



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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

Rapport final

Mai 2012

AQ-PAC (ASSURANCE-QUALITÉ/POMPES À CHALEUR): SUITE DES MESURES IN SITU, ANALYSE DU COMPORTEMENT À LONG TERME ET ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ POUR LE MODÈLE STATISTIQUE 2008-2011

Impressum

Date: Mai 2012

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Pompes à chaleur, CCF, Froid
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Mandataire:

Hubacher Engineering
Tannenbergrasse 2
9032 Engelburg



Auteurs:

Peter Hubacher, Ing. dipl. ETS, Hubacher Engineering, he-ko@bluewin.ch
Carlos Bernal, Technicien, Hubacher Engineering

Numéro du projet: 102590

Site de publication: www.recherche-energetique.ch

Les auteurs du présent rapport sont seuls responsables de son contenu et de ses conclusions.

Table des matières

	Seite
Résumé	4
Abstract	4
1. Objectifs du projet	5
2. Méthode	5
2.1 Listes des installations et classement	5
2.2 Evaluation des installations	8
2.3 Relevés	8
2.4 Statistique des pompes à chaleur	9
3. Analyse et résultats	9
3.1 Analyse des coefficients de performance annuels COPA	10
3.1.1 Analyse en fonction du nombre d'années d'exploitation	10
3.1.2 Analyse en fonction du temps	11
3.2 Analyse des heures d'exploitation	12
3.3 Analyse de la production de chaleur	13
3.4 Analyse de la consommation d'électricité	14
3.5 Influence du fluide frigorigène sur l'efficacité	14
3.6 Influence de l'altitude du site pour les pompes à chaleur air/eau	15
3.7 Analyse des pannes (disponibilité des pompes à chaleur)	15
4. Entretien et réparations	16
4.1 Entretien des pompes à chaleur	16
4.2 Réparations des pompes à chaleur	17
4.3 Coûts totaux pour l'entretien et les réparations	18
5. Collaboration au niveau national	18
6. Collaboration au niveau international	18
7. Conclusions	19
8. Références bibliographiques	19

Résumé

Le projet à long terme "Analyse in situ de petites pompes à chaleur" dure depuis maintenant 15 ans. Durant cette période, plus de 250 installations ont été visitées, équipées et décrites au plan technique. Les données de mesure ont été relevées directement par les propriétaires, reportées dans un journal et transmises à intervalles réguliers à Hubacher Engineering pour interprétation. Seule une procédure simple de ce type permet de surveiller autant d'installations et d'analyser leur fonctionnement au fil des ans.

Les résultats obtenus ne vont pas tous dans le même sens. Ainsi, l'efficacité des installations pourrait vraiment être meilleure. Alors qu'il augmentait depuis le début des contrôles, le coefficient de performance annuel ne s'améliore plus depuis l'an 2000. Il y a aussi des installations avec de bons à très bons résultats, qui remplissent toutes les conditions.

Une autre analyse se rapporte à la durée d'exploitation annuelle. Elle permet de vérifier si les directives de dimensionnement de l'Office fédéral de l'énergie OFEN ("Garantie de performance - Installations techniques") et la norme SIA 384/6 peuvent être respectées. Avec 1'700 heures par an pour les pompes à chaleur air/eau et 1'900 heures par an pour les pompes à chaleur sol/eau, la durée de fonctionnement des installations contrôlées est conforme à la règle de 2'000 à 2'300 heures par an, sans ou avec production d'eau chaude sanitaire. Pour les pompes à chaleur sol/eau, il est important que ce nombre d'heures d'exploitation ne soit pas dépassé, afin d'éviter que le refroidissement des sonde géothermique ne pose problème à long terme.

En revanche, l'analyse des pannes donne une très bonne image des pompes à chaleur. La disponibilité moyenne est supérieure à 99.5 % et soutient assurément la comparaison avec tout autre système de production de chaleur. L'analyse effectuée sur 61 installations montre de ce fait des résultats plus que réjouissants. Les coûts de maintenance pour le service et l'entretien sont en moyenne de 21.60 [fr./an] et ceux correspondant aux réparations de 84.40 [fr./an]. Cela correspond à une dépense moyenne de 106.00 [fr./an] pour chacune de ces petites pompes à chaleur. Les coûts de maintenance et de réparation peuvent ainsi être évalués à environ fr. 51.00 pour 1'000 heures d'exploitation. L'analyse des 61 installations retenues porte tout de même sur un total de 1.32 millions d'heures d'exploitation.

Les recherches permettent d'affirmer que les petites pompes à chaleur donnent dans l'ensemble de très bons résultats. Leur efficacité pourrait être améliorée, mais reste convenable, tandis que leur fiabilité est excellente, avec des coûts d'exploitation faibles.

La poursuite des mesures et des analyses in situ durant les prochaines années s'impose pour couvrir la durée de vie présumée des petites pompes à chaleur. La démonstration que celle-ci peut atteindre ou dépasser 20 ans, sans multiplication des problèmes et sans effet sur les coûts de maintenance, doit encore être faite.

1 Objectifs du projet

Les objectifs visés sont conformes à la stratégie suivie par l'OFEN et le GSP¹ en matière d'assurance qualité. Le projet concerne une niche de marché très importante. Pour développer un climat de confiance entre tous les intéressés, des informations et des connaissances doivent être rassemblées et diffusées au sujet du comportement à long terme des pompes à chaleur et de leur maintenance.

Le besoin d'élaborer des connaissances à l'aide d'analyses in situ et de les publier, pour convaincre et pour compléter les informations disponibles sur le marché, se fait également sentir dans les pays environnants (Allemagne, Autriche et, depuis peu aussi, Angleterre). La Suisse a pris une avance considérable avec ce projet, qui répertorie et évalue les résultats portant – ce qui est exceptionnel – sur 15 années d'exploitation. Ces travaux font suite aux analyses in situ entamées en 1995 dans le cadre du projet ANIS².

La reprise de ce projet permet de publier les relevés effectués jusqu'ici, avec les conclusions qu'il est possible d'en tirer au sujet du vieillissement et de la disponibilité à long terme des installations. Il n'existe nulle part au monde une étude in situ de ce type, avec des résultats aussi complets:

- Relevé des données concernant, à ce jour, un échantillon de 165 installations.
- Relevé complémentaire annuel de 10 nouvelles pompes à chaleur, pour établissement de l'“état de la technique“ et comparaison avec les installations anciennes.
- Relevé de données pour détermination du COPA, en vue d'alimenter les statistiques de l'OFEN (statistique des pompes à chaleur et statistique globale de l'énergie) avec les résultats de mesures.
- Observation du vieillissement à long terme: détermination du coefficient de performance annuel (COPA) et comparaison avec les valeurs antérieures.
- Disponibilité (analyse des pannes): détermination de la durée d'exploitation annuelle et comparaison avec les valeurs antérieures.
- Relevé des coûts de maintenance et de réparation pour un échantillon représentatif de 61 pompes à chaleur (compris dans les 165 installations contrôlées), avec mise à jour des indicateurs économiques correspondants. Ces données faisaient défaut jusqu'ici; utiles pour apprécier l'évolution à long terme, elles sont également appréciées sur le marché.

2 Méthode

Conçu pour le long terme, le projet a débuté il y a 15 ans et permis de visiter, d'équiper et de décrire 250 installations. Pour différentes raisons, plus de 40 % de celles-ci ont été supprimées ou abandonnées au cours du temps. 10 nouvelles pompes à chaleur sont prises en compte chaque année et s'ajoutent à l'échantillon de base (Tableaux 1 à 3). Il est ainsi possible d'apprécier les écarts éventuels, les différences techniques, respectivement les progrès faits.

2.1 Listes des installations et classement

Tableau 1. Liste des nouvelles installations prises en compte à partir de 2008

N°	Abréviation	Secteur	Objet	Source de chaleur	Prod. eau chaude	COP	Début relevés	Fabricant
1205	SENDOR14	Nouvelle construction	Villa	Air extérieur	oui	2.43	Okt 08	Alpha Innotec
1206	STEHOU43	Nouvelle construction	Villa	Collecteur foré	oui	5.23	Nov 08	Weider
1207	GOSFLO15	Nouvelle construction	Villa	Collecteur foré	oui	3.92	Nov 08	CTA
1208	ZEIHOC20	Rénovation	Villa	Air extérieur	non	2.40	Dez 08	Six Madun
1209	MÜHIMH00 *	Nouvelle construction	Villa	Air extérieur	oui	2.88	Jan 09	Hoval
1210	ABTMÜH06	Rénovation	Villa	Collecteur foré	oui	3.79	Nov 08	ElcoTherm
1211	RUSMUS11	Rénovation	Villa	Collecteur foré	non	3.54	Nov 08	CTC-Giersch
1212	HERBUR03	Nouvelle construction	Villa	Air extérieur	non	3.33	Apr 09	Six Madun
1213	INSBUR22	Nouvelle construction	Villa	Collecteur foré	oui	3.22	Okt 08	CTA
1214	BRÜOBM00	Nouvelle construction	Villa	Collecteur foré	non	4.05	Feb 09	Waterkotte

¹ Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur GSP – Antenne romande. Rue Saint-Roch 36. 1400 Yverdon-les-Bains – <http://www.pac.ch>

² FAWA–Feldanalyse an Kleinwärmepumpen, ein BFE-Projekt, Schlussbericht 2004 et Analyse in situ d'installations de pompes à chaleur. ANIS 1996-2003. Extrait du rapport final, octobre 2004. suisse**énergie**

Une des nouvelles installations (*) prises en compte à partir de 2008 (Tableau 1) ne répond pas aux exigences, car son propriétaire ne relève pas les données enregistrées de manière fiable. Le reste de l'échantillon est toujours utilisé de manière active pour l'analyse. Au cours des dernières années, des contacts personnels par mail ou par téléphone se sont établis avec ceux des propriétaires d'installations qui poursuivent les relevés. D'autres n'ont plus voulu prendre les mesures et ont dû de ce fait être exclus du projet.

Tableau 2. Liste des nouvelles installations prises en compte à partir de 2009

N°	Abréviation	Secteur	Objet	Source de chaleur	Prod. eau chaude	COP	Début relevés	Fabricant
1215	WALLEI01	Rénovation	Villa	Air extérieur	non	3.30**	Feb 10	Hoval
1216	ROSOBE08	Rénovation	Villa	Collecteur foré	oui	3.56	Sep 09	Alpha Innotec
1217	NIEHAM25	Rénovation	Villa	Air extérieur	oui	2.14	Nov 09	Vaillant
1218	MURMÜH04	Rénovation	Villa	Air extérieur	oui	2.28	Okt 09	CTA
1219	ETTBÜH28	Rénovation	Villa	Collecteur foré	oui	4.37	Sep 09	Wieder
1220	MUOGRO26	Nouvelle construction	Villa	Air extérieur	oui	2.96	Dez 09	Siemens
1221	OBEAMS09	Nouvelle construction	Villa	Air extérieur	non	2.80	Dez 09	Oertli/Bartl
1222	STGHÜT29	Nouvelle construction	Villa	Air extérieur	oui	3.64	Feb 10	Viessmann
1223	ERLALL11	Rénovation	Villa	Collecteur foré	oui	4.49	Dez 09	Störi Mantel
1224	BRUSAN02	Rénovation	Villa	Collecteur foré	oui	3.83	Dez 09	Heliotherm

Tableau 3. Liste des nouvelles installations prises en compte à partir de 2010

N°	Abréviation	Secteur	Objet	Source de chaleur	Prod. eau chaude	COP**	Début relevés	Fabricant
1225	SARBAH58	Rénovation	Villa	Air extérieur	oui	1.83	Apr 10	Krüeger
1226	WITBET17	Nouvelle construction	Villa	Eau	oui	5.23	Jun 10	CTA
1227	RONAU10	Rénovation	Villa	Eau	oui	4.62	Apr 10	CTA
1228	GRÜBÖS35	Rénovation	Villa	Air extérieur	oui	Nombre de mesures insuffisant	Okt 10	Striegatherm
1229	GRAAMA23	Rénovation	Villa	Collecteur foré	non		Sep 10	Kibernetik
1230	MATALT28	Rénovation	Villa	Collecteur foré	oui		Dez 10	Weider
1231	WILALT20	Rénovation	Villa	Collecteur foré	oui		Jan 10	AlphaInnotec
1232	GÜMRÜT08	Rénovation	Villa	Collecteur foré	oui		Jun 11	CTA
1233	AAROBIE13	Rénovation	Villa	Air extérieur	oui		Jan 11	Stiebel Eltron
1234	THABUE09	Rénovation	Villa	Air extérieur	non		Dez 10	Elco

Les valeurs de COPA (**) font, pour une part encore, l'objet d'évaluations pour assurer leur calage sur une base annuelle. Il est de ce fait possible que de petites modifications soient enregistrées ultérieurement pour l'année 2010.

Tableau 4. Echantillon correspondant à l'ensemble des installations prises en compte pour l'analyse

Année de mise en service	Nombre total d'installations mises en service	PAC sol/eau		PAC air/eau	PAC eau/eau	Préparation eau chaude avec PAC	Installations liées à une rénovation	Nombre d'années d'exploitation
		avec saumure	avec eau					
1995	12	8		4		7	12	15
1996	8	5		2	1	5	4	14
1997	13	4		7	2	10	6	13
1998	10	6		4		6		12
1999	12	9		3		7	6	11
2000	9	5		3	1	4	4	10
2001	20	11		9		8	6	9
2002	21	10		11		16	6	8
2003	25	17	1	7		13	12	7
2004	1	1				1	1	6
2005	4	3		1		4	3	5
2006								4
2007								3
2008	10	6		4		6	3	2
2009	10	4		6		8	6	1
2010	10	4	2	4		10	8	
Total	165	93	3	65	4	105	77	

Remarque: aucune installation n'a été suivie en 2006 et 2007. L'étude in situ a repris, de manière systématique, dans le courant de l'année 2007 seulement, après discussion entre Hubacher Engineering et l'OFEN.

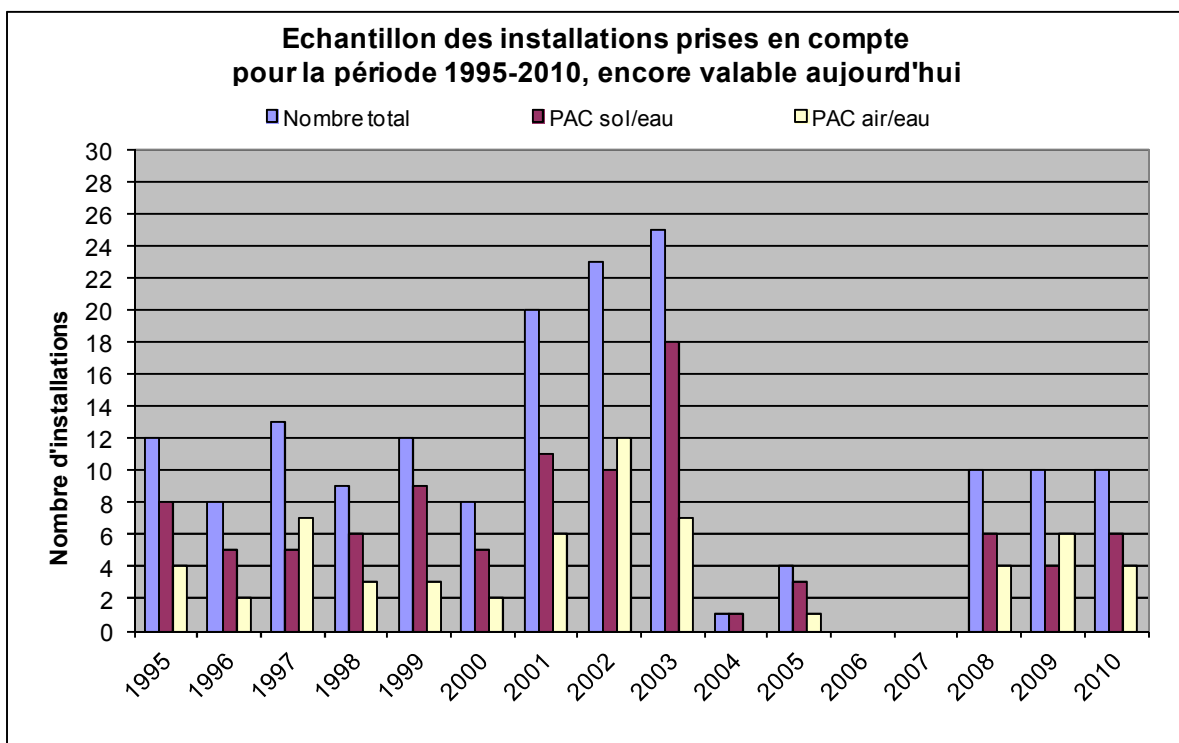


Figure 1. Echantillon des installations qui font aujourd'hui encore l'objet de relevés et d'analyses

Les pompes à chaleur eau/eau de petite taille ne sont pas très courantes. Pour cette raison, elles ne sont plus prises en compte depuis 2004 dans l'échantillon analysé (Figure 1), qu'elles soient alimentées par la chaleur des eaux souterraines ou par celle des eaux superficielles. A la place, quatre installations équipées de sonde géothermique fonctionnant à l'eau (sans antigel) ont été choisies pour comparaison. La protection contre le gel implique alors des sondes plus longues, pour atteindre des températures plus élevées à la source. Cela explique que ces installations soient presque toujours plus efficaces que les autres.

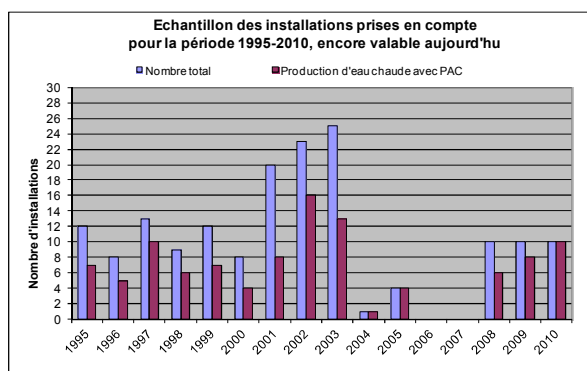


Figure 2. Part des installations avec production d'eau chaude sanitaire

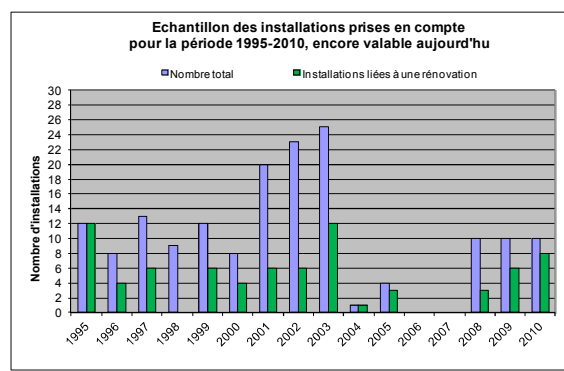


Figure 3. Part des installations liées à des rénovations

Effectuée sur les mêmes bases que celles choisies pour le projet ANIS, l'évaluation implique des efforts très importants. Le nombre d'installations utilisées pour la production d'eau chaude sanitaire (Figure 2) et de celles construites dans le cadre de travaux de rénovation (Figure 3) sont ainsi prises en compte dans l'analyse, proportionnellement à leur importance effective. Les acteurs économiques (fabricants, fournisseurs et installateurs) sont surchargés et, faute de temps, s'intéressent nettement moins qu'avant à accroître et à approfondir les connaissances au sujet des installations construites. La qualité de celles-ci ne s'est cependant pas améliorée ces dernières années. Des signes d'usure sont même signalés ici ou là, avec réédition d'anciennes erreurs et apparition de négligences concernant le dimensionnement et la construction d'installations.

2.2 Evaluation des installations

Un nombre d'installations minimal est nécessaire pour garantir la qualité des interprétations au plan statistique également. Avec les 30 nouvelles pompes à chaleur enregistrées dans le cadre du présent projet (années 2008, 2009 et 2010) et celles correspondant aux engagements anciens, l'échantillon actuel comprend encore 165 installations, avec des pompes à chaleur air/eau et sol/eau, ainsi que quelques pompes à chaleur eau/eau. L'analyse à long terme effectuée au sujet des services et des réparations porte sur 61 installations d'âge compris entre cinq et plus de douze ans.

L'évaluation des dix nouvelles installations enregistrées chaque année entre 2008 et 2010 est effectuée sur la base des critères retenus à l'époque pour le projet ANIS:

- a. **Puissance thermique:** les installations prises en compte ne devraient pas dépasser une puissance thermique de $20 \text{ kW}_{\text{th}}$, car ce groupe de pompes à chaleur est le plus répandu sur le marché.
- b. **Sources de chaleur:** air/eau et sol/eau, pour environ 50 % chacune.
- c. **Mode de production:** appareils de série, sans modèle hors série, ni équipement spécial.
- d. **Fonctionnement:** monovalent, exceptionnellement bivalent, avec une production de chaleur secondaire mesurable.
- e. **Implantation:** différentes situations géographiques.
- f. **Immeubles chauffés:** les installations se trouvent dans de nouvelles constructions ou dans des bâtiments rénovés.
- g. **Eau chaude sanitaire:** les installations produisant l'eau chaude sanitaire doivent être représentées proportionnellement à leur abondance effective.
- h. **Rapport de propriété:** seules des installations privées sont prises en compte, à l'exclusion de tout objet public.
- i. **Contrôle:** les pompes à chaleur doivent autant que possible être munies du label de qualité du GSP.
- j. **Équipement:** la préférence est donnée aux installations déjà équipées d'un compteur électrique et d'un compteur de chaleur. Dans le cas contraire, elles doivent pouvoir être complétées à peu de frais.
- k. **Raccordement hydraulique:** en règle générale, les installations sont construites suivant les principes de raccordement reconnus. Les circuits complexes ou bricolés ne sont pas pris en compte.

2.3 Relevés

La réception des relevés et les contrôles y relatifs se sont déroulés comme par le passé. De petits problèmes, pannes d'instruments de mesure ou dérangements d'installations, ont été résolus.

Les instruments de mesure, en particulier les compteurs de chaleur (Neovac), qui fonctionnent suivant le principe des ultrasons, ont été démontés et contrôlés trois fois durant les 15 dernières années, par échantillonnage au hasard, lors de l'exécution de projets anciens. Tous les résultats, sans exception, sont restés dans les limites de tolérance, de sorte que la qualité des mesures respecte, sous ce rapport également, les exigences fixées pour l'analyse globale.

La saisie informatique des résultats des mesures et leur exploitation s'est faite au fur et à mesure de l'arrivée des données. L'analyse et l'évaluation de chaque installation n'interviennent que lorsque tous les résultats sont rassemblés.

- Traitement des résultats des mesures et contrôle des documents reçus, ainsi que saisie informatique des données, avec analyse et évaluation.
- Inspection des installations, en cas de dérangements et de pannes des instruments de mesure, pour réparation des défauts.
- Elaboration et distribution de lettres d'information aux propriétaires, avec remise d'un rapport d'évaluation pour chaque installation.
- Évaluation des résultats des mesures et analyse de l'ensemble des installations, y compris établissement des graphiques les plus pertinents.

Pour déterminer le coefficient de performance annuel, chaque installation est munie de compteurs de chaleur, électriques et horaires, que les propriétaires relèvent à intervalles réguliers (hebdomadaires à mensuels); les résultats sont transmis directement à Hubacher Engineering. Les calculs tiennent compte des mécanismes directement entraînés par la pompe à chaleur et même d'éventuelles pertes d'accumulation. En revanche, des équipements auxiliaires comme les circulateurs de chauffage, etc., qui n'appartiennent pas directement au système d'exploitation des pompes à chaleur, sont laissés de côté.

Les propriétaires doivent être interrogés individuellement pour établir les coûts de maintenance et de fourniture d'énergie. Par expérience, l'envoi d'un questionnaire ne suffit pas. Il faut ainsi procéder à des consultations personnelles, pour pouvoir demander directement des précisions en cas d'incertitudes ou de contradictions. Les frais d'entretien et de réparation sont pris en compte, lorsqu'ils peuvent être reconstitués sur la base de pièces justificatives, par exemple de rapports et de factures.

Il n'est pas toujours simple de recevoir tous les résultats de mesure dans les délais, pour procéder aux analyses convenues et à la présentation des résultats (rapports de mission, séances du groupe d'accompagnement et rapports annuels). Un contact régulier doit être maintenu avec les propriétaires d'installations pour qu'ils n'oublient pas les relevés et qu'il n'en résulte pas de graves lacunes dans les séries de mesure.

Pour motiver les propriétaires d'installations et pour les soutenir, une petite action a été lancée en 2010, avec l'envoi d'une lettre de remerciement de l'OFEN, accompagnée d'un petit cadeau. Elle a été très appréciée. Il faut souligner ici que certains propriétaires d'installations mettent leurs informations à disposition, plus ou moins régulièrement, depuis plus de dix ans.

2.4 Statistique des pompes à chaleur

Depuis que les premières analyses in situ sont effectuées et que le coefficient de performance annuel (COPA) est déterminé (ANIS et projets ultérieurs), la statistique des pompes à chaleur reprend les valeurs calculées dans le cadre de ces recherches au lieu des coefficients de performance annuels moyens précédemment utilisés. Les résultats obtenus alimentent aussi la Statistique globale suisse de l'énergie, pour la partie consacrée aux "Autres énergies renouvelables".

3 Analyse et résultats

Les règles et les critères d'appréciation sont les mêmes que ceux utilisés pour l'ancien projet ANIS, de manière à faciliter la comparaison des résultats pour chaque installation. Seul le COPA2 (Figure 4) est encore calculé et évalué dans le cadre de l'analyse.

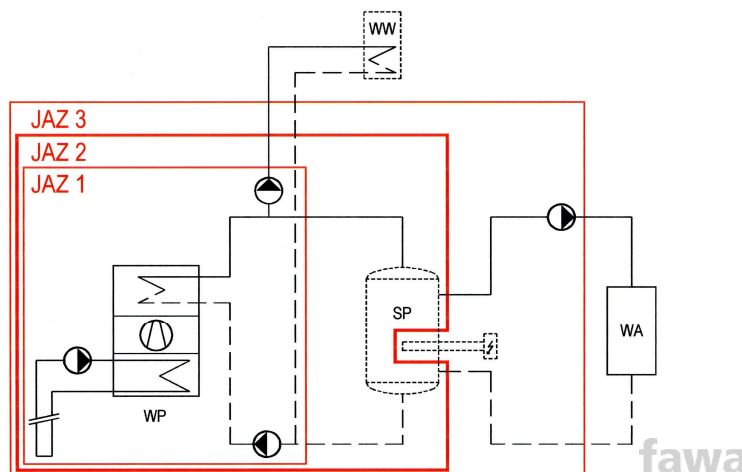


Figure 4: Limites des systèmes utilisés pour l'évaluation des COPA1, 2 et 3.

L'évaluation et la comparaison se font ici en tenant compte du bilan pour le COPA2 uniquement, donc y compris d'éventuelles pertes d'accumulation. Pour les installations sans accumulateur, la consommation d'électricité des pompes de distribution est prise en compte en fonction des pertes de charge enregistrées au niveau du condenseur.

Le nCOPA2 correspond au COPA2 normalisé en fonction du climat. La transformation se fait de manière relativement simple, en repérant la valeur correspondant à la température extérieure $T_a = 3^\circ\text{C}$ sur la droite de régression des coefficients de performance relevés durant la période de chauffage. Les valeurs calculées de cette manière sont comparables entre elles, quelle que soit l'altitude des installations. La méthode a été décrite en détail dans le rapport ANIS.

Étalée sur plus de 15 ans, l'analyse montre cependant que l'échantillon examiné, formé pour plus de 90 % d'installations situées sur le Plateau suisse, est peu sensible à la normalisation. Les dernières comparaisons effectuées entre COPA2 et nCOPA2 confirment ce constat.

Les données de la première année d'exploitation peuvent être, dans certains cas, incomplètes ou inutilisables pour d'autres raisons. La deuxième année sert alors de référence.

3.1 Analyse des coefficients de performance annuels COPA

Les COPA des 165 installations analysées dans cet échantillon sont répartis en deux groupes principaux (installations sol/eau et air/eau). L'analyse et la représentation graphique sont faites en fonction d'une part du nombre d'années d'exploitation et d'autre part du calendrier.

3.1.1 Analyse en fonction du nombre d'années d'exploitation

La période actuelle est intéressante: elle doit en effet permettre de vérifier si les pompes à chaleur vieillissent ou non conformément aux attentes. Comme les trois dernières années d'exploitation n'ont pas pu être pleinement évaluées, ne serait-ce qu'en raison du nombre limité d'installations prises en compte, les analyses in situ devraient se poursuivre durant encore trois années au moins avant de conclure.

Il n'y a pratiquement pas de changement jusqu'à la onzième année d'exploitation. Les faibles écarts observés s'expliquent avant tout par la précision des calculs, respectivement par celle des mesures. Les trois dernières années d'exploitation doivent encore être examinées avec prudence, en tout premier lieu en raison du nombre limité d'installations âgées de douze ans et plus. A cela s'ajoute le fait que, contrairement aux nouvelles pompes à chaleur, les anciennes sont le plus souvent encore équipées de compresseurs alternatifs à pistons, avec des garnitures étanches sensibles à l'usure.

Le système de référence utilisé pour calculer les coefficients de performance annuels normalisés nCOPA2 comprend non seulement la pompe à chaleur, mais aussi les pertes de l'accumulateur, lorsqu'il existe. La consommation d'énergie de la pompe de charge ou, pour les installations sans accumulation, de celle utilisée pour compenser les pertes de pression au niveau du condenseur et de celle des groupes auxiliaires (énergie consommée par les pompes ou les ventilateurs) sont également intégrées dans le bilan énergétique.

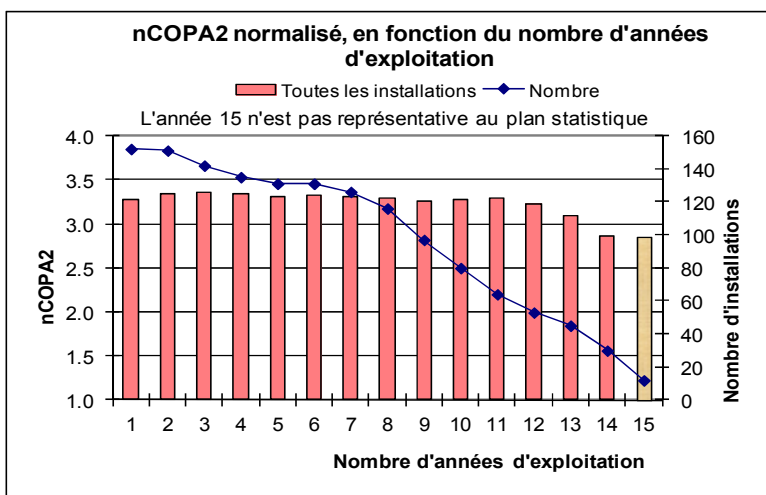


Figure 5. Evolution du coefficient de performance annuel normalisé absolu (nCOPA_{abs}) en fonction du nombre d'années d'exploitation

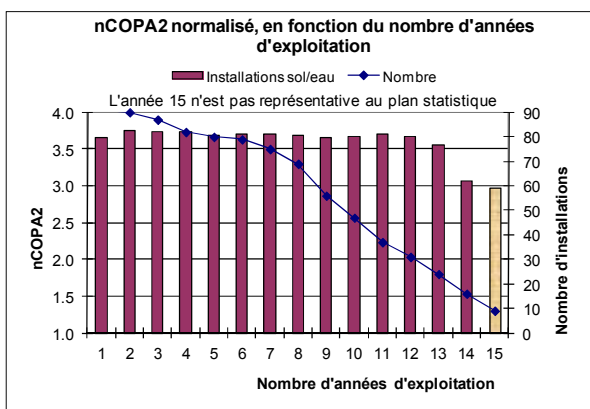


Figure 6. Evolution pour l'échantillon partiel correspondant aux pompes à chaleur sol/eau

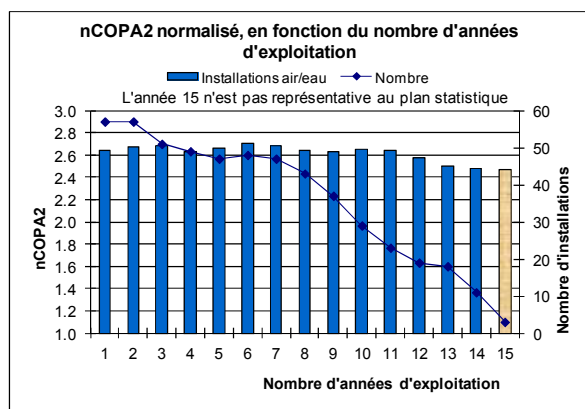


Figure 7. Evolution pour l'échantillon partiel correspondant aux pompes à chaleur air/eau

Comme indiqué dans l'introduction du Chapitre 3, la normalisation du coefficient de performance fait appel à une méthode simple. Le graphique du COPA2 non normalisé est également fourni ci-après pour toutes les installations, à titre de comparaison.

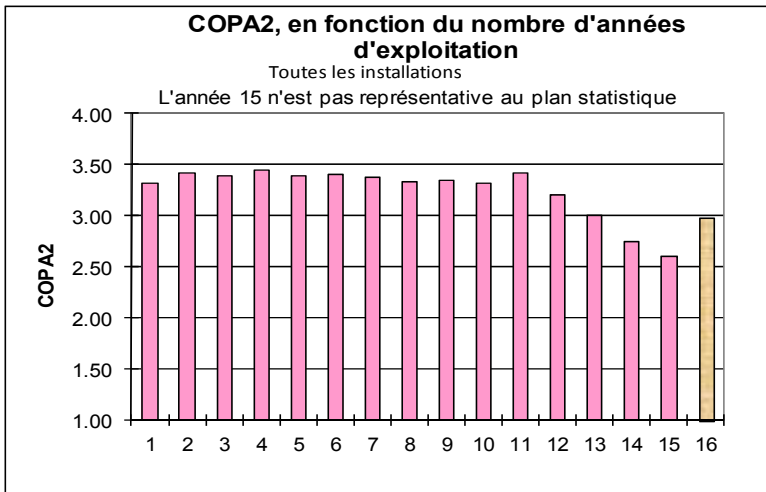


Figure 8. Evolution du coefficient de performance annuel absolu (COPA_{abs}) en fonction du nombre d'années d'exploitation

Les moyennes des valeurs reportées en Figures 5 et 8 sont très proches les unes des autres. Rapporté aux quinze années d'exploitation, le nCOPA2 moyen est égal à 3.23 et le COPA2 non normalisé à 3.25. Comme déjà indiqué, cela tient au fait que la plupart des installations fonctionnant sur le Plateau suisse sont situées à une altitude comprise entre 400 et 500 m s. m..

3.1.2 Analyse en fonction du temps

L'évolution du coefficient de performance nCOPA2 au cours du temps confirme les observations faites dans le cadre du projet ANIS. Les valeurs de COPA s'améliorent chaque année durant la période 1995-2000; elles se stabilisent à partir de la saison de chauffage 2000/2001 et ne changent pratiquement plus jusqu'à aujourd'hui. Ce constat ne tombe pas forcément sous le sens. Comme aucun progrès technique notable n'a été réalisé dans ce domaine et que les ventes ont de toute façon augmenté de manière continue, l'industrie se concentre actuellement sur d'autres problèmes, comme la recherche et la formation de personnel spécialisé.

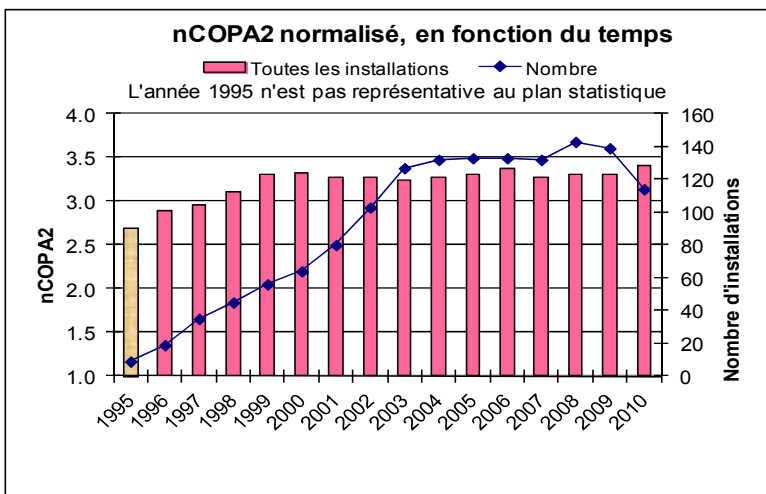


Figure 9. Evolution du coefficient de performance annuel normalisé absolu (nCOPA_{abs}) en fonction du temps

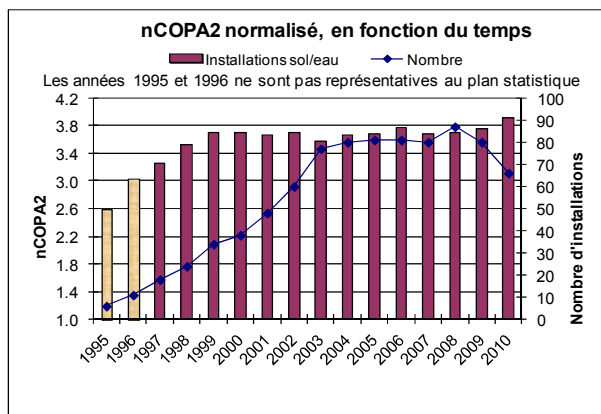


Figure 10. Evolution au cours du temps pour l'échantillon partiel correspondant aux pompes à chaleur sol/eau

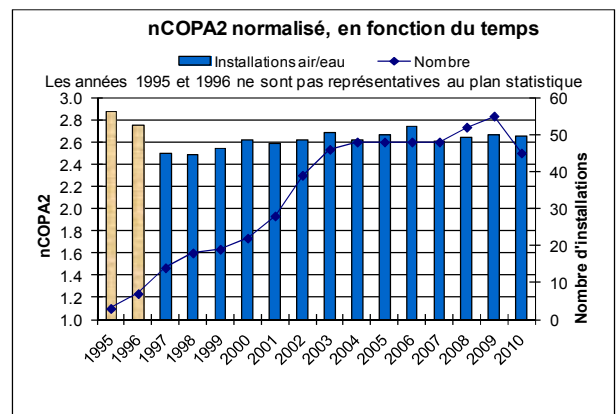


Figure 11. Evolution au cours du temps pour l'échantillon partiel correspondant aux pompes à chaleur air/eau

Quatre pompes à chaleur eau/eau figurent dans le Tableau 5, à titre de comparaison et d'information. Avec un nombre aussi faible, les valeurs fournies ne peuvent pas être considérées comme représentatives au plan statistique, mais elles sont correctes, car les sources de chaleur utilisées sont peu efficaces. Cela tient à la hauteur de refoulement au-dessus de la surface piézométrique (hauteur manométrique totale) et au fait que la plupart des petites installations alimentées par des eaux souterraines sont aussi souvent surdimensionnées. Il n'existe pas de pompes suffisamment petites pour exploiter ce type de source de chaleur.

Tableau 5. Valeurs de nCOPA2 en fonction du temps pour différentes sources de chaleur

Source	Année d'exploitation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Air/eau	nCOPA2	2.60	2.67	2.69	2.66	2.68	2.73	2.67	2.65	2.61	2.62	2.67	2.63	2.47	2.56	2.59	3.25
	Nombre	49	48	46	45	44	45	41	35	26	21	16	16	12	5	1	1
Sol/eau	nCOPA2	3.61	3.73	3.69	3.69	3.67	3.69	3.68	3.64	3.75	3.70	3.71	3.54	3.25	2.80	2.47	
	Nombre	85	86	80	78	79	77	71	54	46	36	30	22	17	11	6	
Eau/eau	nCOPA2	3.56	3.71	3.74	3.63	3.53	3.48	3.51	3.37	3.50	3.21	2.89	2.94	2.95	2.50		
	Nombre	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1		

Les graphiques établis sur la base des années civiles confirment l'analyse faite à partir du nombre d'années d'exploitation: ils montrent clairement que l'efficacité des installations s'améliore les premières années (1995-1999), ce qui avait au demeurant aussi été relevé dans le rapport ANIS.

3.2 Analyse des heures d'exploitation

Les durées de fonctionnement jouent un rôle particulièrement important pour les pompes à chaleur sol/eau. Pour celles de ces installations qui sont équipées de sonde géothermique, le dimensionnement se base sur une durée d'exploitation annuelle maximale de 2000 heures pour le chauffage uniquement et de 2'300 heures avec production d'eau chaude sanitaire. Les règles de dimensionnement figurent dans la brochure "Garantie de performance. Installations techniques" publiée par l'OFEN. Celles concernant les sondes géothermiques sont quant à elles fixées dans la Norme SIA 384/6.

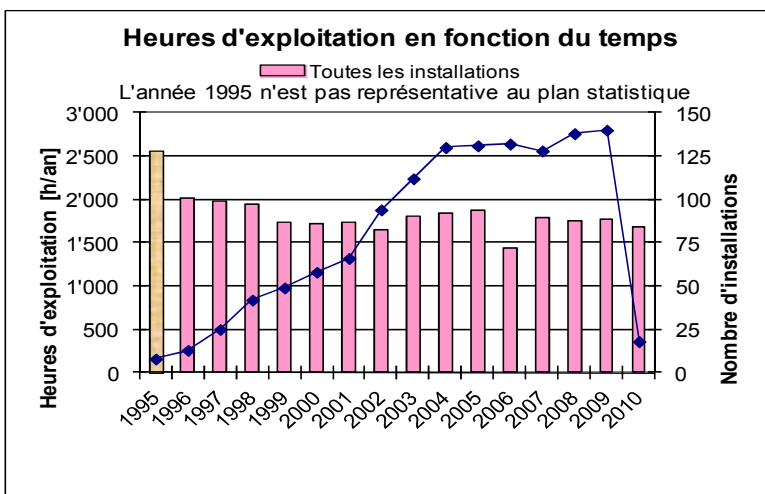


Figure 12. Evolution du nombre d'heures d'exploitation au cours du temps

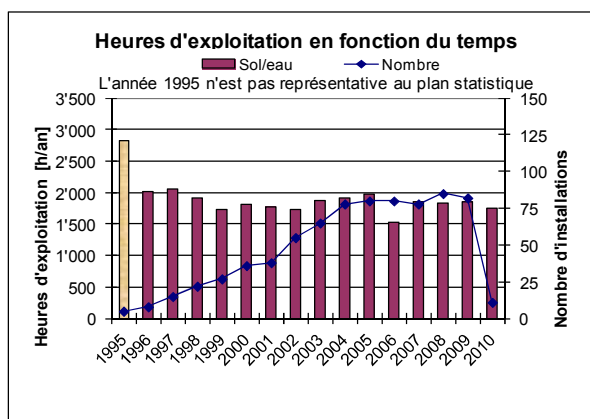


Figure 13. Evolution au cours du temps pour l'échantillon partiel correspondant aux installations sol/eau

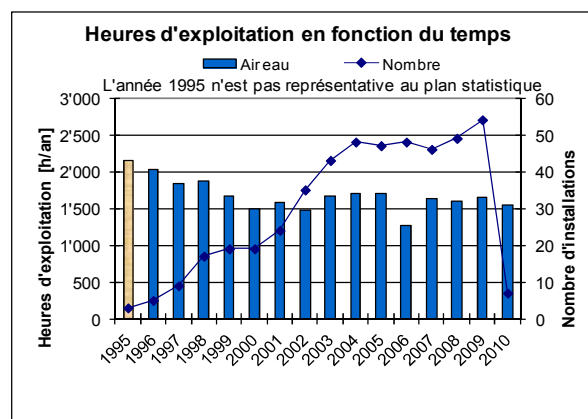


Figure 14. Evolution au cours du temps pour l'échantillon partiel correspondant aux installations air/eau

Tableau 6. Nombre d'heures d'exploitation de niveau 1, classées par année, pour différentes sources de chaleur

Source de chaleur		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
PAC air/eau Air extérieur	Nombre d'heures d'exploitation Niveau 1	2154	2025	1835	1866	1664	1496	1580	1481	1669	1700	1694	1263	1631	1592	1653	1548
	Nombre d'installation	3	5	9	17	19	19	24	35	43	48	47	48	46	49	54	7
PAC sol/eau Collecteurs forés	Nombre d'heures d'exploitation Niveau 1	2824	2018	2061	1918	1726	1810	1778	1728	1867	1885	1950	1501	1829	1813	1835	1748
	Nombre d'installation	5	8	15	22	27	36	38	55	65	79	81	81	79	86	83	12
PAC eau/eau Eau	Nombre d'heures d'exploitation Niveau 1			2190	2489	2394	2021	2163	2165	2216	2188	2182	1794	2323	2248	2065	
	Nombre d'installation			1	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4		

La Figure 12 montre clairement que les bases de dimensionnement sont respectées: le nombre d'heures d'exploitation est très proche de 2000 heures par an. Il est important que cette durée ne soit pas dépassée pour les pompes à chaleur sol/eau (Figure 13), à défaut de quoi les sonde géothermique pourraient geler à long terme.

Le nombre d'heures d'exploitation n'a pas la même importance pour les pompes à chaleur air/eau (Figure 14), mais l'analyse montre que les recommandations de l'OFEN sont suivies.

Tableau 7. Nombre d'heures d'exploitation de niveau 2, classées par année, pour différentes sources de chaleur

Source de chaleur		1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
PAC air/eau Air extérieur	Nombre d'heures d'exploitation Niveau 2		67	256	898	472	515	511	565	855	1139	831	1018	392	639	
	Nombre d'installation		2	2	2	2	4	4	4	5	5	5	5	5	6	
PAC sol/eau Collecteurs forés	Nombre d'heures d'exploitation Niveau 2	702	266	47	329	847	1158	795	1009	947	1157	819	1079	1148	1637	
	Nombre d'installation	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
PAC eau/eau Eau	Nombre d'heures d'exploitation Niveau 2		369	763	868	703	1342	1370	1424	1440	1502	1088	1404	1373	1239	
	Nombre d'installation		1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

L'analyse effectuée pour le deuxième niveau n'est pas vraiment pertinente, car l'échantillon correspondant ne comprend que 5 pompes à chaleur air/eau, 3 sol/eau et 2 eau/eau.

3.3 Analyse de la production de chaleur

La production moyenne de chaleur des installations prises en compte dans l'échantillon est d'environ $Q_a = 19'000$ [kWh/an] pour les pompes à chaleur sol/eau et d'environ $Q_a = 15'100$ [kWh/an] pour les pompes à chaleur air/eau. Le résultat affiché pour les premières est légèrement influencé (+ 3 %) par la valeur élevée enregistrée en 1995.

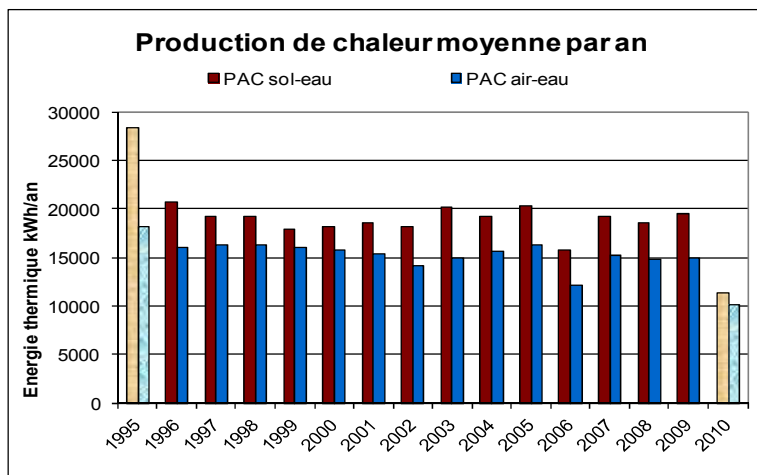


Figure 15. Evolution de la production de chaleur moyenne au cours du temps.

En 1995, seules 5 installations ont pu être analysées, dont une avec une production de chaleur exceptionnellement élevée > 43'000 [kWh/a].

De la même manière, les valeurs fournies pour l'année 2010 ne sont pas garanties au plan statistique, car quelques résultats font encore défaut.

3.4 Analyse de la consommation d'électricité

Avec l'échantillon analysé (165 installations), la consommation moyenne d'énergie électrique est d'environ $Q_a = 6'000$ [kWh/an] pour les pompes à chaleur sol/eau et d'environ $5'600$ [kWh/an] pour les pompes à chaleur air/eau. Le fait que les premières consomment en moyenne plus d'électricité tient au fait qu'elles produisent plus de chaleur (cf Figure 15). La consommation électrique plus élevée enregistrée en 1995 pour les installations sol/eau fait augmenter la moyenne d'environ + 6 %.

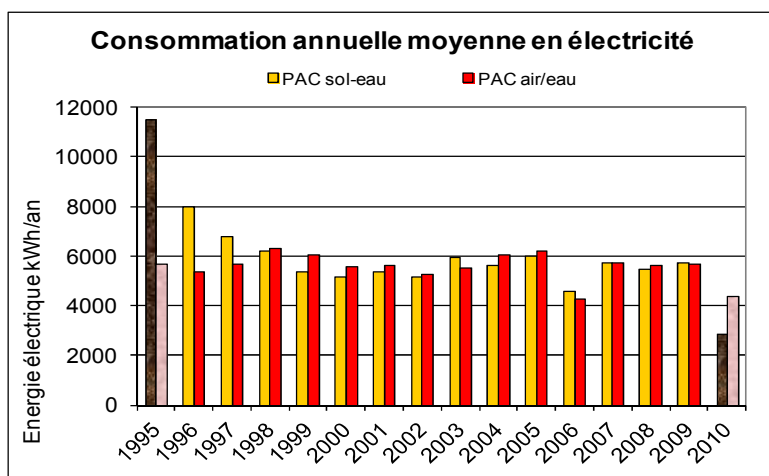


Figure 16. Evolution de la consommation d'énergie électrique moyenne au cours du temps.

L'année 1995 n'est pas représentative, car seules 5 installations ont pu être analysées. En outre, l'une de celles-ci a consommé une quantité d'électricité extrêmement élevée > 17'000 [kWh/a].

De la même manière, les valeurs fournies pour l'année 2010 ne sont pas garanties au plan statistique, car quelques résultats font encore défaut.

3.5 Influence du fluide frigorigène sur l'efficacité

L'efficacité des pompes à chaleur a également été examinée pour les différents fluides frigorigènes utilisés. A titre de comparaison, quelques installations fonctionnant au R22 sont encore prises en compte dans l'analyse. Il en va de même pour le propane (R290), qui ne présente pas de danger pour l'environnement.

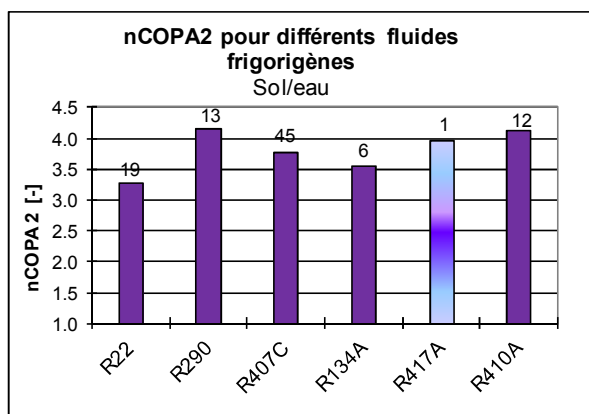


Figure 17. Efficacité des pompes à chaleur sol/eau, pour différents fluides frigorigènes

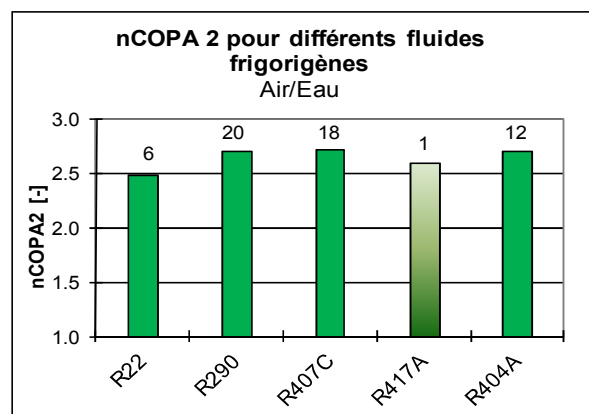


Figure 18. Efficacité des pompes à chaleur air/eau, pour différents fluides frigorigènes

Il apparaît que le fluide frigorigène R22, aujourd'hui interdit et abandonné, donne les résultats les plus mauvais pour les deux groupes.

Comme il fallait s'y attendre, les fluides frigorigènes R290 et R410A sont les plus efficaces pour les pompes à chaleur sol/eau. Le R417A n'a pu être testé que sur une installation. En dehors du R22, les fluides frigorigènes ne se distinguent pas les uns des autres pour les pompes à chaleur air/eau.

L'analyse montre bien que l'efficacité des pompes à chaleur est d'abord influencée par d'autres facteurs, comme les écarts de température (température de la source de chaleur et température du chauffage), le dimensionnement, le raccordement hydraulique, etc.

3.6 Influence de l'altitude du site pour les pompes à chaleur air/eau

La question est souvent posée de savoir jusqu'à quelle altitude les pompes à chaleur air/eau peuvent fonctionner de manière satisfaisante. Elle reste partiellement ouverte, car l'échantillon analysé comprend moins d'une dizaine d'installations situées au-dessus de 600 m s. m.

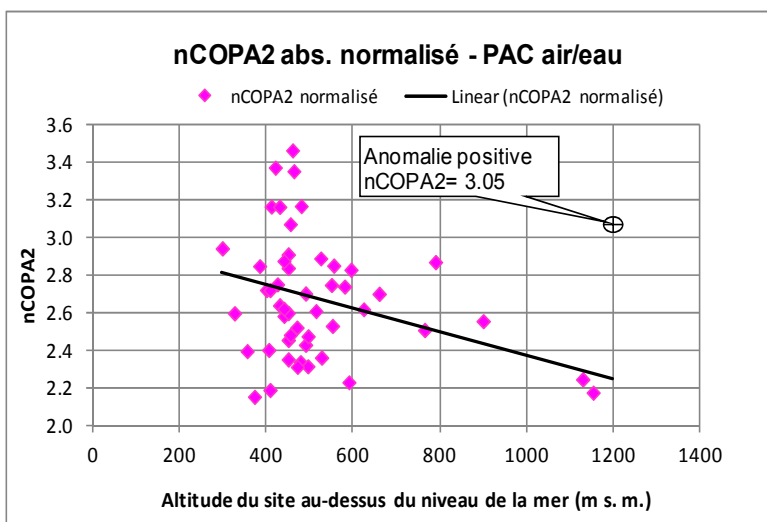


Figure 19. Performance des installations air/eau en fonction de l'altitude

Avec un nCOPA de 3.05, la pompe à chaleur située à une altitude de 1'200 m s. m. montre que de bons résultats peuvent aussi être obtenus dans ces conditions, malgré la température moyenne plus basse de l'air extérieur.

3.7 Analyse des pannes (disponibilité des pompes à chaleur)

La sécurité d'exploitation des pompes à chaleur est analysée depuis l'étude ANIS. Les résultats ont toujours été très bons, avec peu de différences entre les installations sol/eau et air/eau.

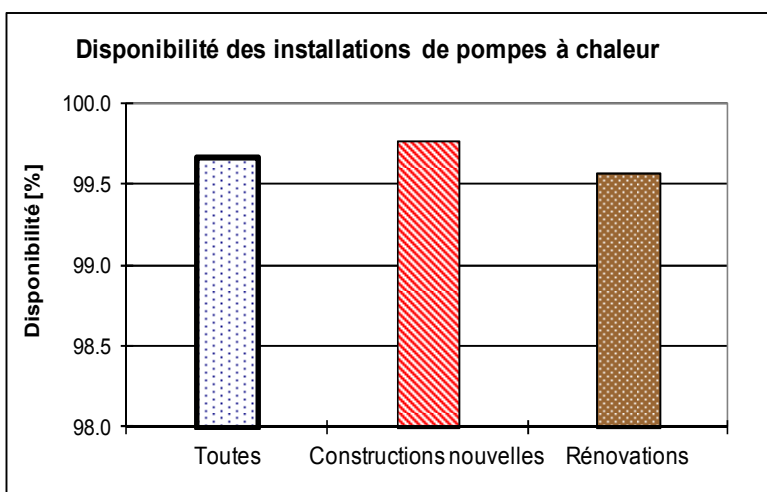


Figure 20. Disponibilité des pompes à chaleur pour l'échantillon total et pour les deux groupes correspondant aux nouvelles constructions et aux rénovations

Le tableau suivant donne des informations complémentaires à ce sujet pour les pompes à chaleur sol/eau et air/eau, etc.

Tableau 8. Analyse des pannes pour les différents groupes d'installations

Panne	Toutes les PAC	Constructions nouvelles	Rénovations	Air/eau	Sol/eau	mono-valent	bivalent	sans accumulation	avec accumulation
total exploitation [h]	2'257'079	1'139'108	1'117'971	759'978	1'339'321	2'122'269	128'034	868'400	1'388'679
Panne [h]	7'416	2'655	4'761	5'308	1'705	6'966	450	3'962	3'454
Disponibilité [-]	99.673	99.767	99.576	99.306	99.873	99.673	99.650	99.546	99.752

Pour définir la disponibilité, il est admis qu'une panne se produit et est enregistrée, lorsque l'installation ne fonctionne plus, c'est-à-dire lorsque la pompe à chaleur ne fournit plus d'énergie thermique. Il est intéressant de remarquer que la disponibilité est supérieure à 99 % dans tous les cas, y compris pour les pompes à chaleur air/eau. Les installations aménagées dans le cadre de rénovations sont également en bonne position, avec une différence de seulement 0.2 % par rapport à celles liées aux constructions nouvelles.

4 Entretien et réparations

Le relevé et l'analyse des frais d'entretien et de réparation se fait séparément. Ces deux postes sont définis comme suit:

Entretien:	L'«entretien» (dit aussi service ou maintenance) comprend les frais de contrôle et, éventuellement, de réglage de la pompe à chaleur et des appareils de commande. Le remplacement de produits de consommation ou de pièces d'usure (par exemple recharge en fluide frigorigène, changement de filtres, nettoyages, etc.) en fait aussi partie, pour autant que le fabricant l'ait prévu dans son programme d'entretien. Les contrats de service tombent aussi dans cette catégorie de frais.
Réparations:	Les «réparations» comprennent le remplacement des composants défectueux de la pompe à chaleur.

4.1 Entretien des pompes à chaleur

Les coûts d'exploitation totaux d'une pompe à chaleur comprennent, à côté des coûts liés à l'achat d'énergie, également les frais d'entretien et de réparations. Les propriétaires de ces installations doivent investir un peu plus que pour un chauffage traditionnel au mazout ou au gaz, de sorte qu'il faut attacher une grande importance aux frais d'entretien. Une approche économique implique ainsi de connaître cette part des coûts. La présente analyse permet d'évaluer les systèmes de pompes à chaleur et peut être directement utilisée pour entretenir l'image de marque.

Les premières évaluations ont été faites dans le cadre d'une ancienne étude³ de l'OFEN, portant sur 50 installations. Elles se poursuivent dans le cadre de la présente analyse, sur un échantillon de 61 pompes à chaleur. Il est fondamental que des informations statistiquement sûres puissent être mises à disposition au sujet des coûts et qu'elles soient diffusées de manière appropriée.

Les propriétaires d'installations sont interrogés individuellement pour reconstituer les frais d'entretien et de réparations, car l'envoi de questionnaires ne s'est pas avéré efficace. Une enquête par téléphone ou sur place lui a été préférée, pour rechercher directement les causes des incertitudes et des contradictions. Les frais d'entretien et de réparations sont fixés sur la base de pièces justificatives (rapports d'entretien, factures, etc.).

L'échantillon analysé comprend:

Sources de chaleur (31 sonde géothermique, 3 collecteurs de chaleur enterrés, 1 pieu énergétique, 22 installations air/eau et 4 installations eau/eau),

46 installations avec chauffage et production d'eau chaude sanitaire et 15 installations pour chauffage seul.

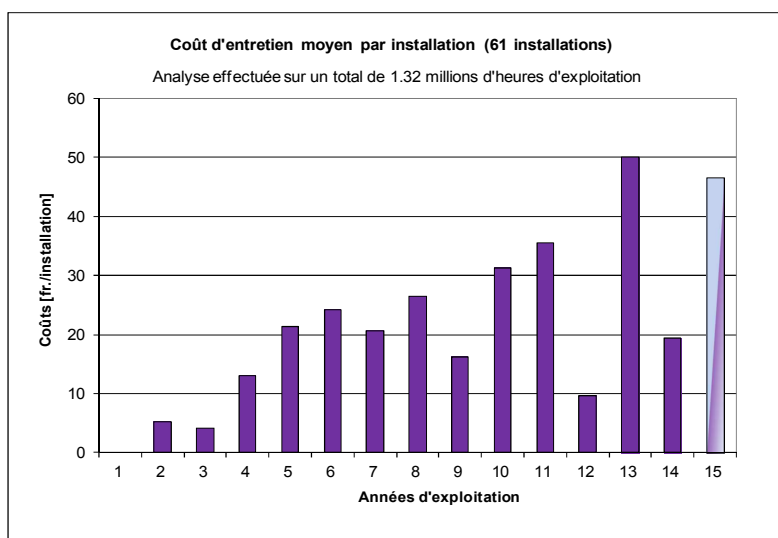


Figure. 21. Coût d'entretien moyen (service compris), en fonction du nombre d'années d'exploitation des pompes à chaleur.

Des frais peuvent être facturés durant la période de garantie (généralement 2 ans). Ils se rapportent alors, par exemple, à la correction de fausses manoeuvres, etc.

³ Projet de recherche OFEN n° 100'454

Pour une pompe à chaleur, les frais d'entretien (service compris) sont de l'ordre d'environ 21.60 [fr./an] et donc très avantageux. Le fait qu'ils soient pratiquement négligeables durant les premières années s'explique par une durée de garantie de 2 ans et par l'obligeance des entreprises. La légère augmentation enregistrée par la suite est liée aux contrôles et à de petites interventions.

4.2 Réparations des pompes à chaleur

Les frais de réparations varient d'un cas à l'autre. Les années caractérisées par des coûts élevés correspondent à des travaux importants, par exemple au changement d'un compresseur ou d'un échangeur de chaleur défaillant et, dans un cas, à l'assainissement des dommages causés par un incendie (court-circuit dans une installation fonctionnant au propane). Les autres réparations sont liées au fonctionnement normal des installations et portent sur les vannes thermostatiques, sur les contrôleurs de débit, sur les organes de régulation, etc.; elles peuvent aussi concerner des interventions sur des éléments extérieurs, par exemple sur un système hydraulique encrassé, sur des vannes de mélange et sur des pompes de circulation. En moyenne, les frais de réparation se montent à 84.40 [fr./an] par installation, soit un montant faible, qui influence favorablement les coûts d'exploitation des pompes à chaleur.

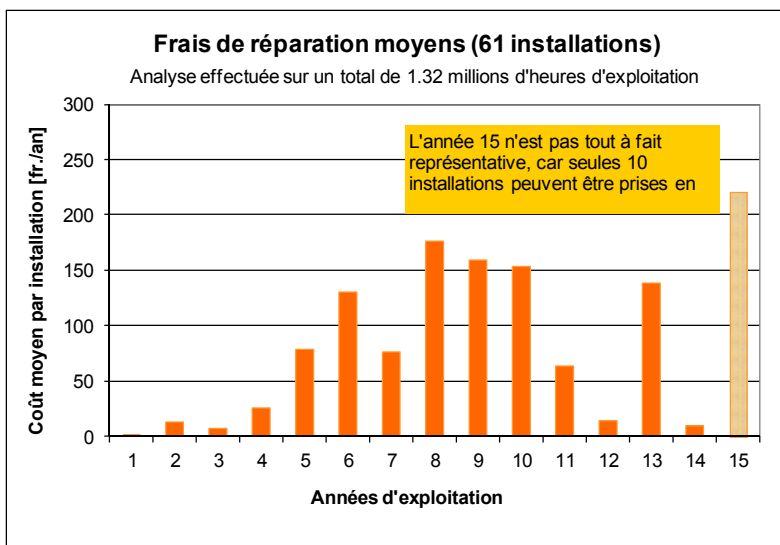


Figure 22. Evolution des frais de réparation moyens déterminés pour 61 installations, en fonction des années d'exploitation

Relevés pour 61 installations, les frais de réparations varient beaucoup durant les 15 années d'exploitation analysées. Avant tout, la fréquence des réparations n'augmente pas avec l'âge des installations. Ce constat démontre la qualité des petites pompes à chaleur.

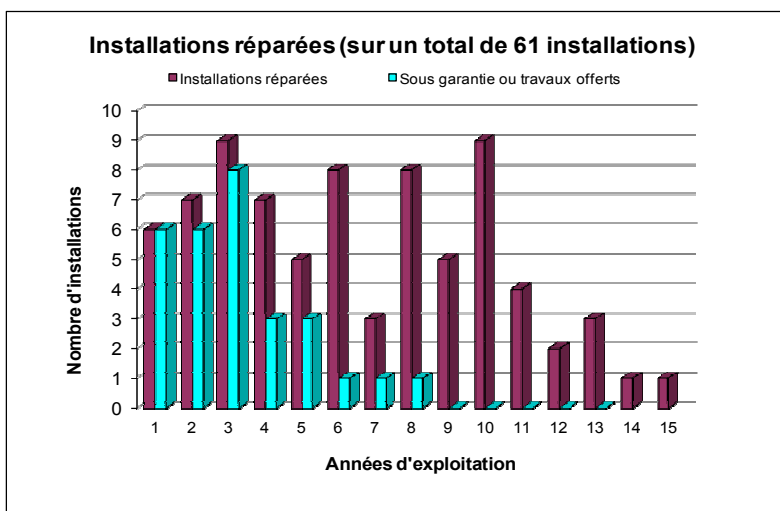


Figure 23. Nombre d'installations réparées en fonction des années d'exploitation

La Figure 23 illustre le nombre d'installations qui ont dû faire l'objet de petites ou de grandes réparations durant les années d'exploitation considérées. Il apparaît clairement que les travaux effectués durant les trois premières années l'ont été le plus souvent sous garantie ou gratuitement.

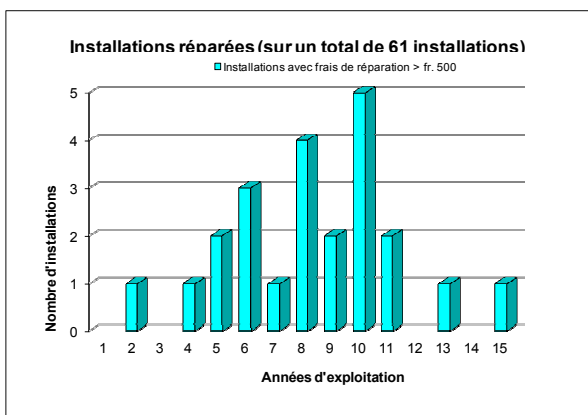


Figure 24. Installations pour lesquelles les frais de réparation sont >500.00 [fr/an]

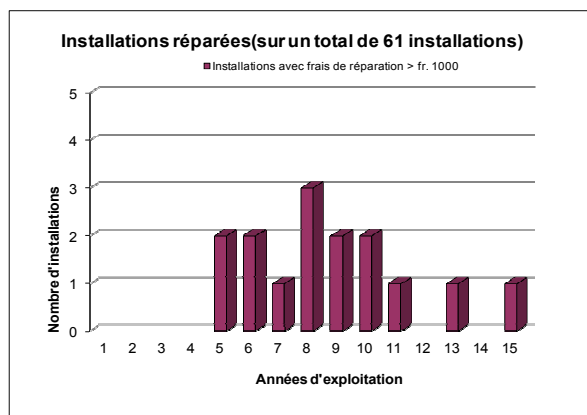


Figure 25. Installations pour lesquelles les frais de réparation sont >1000.00 [fr/an]

Les Figures 24 et 25 montrent que les grosses pannes sont rares. Cette image très favorable ne permet bien entendu pas d'exclure que des travaux de réparation importants doivent être exécutés une fois ou l'autre.

4.3 Coûts totaux pour l'entretien et les réparations

Rapportés à 15 années d'exploitation et à 61 installations, les coûts totaux d'entretien et de réparation sont en moyenne de 106.00 [fr./an]. Très avantageux, ce chiffre traduit la qualité des petites pompes à chaleur, mais n'exclut pas la nécessité de procéder à certains travaux. Tout compte fait, les coûts analysés comprennent le remplacement de cinq compresseurs, un cas d'incendie et des dommages liés au givrage d'un évaporateur.

Le Tableau 7 donne plus de détails sur les coûts annuels moyens de maintenance des pompes à chaleur, qui représentent 1.065 [ct./h] par heure d'exploitation pour l'entretien et 4.045 [ct./h] pour les réparations. L'analyse des 61 installations porte ainsi sur une durée cumulée de 1.32 millions d'heures d'exploitation.

Tableau 9. Coûts de maintenance des pompes à chaleur

Années	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Moyenne
Nombre d'installations	33	61	61	61	61	61	60	58	55	52	51	42	36	21	10	
Frais d'entretien	0.00	5.10	4.03	13.02	21.67	24.11	20.60	26.59	16.22	31.30	35.61	9.71	50.09	19.47	46.56	21.60
Frais de réparation	0.02	13.56	7.40	26.00	78.26	130.76	76.00	176.51	159.10	153.43	63.17	13.73	138.76	9.52	220.40	84.40
Coûts totaux pour la maintenance	0.02	18.65	11.43	39.01	99.92	154.87	96.60	203.10	175.32	184.72	98.78	23.45	188.85	29.00	266.96	106.00

La dernière année d'exploitation (année 15) n'est pas encore représentative, car l'échantillon ne comprend que 10 installations exploitées durant 15 ans.

5 Collaboration au niveau national

Deux séances annuelles du groupe d'accompagnement se sont déroulées en présence de MM. Richard Phillips et Gerold Truniger de l'OFEN, ainsi qu'avec le professeur Max Ehrbar, désigné comme expert.

Les bons contacts entretenus avec le Groupement promotionnel suisse pour les pompes à chaleur GSP permettent de transmettre les connaissances de manière simple et ciblée et de les intégrer directement dans les documents destinés à la formation.

Les thèmes traités sont diffusés et valorisés par divers canaux du GSP et d'autres manières, par le biais de conférences, dans le cadre d'activités de groupes de travail ou directement dans le cadre de la formation professionnelle ("Partenaire GSP certifié").

6 Collaboration au niveau international

Le responsable du projet a pu présenter ses résultats lors de conférences données le 29 octobre 2009 dans le cadre du symposium international sur les pompes à chaleur, organisé par le TWK à Karlsruhe (Prof. Dr. Ing. Reichelt), et en 2011 lors de la journée d'information sur les pompes à chaleur tenue au Voralberg.

D'autres interventions n'étaient pas prévues au niveau international, mais les contacts entretenus avec les équipes de projets allemands et autrichiens ont été mis à profit pour procéder à des échanges au sujet de rapports et de publications.

Dans le cadre d'une planification prudente, l'OFEN a approuvé le premier projet d'analyse in situ de petites pompes à chaleur en 1995 déjà (étude ANIS [1] et projet AQ/PAC [2]), de sorte que la Suisse dispose d'une avance considérable dans ce domaine, du point de vue de l'expérience et des connaissances.

7 Conclusions

L'étude montre une bonne continuité, avec une dispersion faible et une bonne qualité des résultats. L'analyse des coûts d'entretien et de réparation est également réjouissante. Ces connaissances peuvent encore renforcer le succès des ventes de pompes à chaleur, car les frais d'entretien (service compris) sont justement très bas.

Il est important de poursuivre l'étude in situ des petites pompes à chaleur, pour pouvoir disposer de données concrètes sur leur efficacité et aussi sur l'évolution des frais de maintenance à long terme. Les installations atteignent aujourd'hui un âge particulièrement intéressant. C'est en effet maintenant que des informations sûres commencent à tomber au sujet de leur durée de vie, ce qui intéresse le marché de la pompe à chaleur, respectivement la clientèle.

Hubacher Engineering remercie vivement l'OFEN pour le mandat reçu. Dans le cadre de ce projet, il a pu fournir un travail utile au service de la branche. Ces analyses in situ demandent une grande expérience et un engagement constant, ainsi que le concours des propriétaires d'installations, qui relèvent régulièrement leurs données. Des remerciements leur sont également adressés, pour une collaboration qui dure parfois longue depuis une quinzaine d'années déjà.

8 Références bibliographiques

- [1] **FAWA-Schlussbericht BFE: Feldanalysen von Wärmepumpenanlagen FAWA, 1996 - 2003**
Schlussbericht April 2004, Autoren: P. Hubacher, M. Erb, M. Ehrbar.
- [2] **QS-WP/QP: Qualitätssicherung von Klein-Wärmepumpen mittels Norm- und Feldmessungen**, Teilprojekt Langzeitverhalten 2007-2008, Schlussbericht 2008, Autoren: P. Hubacher, Experte M. Ehrbar
- [3] **Verbesserung der Jahresarbeitszahl durch witterungsgeführten Ladekreis**,
Schlussbericht 2008; Autoren P. Hubacher, M. Ehrbar;

Engelburg, Printemps 2012

Hubacher Engineering
Peter Hubacher