

**METHODOLOGIE POUR LE SUIVI DES
PERFORMANCES DE POMPES A CHALEUR**

Cahier des charges

METHODOLOGIE DE SUIVI DES PERFORMANCES DE POMPES A CHALEUR

Cahier des charges

Peter Riederer, Vincent Partenay, Sandrine Pincemin

La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale, sauf clauses spécifiques explicitées dans la convention liant le CSTB et le donneur d'ordre.

Toute reproduction, même partielle, devra mentionner le CSTB et le ou les auteurs.

Il comporte pages

Client : ADEME
Responsable : Philippe Laplaige
Contrat n°: ER 610 03 0034

MARS 2009

ESE/ENR-2007.019R

DIFFUSION PUBLIC

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT

ÉTABLISSEMENT DE SOPHIA-ANTIPOLIS | 290 ROUTE DES LUCIOLES | BP 209 | 06904 SOPHIA-ANTIPOLIS CEDEX
TÉL. (33) 04 93 95 67 00 | FAX. (33) 04 93 95 67 33 | SIRET 775 688 229 000 68 | www.cstb.fr

SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2

ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RCS MEAUX 775 688 229 | TVA FR 70 775 688 229

MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

D I F F U S I O N :

RESUMÉ

Ce cahier des charges présente une méthodologie pour le suivi d'installations de pompes à chaleur (PAC). Cette méthodologie a été développée dans le cadre d'une collaboration entre l'Ademe et le CSTB pour des suivis futurs sur des PAC.

La méthodologie décrit à la fois les méthodes de calcul des performances, l'évaluation de l'impact environnemental, des coûts de l'opération ainsi que le vécu de l'installation par les occupants ou exploitants.

Les données à relever et à mesurer sont spécifiées en deux priorités : des données impératives et optionnelles.

Plusieurs schémas d'instrumentations sont proposés pour couvrir l'ensemble des PAC à évaluer.

SOMMAIRE

1. OBJECTIF	2
2. ANALYSE DES INSTALLATIONS	2
2.1 Calcul des performances	2
2.2 Impact environnemental.....	2
2.3 Coûts 2	
2.4 Vécu de l'installation.....	2
3. DONNEES A RELEVER	2
3.1 Nomenclature générale.....	2
3.2 Caractéristiques de l'installation.....	2
3.3 Données « Obligatoires »	2
3.4 Données « Optionnelles »	2
3.5 Fréquence et durée d'enregistrement	2
4. LES SCHEMAS D'INSTRUMENTATION.....	2
4.1 chauffage/refroidissement actif	2
4.2 chauffage/refroidissement actif avec production d'ECS	2
4.3 Chauffage, ECS et free-cooling	2

1. OBJECTIF

Afin d'intégrer de nouveaux suivis d'installations de pompe à chaleur à la base de données existante et d'en permettre l'analyse, il est nécessaire de définir clairement les résultats attendus. A partir de là, on peut identifier les données requises pour les calculs et prévoir une instrumentation adaptée sur les installations.

Les installations peuvent se présenter sous diverses formes, ce qui implique que le profil d'instrumentation type doit être défini pour :

- Les modes de fonctionnement tels chauffage seul, chauffage réversible, chauffage + ECS, ECS uniquement, ...
- Les installations à capteurs horizontaux, verticaux ou sur nappe ainsi que les PAC air/eau
- Les technologies de la PAC, telles eau/eau, eau glycolée/eau, sol/sol, sol/eau.
- Le type d'habitat, allant de l'individuel au collectif, du neuf à la réhabilitation.

L'analyse des suivis porte sur quatre axes principaux :

- Les performances énergétiques du système
- L'impact environnemental de l'installation
- Les coûts d'installation, d'exploitation et de maintenance du système
- Le vécu de l'installation par les différents acteurs (maitres d'œuvre et d'ouvrage, habitants etc.)

2. ANALYSE DES INSTALLATIONS

Pour établir une liste exhaustive des données nécessaires à l'évaluation des performances des installations, on recense ces données pour chacun des résultats désirés, lesquels se classent selon les axes évoqués précédemment :

1. **Performances** : Les performances énergétiques du système, évaluées pour le chauffage, le refroidissement et l'ECS.
2. **Impact environnemental** : L'impact environnemental, par calcul du TEWI ramené à la surface ou à la consommation calorifique de l'installation.
3. **Coûts** : Les coûts d'installation, d'exploitation et de maintenance du système
4. **Vécu** : Le vécu de l'installation par les différents acteurs (maitres d'œuvre et d'ouvrage, habitants etc.), ce type d'information pouvant être obtenu par questionnaire auprès des personnes concernées.

Les performances énergétiques ainsi que l'impact environnemental dépendent directement du suivi. En ce qui concerne les coûts, seulement la part d'exploitation requiert des mesures.

2.1 CALCUL DES PERFORMANCES

L'analyse des performances des installations consiste principalement en un calcul des coefficients de performances des PAC.

Différentes définitions des COP existent prenant en compte ou non les auxiliaires des PAC. Ces calculs sont basés soit sur les puissances instantanées pour le COP instantané, soit sur des énergies consommées ou produites dans le cas du COP moyen annuel.

COP de la PAC : COP_{PAC}

Le COP_{PAC} prend en compte la puissance du compresseur ainsi que la puissance au condenseur de la PAC :

$$COP_{PAC} = \frac{P_{th-PAC}}{P_{el-PAC}} \quad (1)$$

Avec P_{th-PAC} la puissance calorifique produite au condenseur et P_{el-PAC} la puissance électrique absorbée par le compresseur (en W ou kW).

COP du système : $COP_{Système}$

Comme le COP_{PAC} , le $COP_{Système}$ est un rapport de puissance. La différence est dans les puissances électriques car il prend en compte les consommations dues aux auxiliaires tels les ventilateurs ou pompes du circuit qui prélèvent (ou rejettent en mode refroidissement) l'énergie dans l'environnement. Il permet une estimation plus « réelle » des performances d'une installation que le COP_{PAC} .

$$COP_{Système} = \frac{P_{th-PAC} + P_{th-app}}{P_{el-PAC} + P_{el-app} + P_{el-aux-env}} \quad (2)$$

L'éventuelle présence d'un appoint fait apparaître les termes P_{th-app} et P_{el-app} . Il est important de préciser que ces valeurs sont des puissances instantanées et en aucun cas des valeurs nominales.

$P_{el-aux-env}$ correspond à la puissance absorbée par les auxiliaires du côté évaporateur de la PAC (en mode chauffage). Les auxiliaires pris en compte pour ce calcul sont uniquement la puissance de la pompe de circulation ou des ventilateurs du côté de l'évaporateur. Le $COP_{Système}$ permettra une comparaison avec d'autres types de chauffage ou de refroidissement.

COP installation : COP_{inst}

Si la puissance des auxiliaires du côté bâtiment est mesurée, le COP de l'installation peut être calculé à titre informatif. Il permettra l'évaluation de la performance globale de l'installation, bâtiment compris.

$$COP_{inst} = \frac{P_{th-PAC} + P_{th-app}}{P_{el-PAC} + P_{el-app} + P_{aux-env} + P_{aux-bat}} \eta_{inst} \quad (3)$$

P_{aux} correspond à l'ensemble des auxiliaires côté environnement et côté bâtiment. L'efficacité de l'installation η_{inst} prend en compte les pertes au niveau de la distribution de chaleur ou de froid dans le bâtiment et les pertes au niveau de l'émission. La valeur retenue pour η_{inst} est de 0.85.

COPs annuels (saisonniers) de la PAC : $COP_{X, annuel}$

L'ensemble des COP définis ci-dessus peuvent également être présentés sous forme d'énergies. Ce type de COP est donc défini comme le rapport de l'énergie fournie sur une période donnée (idéalement une saison de chauffe ou de refroidissement) à la consommation d'énergie électrique consommée par la pompe à chaleur (dans le cas du COP_{PAC}). Dans le cadre des suivis il est l'équivalent du COP_{PAC} , mais évalué sur l'année en terme d'énergies.

$$COP_{PAC-annuel} = \frac{\int_{saison} P_{th-PAC}}{\int_{saison} P_{el-PAC}} = \frac{Q_{th-PAC}}{Q_{el-PAC}} \quad (4)$$

Remarque :

Ces coefficients varient en fonction de la température côté condenseur et évaporateur, les valeurs sont donc associées à une base de température donnée. L'ensemble des valeurs des COP doit donc toujours être affiché avec les températures de fonctionnement associées qui seront relevées à l'entrée du condenseur et de l'évaporateur pour éviter une installation de suivi trop coûteuse.

2.2 IMPACT ENVIRONNEMENTAL

L'impact environnemental est évalué utilisant l'analyse TEWI (EN 378-1). La valeur TEWI est définie comme étant une méthode permettant de déterminer l'impact d'effet de serre direct (réfrigérant) et indirect (consommation énergétique) d'une installation frigorifique. Cette méthode ne s'applique qu'à des systèmes bien définis (puissance et charge de fluide connues) et permet la comparaison des impacts sur l'effet de serre de différentes installations. L'analyse du TEWI d'une installation existante permet également de déterminer les sources principales d'émissions de gaz à effet de serre et d'entreprendre ainsi les mesures adéquates pour réduire celles-ci. Le TEWI se définit de la manière suivante :

$$\text{TEWI} = \left| \begin{array}{c} \text{(GWP}_{100} \times L \times n) \\ \text{fuites} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \text{(GWP}_{100} \times m \times (1 - \alpha_{\text{Recup}})) \\ \text{récupération} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} (n \times E_{\text{el}} \times \beta) \\ \text{opération} \end{array} \right| \quad (5)$$

Effet direct - ESD Effet indirect - ESI

Le TEWI s'exprime en [kg CO₂] avec :

Variable	Unité	Nom	Valeur(s)
GWP ₁₀₀	[kg CO ₂ /kg]	«Global Warming Potential» équivalent CO ₂ sur une période de 100 ans	R407-c : 1530 R134-a : 1300 R22 : 1780
L	[kg/a]	Quantité de fuite annuelle	5 %/a (source CRTE)
n	[a]	Durée de vie de l'installation	15
m	[kg]	Quantité de réfrigérant	Données constr.
α _{Recup}	[%]	Taux de récupération de réfrigérant en fin d'installation	0.9 (source CRTE)
E _{el}	[kWh/a]	Consommation électrique annuelle*	Résultat du suivi
β	[kg/kWh]	Emissions de CO ₂ par kWh d'énergie consommée	0.18kgCO ₂ /kWh (source : ADEME)

L'analyse du TEWI est effectuée pour une durée de vie de 15 ans.

* Selon l'analyse à effectuer cette valeur pourra intégrer ou non des consommations auxiliaires

2.3 COÛTS

Parallèlement aux mesures effectués et les calculs de performance, des statistiques sur les coûts sont effectuées. Cette analyse permettra de situer les projets au niveau des coûts suivants :

- Les coûts d'investissement
Les coûts d'investissement sont évalués pour les coûts éventuels de forage (avec mise en place des sondes ou capteurs), de la pompe à chaleur et de l'installation de l'ensemble. Les coûts d'un devis ou de la facture finale peuvent être utilisés.
- Les coûts d'opération
Les coûts d'opération de l'installation seront soit calculés à partir des consommations enregistrées en tenant compte des tarifs d'électricité ou d'une facture, si les détails sont disponibles.
- Les coûts de maintenance
Les coûts de maintenance seront évalués à partir des factures (une enquête sera faite chaque année) ou du contrat de maintenance.

2.4 VECU DE L'INSTALLATION

Une enquête sera effectuée après une année de fonctionnement de la PAC. Cette enquête permettra de recueillir le vécu des occupants ou exploitants du bâtiment. Une fiche d'enquête est définie en annexe.

3. DONNEES A RELEVER

Pour être en mesure d'analyser les installations comme décrit dans le chapitre précédent, une liste des données à relever est présentée ici. L'ensemble des données à relever est composé de trois catégories :

- Les caractéristiques de l'installation.
- Les données « primaires » sont les données mesurées strictement nécessaires au calcul des résultats désirés.
- Les données « secondaires », ce sont les données mesurées utilisées pour une étude plus fine des résultats.

3.1 NOMENCLATURE GENERALE

App	Appoint
Aux-env	Auxiliaire côté environnement
Aux-bat	Auxiliaire côté bâtiment
Ch	Chauffage
ECS	Eau chaude sanitaire
el	électrique
Fr	Refroidissement
PAC	Pompe à chaleur
th	thermique

3.2 CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

Surface [m ²] :	Surface totale à chauffer
COPnominal [-] :	COP donné par le constructeur (rapport de puissances à un point de fonctionnement de la PAC).
Fluide :	Type de fluide frigorigène utilisé (pour obtenir son GWP)
M-fluide [kg] :	Masse de fluide frigorigène contenue dans la PAC

3.3 DONNEES « OBLIGATOIRES »

$Q_{th-PAC-Ch}$ [kWh] :	Energie thermique de chauffage produite en sortie de PAC
$Q_{th-app-Ch}$ [kWh] :	Energie thermique de chauffage produite par l'appoint
$E_{el-PAC-Ch}$ [kWh] :	Energie électrique consommée par le compresseur de la PAC
$E_{el-aux-env-Ch}$ [kWh] :	Energie électrique consommée par les pompes côté environnement
$E_{el-app-Ch}$ [kWh] :	Energie électrique consommée par l'appoint (si appoint il y a)
$T_{entree-cond}$ [°C] :	Température du fluide à l'entrée du condenseur
$T_{sortie-cond}$ [°C] :	Température du fluide en sortie du condenseur
$T_{entree-evap}$ [°C] :	Température du fluide à l'entrée de l'évaporateur
$T_{entree-cond}$ [°C] :	Température du fluide en sortie de l'évaporateur

Les valeurs $Q_{th-PAC-Fr}$, $E_{el-PAC-Fr}$, $E_{el-aux-evap-Fr}$, $Q_{th-PAC-ECS}$, $Q_{th-app-ECS}$, $E_{el-PAC-ECS}$, $E_{el-aux-evap-ECS}$ et $E_{el-app-ECS}$ représentent les mêmes énergies que celles décrites ci-dessus mais pour le refroidissement (-Fr) et pour l'eau chaude sanitaire (-ECS). Ce sont des valeurs sur une année de fonctionnement.

Remarques

- ❖ Pour le COP nominal il est plus adéquat d'utiliser sa valeur réévaluée aux températures de fonctionnement définies pour l'installation. On l'obtient à partir des courbes caractéristiques de COP (ou de puissances calorifiques et électriques) en fonction des températures au condenseur et à l'évaporateur lors de la conception de l'installation.
- ❖ Il est suggéré d'effectuer également le relevé des consommations électriques des pompes de circulation côté bâtiment afin d'étendre l'analyse des résultats.

3.4 DONNEES « OPTIONNELLES »

$Q_{th-capteur-Ch}$ [kWh] :	Energie thermique prélevée à l'évaporateur (mode chauffage)
$Q_{th-capteur-Fr}$ [kWh] :	Energie thermique délivrée par le condenseur (mode refroidissement)
$E_{el-aux-cond-Ch}$ [kWh] :	Energie électrique consommée par les pompes côté bâtiment
T_{ext} [°C] :	Température extérieure
T_{amb} [°C] :	Température ambiante

Note : ne pas confondre avec le mode refroidissement où le rôle des condenseurs et évaporateur est échangé.

Remarque

- ❖ Une attention particulière est nécessaire due à la présence de glycol dans le circuit coté capteur ou sonde géothermique. Le calcul des énergies se base sur une mesure de débit et sur la caractérisation des propriétés physiques du mélange eau/glycol. Cette caractérisation du mélange eau-glycol (pourcentage de mélange, densité et capacité thermique) est à effectuer avant et après chaque période de suivi.
- ❖ Le ratio du mélange eau-glycol doit rester constant lors de l'ensemble du suivi. Dans le cas d'une éventuelle remise en pression du circuit des capteurs ou des sondes géothermiques le mélange doit être vérifié et réajusté si besoin.

3.5 FREQUENCE ET DUREE D'ENREGISTREMENT

Fréquence :

Le relevé des données se fait en deux niveaux :

- Niveau 1 : L'acquisition des données se fait par module de traitement effectuant des mesures toutes les 15 minutes ;
- Niveau 2 : Un relevé manuel est effectué de façon mensuelle (ce relevé permet, en cas de dysfonctionnement des relevés automatiques du niveau 1, l'obtention d'un minimum d'informations nécessaires pour l'analyse de l'installation)

Durée :

Au niveau de la durée sur laquelle sont effectuées les mesures, le minimum requis est d'une année dans le cas d'une installation dont la PAC assure également la production d'ECS et peut se limiter à une saison de chauffe/refroidissement dans le cas d'une installation sans ECS. Cependant on recommande un suivi sur une durée d'au moins 2-3 années ou saisons de chauffe/refroidissement

4. LES SCHEMAS D'INSTRUMENTATION

4.1 CHAUFFAGE/REFROIDISSEMENT ACTIF

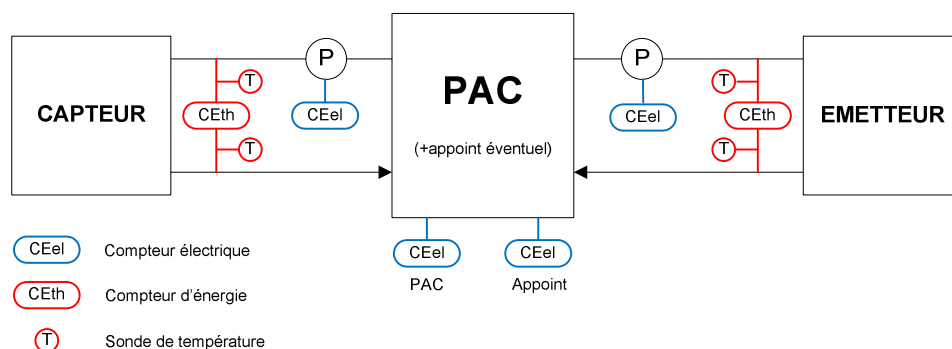


Figure 1 : instrumentation pour chauffage/refroidissement « actif »

Dans le cas d'une installation réversible (chaud/froid), les compteurs d'énergie doivent être réversibles.

4.2 CHAUFFAGE/REFROIDISSEMENT ACTIF AVEC PRODUCTION D'ECS

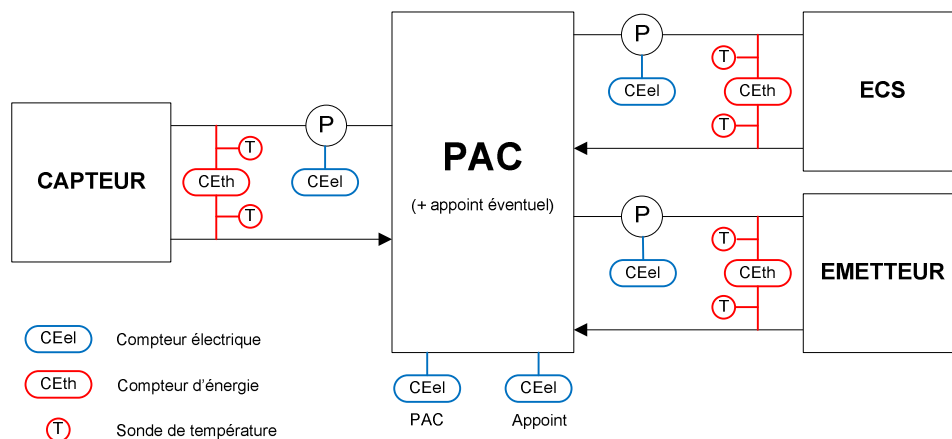


Figure 2 : instrumentation pour chauffage/refroidissement actif avec ECS

4.3 CHAUFFAGE, ECS ET FREE-COOLING

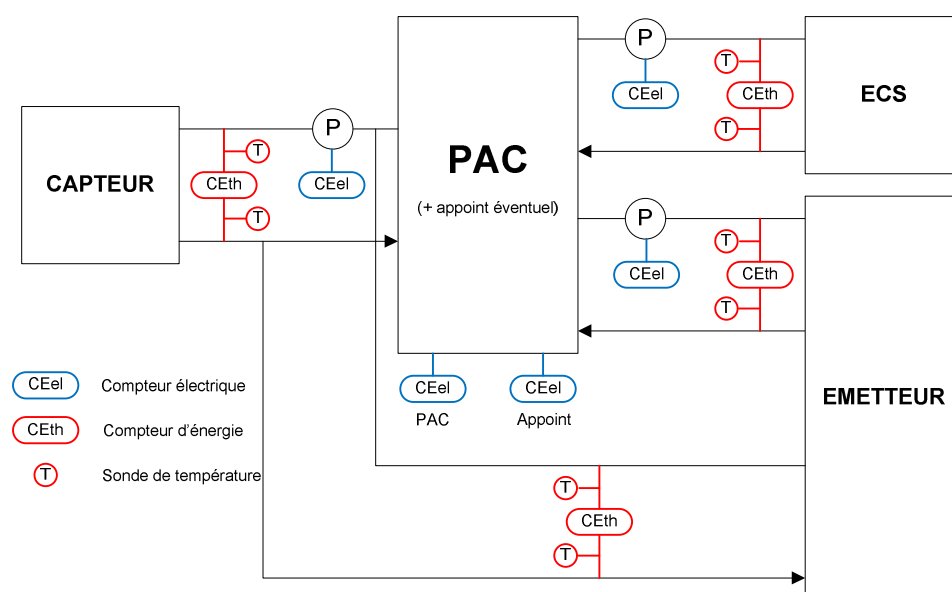


Figure 3 : instrumentation avec free-cooling

On rappelle que ce schéma est simplifié, ceci dans le but de couvrir toutes les configurations possibles.