



F. Rognon, novembre 2008

---

# **Analyse in situ d'installations de pompes à chaleur 1995-2007**

**Diapositives commentées comprenant tous les éléments publiés  
depuis le début du projet jusqu'à fin 2007**

---



Auteur:

OFEN

Section des énergies renouvelables

F. Rognon

Responsable-marché des domaines pompe à chaleur, froid, cogénération et centrales  
thermiques2020

## ANIS – Analyse in situ de pompes à chaleur ou le contrôle de qualité de la promotion des PAC dans SuisseEnergie



Office fédéral de l'énergie OFEN  
Section Energies renouvelables  
Domaine chaleur ambiante/froid  
Fabrice Rognon

Le présent exposé présente en détail le rapport final complet du projet d'analyse in situ des pompes à chaleur de l'OFEN de 2004 (no. de commande OFEN 240016).

Ce rapport n'est disponible qu'en allemand, seul un résumé existe en français. Afin de combler cette lacune, le soussigné avait préparé une présentation complète. Vu les demandes, la voici augmentées de commentaires pour plus de clarté. En cas de difficulté d'interprétation, le rapport original en allemand fait foi. Les références complètes des publications de l'OFEN à ce sujet se trouvent en fin de document.

Auteur:

F. Rognon

Section Energies renouvelables

Responsable des domaines chaleur ambiante, cogénération, froid

OFEN

3003 Berne

# Anis – Analyse in situ de PAC

*Plan de l'exposé*

## ■ Marché

## ■ Objectifs

## ■ Méthode

- *Bâtiments*
- *Echantillon*
- *Définition système de mesures*
- *Acquisition de données*

## ■ Résultats

- *Satisfaction clients*
- *Evolution des COP*
- *Disponibilité, vieillissement*
- *Taux de charge, appoint*
- *Eau chaude sanitaire*
- *Accumulateur de chaleur*
- *Sondes géothermiques*
- *Comparaison modèle/in situ*
- *Coûts*

## ■ Conclusions et recommandations

# Anis – Analyse in situ de PAC

*Plan de l'exposé*

## ■ Marché

### ■ Objectifs

### ■ Méthode

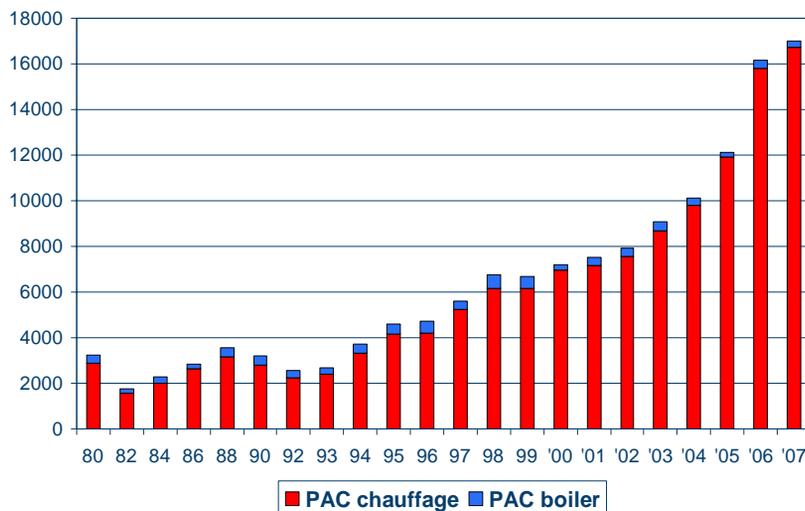
- *Bâtiments*
- *Echantillon*
- *Définition système de mesures*
- *Acquisition de données*

## ■ Résultats

- *Satisfaction clients*
- *Evolution des COP*
- *Disponibilité, vieillissement*
- *Taux de charge, appoint*
- *Eau chaude sanitaire*
- *Accumulateur de chaleur*
- *Sondes géothermiques*
- *Comparaison modèle/in situ*
- *Coûts*

## ■ Conclusions et recommandations

## Progression du marché des PAC



Alle Lieferanten ab 1995 erfasst

ID003737120

4

Le marché progresse de manière constante depuis 1998.

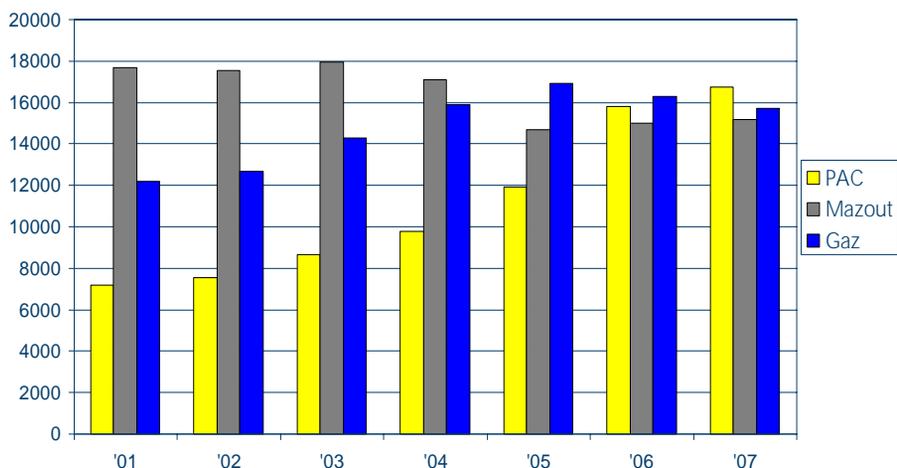
Il est piquant de constater que le subventionnement des pompes à chaleur a été arrêté en 1997.

Le groupement promotionnel des pompes à chaleur (GSP) a été fondé en 1993.

En 1993 a été ouvert le premier centre de test de pompes à chaleur (PAC) à Winterthur-Töss, transféré à la HES de Buchs (SG) en 2003.

Dans le cadre d'Energie2000 puis de SuisseEnergie, le groupement promotionnel suisse des pompes à chaleur a toujours mis l'accent sur l'assurance de la qualité et la formation.

## Le marché du chauffage 2001-2007



5

Désormais, la PAC est un acteur majeur du marché avec environ une part d'un tiers. En 2007, pour la première fois de l'histoire du chauffage moderne, il s'est vendu plus de PAC que de chaudières à mazout. C'est historique!

## Structure commerciale en Europe: mutations profondes

### Qui appartient...

SATAG (CH)

Steinmann Apparatebau (CH)

Thermia (S)

IVT (S)

Termogamma (CH)

ELCO (CH-D)

Alpha Innotec (D)

Calmotherm (CH)

### à qui ?

Viessmann (D)

Danfoss (DK)

Danfoss (DK)

Bosch/Buderus (D/NL)

Merloni (I)

Merloni (I)

Schulthess (CH)

Schulthess CH

La situation sur le marché a subi une très forte évolution depuis 2005. Les forces se concentrent par le biais d'achats, de participations.

Les entreprises suisses ont très tôt intéressé les grandes firmes internationales. Viessmann fut le premier, puis les autres ont suivi.

La pompe à chaleur connaît la même évolution que les chaudières à gaz et à mazout. Le marché croît et en parallèle la production se concentre au niveau européen.

## Structure commerciale en Europe: industrialisation

<b>Qui produit...</b>	<b>combien dès 2008/09</b>
Viessmann (D)	20'000
Thermia (S)	15'000
IVT (S)	30'000
Termogamma (CH)	20'000
Stiebel Eltron (D)	20'000
CTA (CH)	5'000
Marché suisse en 2007:	17'000

La PAC est passée à l'âge industriel. Elles sont désormais fabriquées en grandes séries avec un niveau de qualité élevé.

Les « bricoleurs géniaux » sont définitivement hors course, ce qui est positif pour le client final.

# Anis – Analyse in situ de PAC

*Plan de l'exposé*

## ■ Marché

## ■ Objectifs

## ■ Méthode

- *Bâtiments*
- *Echantillon*
- *Définition système de mesures*
- *Acquisition de données*

## ■ Résultats

- *Satisfaction clients*
- *Evolution des COP*
- *Disponibilité, vieillissement*
- *Taux de charge, appoint*
- *Eau chaude sanitaire*
- *Accumulateur de chaleur*
- *Sondes géothermiques*
- *Comparaison modèle/in situ*
- *Coûts*

## ■ Conclusions et recommandations

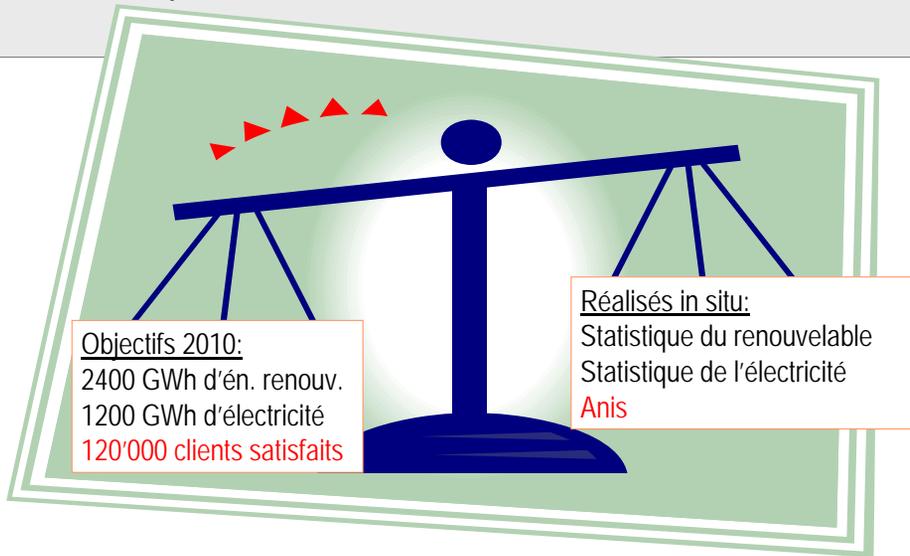
## Projet Anis en bref

*unique au monde (à notre connaissance)*

- La stratégie de promotion des pompes à chaleur par le programme SuisseEnergie de l'office fédéral de l'énergie mise sur la qualité
  - *Observation in situ par le projet Anis*
- Choix pour Anis
  - 95% du marché dans le résidentiel
  - 93% du marché en-dessous de 20 kW<sub>th</sub>
  - sources: 55% air, 45% sol
- Constatations documentées statistiquement
  - Performances des PAC dans le résidentiel ( $\leq 20$  kW<sub>th</sub>)
  - Développements à long terme
  - Evaluation de l'efficacité de différents concepts

La Confédération a toujours placé la promotion des pompes à chaleur sous l'égide de la qualité. Rappelons que cette technologie avait mauvaise réputation suite aux expériences malheureuses de la fin des années 1970 et autour du peak des prix du pétrole du début des années 1980.

## Quantités, qualité



L'analyse in situ constate la réalité des consommations dans la pratique. Est-ce que les attentes du client et de l'OFEN sont satisfaites?

# Anis – Analyse in situ de PAC

*Plan de l'exposé*

## ■ Marché

## ■ Objectifs

## ■ Méthode

- *Bâtiments*
- *Echantillon*
- *Définition système de mesures*
- *Acquisition de données*

## ■ Résultats

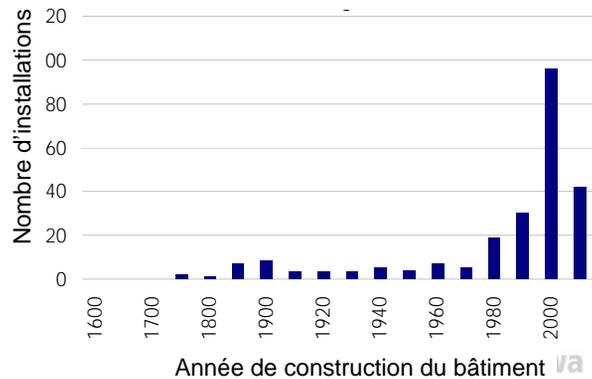
- *Satisfaction clients*
- *Evolution des COP*
- *Disponibilité, vieillissement*
- *Taux de charge, appoint*
- *Eau chaude sanitaire*
- *Accumulateur de chaleur*
- *Sondes géothermiques*
- *Comparaison modèle/in situ*
- *Coûts*

## ■ Conclusions et recommandations

# Bâtiments dans Anis

*Typologie*

- 221 bâtiments
- Installations normales, standards, représentatives
- 60% de bâtiments neufs
- 40 % des bâtiments sont rénovés



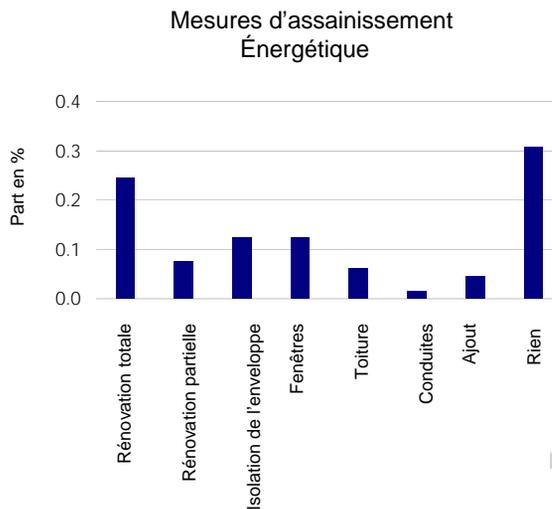
L'échantillon de l'analyse in situ est constitué de 221 bâtiments dont 60% de neufs.

Par rapport au marché annuel, les rénovations sont donc sur-représentées. Ceci est à garder en mémoire lors de l'analyse des performances.

# Bâtiments dans Anis

Typologie

- La moitié des rénovation comprenaient outre le chauffage des mesures d'assainissement de l'enveloppe du bâtiment

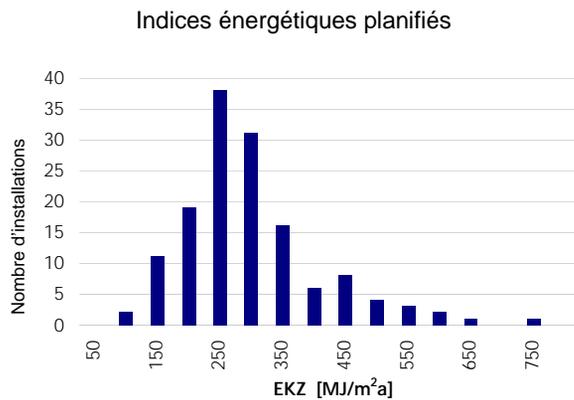


La moitié des rénovations de chauffages incluait aussi des mesures d'amélioration de l'enveloppe du bâtiment.

# Bâtiments dans Anis

Typologie

- Indice énergétique moyen  
270 MJ/m<sup>2</sup>/a
- Indices planifiés correspondent bien aux indices mesurés



fawa

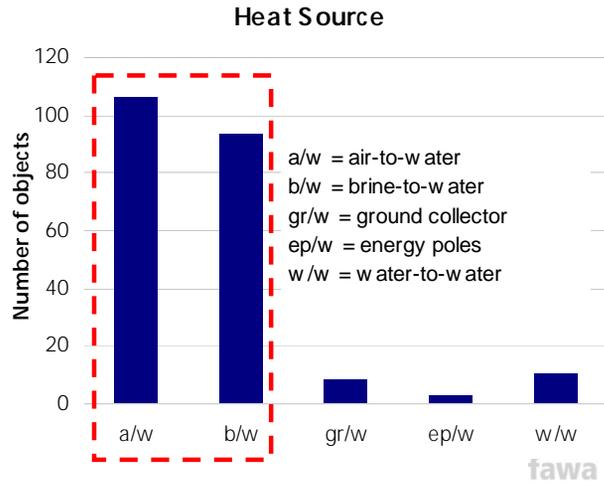
L'indice énergétique moyen des bâtiments mesurés s'établit à 270 MJ/m<sup>2</sup>/an. Plus important: les indices mesurés correspondent très bien aux indices calculés.

## Sources de chaleur dans Anis

Répartition reflète le marché résidentiel (< 20kW<sub>th</sub>)

### Répartition:

- Reflète le marché, soit
  - 105 air/eau
  - 94 sol/eau
  - 22 autres
- Collecteurs enterrés, pieux énergétiques et nappe phréatique sont négligeables dans le résidentiel en Suisse



Le choix des sources de chaleur a été fait pour refléter au mieux le marché c'est-à-dire 55% de air/eau et 45% de sol/eau.

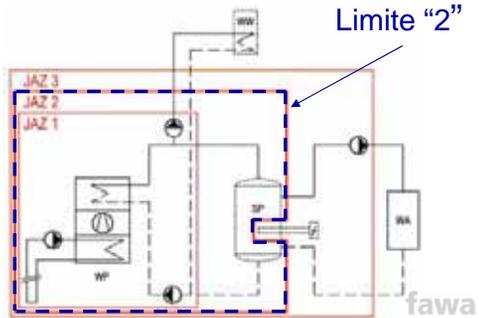
Quelques installations eau/eau ont été prise à titre de comparaison.

## Définitions

*Limites pour les mesures, éliminer l'influence du climat*

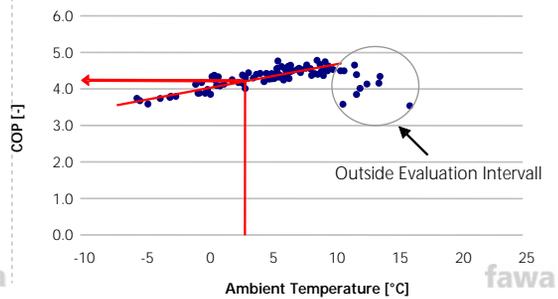
### Coefficient de performance annuel moyen (COPA ou SPF)

- Chaleur produite / électricité  
-> SPF 2 (=COPA 2)



### Correction de l'influence du climat local sur le COPA

- COP normé à  $T_{ext} = 3^{\circ}C$   
-> nSPF (=nCOPA 2)



Les limites du système ont été soigneusement définies et respectées de manières strictes sur le terrain. Le coefficient de performance annuel moyen ou COP suit la limite « 2 » qui inclut les pompes de circulation.

Dans les analyses, l'influence du climat sur le COP a été filtrée. Les degrés-jours ont aussi été corrigés, afin de permettre une comparaison entre les différentes années.

Donc le « COPA2 » est calculé comme si toutes les installations avaient eu le même climat la même année.

# Méthode

## Acquisition de données

### Type A (simple)

- **Caractéristiques du bâtiment**
- **Paramètres d'exploitation**
- *Lecture des instruments par le propriétaire de la PAC:*
  - *chaleur produite*
  - *consommation d'électricité*
  - *temps de fonctionnement*
  - *nombre de démarrages*
  - *temps de fonctionnement de l'appoint électrique*
  - *Pannes, problèmes*
  - *Intervalle: 1 semaine*
  - *Durée: 3 ans minimum*

### Type B (détaillé)

- **Caractéristiques du bâtiment**
- **Paramètres d'exploitation**
- *Enregistrement automatique de :*
  - *Température extérieur*
  - *Température source de chaleur*
  - *Température distribution chaleur*
  - *air/eau: température sortie condenseur*
  - *Temps de fonctionnement*
  - *Nombre de démarrages*
  - *Intervalle: 30 minutes*
  - *Durée: 2 à 3mois*

Deux types de mesures ont été effectués. La mesure A concerne tous les bâtiments. La mesure B ne concerne que quelques bâtiments choisis pour approfondir certains aspects.

# Anis – Analyse in situ de PAC

*Plan de l'exposé*

## ■ Marché

## ■ Objectifs

## ■ Méthode

- *Bâtiments*
- *Echantillon*
- *Définition système de mesures*
- *Acquisition de données*

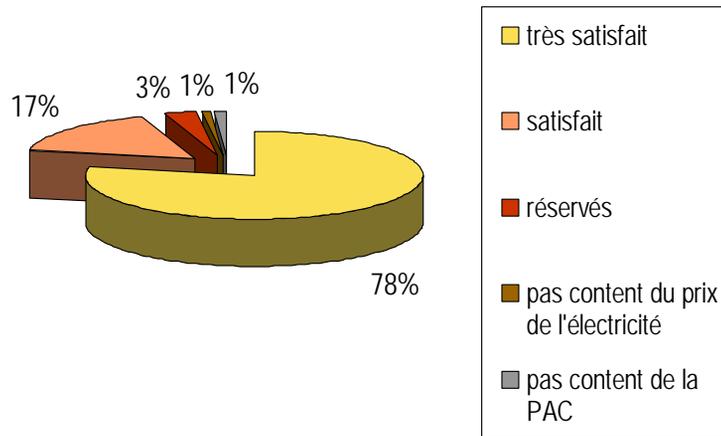
## ■ Résultats

- *Satisfaction clients*
- *Evolution des COP*
- *Disponibilité, vieillissement*
- *Taux de charge, appoint*
- *Eau chaude sanitaire*
- *Accumulateur de chaleur*
- *Sondes géothermiques*
- *Comparaison modèle/in situ*
- *Coûts*

## ■ Conclusions et recommandations

## Satisfaction des clients

*Sondage auprès des clients Anis*



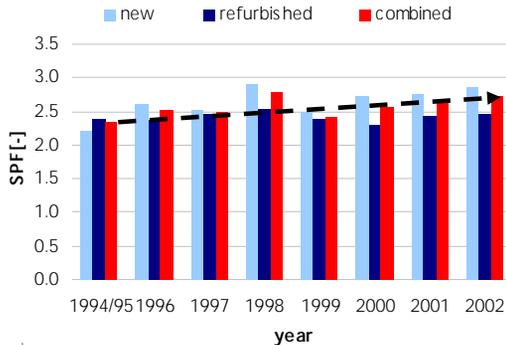
Le taux de satisfaction est très élevé. Si on enlève l'insatisfaction suscitée parfois par les prix de l'électricité, on atteint un taux de satisfaction de 96%

# Evolution des coefficients de performance annuels moyen avec correction climatique, inclut stock tampon et pompes de circulation (nCOPA2)

## Air/eau:

- +17% depuis 1994/95 de 2,3 à 2,7
- Accroissement continu

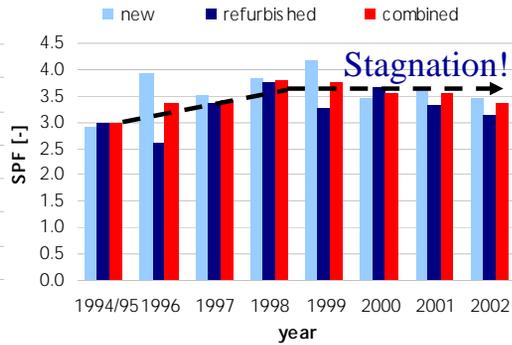
cSPF 2 vs. year: air/water



## Sol/eau:

- +14% depuis 1994/95 de 3,0 à 3,4
- Stagnation depuis 2000

cSPF 2 vs. year: brine/water



L'efficacité progresse, surtout pour les air/eau.

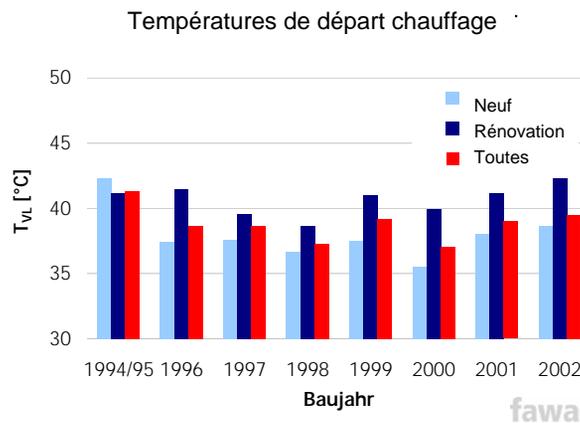
La stagnation s'explique: les entreprises restructurent pour produire en grandes séries. L'effort de développement se porte ailleurs que l'efficacité, notamment la fiabilité et la réduction des coûts. En effet, pour le fabricant de grandes séries, la fiabilité prime sur l'efficacité, en tous cas dans un premier temps. Lorsque la phase d'industrialisation sera digérée, le développement technique reprendra le dessus, dans le jeu classique de la concurrence.

## Distribution chauffage: températures

*Développement au cours du temps*

- Valeurs planifiées et valeurs mesurées correspondent bien au point de dimensionnement
- $T_{VL}$  à la limite de chauffe trop haut
- Nouvelle tendance pour confort accru (pieds nus au chaud....?)

**Conseil:** température plus basses sont possibles et améliorent le COPA



Les températures de distribution dans les systèmes de chauffages évoluent peu. Malgré des standards de bâtiments plus sévères qui permettent des températures de chauffage de sol de 30 à 35°C, on constate une évolution plutôt inverse.

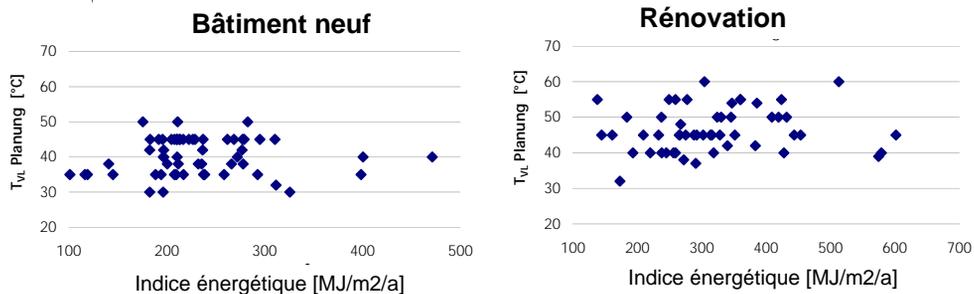
D'après nos interviews, les clients aiment sentir la chaleur du chauffage et/ou les installateurs dimensionnent les chauffages de sol selon leurs habitudes à 45°C et pas selon le bâtiment.

Donc certaines PAC pourraient être meilleures si le chauffage de sol avait été conçu correctement. La PAC n'y est pour rien!

Il y a là un gros effort d'information de la part des architectes, des Cantons, de Minergie aux clients finaux.

# Distribution chauffage

*Température de départ en fonction de l'indice énergétique*



- PAS DE CORRELATION AVEC L'INDICE ENERGETIQUE
- T<sub>VL</sub> à la limite de chauffe est trop haut.

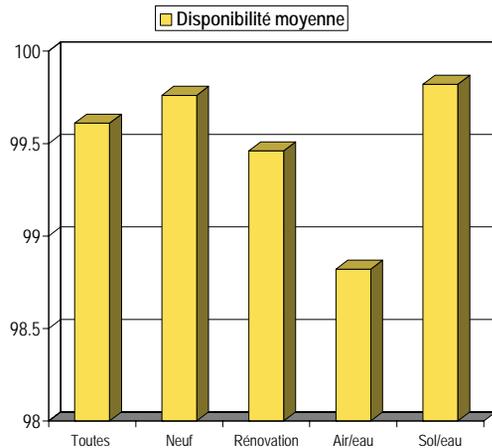
Le diagramme pour les bâtiments neufs le confirme: les températures de chauffages sont déterminées par des habitudes et pas par le bâtiment.

Il est très regrettable qu'il n'y ait aucune corrélation entre l'indice énergétique des bâtiments et les températures de chauffage, surtout dans le neuf. Car cela signifie que des installations fonctionnent avec une température de départ chauffage de plus de 40°C . Là où 30 à 35°C seraient possibles. Or l'efficacité augmente de 8% pour une baisse de la température de 5°C!

## Disponibilité, fiabilité

Cumulés: 1,4 mio heures de fonctionnement

- Définition: 1 jour d'arrêt sur 100 jours de chauffage  
->disponibilité de 99%
- Disponibilité moyenne: 99.6%
- 5'279h de pannes sur 1'360'580 heures de chauffage
- Soit en moyenne 7h par hiver par PAC
- 71% des PAC sans aucune panne

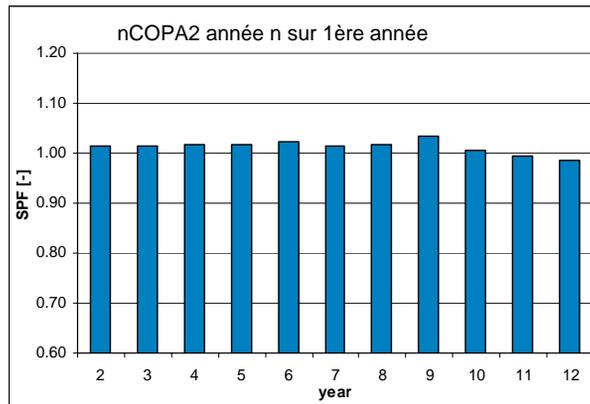


La fiabilité est très élevée. On ne dispose pas de chiffres analogues pour les chaudières. Toutes les machines ont sensiblement la même fiabilité (attention à l'échelle de l'axe vertical!)

## Vieillessement des installations

*air/eau et sol/eau*

- Sol/eau: pas de refroidissement du terrain autour de la sonde
- Air/eau: pas d'encrassement de l'évaporateur
- Fuites de réfrigérant négligeables



Le vieillissement n'est pas mesurable après 12 ans (attention à l'échelle de l'axe vertical).

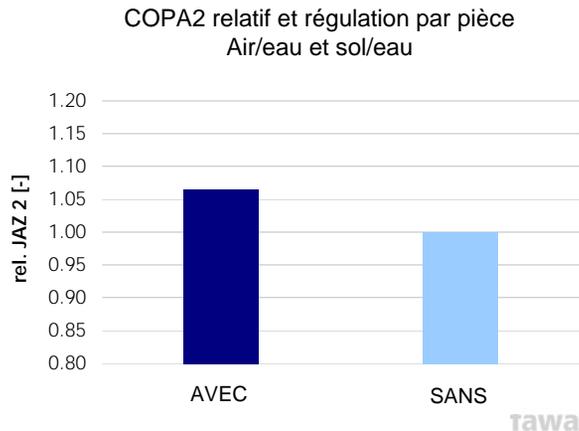
Corollaire: les fuites de réfrigérants de 5 à 10% en moyenne annuelle sont donc inexistantes! Nos mesures montrent que les fuites de réfrigérants sont nulles respectivement pas mesurables pendant l'exploitation. Ce qui s'explique: il s'agit de machines compactes, fabriquées et contrôlées en usine. Si fuites il y avait, ce serait lors d'avarie grave, d'intervention par une personne non formée à la manipulation des réfrigérants et/ou lors de l'élimination de la machine en fin de vie.

## Régulation

*Effet de l'adaptation de la courbe chauffage à la température des pièces*

Les installations équipées d'une régulation qui adapte la courbe de chauffage selon la température des pièces ont des COPA de 6.5% supérieurs càd que  $T_{VL}$  est abaissée en moyenne de 4 K tiefer (de 7 K au point de dimensionnement).  
 → courbes de chauffages sont réglées trop haut.

**ATTENTION: vannes thermostatiques = faux remède !!**



La régulation par pièce ou par zones est meilleure. Elle permet d'abaisser toute la courbe de chauffage donc de baisser la température de départ chauffage, ce qui améliore le COP.

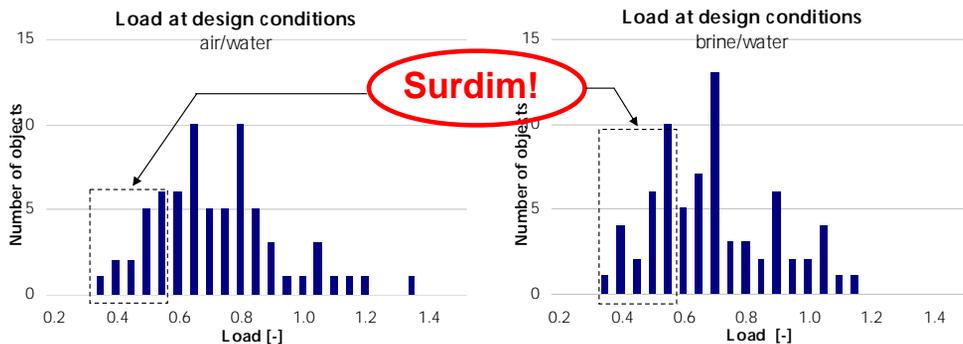
Les vannes thermostatiques sont à bannir! En effet, la température de chauffage reste élevée, donc le COP faiblit, et elles varient le débit, donc la PAC risque des dérangements.

Il vaut mieux ajuster soigneusement la courbe de chauffage! Actuellement, les courbes de chauffages sont mal ou pas ajustées au bâtiment ou à l'utilisateur. Ainsi, les vannes thermostatiques corrigent la courbe de chauffage pendant le fonctionnement. On le voit aux températures trop élevées constatées aux dias 21 et 22 ci-dessus.

Dans une villa individuelle, les vannes thermostatiques ne se justifient qu'avec des radiateurs. Avec du chauffage de sol, l'inertie est de toute façon trop grande (4 à 6 heures) pour que la vanne thermostatique agisse correctement.

Encore une fois: la courbe de chauffage doit être réglée, adaptée et optimisée.

# Taux de charge moyen Au point de dimensionnement



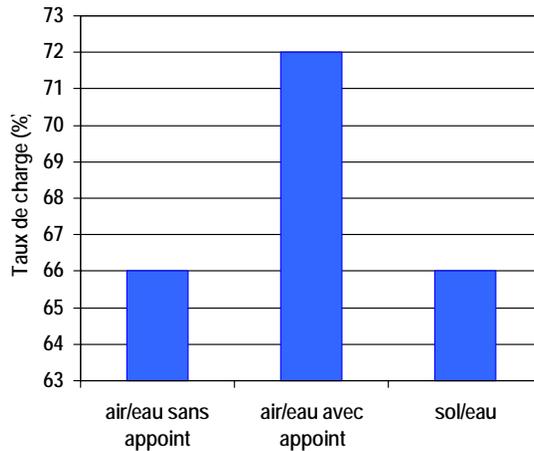
- Taux de charge moyen: air/eau 66%, sol/eau 68%
- Si 4 heures d'interruption d'électricité par 24 heures (pointes): 80%
- Installations sol/eau pourraient être dimensionnées plus petites

Le surdimensionnement a la vie dure! Toutes les machines pourraient être 20% moins puissantes, avec les conséquences notables sur l'investissement. Les réserves sont encore et toujours trop grandes, mêmes en tenant compte des interruptions de fourniture d'électricité pour le délestage du réseau.

## Appoint électrique

Taux de charge au point de dimensionnement

- air/eau couvrent tous les besoins sans appoint, même si prévu ainsi que dans 38 % des cas
- 1.5% de la chaleur totale est fournie par l'appoint
- L'appoint électrique ne sert que pendant la mise en service et/ou le séchage d'un bâtiment neuf ou pendant une panne (protection PAC)!



L'appoint électrique pour les PAC air/eau n'est pas nécessaire. Dans bien des cas, nous l'avons débranché sans que le propriétaire s'en aperçoive!

Il est par contre utile lors du séchage d'un bâtiment neuf (surtout avec une sonde géothermique pour ne pas épuiser la sonde) ou lors de panne pour protéger la PAC et le bâtiment contre le gel. Ou encore pour porter l'eau chaude sanitaire périodiquement à plus de 60°C pour éliminer les éventuelles bactéries (légionelles).

## Eau chaude sanitaire

*COPA(chauffage + ECS) d'installations avec et sans couplage*

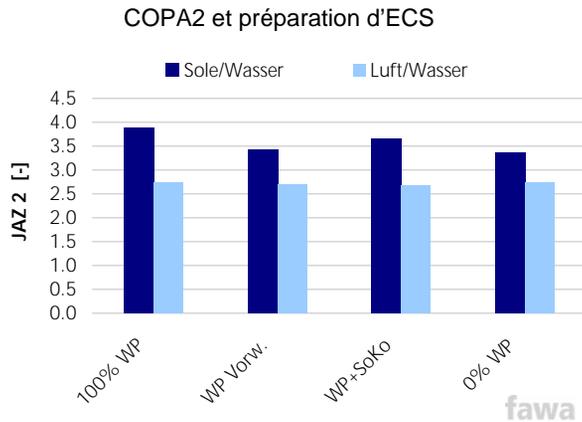
▪ Besoins thermiques (Anis):

Chauffage: 80%

ECS: 20%

▪  $T_{VL}$ -ECS à peine plus élevée en moyenne que  $T_{VL}$ -chauffage

→ Conclusion: pas d'effet sur le COPA si ECS ou pas



La préparation d'eau chaude sanitaire n'a pas d'effet sur le COP.

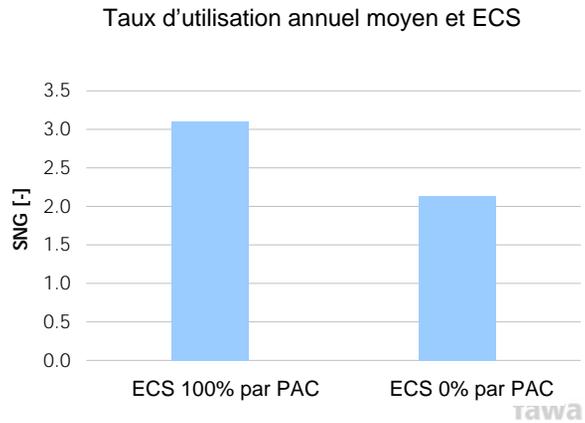
Ceci paraît au premier abord paradoxal mais s'explique scientifiquement et pratiquement. Nous y reviendrons aux diapos 32 et suivantes.

Donc il est toujours judicieux de faire l'eau chaude sanitaire avec la PAC plutôt que de mettre une résistance électrique.

## Eau chaude sanitaire

*Taux d'utilisation annuel global (SNG) avec et sans préparation d'ECS*

Le taux d'utilisation annuel est 50% plus élevé si toute l'ECS est préparée par la PAC du chauffage.

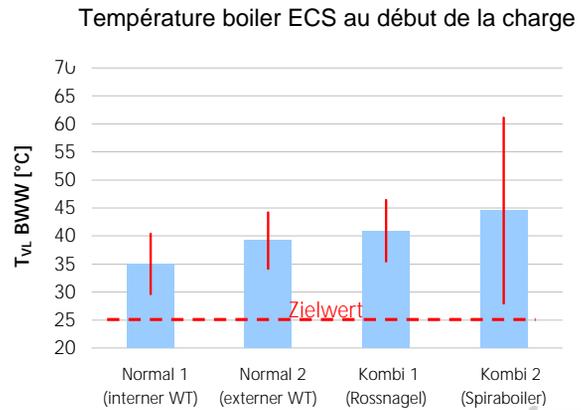


Le taux d'utilisation annuel est plus élevé si la PAC prépare aussi l'eau chaude. Autrement dit: la PAC est plus et mieux dimensionnée et mieux utilisée si elle fait aussi l'eau chaude sanitaire.

# Eau chaude sanitaire

## Systemes et temperatures

- Systemes avec boiler séparé avec échangeur interne ont les températures moyenne de charge les plus basses

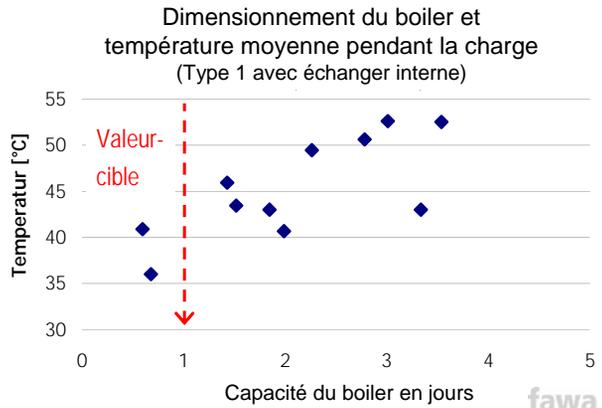
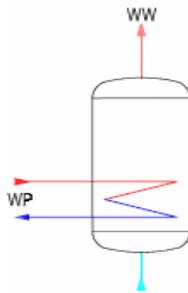


Les systèmes avec boiler séparé et échangeur interne sont les plus simples et les meilleurs.

# Eau chaude sanitaire

## Systemes et temperatures

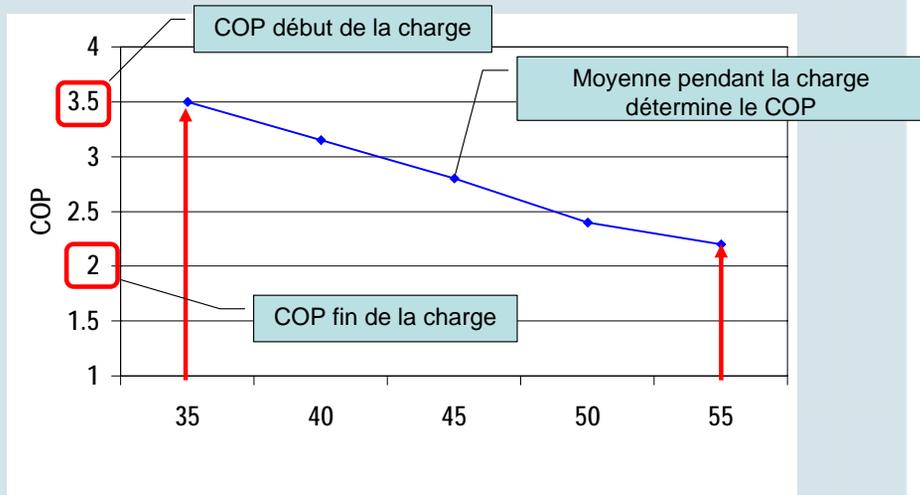
Mélange lors de la charge, donc  
→ dimensionner juste-juste!



Les performances dépendent du dimensionnement. Un stock d'eau chaude sanitaire trop grand pénalise les performances. L'idéal est un stock qui suffit pour une journée et que l'on recharge la nuit, en tarif électrique bas. Plus la température est basse au début de la recharge, meilleure est l'efficacité.



## ECS: efficacité de la PAC dépend de la température moyenne pendant la charge du boiler



32

Considérons une charge de stock d'eau chaude sanitaire avec une PAC air/eau.

Au début de la charge, l'eau autour de l'échangeur de chaleur (condenseur) de la PAC a une température de 35°C dans notre cas. La température va augmenter pendant le fonctionnement de la PAC pour atteindre la valeur de consigne de 55°C dans notre exemple.

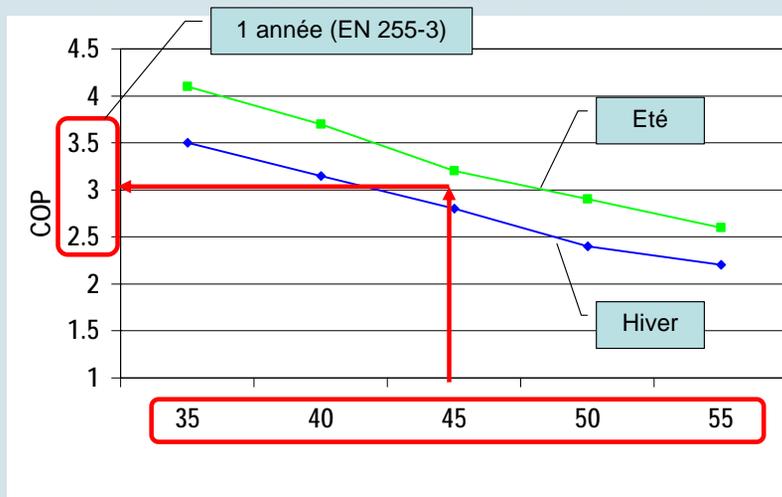
A chaque instant, à chaque température, la PAC aura un coefficient de performance (COP) différent. Son évolution est pratiquement linéaire au cours du temps. Donc le COP moyen sur l'ensemble de la charge sera de  $(35+55)/2 = 45^\circ\text{C}$ . C'est cette température qui est déterminante pour le COP, pas la température finale de 55°C où la PAC ne tournera que quelques minutes!

Si le stock est trop grand et que la recharge s'effectue entre 45 et 55°C, la température moyenne qui détermine le COP est de 50°C. Le COP moyen sera de 8% inférieur au cas où la charge commence à 35°C, avec la même température finale!

En fait, la température au début de la charge peut avoir plus d'influence que la température voulue en fin de charge!



## ECS: efficacité de la PAC dépend de la température moyenne pendant la charge du boiler



33

Les bonnes performances annuelles des PAC air/eau qui préparent aussi l'eau chaude sanitaire s'explique par le régime d'été très favorable. La source de chaleur (l'air extérieur) a une température moyenne relativement élevée qui permet d'atteindre des bons COP. La température moyenne du stock d'eau chaude est toujours de 45°C, donc les COP sont meilleurs qu'en hiver. D'autant plus que les utilisateurs se douchent plus volontiers par temp chaud, ce qui abaisse la température du stock en début de recharge.



## Eau chaude sanitaire (ECS): investir dans solaire?

- Couverture solaire de 50% de l'ECS, reste par PAC sol/eau

Avantages	Inconvénients
Chaleur de son toit donne meilleure conscience	Investissement élevé
Baisse la consommation électrique de la PAC	Prix de revient de la chaleur des collecteurs: 30 à 60 cts/kWh
Baisse de l'efficacité de la PAC	COPA de 2.8 au lieu de 3.4 pour 2 raisons: 1. Stock combiné chauffage+ECS mélange 2 niveaux de température 2. apport solaire faible quand COP est bas

Source: actes du symposium PAC de Berthoud du 23 juin 2004

34

La question de la combinaison PAC et collecteurs solaires thermiques pour l'eau chaude se pose souvent.

Le problème réside dans le parallélisme des deux systèmes, notamment la PAC air/eau: le solaire fournit son maximum quand la PAC est à son maximum et le solaire fournit peu ou pas quand la PAC en aurait besoin! Cela n'a rien d'étonnant puisque, au fond, une PAC air/eau tire son énergie du soleil aussi...

Le COP de la PAC combinée avec du solaire thermique sera moins que celui de la même PAC toute seule. Motif: lorsque la source de chaleur donnerait des COP élevés, la PAC ne tourne pas et la chaleur provient du collecteur solaire. Il y a concurrence et pas complémentarité.



## Eau chaude sanitaire (ECS): investir dans solaire? Oui, mais photovoltaïque ou éco-courant

- Couverture solaire de 50% de l'ECS, reste par PAC sol/eau

	<b>PAC sol/eau + solaire thermique + écocourant</b>	<b>PAC sol/eau + écocourant</b>
Plus-value appareils et hydraulique	16'000.-	4'000.-
Annuités sur 20 ans	1'000.-/a	260.-/a
Prix de revient de la chaleur	44 cts/kWh	35 cts/kWh

Source: actes du symposium PAC de Berthoud du 23 juin 2004

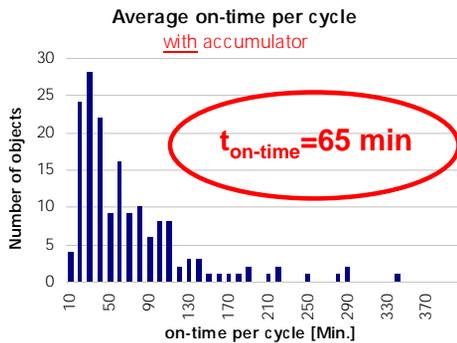
A tous points de vue, il vaut donc mieux investir dans le l'éco-courant que dans le solaire thermique. Certains fournisseurs de PAC offrent cette possibilité à leurs clients.

# Eau chaude sanitaire

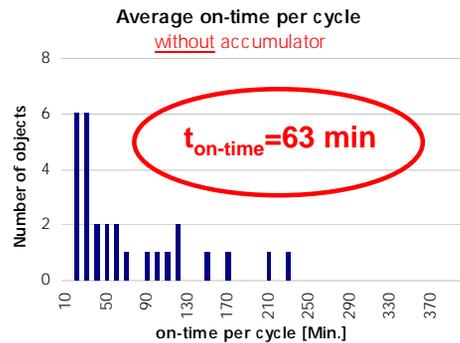
## CONCLUSIONS

- La préparation d'eau chaude sanitaire avec la pompe à chaleur est nettement plus efficace et écologique comparée à un chauffe-eau électrique
- Chauffe-eau avec échangeur interne donnent les meilleures performances
- Dimensionner le chauffe-eau pour assurer les besoins d'un jour, pas plus
- Les chauffe-eau combinés ne devraient être utilisés qu'en combinaison avec une autre énergie (bois, solaire)
- L'énergie solaire concurrence la PAC au lieu de la compléter, surtout si air/eau, plutôt investir dans de l'éco-courant
- L'énergie solaire complète la PAC sol/eau si le surplus solaire recharge les sondes par freecooling (valable pour un champ de sonde dans le tertiaire, pas pour l'habitat individuel ou collectif)

## Ballon de stockage Conséquences de son intégration



- Pas d'effet positif sur le COP
- Souvent pas nécessaire, sauf pour découplage hydraulique



- Les chauffages de sol offrent une inertie logement suffisante (pour autant que  $15 \text{ l/kW}_{\text{th}}$ )

Le stock tampon dans la distribution de chaleur est un sujet récurrent. Nos mesures démontrent qu'il n'a aucun effet sur le temps moyen de fonctionnement. Il ne réduit donc pas les enclenchements/déclenchements de la PAC de manière significative.

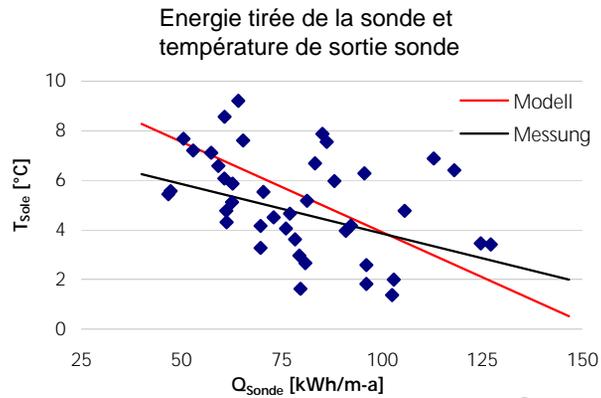
Est-ce logique? Oui! En fait, le stock tampon comme il est conçu et installé actuellement ne constitue en fait pas un véritable stockage d'énergie mais une augmentation de l'inertie du système de distribution du chauffage. Si elle est suffisante, soit au minimum 15 litres par puissance thermique de chauffage, le système se comporte sagement et ne pendule pas.

Le stock se justifie uniquement si un découplage hydraulique entre la production et la distribution de chaleur est nécessaire (rénovation avec distribution de caractéristiques mal connue, débit variable à cause de vannes thermostatiques) et si l'inertie du système de distribution est vraiment trop faibles (distribution avec radiateurs uniquement).

# Sondes géothermiques

## Règles de dimensionnement

- L'**énergie** soutirée constitue une grandeur de dimensionnement adéquate 80 kWh/m/an
- La **puissance** soutirée (règle des 50 W/m) est aussi valable mais pas suffisante.



fawa

Pour les sondes géothermiques, le dimensionnement doit se faire sur une quantité d'énergie soutirée annuellement par mètre de sonde et pas par une puissance. Ainsi au lieu des 50W/m habituels on préférera dimensionner avec 80 kWh/m par an.

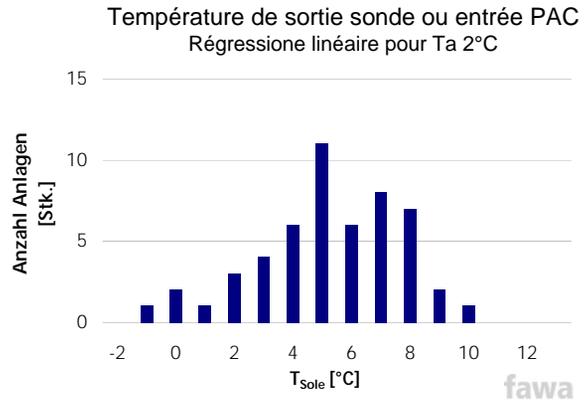
# Sondes géothermiques

*Paramètres importants pour la température de saumure*

- Moyenne des températures de saumure mesurées: 5°C

Paramètres déterminants:

- Energie soutirée à la sonde
- Conductivité thermique du sous-sol autour de la sonde
- Profondeur de la sonde



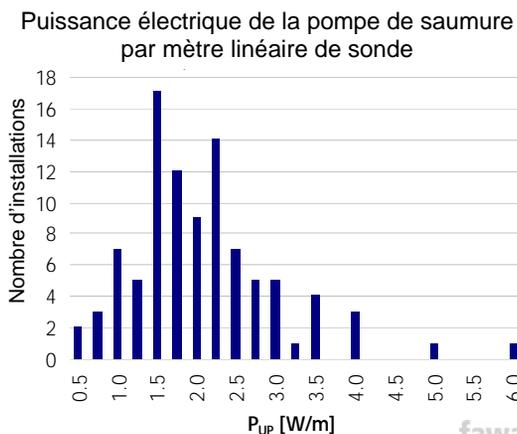
La répartition des températures à la sortie des sondes correspondent aux attentes. Les différences s'expliquent aisément par les différences d'énergie soutirée, par la conductivité du sol autour de la sonde et par la profondeur des sondes.

Le dimensionnement est en général correct. Aucune erreur grave n'a été constatée.

# Sondes géothermiques

## Pompe de circulation

- En pratique, peu de calculs mais un choix „au pifomètre“ trop prudent
- Part de la consommation électrique de la pompe de saumure à la conso totale de la PAC: 13%
- Le gain potentiel est important!

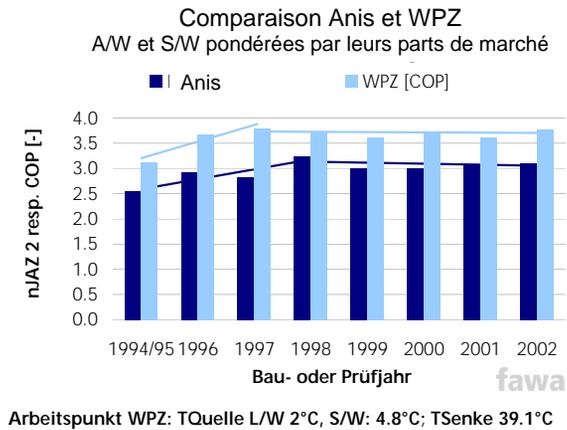


Les pompes de circulation du circuit de saumure sont trop souvent mal dimensionnées. Souvent, elles ne sont même pas dimensionnées mais choisies au „pifomètre“! Le gain potentiel est important. Selon la profondeur et le nombre de sondes et le diamètre, on devrait arriver à 1 à 2 W/m de sonde pour la pompe de circulation.

# Evolution COPA (Anis) et COP (WPZ)

Comparaison COPA moyen selon mesures Anis et COP du centre WPZ

- Amélioration du COP au WPZ  
= amélioration du COPA in situ (avec 1 an de décalage)
- COPA progresse car machines meilleures

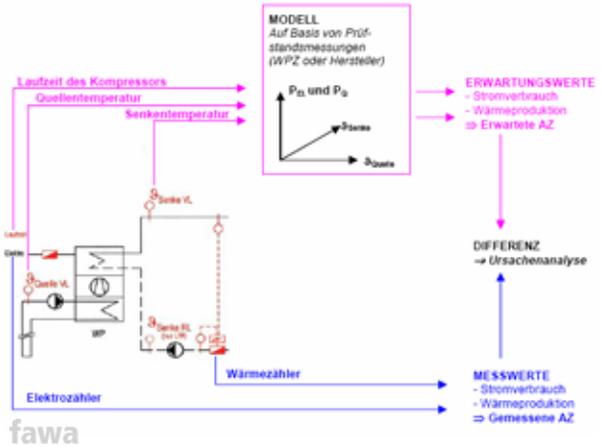


Les coefficients de performances mesurés in situ correspondent aux coefficients de performances mesurés au centre de test avec 1 an de décalage. L'amélioration du COPA est due essentiellement à l'amélioration du COP des machines.

# Prévision COPA in situ d'après COP du WPZ

*Les PAC testées au ban d'essai sont vraiment les mêmes in situ ?*

- Valeurs calculées (EW): le modèle prévisionnel prend pour base les températures et temps de fonctionnement mesurés in situ puis extrapole le COPA annuel moyen d'après les mesures au ban d'essai WPZ
  - Valeurs réelles mesurées (MW): mesurées in situ (électricité et chaleur)
- ⇒ **Comparaison de calculs et mesures**

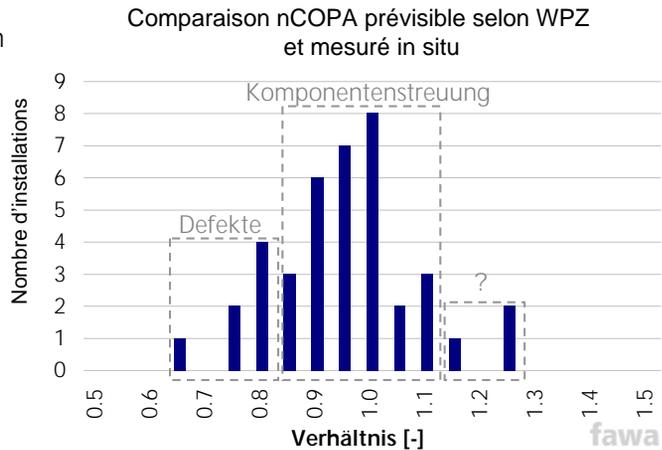


Nous avons calculé le COPA in situ à partir du COP du centre de test, du bâtiment et des données climatiques. Puis nous avons comparé: est-ce que les installations in situ atteignent les performances « promises » par le COP au ban d'essai?

# Prévision COPA in situ d'après COP du WPZ

## Résultats

- Les valeurs mesurées sont en moyenne inférieures de 4% seulement aux valeurs calculées d'après les COP au banc d'essai du WPZ



Oui. Les valeurs mesurées sont en moyenne inférieures de 4% seulement aux valeurs prévisionnelles.

Attention: dans les valeurs in situ, il y a l'influence du comportement de l'utilisateur qui n'a pas pu être filtrée par les calculs! Elle peut influencer de plus le COP annuel de 10 à 20% !

Donc les PAC sont installées de manière professionnelle et fournissent des performances conformes à ce que les mesures selon la norme de test permettent d'espérer.

## Analyse des coûts à long terme

61 installations:

- 31 sol/eau
- 3 registres horizontaux
- 1 pieux énergétiques
- 22 air/eau
- 4 eau/eau

dont

- 31 pour chauffage seul
- 30 pour chauffage et ECS

Uniquement coûts d'entretien et de réparation hors garantie.

Pas de coûts d'exploitation (tarifs électriques trop différents)

Pas de coûts d'amortissement (conditions trop différentes)

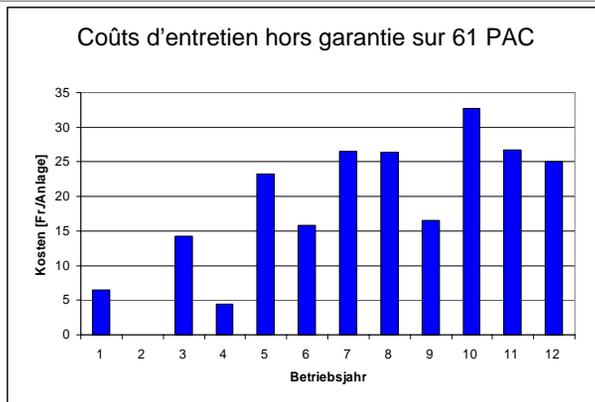
Pour 61 installations, nous avons procédé à une analyse des coûts d'entretien et de réparation hors garantie. Nous n'avons pas pris en compte les coûts d'exploitation dus à l'électricité. Motif: les tarifs sont tellement différents en Suisse, ce qui rend les comparaisons impossibles.

L'amortissement du capital n'a pas non plus été pris en compte: il dépend trop du financement de chaque objet.

Par contre, tous les autres coûts hors garantie sont comparables entre les installations. Nous avons donc relevés les coûts d'entretien et les coûts de réparation (pièces et main d'œuvre) hors garantie.

## Coûts d'entretien

Moyenne de 25.- par an par installation.

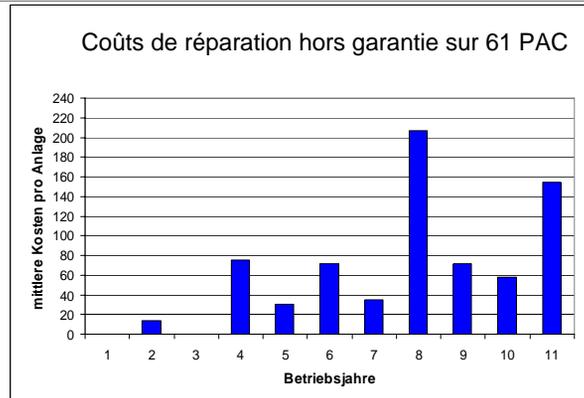


L'entretien nous donne un coût moyen de 25.- par an. Il s'agit de réglages, de vérification du circuit de froid, de nettoyer un échangeur.

## Coûts de réparations

Moyenne de 65.- par an par installation

Pointe de la 8ème et 11ème année due à de fausses manipulations sur deux installation au propane



Les coûts moyen de réparation s'établit à 65.- par an. Il s'agit de changer un compresseur, une vanne, une pompe de circulation...

# Anis – Analyse in situ de PAC

*Plan de l'exposé*

## ■ Marché

## ■ Objectifs

## ■ Méthode

- *Bâtiments*
- *Echantillon*
- *Définition système de mesures*
- *Acquisition de données*

## ■ Résultats

- *Satisfaction clients*
- *Evolution des COP*
- *Disponibilité, vieillissement*
- *Taux de charge, appoint*
- *Eau chaude sanitaire*
- *Accumulateur de chaleur*
- *Sondes géothermiques*
- *Comparaison modèle/in situ*
- *Coûts*

## ■ Conclusions et recommandations

## Conclusions et recommandations générales

Taux de satisfaction de 95%

Disponibilité, fiabilité très élevées

Evolution du COP au centre de test se retrouve in situ, performances in situ se situent 4% en dessous des valeurs prévisibles et attendues d'après mesures au centre de test -> la branche est mûre

PAC air/eau peuvent couvrir l'ensemble des besoins seule sans appoint sur le plateau suisse

La production d'eau chaude sanitaire par la PAC influence positivement les performances

Choisir PAC de catégorie 1 ou 2 du centre de test de Buchs

Exiger certification du GSP pour PAC et entreprise de forage

## Conclusions et recommandations techniques

Température de distribution trop élevée par rapport à ce que permettrait l'enveloppe du bâtiment

-> la régler aussi bas que possible

-> expliquer au client pourquoi le sol est froid

Vannes thermostatiques à bannir!

-> bien régler la courbe de chauffage

ECS: la température moyenne pendant la charge détermine le COP

-> dimensionner le stock pour 1 jour

Taux de charge moyen de 67% à 80%

-> choisir PAC plutôt juste que trop grande (coûts)

## Conclusions et recommandations économiques

Pompe de circulation sondes géothermiques: dimensionner par calcul,  
pas au pifomètre

Dimensionner les sondes géothermiques par l'énergie  
à 80...100 kWh par mètre par an (ou 50W/m sur 1'600h à 2000h)

Ballon de stockage se justifie uniquement pour le découplage hydraulique  
et/ou pour distribution à faible inertie (moins de 15 litres par kW)

Coûts d'entretien et de réparations hors garantie: en moyenne inférieurs  
à 100.- par an -> refuser abonnement d'entretien trop cher

## Variantes et influence sur les coûts

Variante de base	Coûts annuels totaux		COPA
	air/eau	sol/eau	
Pas de stock tampon	-10,2%	-10,6%	0%
Boiler intégré (pas électrique)	+ 2,5%	+3%	+40%
PAC dimensionnée serrée	-11,8%	-8,3%	0%
Régulation avec compensation de température d'ambiance	-0,6%	-1,0%	+ 6,5%
Sondes à eau pure		+20%	+25%

Nous avons essayé de chiffrer les meilleurs investissements pour un système complet. Nous avons donc estimé les surcoûts annuels moyen et l'amélioration du COPA qu'ils apportent.

On voit que la préparation d'eau chaude sanitaire par la PAC apporte beaucoup. La dernière ligne, sondes géothermiques surdimensionnées pour fonctionner avec de l'eau sans antigél, doit être soigneusement calculée car tout gel causerait des dommages graves.

La régulation avec compensation de température d'ambiance apporte un gain intéressant pour un surcoût minime.



## Documents à télécharger

<http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/publikationen/index.html?lang=fr>

Dans le lien ci-dessus, taper dans le titre „pompes à chaleur“.  
Sélection parmi le résultat:



Analyse in situ d'installations de pompes à chaleur Anis 1996-2003,  
Extraits du rapport final, octobre 2004



Pompes à chaleur - Planification, Optimisation, Fonctionnement,  
Entretien, OFEN/Faktor, Berne, janvier 2008



La pompe à chaleur en 10 questions - Réponses à toute personne  
intéressée à mieux connaître les pompes à chaleur et leurs applications,  
OFEN, Bern août 2007



## Documents à télécharger

<http://www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/index.html?lang=fr>

Disponibles uniquement en allemand:

Rapport Anis complet de 2004  
no. de commande 240016

Actes du symposium der Berthoud 2004 consacré à Anis  
no. de commande 240056

Anis, comportement à long terme d'installations, rapport de 2007  
no. de commande 27086



## Pour plus d'informations

### Contacts

- Office fédéral de l'énergie, domaine chaleur ambiante, 3003 Berne  
fabrice.rognon@bfe.admin.ch

### Internet

- [www.pac.ch](http://www.pac.ch)
- Office fédéral de l'énergie
  - Survol: [www.bfe.admin.ch/themen/00490/00502/index.html?lang=fr](http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00502/index.html?lang=fr)
  - SuisseEnergie: [www.bfe.admin.ch/energie/00559/00598/index.html?lang=fr](http://www.bfe.admin.ch/energie/00559/00598/index.html?lang=fr)
  - R&D [www.pompeachaleur.ch](http://www.pompeachaleur.ch)
  - Marché: [www.pac.ch](http://www.pac.ch)