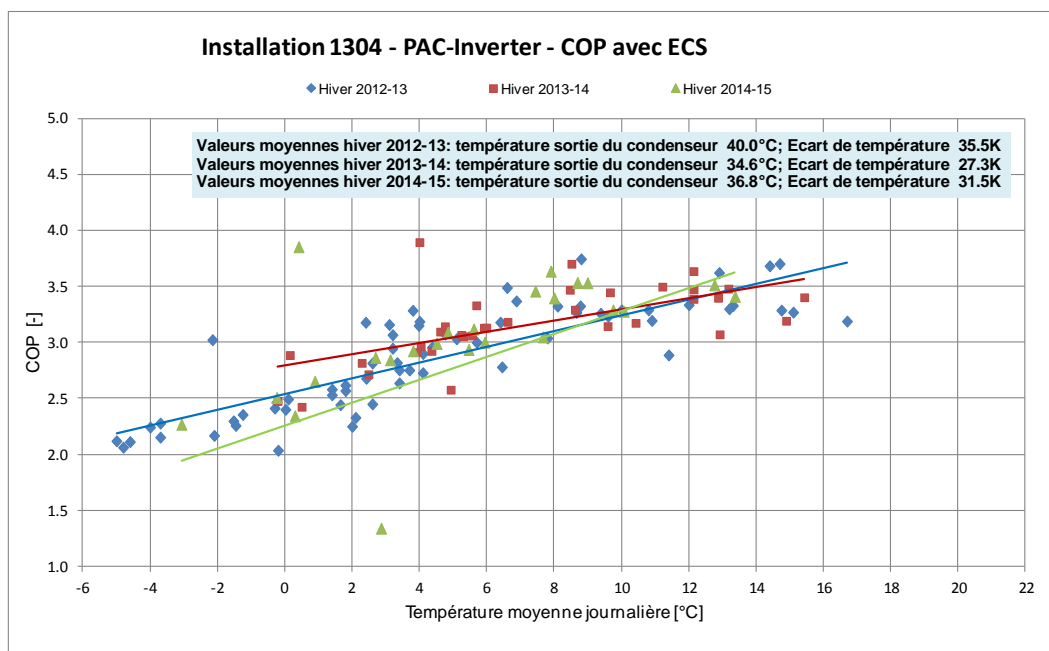


Figure 33 : Installation 1304, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

Durant les mois d'été, la préparation d'eau chaude sanitaire est plutôt efficace, puisqu'elle atteint des valeurs entre 2,5 et 3,5. Néanmoins, elle aussi tend à évoluer négativement en cas de hausse de la température extérieure.

² Le Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur GSP a développé le « PAC système-module » d'entente avec des organisations professionnelles de renom. Pour de plus amples informations, veuillez consulter le site www.wp-systemmodul.ch

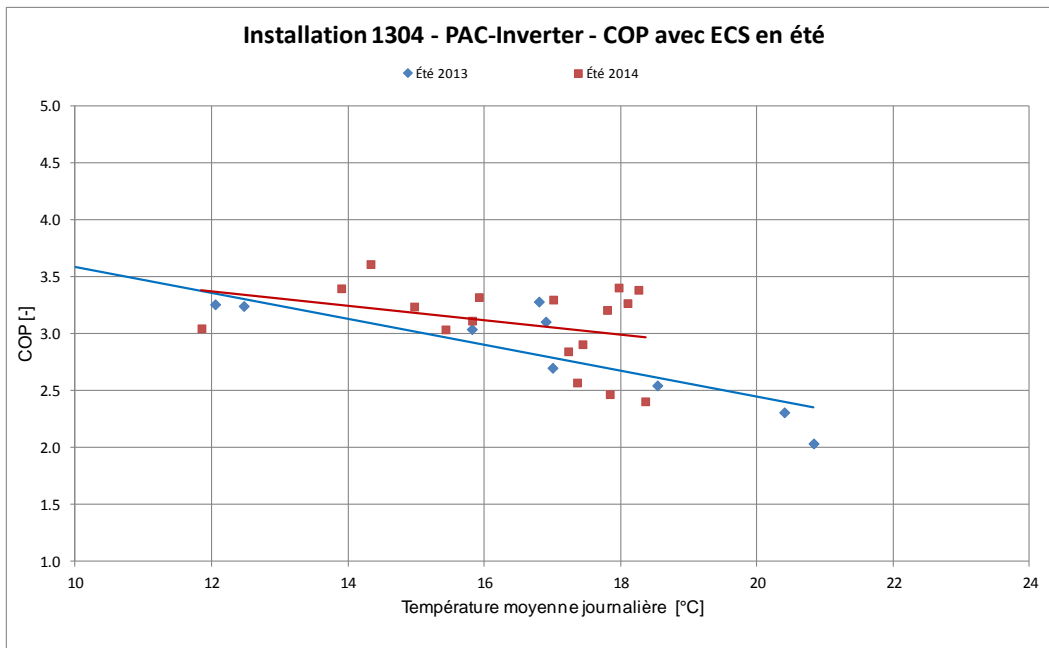


Figure 34 : Installation 1304, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement estival

Ce type de pompe à chaleur a depuis été remplacé par le nouveau modèle, qui n'a malheureusement plus pu être intégré à l'échantillon des installations analysées dans le cadre de ce projet.

2.4.6 Installation 1305 - résultats des mesures et évaluation

Suite à une première analyse du mode de fonctionnement hivernal en 2012-2013, cette installation a été optimisée en collaboration avec le fournisseur. La démarche a porté ses fruits, puisque l'efficacité s'est améliorée de quelque 10%. Lors des tests en laboratoire (A2-W/35), cette pompe à chaleur a atteint les mêmes valeurs.

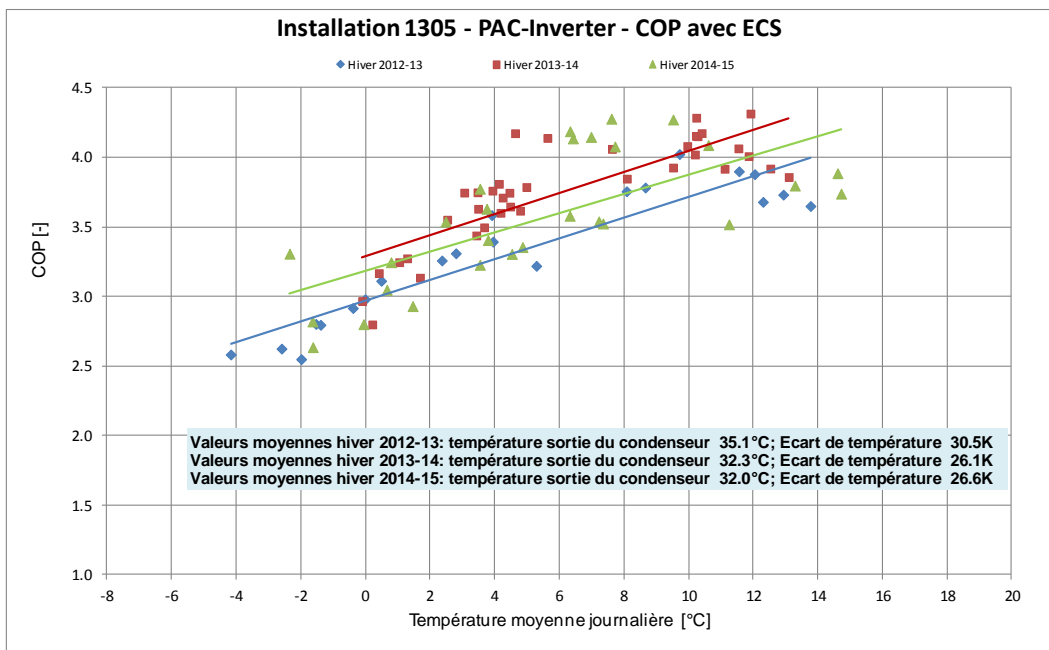


Figure 35 : Installation 1305, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

La valeur de référence de l'installation 1305 n'est pas optimale en cas de hausse de la température extérieure, le régulateur n'en tient probablement pas compte. L'efficacité diminue nettement au fur et à mesure que la température extérieure augmente.

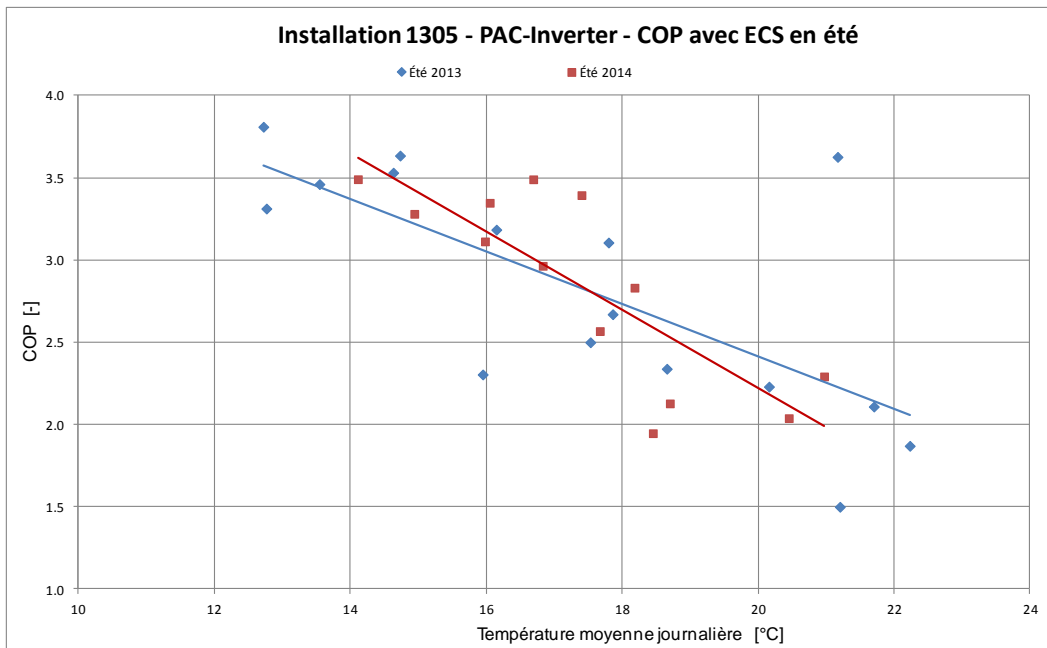


Figure 36 : Installation 1305, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement estival

D'entente avec les spécialistes du fournisseur, nous avons défini un profil de charge du chauffe-eau en mode de fonctionnement estival. S'est alors posée la question de la régulation de puissance optimale, notamment pour l'état en fin de cycle de charge, lorsque la température de retour est élevée.

L'objectif était d'atteindre une température aussi élevée que possible pour l'eau chaude sanitaire, sans que la pompe à chaleur ne s'enclenche/se déclenche de façon intempestive ou que la surveillance de la haute pression ne fasse défaut.

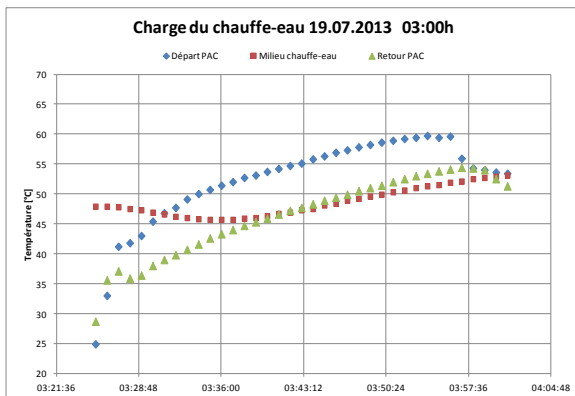


Figure 37 : Cycle de charge durant la nuit

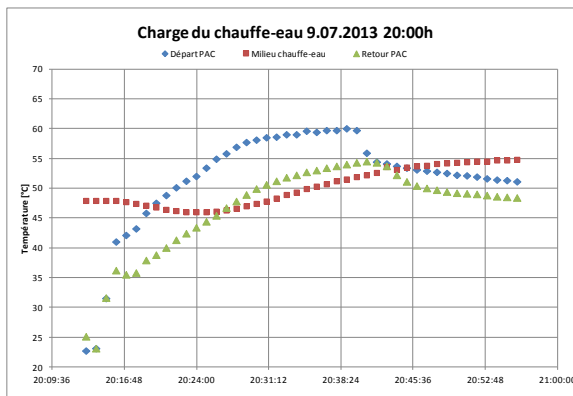


Figure 38 : Charge complémentaire le soir

Ces mesures ont permis de constater que certains paramètres (valeurs fixes) étaient trop élevés ; ils ont pu être optimisés par la suite.

Lors de la charge de jour (cf. Figure 38), le passage en mode de chauffage normal vers 20h40 est clairement visible.

2.4.7 Installation 1306 - résultats des mesures et évaluation

Cette installation bénéficiait d'une régulation claire et univoque de la pompe à chaleur en fonction de la température ambiante. La pompe à chaleur a atteint les coefficients de performance indiqués dans la fiche technique de l'installation. Cette dernière fonctionne de façon remarquable et sans perturbations.

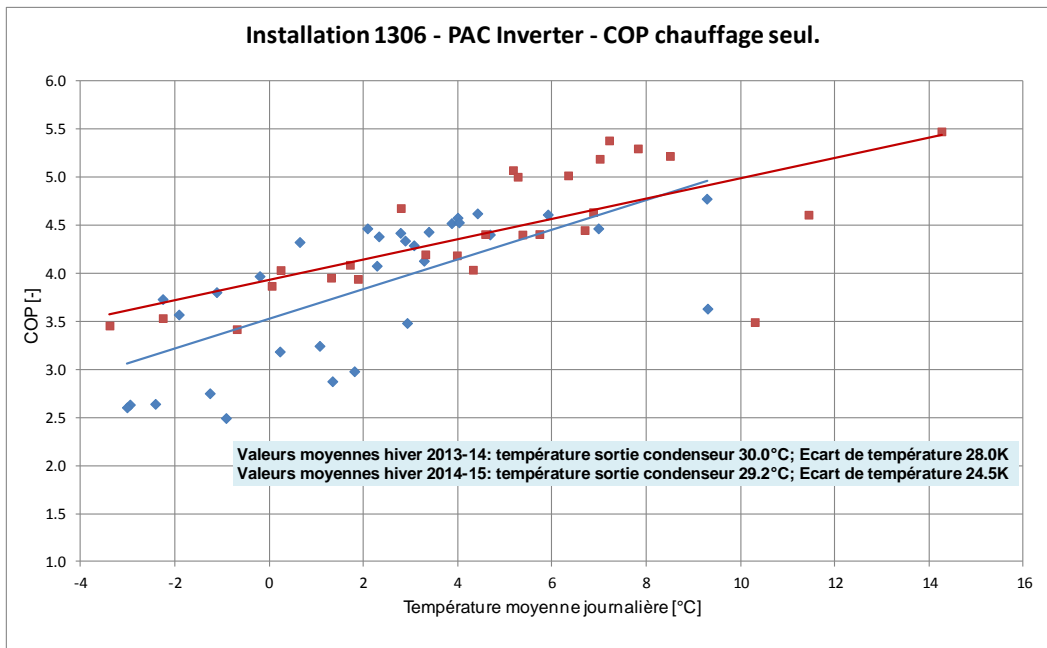


Figure 39 : Installation 1306, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

Le débit massique du condenseur varie entre 0,75 et 1,2 m³/heure. Sur le plan de la puissance absorbée (puissance électrique) et de la puissance de chauffage (diffusion de chaleur) aussi, nous avons constaté que les valeurs tendaient à baisser au fur et à mesure que la température extérieure augmentait. Si les durées de fonctionnement de l'installation sont longues (entre 6-18 heures/jour pour trois enclenchements), nous n'avons pu établir aucun lien avec la température extérieure.

2.4.8 Installation 1307 - résultats des mesures et évaluation

Cette installation a été livrée avec beaucoup de retard ; par la suite, plusieurs nouvelles versions du logiciel ont été testées entre mars et novembre 2013. En fait, l'installation n'a vraiment bien fonctionné qu'à partir de mi-novembre 2013, les données recueillies n'ont donc elles aussi pu être évaluées qu'à partir de cette date.

Cette installation prend la température extérieure comme valeur de référence pour la régulation de la vitesse de rotation du compresseur. Cependant, même si la régulation fonctionne bien, elle peut encore être améliorée en cas de hausse de la température extérieure. Entre +5,0 et 12,0°C, l'efficacité chute de quelque 20%.

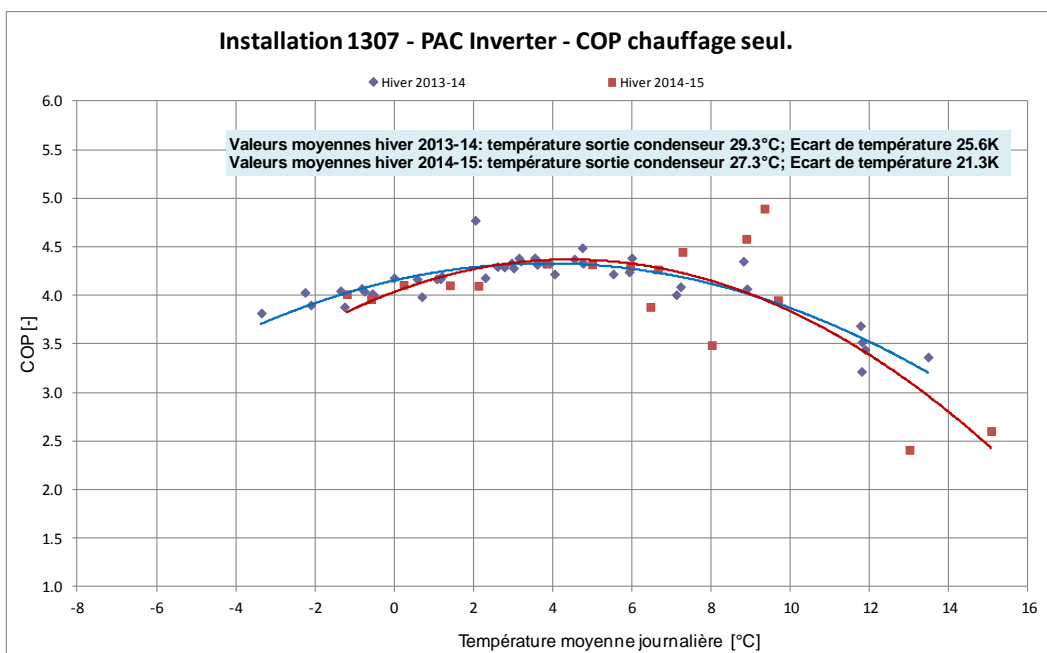


Figure 40 : Installation 1307, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

Le débit massique du condenseur demeure constant. La puissance électrique absorbée est elle aussi quasi constante, la capacité de chauffage - physique oblige - augmente au fur et à mesure que la température extérieure augmente. La régulation du compresseur et du ventilateur en cas de hausse de la température extérieure peut certainement être optimisée.

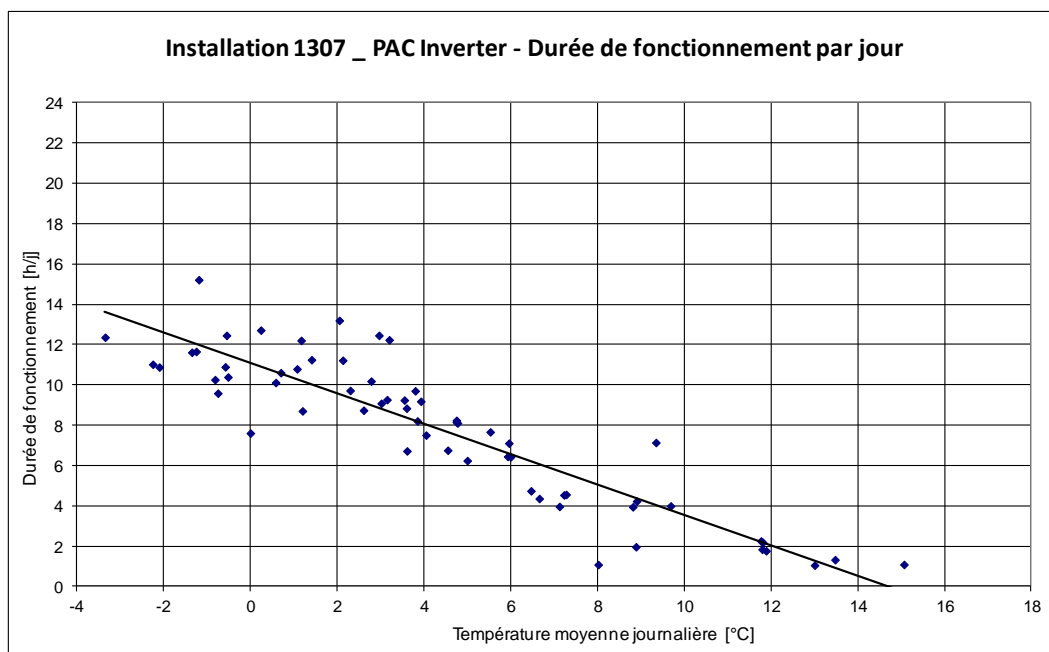


Figure 41 : Installation 1307, évolution de la durée de fonctionnement en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

Compte tenu de la régression linéaire et estimée en fonction de la température de dimensionnement, la durée de fonctionnement est d'environ 17 heures/jour. L'installation est donc encore légèrement surdimensionnée. Etant donné que la puissance de la pompe à chaleur Inverter est ou devrait être réduite en fonction des besoins, on pourrait s'attendre à des durées de fonctionnement plutôt longues.

2.4.9 Installation 1308 - résultats des mesures et évaluation

Cette installation ne présente aucun algorithme de régulation. En raison de son efficacité plus qu'insuffisante, l'appareil (unité extérieure) a été remplacé au terme du premier hiver. Néanmoins, les résultats n'en sont pas meilleurs pour autant.

Il s'agit d'un produit de série étranger qui n'a pas encore été mis en œuvre très souvent en Suisse. Cet appareil nécessite d'importantes adaptations tant pour la régulation que pour le dimensionnement et la construction techniques.

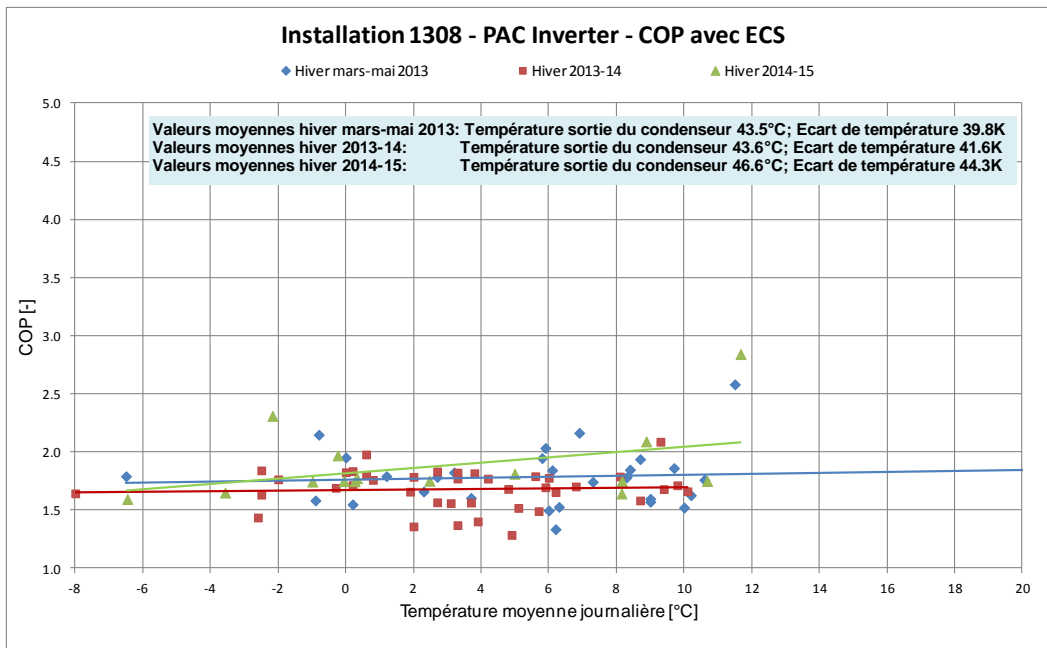


Figure 42 : Installation 1308, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

L'efficacité de cette pompe à chaleur est médiocre. Un coefficient de performance de 1,5-2,0 est insuffisant. De plus, la qualité du montage laisse à désirer. Les conduites de chauffage et de raccordement ne sont pas isolées. L'installation se situe à 1100 m d'altitude, la pompe à chaleur se trouve dans une remise non chauffée. L'ensemble des conditions cadres de la pompe à chaleur étant défavorables, on ne peut pas en attendre un résultat favorable.

De même, la charge du chauffe-eau en été n'est pas efficiente.

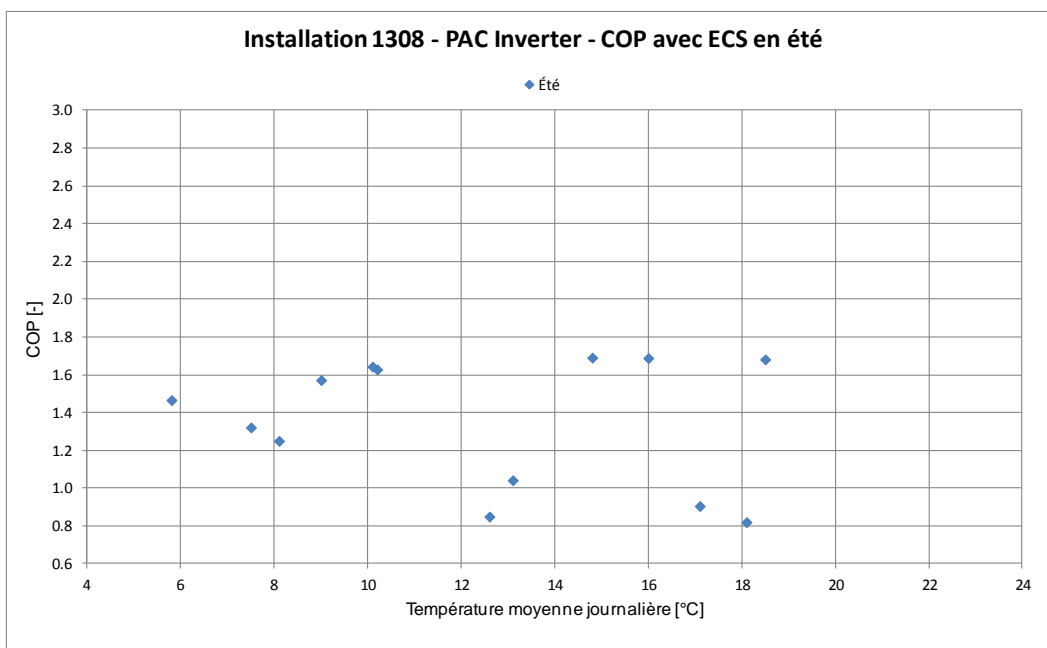


Figure 43 : Installation 1308, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement estival

Selon les informations fournies par les parties impliquées, les suggestions et expériences recueillies seront concrétisées dans le courant de 2015.

2.4.10 Installation 1309 - résultats des mesures et évaluation

Au début, aucun comportement de régulation n'a pu être identifié sur l'installation 1309. Les données liées à la puissance montraient d'importants écarts. Les tests en laboratoire (A-2/W35) ont révélé un coefficient de performance de 3,8.

Avec la technologie d'aujourd'hui, l'appareil standard du même fournisseur obtient des résultats même meilleurs (coefficient de performance annuel entre 3,2 et 3,5).

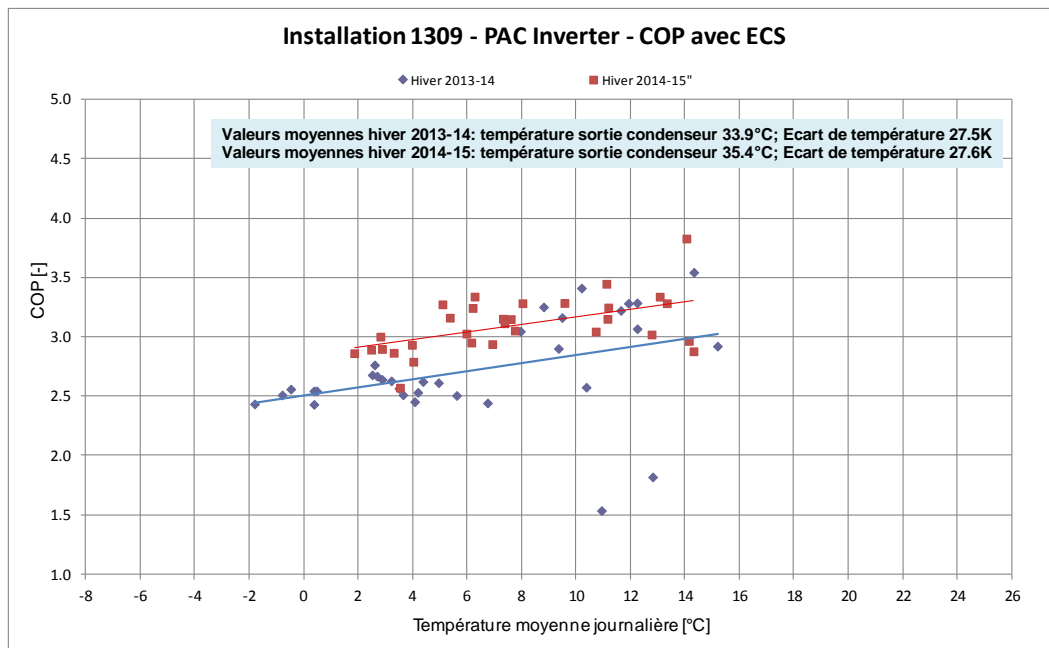


Figure 44 : Installation 1309, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

Le fournisseur et le fabricant ont examiné les problèmes dans les détails. Les spécialistes du fabricant ont discuté des conclusions et expériences de cette analyse in situ, respectivement ont cherché de meilleures solutions d'entente avec des professionnels de la régulation et les responsables du projet. Un nouveau logiciel a été élaboré et testé sur l'installation. Malheureusement, les résultats n'ont plus pu être analysés dans le cadre de ce projet.

En mode de fonctionnement estival, cette installation a elle aussi vu son efficacité diminuer au fur et à mesure que la température extérieure augmentait.

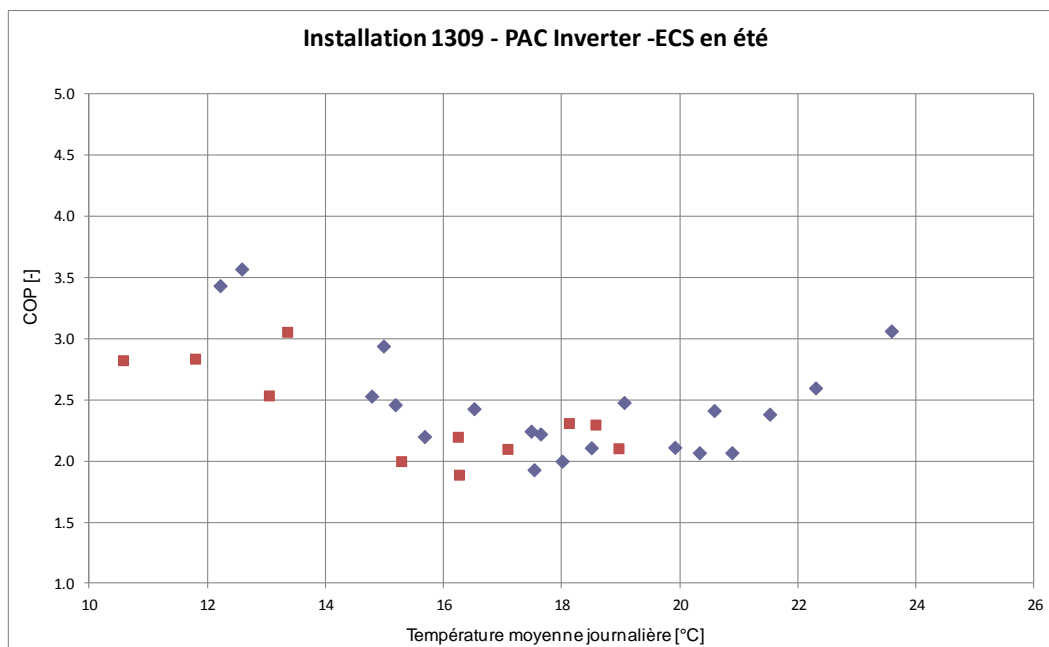


Figure 45 : Installation 1309, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement estival

2.4.11 Installation 1310 - résultats des mesures et évaluation

L'efficacité de cette pompe à chaleur n'atteint pas les coefficients de performance indiqués dans la documentation technique. L'installation se situe dans une maison ancienne. La température de

départ requise est d'environ 45°C. La pompe à chaleur a été installée récemment. L'accumulateur technique en découplage hydraulique n'a été remplacé que par la suite par un accumulateur technique en série dans le circuit hydraulique.

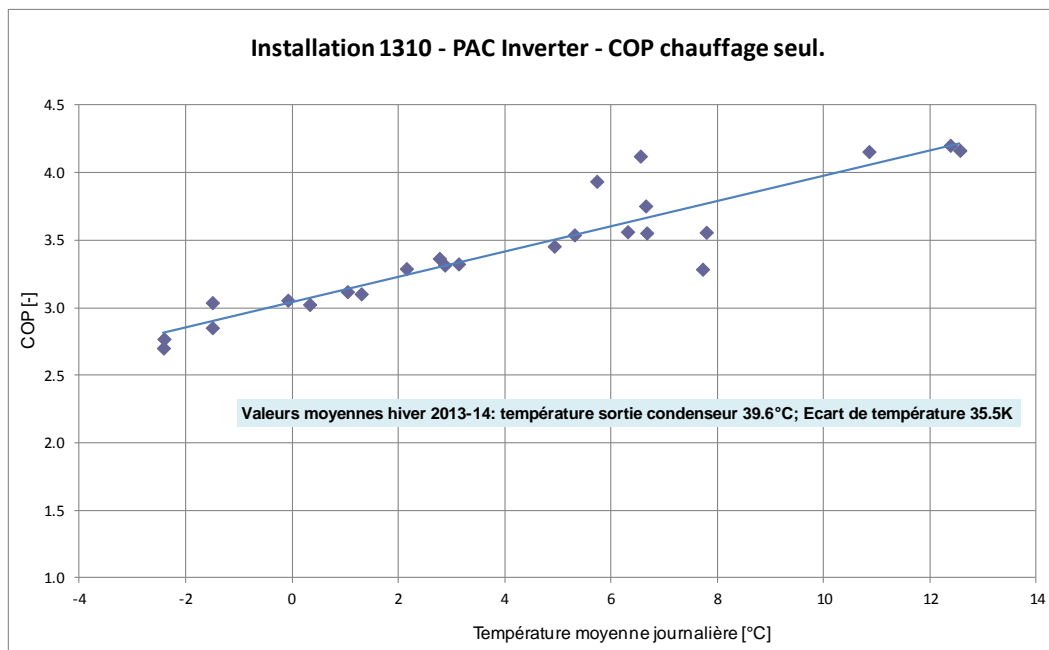


Figure 46 : Installation 1310, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

La puissance de cette pompe à chaleur est réglée en fonction de la température extérieure. Lorsque celle-ci est à -4,0 °C, la pompe à chaleur est en marche 24 heures/jour ; la durée de fonctionnement diminue au fur et à mesure que la température extérieure augmente : à 12° C, elle ne totalise plus que 10 heures/jour environ. La durée de fonctionnement par enclenchement est optimale et dure en moyenne environ 11 heures.

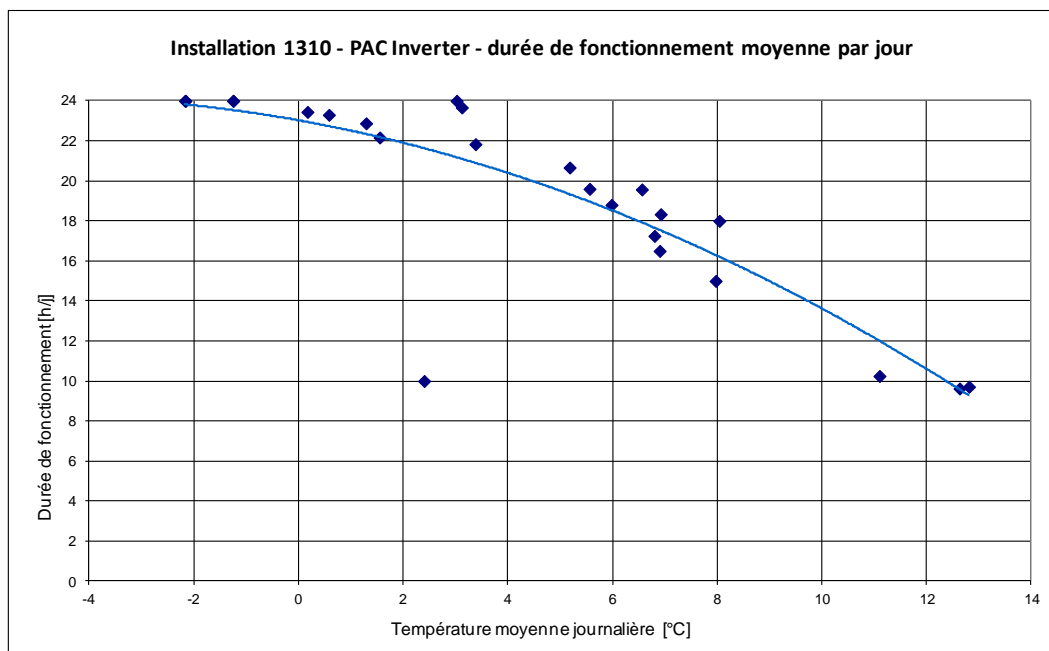


Figure 47: Installation 1310, évolution de la durée de fonctionnement en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

Cette pompe à chaleur est celle dont la durée de fonctionnement répond le mieux aux attentes posées aux pompes à chaleur à régulation de puissance. La puissance est adaptée, respectivement réduite en fonction des besoins. Par conséquent, il est à prévoir – à juste titre - que la durée de fonctionnement diminue au fur et à mesure que la température extérieure augmente. Reste que les durées de fonctionnement devraient être nettement plus longues que celles des pompes à

chaleur conventionnelles à un niveau, puisque la puissance est régulée. En présence d'une température extérieure de 4,0°C, cette pompe à chaleur est en service environ 20 heures/jour.

2.4.12 Installation 1311 - résultats des mesures et évaluation

Cette installation produit la chaleur utile requise pour chauffer le bâtiment et produire de l'eau chaude sanitaire. La pompe à chaleur fonctionne très bien et est efficace. Comparée à l'installation 1307, qui est un produit identique, elle présente tout de même certaines différences. L'installation 1307 ne produit pas d'eau chaude ; pourtant, le coefficient de performance baisse dès que la température extérieure dépasse environ 5,0°C. Dans le cas de cette installation en revanche, le coefficient de performance augmente parallèlement à la température extérieure.

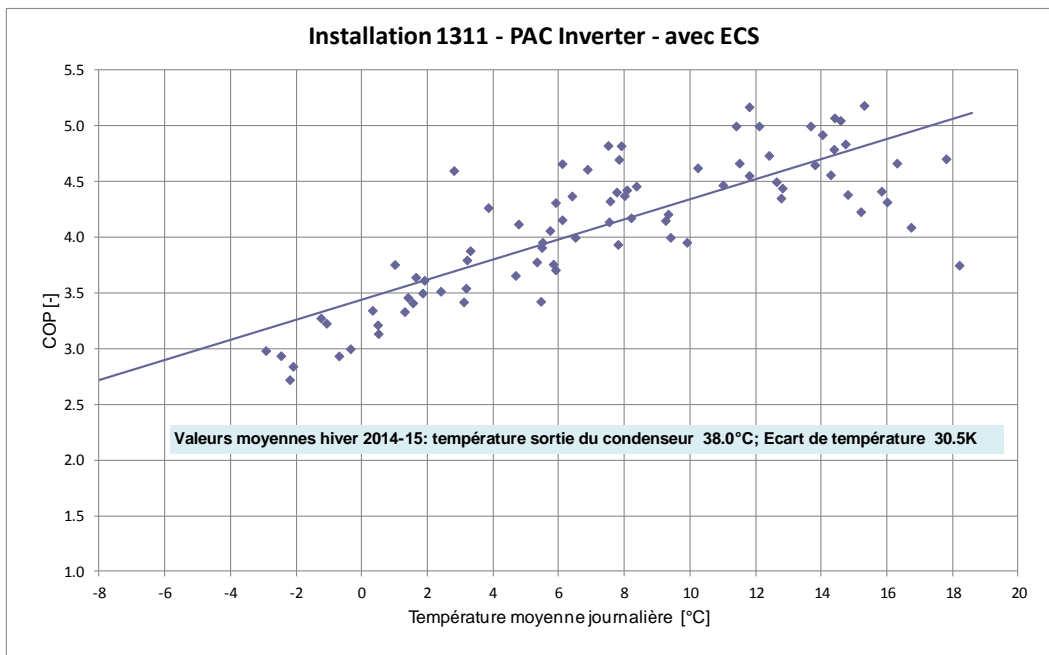


Figure 48 : Installation 1311, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

En comparaison de l'installation 1307, les durées de fonctionnement sont nettement plus longues. Cette installation n'est pas surdimensionnée. En présence de la température extérieure de dimensionnement, la durée de fonctionnement de l'installation totalise 21,4 heures/jour.

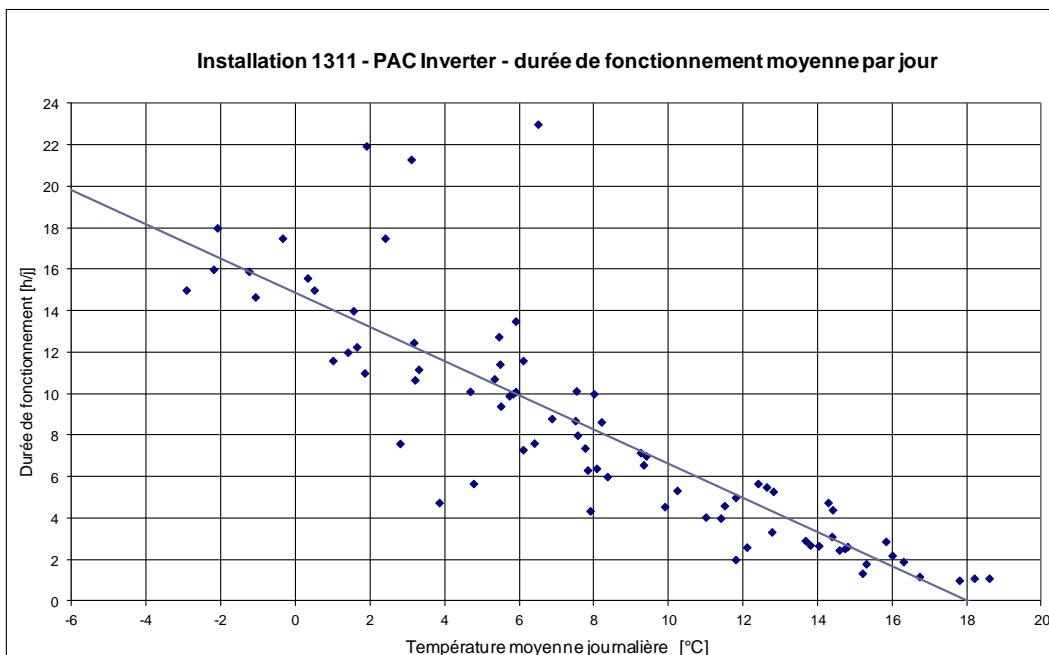


Figure 49 : Installation 1311, évolution de la durée de fonctionnement en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

Cette installation contredit l'idée qu'une pompe à chaleur Inverter a des durées de fonctionnement prolongées. Durant l'hiver 2014/2015, elle n'a travaillé en moyenne que 0,93 heure/enclenchement.

2.4.13 Installation 1312 - résultats des mesures et évaluation

La pompe à chaleur a été mise hors service début décembre 2014 en raison d'un défaut de construction (dégivrage). Elle n'a pu être réintégrée au programme de mesure que le 7 janvier 2015. Son efficacité se situe environ 20% en dessous de celle indiquée par le fabricant dans la documentation technique. La maison individuelle date de 1987 et comporte deux groupes de chauffage, soit des radiateurs et un chauffage au sol. Lorsque la température de dimensionnement est à -7°C, la température de chauffage doit atteindre 40°C.

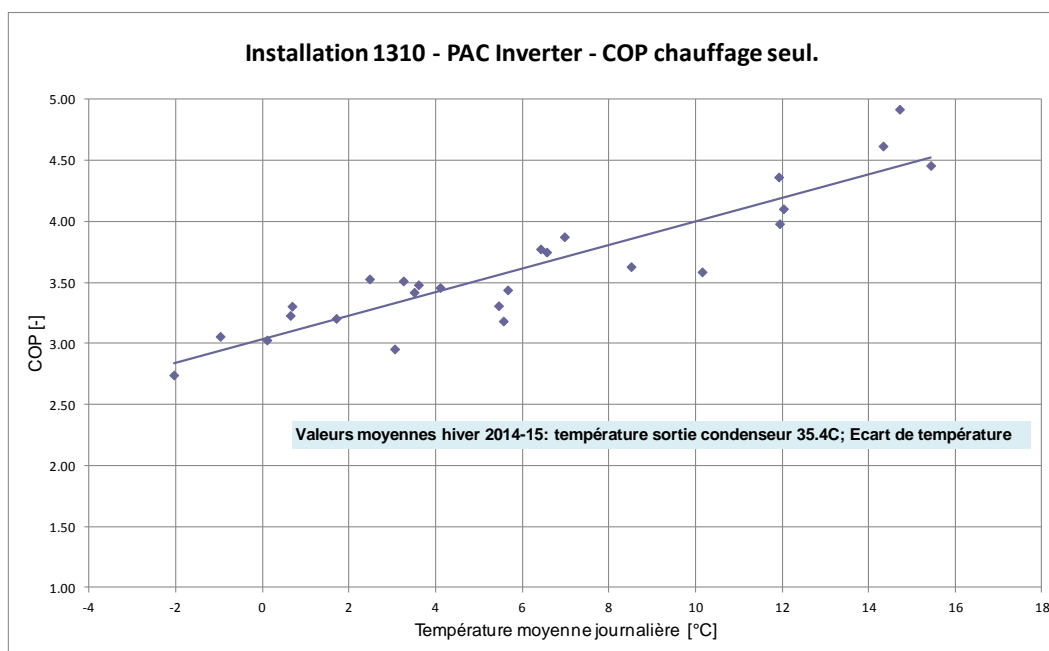


Figure 50 : Installation 1312, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

L'installation est dimensionnée correctement. Les durées de fonctionnement sont nettement plus longues que celles d'une petite pompe à chaleur conventionnelle, respectivement typiques pour une pompe à chaleur Inverter. La durée de fonctionnement moyenne est de 8,7 heures/enclenchement.

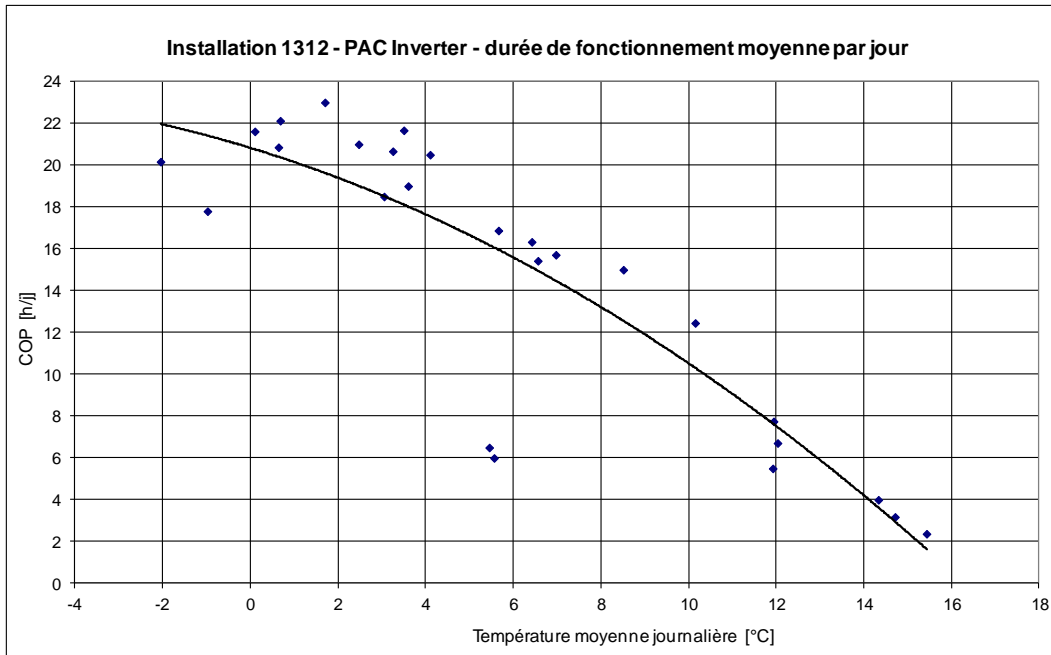


Figure 51 : Installation 1312, évolution de la durée de fonctionnement en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

2.4.14 Installation 1313 - résultats des mesures et évaluation

La pompe à chaleur est dimensionnée correctement. Elle n'avait initialement pas été installée conformément aux directives écrites du fabricant, si bien qu'il a fallu modifier les conduites de raccordement de l'accumulateur dans le bloc hydraulique. Le coefficient de performance est environ 20% inférieur à celui indiqué par le fabricant dans la documentation technique. Le logiciel est le même que sur l'installation 1309 et présente les mêmes caractéristiques.

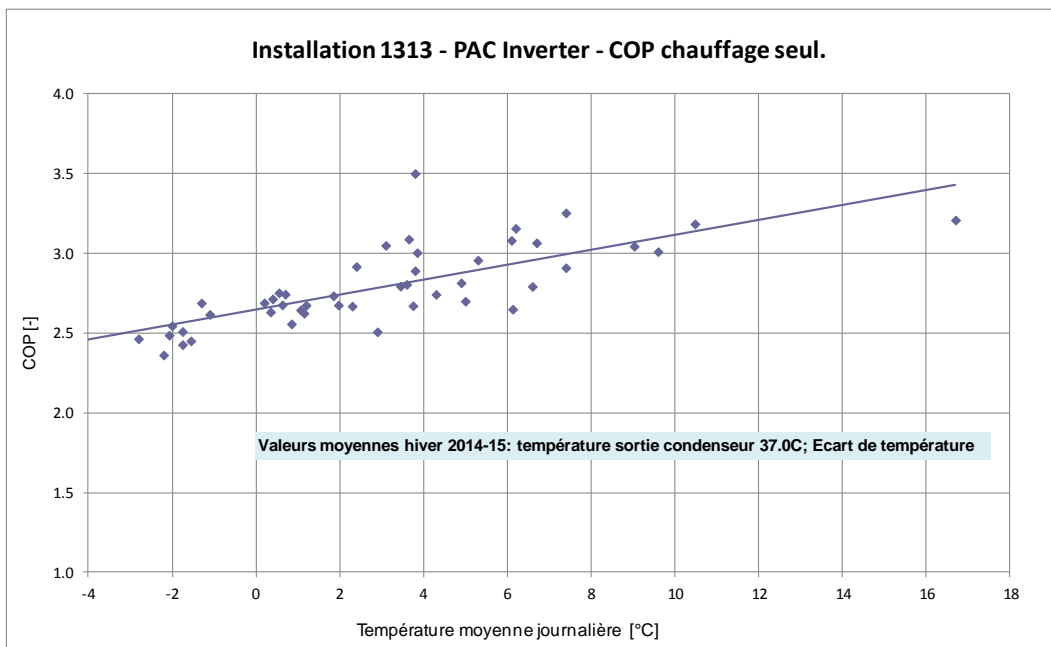


Figure 52 : Installation 1313, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

Les durées de fonctionnement de la pompe à chaleur sont nettement plus réjouissantes que celles d'une pompe à chaleur air-eau conventionnelle. La durée de fonctionnement moyenne était d'environ 14,6 heures/jour et de 2,4 heures/enclenchement durant l'hiver 2014/2015.

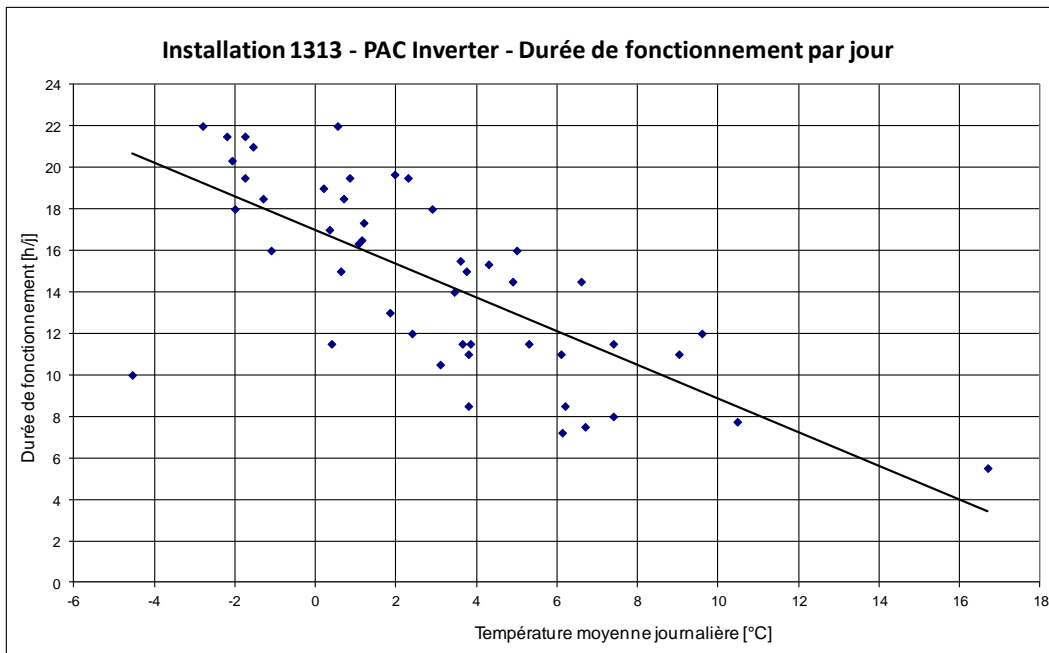


Figure 53 : Installation 1313, évolution de la durée de fonctionnement en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

2.4.15 Installation 1314 - résultats des mesures et évaluation

L'installation est dimensionnée correctement. Elle présente des conditions favorables à une bonne efficacité. Lorsque la température de dimensionnement est à -7°C , la température de chauffage doit atteindre 30°C . L'installation n'a pas d'accumulateur-tampon (en découplage hydraulique).

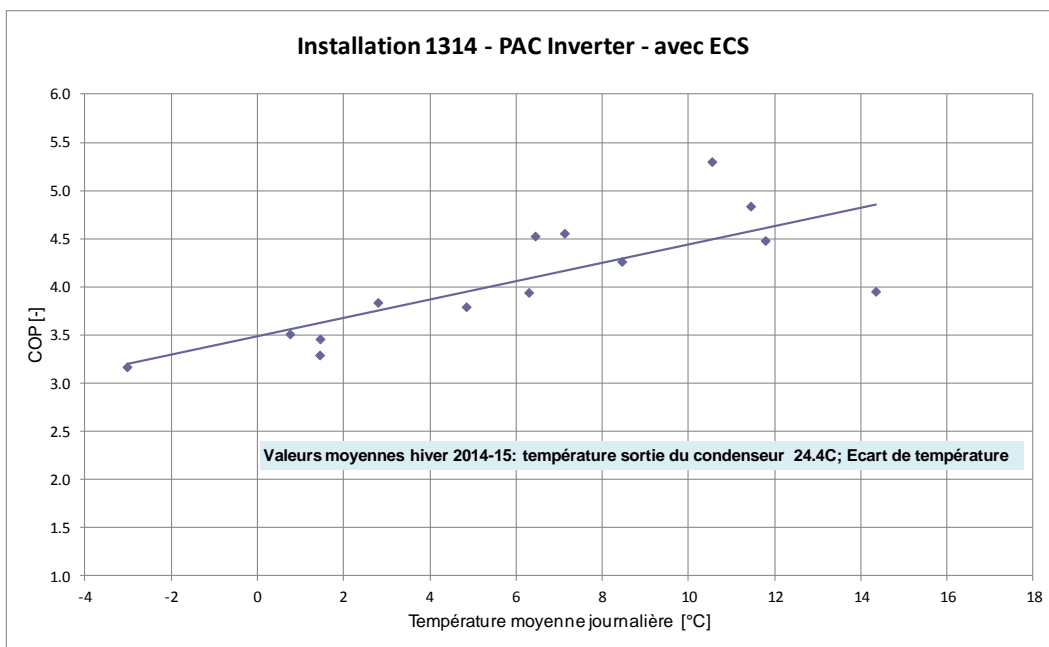


Figure 54 : Installation 1314, évolution du COP en fonction de la température extérieure en mode de fonctionnement hivernal

La pompe à chaleur fournit bien la puissance indiquée dans la documentation technique. Tous les composants de l'installation proviennent du même fournisseur, ce qui correspond à la philosophie appliquée pour le PAC système-module du GSP.

2.5 *Mesure des émissions sonores*

Nous avons tenté de déterminer le niveau de pression acoustique des installations in situ. Ces mesures n'ont pas été très faciles à réaliser en raison de bruits parasites parfois considérables.

Tableau 7 : Mesure du niveau de pression acoustique de pompes à chaleur air-eau Inverter

Installation	Niveau de repos	Distance	Pression acoustique	Mesure	Remarques
	dB(A)	m	dB(A)		
1300		1.5	54.0	Pleine charge	Mesures détaillées
1301	38.9	1.8	48.3	Pleine charge	Chantier, trafic
1304	44.0-45.0	1.5	48.5	Exploitation autom.	Autoroute, tondeuse
			57.0	Pleine charge	
1305	53.7	3.0	59.5	Pleine charge	Forte pluie, route
	61.5	3.0	56.2	Charge part. 85%	
1306	39.4-40.5	1.5	44.8	Pleine charge	Trafic aérien, route
			47.5	Dégivrage	
1309	38.6	1.5	40.8	Pleine charge	Pluie, oiseaux
	46.1	3.0	49.5	Dégivrage	
1311	37.6-39.0	1.5	41.8	Pleine charge	Div. petits bruits parasites
			34.5	Dégivrage	
1312	40.7-42.5	1.5	39.1	Pleine charge	Div. petits bruits parasites
		3.0	36.2	Pleine charge	
		3.0	43.1	Dégivrage	
1313	39.8-41.6	1.5	48.3	Pleine charge	Trafic, tondeuse, oiseaux
			46.8	Vitesse de rot. Accrue	
			42.0	Petite vitesse de rot.	
1314	40.3-43.6	1.5	51.7	Pleine charge	Forte pluie, trafic, chantier

Ces mesures ont été confiées au WPZ Buchs, qui procède également à ce genre de tests lorsqu'il teste des pompes à chaleur. Nous avons ainsi bénéficié du savoir-faire et de l'expérience techniques de ce service de test pour nos mesures in situ.

Bien que les conditions de ces mesures aient été très éloignées des conditions en laboratoire, nous en avons néanmoins tiré des conclusions positives. Le tableau montre clairement que si les pompes à chaleur Inverter sont installées à 1,5-3,0 m de distance de l'appareil, leur niveau acoustique ne pose pas problème.

Nous avons été frappés de constater que le niveau de repos dépassait 35 dB(A) chez toutes les installations. Selon le Cercle Bruit, une pompe à chaleur ne doit pas être perceptible à la fenêtre du voisin avec un niveau de pression acoustique (non corrigé) de plus de 33 dB(A). Dans le cas des installations 1309 (hors dégivrage), 1311 et 1312, la pompe à chaleur est effectivement moins bruyante que les bruits ambiants de jour (entre 07h00 et 19h00). C'est à peine si ces pompes à chaleur ont été perçues comme source de bruit par l'entourage immédiat. La situation est tout autre pour les installations 1300, 1304, 1305 et 1314. En effet, tant qu'elles tournent à pleine charge, leur entourage immédiat les perçoit comme sources de bruit. A environ 1,5 m de distance, le bruit de ces pompes à chaleur excède le bruit ambiant de quelque 10 dB.

2.6 *Résumé*

Le présent rapport sur les pompes à chaleur air-eau à régulation de puissance vise à démontrer comment cette nouvelle technologie s'établit in situ. Il a spécialement examiné la question de savoir si et comment ces installations devaient être planifiées et quels seraient les éventuels problèmes.

A l'origine, le projet prévoyait l'analyse de dix installations. Durant la phase initiale cependant, nous avons vite constaté que la plupart des installations présentaient encore des problèmes et des défauts ; sans cesse, elles ont nécessité des optimisations, comme par exemple un nouveau logiciel, etc. Nous avons donc été contraints de prolonger le cadre temporel et d'augmenter le nombre des installations testées.

Tableau 8 : COP des appareils analysés (valeurs issues de l'analyse des mesures)

Installation	Utilisation		Temp. sortie condenseur	Ecart de température	COP à 4.0°C Temp. ext.	COP moyen
	Chauffage	ECS	°C	K	Chauffage	Charge ECS
1300	X		31.50	24.60	3.05	
1301	X	X	35.20	29.50	3.43	2.63
1302	X	X	31.20	30.90	2.65	2.56
1303	X	X	42.50	37.50	1.88	
1304	X	X	38.00	31.40	2.85	3.00
1305	X	X	32.00	26.60	3.44	2.83
1306	X		29.60	26.30	4.30	
1307	X		28.30	23.40	4.33	
1308	X	X	43.50	40.70	1.80	1.35
1309	X	X	35.40	27.60	3.00	2.42
1310	X		39.60	35.50	3.39	
1311	X	X	38.00	30.50	3.80	
1312	X		35.40	29.60	3.45	
1313	X	X	37.00	34.60	2.85	
1314	X	X	24.40	23.40	3.89	

Certaines conclusions sont intéressantes et pourraient être importantes pour les pompes à chaleur air-eau, notamment pour les modèles Inverter. La puissance de chauffage des pompes à chaleur air-eau augmente nettement au fur et à mesure que la température extérieure grimpe (jusqu'à atteindre le double de la valeur nominale entre la puissance de dimensionnement et la puissance en mode de fonctionnement estival requise pour la préparation d'eau chaude sanitaire). Il peut en résulter des difficultés d'exploitation, puisque les pompes à chaleur risquent alors de diffuser la chaleur de façon moins efficace. Au cours du projet, nous nous sommes entretenu et avons échangé nos expériences avec différents fabricants au sujet de la technique et du fonctionnement de pompes à chaleur air-eau Inverter. Les expériences recueillies durant ce projet ont abouti à une question essentielle, à savoir la régulation de la puissance en fonction de la température extérieure.

Certains fabricants ont réservé bon accueil à cette idée. Des premiers essais en ce sens ont montré qu'une telle approche pouvait permettre d'améliorer le fonctionnement et les coefficients de performance des pompes à chaleur. Les tentatives ou adaptations de logiciels réalisées sur différents produits ont abouti à des résultats positifs.

L'analyse des données est mitigée. D'une part, les résultats montrent clairement que la technologie n'est pas encore tout à fait au point. Certes, il existe des installations performantes, mais elles doivent encore faire leurs preuves dans une comparaison sur le long terme.

Au terme des premières expériences réalisées, le fonctionnement de la plupart des pompes à chaleur Inverter est jugé satisfaisant. Plusieurs installations ont nécessité des améliorations, aussi bien au niveau du logiciel que des composants.

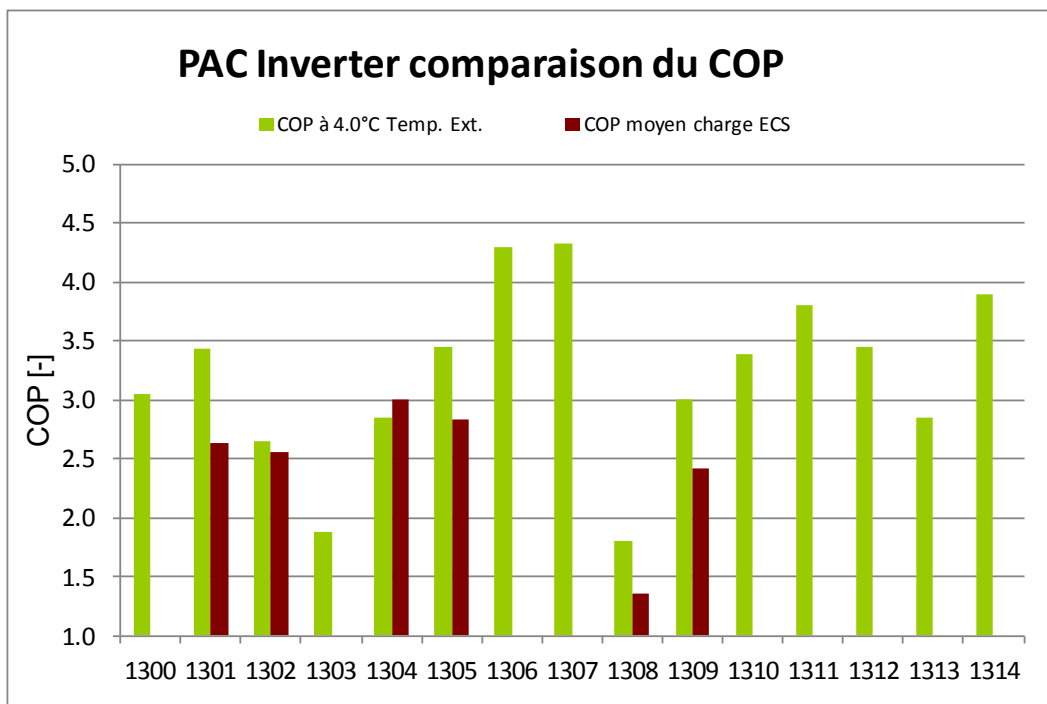


Figure 55 : Comparaison des COP

Les importants écarts des coefficients de performance montrent bien qu'il reste nécessaire de prendre des mesures dans le domaine des installations Inverter. L'efficacité de la plupart des appareils est comparable à celle d'une bonne pompe à chaleur air-eau de type conventionnel.

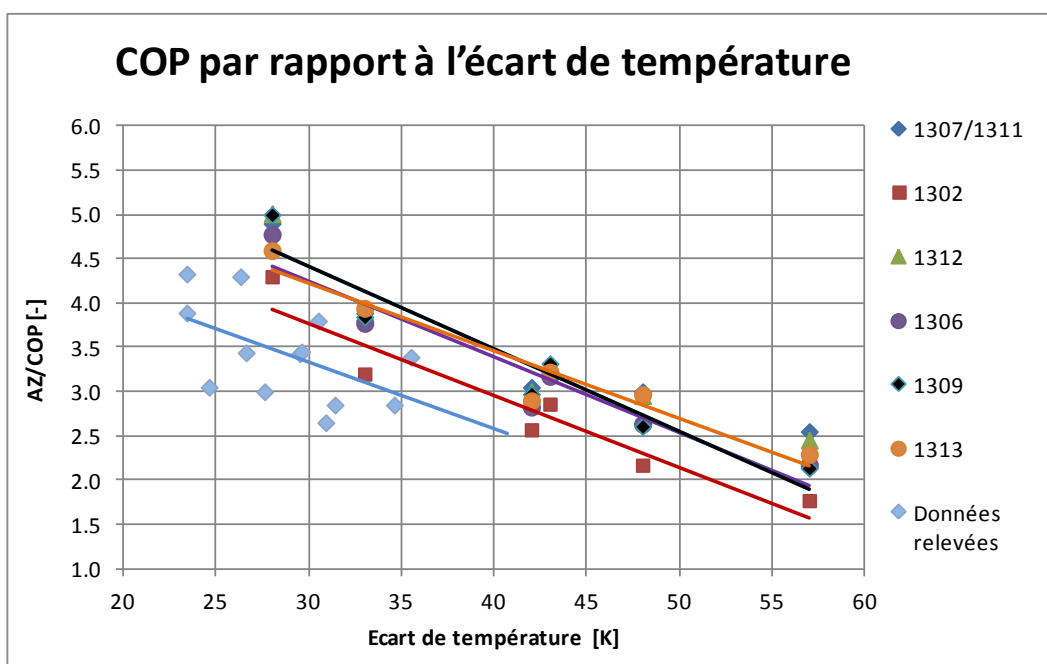


Figure 56 : COP en fonction de l'écart de température et comparaison avec les COP de six installations

La présente étude montre par ailleurs que les pompes à chaleur air-eau à régulation de puissance sont en mesure d'atteindre une efficacité plus élevée. Sur pas moins de quatre installations analysées, le coefficient de performance était supérieur à 3,5, avec une température extérieure de 4,0°C.

Les points sur la Figure 56 correspondent aux valeurs des quinze installations analysées à une température extérieure de 4°C (température extérieure annuelle moyenne sur le Plateau suisse), en fonction de la valeur de régression de chaque installation. La même procédure a déjà été appliquée pour l'analyse ANIS entre 1996 et 2003.

L'analyse des tendances a été réalisée soit de façon linéaire, soit, dans le cas d'installations ayant un comportement différent, avec un polynôme du 2^{ème} degré.

Les données relevées ont également pu être évaluées en fonction de l'écart entre la température à la sortie du condenseur et la température à la source. Ici aussi, la tendance révèle l'importance d'une température de départ minimale en vue d'obtenir une efficacité maximale.

Si l'on considère l'écart de température, les coefficients de performance effectifs des installations analysées in situ se situent 20-25% en-deçà des coefficients de six des pompes à chaleur examinées et présentant le même écart de température. Ce qui montre clairement que la qualité de la planification (dimensionnement, conception et fonctionnement) est essentielle pour l'efficacité de ces installations.

3 Suite de la procédure

Il ressort clairement des mesures et de leur analyse que tous les appareils examinés ne satisfont pas aux exigences du marché. Comme certaines périodes de mesure ont été très brèves, tous les résultats ne sont pas encore garantis sur le plan statistique.

La plupart des fabricants et fournisseurs sont prêts à optimiser leurs produits, ce qui nous a été confirmé à plusieurs reprises lors de réunions informatives.

La situation des chauffe-eau alimentés par pompe à chaleur électrique notamment révèle l'importance de la taille des accumulateurs. Les chauffe-eau à pompe à chaleur vendus sur le marché suisse ont tous une contenance de 270 à 300 litres. Or, la consommation d'eau chaude des installations analysées variait entre 60 et 120 litres. D'où le dilemme : les directives de planification pour l'accumulation d'eau chaude sanitaire sont de loin supérieures à la plupart des chiffres de consommation.

L'amélioration de l'efficacité des pompes à chaleur air-eau Inverter tant espérée n'a été réalisée qu'en partie. Sur les quinze appareils examinés, cinq présentent des résultats médiocres (coefficient de performance entre 1,8 et 2,85); autrement dit, leur efficacité est inférieure ou égale au rendement moyen des pompes à chaleur air-eau conventionnelles. L'efficacité de six autres appareils est semblable à celle de bonnes pompes à chaleur air-eau standard (coefficient de performance entre 3,0 et 3,45); seules quatre pompes à chaleur ont répondu aux attentes avec une efficacité améliorée (coefficient de performance entre 3,8 et 4,33).

Si la plupart des coefficients de performance atteignaient 3,8 à 4,3, on pourrait parler d'un progrès de « moyenne » importance. Nul ne doute cependant des efforts de la branche professionnelle visant une meilleure efficacité. Dans ce contexte, n'oublions pas de souligner le rôle des installateurs. Car toute amélioration de l'efficacité est inutile si la planification et le dimensionnement des pompes à chaleur sont mal réalisés et que le raccordement hydraulique et la régulation ne sont pas faits correctement. Comme déjà mentionné précédemment, le projet PAC système-module du GSP apporte la bonne réponse.

Engelburg, 31 juillet 2015

Hubacher Engineering

Peter Hubacher