



HAL
open science

Impact sur la consommation électrique et le confort d'un mauvais paramétrage d'une pompe à chaleur air-eau double service

Alberto Tejeda de La Cruz, Philippe Riviere, Anamaria Milu, Dominique Marchio

► To cite this version:

Alberto Tejeda de La Cruz, Philippe Riviere, Anamaria Milu, Dominique Marchio. Impact sur la consommation électrique et le confort d'un mauvais paramétrage d'une pompe à chaleur air-eau double service. 12e Colloque Interuniversitaire Franco-Québécois sur la Thermique des Systèmes, Jun 2015, Sherbrooke, Canada. pp.1-6. hal-04270091

HAL Id: hal-04270091

<https://minesparis-psl.hal.science/hal-04270091v1>

Submitted on 3 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

IMPACT SUR LA CONSOMMATION ELECTRIQUE ET LE CONFORT D'UN MAUVAIS PARAMETRAGE D'UNE POMPE A CHALEUR AIR-EAU DOUBLE SERVICE

Alberto TEJEDA DE LA CRUZ ^{a,b*}, Philippe RIVIERE ^b, Anamaria MILU ^a, Dominique MARCHIO ^b

^aEnerBaT, EDF R&D, Moret sur Loing, France

^bCES-Centre d'efficacité énergétique des systèmes, MINES ParisTech, PSL Research University, Paris, France

RÉSUMÉ

En Europe, les réglementations de plus en plus contraignantes du point de vue environnemental poussent le secteur du chauffage résidentiel à remplacer les anciennes chaudières à énergie fossile (gaz ou fioul) par des technologies plus performantes, comme les pompes à chaleur (PAC). Des pompes à chaleur air/eau double service peuvent être installées en remplacement de chaudière. Cependant, les performances d'une pompe à chaleur sont très dépendantes du processus d'installation et de la qualité de son exploitation. Dans ce contexte, cette étude vise à évaluer l'impact potentiel d'un mauvais paramétrage d'une PAC double service en termes de confort et de consommation électrique, au travers d'une modélisation sous Modelica. Ceci montre que la phase de paramétrage est effectivement très influente sur les performances du système ; le COP saisonnier, le bon fonctionnement et la durée de vie du système ainsi que le confort des utilisateurs nécessitent que le paramétrage de la machine soit adapté à la maison, aux émetteurs et aux organes de régulation de l'installation.

Mots Clés : Pompe à Chaleur ; Paramétrage ; Eau Chaude Sanitaire ; Double-service ; Loi d'eau

NOMENCLATURE

Symboles :

ECS eau chaude sanitaire
PAC pompe à chaleur
T température [K]

kWh consommation électrique
TH thermostatique
SPF Seasonal Performance Factor
SCOP Coefficient de performance saisonnier

1. INTRODUCTION

En Europe, les réglementations de plus en plus contraignantes du point de vue environnemental poussent le secteur du chauffage résidentiel à remplacer les anciennes chaudières à énergie fossile (gaz ou fioul) par des technologies plus performantes, comme les pompes à chaleur (PAC), qui produisent moins de CO₂ et réduisent la facture énergétique. Dans les maisons peu isolées, des pompes à chaleur air/eau double service, qui permettent la production d'eau chaude sanitaire (ECS) et de chauffage sont fréquemment installées en remplacement de chaudière.

Cependant, les performances d'une pompe à chaleur sont très dépendantes du processus d'installation et de la

qualité de son exploitation. Un mauvais paramétrage de la machine au moment de la mise en service peut engendrer des inconforts et des surconsommations.

Or, ces machines présentent un grand nombre de paramètres à renseigner lors de la mise en service (plus de 50 en moyenne). Ceci fait de cette étape un processus long et compliqué pour l'installateur ; augmentant le risque d'un choix de paramètres non adéquat, voire de conservation des paramètres de sortie d'usine du produit, pas nécessairement adaptés.

Dans ce contexte, ce travail vise à évaluer l'impact potentiel d'un mauvais paramétrage d'une PAC double service en termes de confort et de consommation électrique, au moyen d'une modélisation sous Modelica.

* auteur correspondant

Adresse électronique : alberto.tejeda@mines-paristech.fr

Nous allons présenter une étude de sensibilité portant sur les paramètres les plus influents sur la consommation électrique et le confort d'une maison équipée d'une PAC. Pour analyser les résultats des simulations, on a comparé à la fois l'inconfort sur une année pour le chauffage (température intérieure inférieure à 17 °C) et l'ECS (température du ballon inférieure à 40 °C), les consommations électriques de chacun des composants du système, les pointes de puissance électrique et le coût annuel en euros.

Les résultats montrent des réductions de consommation qui peuvent aller jusqu'à 25% selon la qualité du paramétrage. Il apparaît également que le confort thermique atteint avec le système de chauffage est très dépendant de la courbe de chauffe (loi d'eau) et de la régulation terminale. C'est également le cas pour l'eau chaude sanitaire, qui est sensible aux plages temporelles de production de chauffage et d'ECS. De même, une mauvaise gestion de la régulation des appoints électriques (un appoint pour le chauffage et l'autre pour le ballon d'ECS) lors des démarrages peut générer des appels de puissance très significatifs. Ces différents éléments mènent à des écarts maximum de l'ordre de 20 % sur la facture électrique du client en fonction de son abonnement.

2. DESCRIPTION DE L'ÉTUDE

Pour cette étude, on a modélisé une PAC couplée à un ballon d'ECS de 200 litres et à un réseau de radiateurs (cf. Figure 1). Tout le système a été couplé à un modèle de maison de 100 m², située à Trappes (France), avec une isolation respectant la réglementation française de 1974. Les déperditions maximales de la maison sont de 7 kW à une température extérieure de -7°C pour une température intérieure de 19°C. Ceci implique des besoins annuels en chauffage et ECS de 170 kWh/ m²). Cette maison a été virtuellement équipée d'une PAC, dont la simulation a permis de faire varier un certain nombre de paramètres décrits ci-dessous.

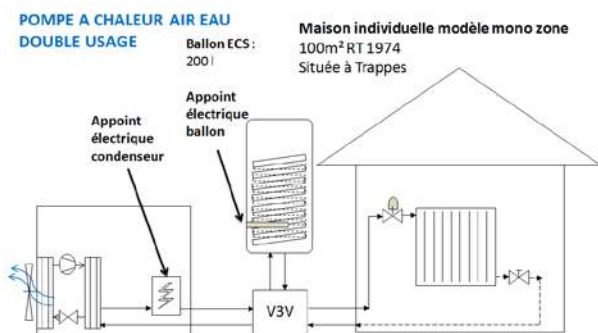


Figure 1 : Schéma du modèle de pompe à chaleur double service simulée

Afin d'évaluer également l'impact d'un dimensionnement mal ajusté de la pompe à chaleur, on a choisi (selon les règles décrites en [1]) deux puissances nominales de PAC : 9 et 12 kW.

On a fait varier plusieurs paramètres du régulateur : loi d'eau, seuil d'activation des appoints électriques chauffage et ECS, présence ou non d'un thermostat d'ambiance et durée des plages de production de chauffage et d'ECS (cf. Tableau 1). La loi d'eau est un paramètre qu'établit une relation entre la température de l'air extérieur et la consigne de température de sortie de l'eau de chauffage (cd. Tableau 1). Comme il a été étudié par Park et al., 2010 [2] et Hoogmartens et al. [3], la température de l'eau de sortie d'un système de chauffage (fixée par la loi d'eau) affecte directement la consommation et le confort du logement. Le rapport RAGE 2012 [4] évoque également la durée de production d'ECS qui impacte le confort du fait de l'arrêt de production de chauffage pendant ces cycles. Finalement, comme évoqué par Green et al. dans [5] et [6], le choix entre une régulation par thermostat d'ambiance ou par robinets thermostatiques dans les radiateurs influence le confort des occupants, la consommation de l'installation et le nombre des cycles du compresseur.

Des simulations ont été réalisées pour chaque combinaison possible des paramètres décrits dans le tableau 1. À partir des résultats, on a comparé le confort atteint, les consommations électriques de chaque composant du système et le coût en euros de ces consommations.

Tableau 1 : Paramètres étudiés

Paramètre de la PAC	Valeurs	Unités
Puissance appoint électrique en aval du condenseur	0 / 3 / 6	kW
Puissance appoint électrique ballon d'ECS	0 / 3	kW
Activation du thermostat d'ambiance	Oui / Non	-
Loi d'eau (T° eau = f(T° ext))	Très haute, Haute, Moyenne, Basse	
T° sortie PAC à -7 °C	55, 55, 55, 55	°C
T° sortie PAC à 0 °C	55, 55, 52, 47	°C
T° sortie PAC à 15 °C	40, 30, 40, 30	°C
Durée maximale de blocage en mode		
Eau chaude sanitaire	30 / 60	min
Chauffage	30 / 60 / 300 / 600	min

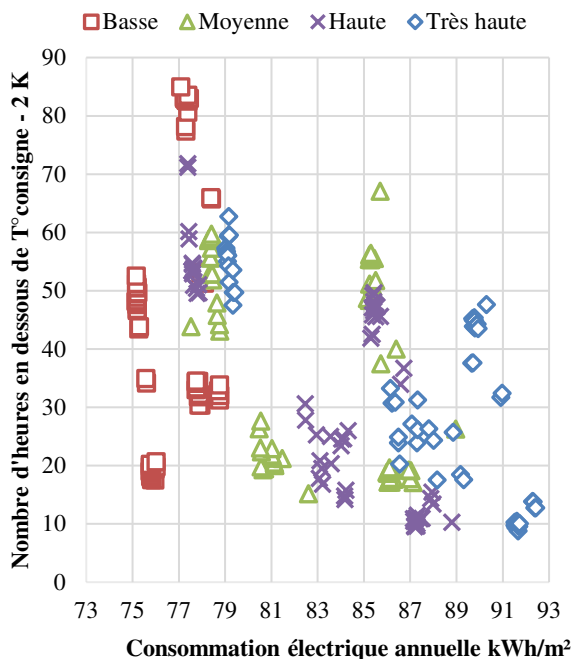


Figure 2 : PAC 9 kW - Rapport confort chauffage / consommation électrique

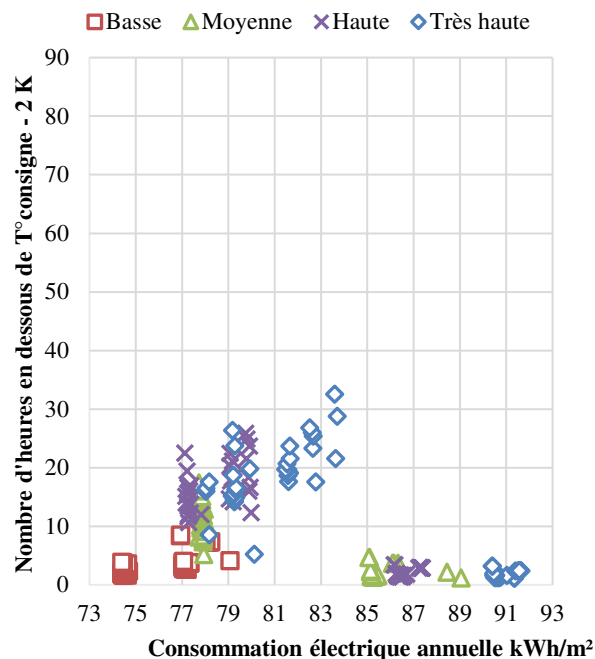


Figure 3 : PAC 12 kW - Rapport confort chauffage / consommation électrique

3. ANALYSE DU CONFORT vs. CONSOMMATION ÉLECTRIQUE

Dans les simulations annuelles, la période de non-chauffage considérée va du 15 mai au 1er octobre. Pendant cette période, la pompe à chaleur produit uniquement de l'eau chaude sanitaire. En conséquence, le confort de chauffage est uniquement évalué pendant le reste de l'année.

L'inconfort est exprimé en nombre d'heures par an pendant lesquelles la température de consigne (- écart) n'est pas respectée. Il est déterminé différemment entre le chauffage et l'eau chaude sanitaire. Pour le chauffage, il correspond à un écart entre la température intérieure et la consigne supérieur à un certain seuil (2 K par exemple). Pour l'eau chaude sanitaire, on mesure le nombre d'heures par an pendant lesquelles la température de l'eau de soutirage (en haut du ballon) est inférieure à 40°C.

3.1. Confort pour le chauffage

Les résultats des simulations (cf. figures 2 et 3) mettent en regard le confort et la consommation électrique annuelle du système. Chaque point correspond à une simulation (c.à.d. à un paramétrage différent). Les lois d'eau identiques sont représentées par des points de même couleur et de même forme.

En général, le niveau d'inconfort est plus élevé pour la PAC de puissance de 9 kW que pour celle de 12 kW.

Néanmoins, on trouve, en fonction du paramétrage, des cas pour lesquels l'inconfort avec la PAC de 9 kW est inférieur à celui obtenu avec la PAC de 12 kW. Ceci donne un premier indice confirmant que le paramétrage joue un rôle clé dans le bon fonctionnement de l'installation.

Les différences de confort pour une même loi d'eau sont dues, conjointement, à la gestion de production du chauffage et de l'ECS, et à la gestion des appoints électriques. Une longue durée de production de chauffage assure le confort dans la maison mais, dans le même temps, le ballon d'ECS peut se refroidir si son appoint électrique ne se met pas en route (ou s'il n'existe pas). En conséquence, lors du basculement vers la production d'ECS, la PAC a besoin de plus de temps pour réchauffer le ballon. À des températures extérieures basses, la chute de température dans la maison est importante, causant de l'inconfort. Après la phase de production d'ECS la PAC appelle une puissance élevée en raison de l'enclenchement de l'appoint électrique en aval du condenseur.

La mise en place d'un thermostat d'ambiance permet de transmettre la valeur de la température intérieure du logement à la PAC. Dès que la température intérieure dépasse la consigne, la PAC peut basculer en mode ECS.

3.2. Disponibilité de l'eau chaude sanitaire

Les deux PAC (9 et 12 kW) permettent de rendre disponible l'ECS à une température acceptable si une des deux options suivantes est choisie :

- l'appoint électrique du ballon est connecté ;
- une bonne combinaison des paramètres de chauffage et d'ECS.

En suivant l'explication du paragraphe 3.1, si la durée de production de chauffage et ECS est adaptée aux besoins, la PAC peut assurer le confort pour le chauffage et pour l'ECS.

4. ANALYSE DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE ANNUELLE

Comme montré dans les figures 2 et 3, la consommation électrique annuelle varie énormément en fonction du paramétrage : entre 92 kWh / m² et 74 kWh /m², soit une réduction de 20% entre le paramétrage le moins adapté à la maison et un autre adapté. Cette variation est due principalement aux raisons suivantes :

- A paramètres constants, l'existence d'un thermostat d'ambiance réduit la consommation électrique du circulateur. En effet, avec le thermostat, la régulation de la PAC est faite en fonction de la température intérieure. Sans lui, la PAC régule uniquement en fonction de la température de retour d'eau. En conséquence, le fonctionnement du circulateur est forcé en permanence pour assurer le débit dans le circuit.
- Une loi d'eau plus élevée impose à la PAC une puissance plus importante. Ceci est dû au fait que la consommation du compresseur est proportionnelle à l'écart entre la température de départ d'eau et la température extérieure.
- Une mauvaise association entre la loi d'eau et la gestion des cycles ECS/chauffage entraîne des écarts importants entre la température de consigne d'eau et la température de sortie de la PAC. Pour diminuer rapidement cet écart, le système fait appel aux appoints électriques.

4.1. Analyse par composant

On a subdivisé la consommation électrique du système de chauffage par composant : la pompe à chaleur (comprenant le compresseur et l'électronique), le circulateur, l'appoint électrique pour le chauffage et l'appoint électrique du ballon d'ECS.

La Figure 4 montre la consommation électrique désagrégée par composant pour les deux puissances de PAC. La comparaison est faite en faisant varier les paramètres : loi d'eau (*basse, moyenne, haute ou très haute*) et la régulation terminale (*thermostat d'ambiance (T) ou robinet thermostatiques (R)*). Il s'agit des moyennes sur l'ensemble des variantes.

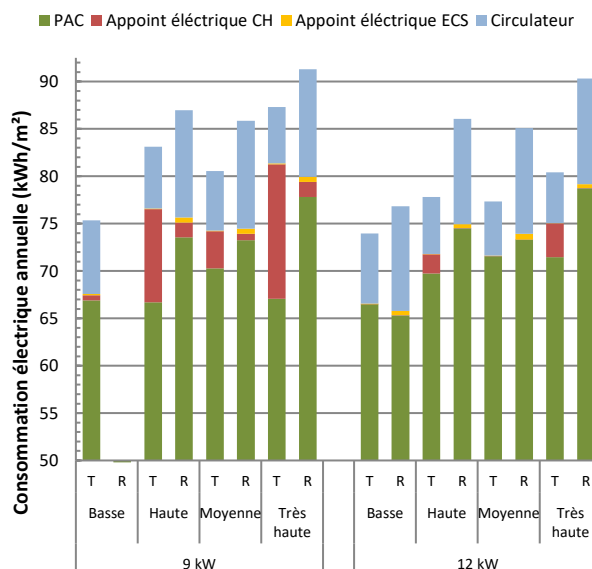


Figure 4 : Consommation électrique annuelle par composant

Ces résultats sont issus des simulations donnant un niveau d'inconfort pour le chauffage inférieur à 24h/an. Ainsi, on observe l'absence d'un paramétrage satisfaisant pour la PAC de 9kW, en loi d'eau basse et avec une régulation avec des robinets thermostatiques.

L'analyse de ces résultats peut être résumée par les points suivants :

- la consommation avec le plus mauvais paramétrage (cas le plus énergivore) dépasse de 24 % le meilleur paramétrage (92 kWh/an.m² vs. 74 kWh/an.m²) ;
- pour une valeur limite d'inconfort de 24 h/an, la consommation électrique totale du système est plus élevée pour la PAC de 9 kW (dégradation du COP saisonnier associée à l'utilisation des appoints électriques) ;
- le taux de couverture de l'appoint électrique de chauffage est plus important pour la PAC de 9 kW (puissance de la PAC insuffisante pour couvrir les besoins en fonctionnement thermodynamique) ;
- le taux de couverture de l'appoint électrique du ballon d'ECS est plus important sans l'utilisation d'un thermostat d'ambiance (moins d'informations pour bien gérer les séquences de production de chauffage et d'ECS) ;
- les consommations sont plutôt groupées par loi d'eau. Cette dernière affecte directement la consommation du système ;
- la consommation du circulateur est plus élevée quand il n'y a pas de thermostat d'ambiance.

Tableau 2 : SPF en fonction du paramétrage

Puissance	Loi d'eau	Régulation terminale	SPF _{H2}	SPF _{H3}	SPF _{H4}	
9	Basse	Thermostat	2.77	2.75	2.47	
		Robinets TH	-	-	-	
	Moyenne	Thermostat	2.56	2.48	2.29	
		Robinets TH	2.67	2.65	2.30	
	Haute	Thermostat	2.60	2.39	2.20	
		Robinets TH	2.63	2.59	2.25	
	Très haute	Thermostat	2.56	2.29	2.13	
		Robinets TH	2.54	2.50	2.19	
	12	Basse	Thermostat	2.80	2.79	2.51
			Robinets TH	2.89	2.88	2.46
Moyenne		Thermostat	2.55	2.54	2.36	
		Robinets TH	2.69	2.68	2.33	
Haute		Thermostat	2.58	2.53	2.34	
		Robinets TH	2.63	2.62	2.28	
Très haute		Thermostat	2.53	2.49	2.32	
		Robinets TH	2.55	2.54	2.22	

4.2. Seasonal Performance Factor – SPF

Afin d'analyser la performance du système, on utilise le coefficient de performance saisonnier (SCOP ou SPF) en suivant les indications du rapport SEPEMO [7]. Ce rapport propose différents coefficients de performance avec ou sans les auxiliaires et l'appoint. Ainsi on parle de :

$$SPF_{H1} = \frac{\text{Chaleur fournie (PAC)}}{\text{Energie compresseur}}$$

$$SPF_{H2} = \frac{\text{Chaleur fournie (PAC)}}{\text{Energie (compresseur + aux. source froide)}}$$

$$SPF_{H3} = \frac{\text{Chaleur fournie (PAC + appoints électriques)}}{\text{Energie (compr + aux. s. f. + app. électriques)}}$$

$$SPF_{H4} = \frac{\text{Chaleur fournie (PAC + appoints électriques)}}{\text{Energie (compr + aux. s. f. + app. élec + aux. s. c.)}}$$

Les auxiliaires de la source froide (*aux.s.f.*) sont les pompes des PAC géothermiques ou les ventilateurs des PAC air/eau ou air/air. Les auxiliaires de la source chaude (*aux.s.c.*) sont les circulateurs ou les ventilateurs situés à l'intérieur du logement.

Le Tableau 2 montre les résultats des simulations donnant un niveau d'inconfort chauffage inférieur à 24h/an. On observe que les meilleurs niveaux de SPF_{H4} sont atteints avec la PAC de puissance de 12 kW, avec

une loi d'eau basse et une régulation par thermostat d'ambiance (SPF_{H4} = 2.51). Ceci s'explique par la consommation électrique du circulateur du réseau hydraulique d'autant qu'il fonctionne en continu en l'absence de thermostat d'ambiance (voir le paragraphe 3.1).

Néanmoins, pour la même configuration (puissance PAC, loi d'eau), les SPF_{H2} et le SPF_{H3} sont meilleurs pour la configuration avec robinets thermostatiques que pour celle avec thermostat d'ambiance (en gras dans le Tableau 2).

5. ANALYSE ÉCONOMIQUE

Dans cette section, on analyse les conséquences d'un mauvais paramétrage en termes de facture électrique (les prix d'électricité utilisés sont affichés dans le Tableau 3). Pour cela, on compare les résultats des simulations avec respect du confort (température intérieure < 17 °C pendant moins de 24 h/an).

En moyenne, les factures les plus faibles (990 € pour la PAC de 9 kW et 971 € pour la PAC de 12 kW, hors abonnement) correspondent à la loi d'eau dite « basse » avec un thermostat d'ambiance comme régulation terminale. D'autre part, les factures les plus élevées (1194 € pour la PAC de 9 kW et 1189 € pour la PAC de 12 kW) correspondent à la loi d'eau dite « très haute » et avec des robinets thermostatiques comme régulation terminale (pas de thermostat).

Au final, on observe des économies de 204 € et de 218 € par an (pour les PAC de 9 et 12 kW respectivement) quand le paramétrage de la pompe à chaleur est adapté, pour la même installation. Ainsi, si le paramétrage de la PAC est adapté au bâtiment, le client peut économiser en moyenne 200 €/an sur sa facture d'électricité.

Les meilleurs résultats en termes de confort et de facture électrique correspondent à la PAC de 12 kW sans appoints électriques ou avec un appoint électrique dans le ballon d'ECS.

En conséquence, les appels de puissance du système ne dépasseront pas 4 kW, dans les cas où il n'y a aucun appoint électrique, ou 7 kW si on considère un appoint électrique pour l'ECS (4 kW de PAC + 3 kW d'appoint électrique du ballon d'ECS); d'où une réduction conséquente de l'abonnement électrique.

Tableau 3 : Prix de l'électricité

Tarif électrique	Valeurs	Unités
Base	0.1372	€/kWh
Repartition horaire		
Heures pleines	0.151	€/kWh
Heures creuses	0.1044	€/kWh

6. CONCLUSIONS

Après l'analyse annuelle du confort, de la consommation énergétique et de la facture électrique, on peut conclure que :

a) En termes de confort :

- pour une maison dont les déperditions sont de 7 kW (à 19°C température intérieure / -7°C température extérieure) la PAC de 9 kW avec appoint électrique crée des inconforts plus importants qu'une PAC de 12 kW sans appoints électriques ;
- les séquences de production de chauffage et d'ECS affectent le confort de la maison uniquement lorsqu'il n'y a pas de thermostat d'ambiance ;
- une loi d'eau adaptée au logement (et évidemment atteignable par la PAC) permet d'avoir le meilleur compromis entre la consommation et le confort. Elle est le paramètre le plus important du régulateur ;
- à partir d'une loi d'eau adaptée, l'activation de l'appoint électrique en aval du condenseur n'assure pas toujours le confort et il peut créer des pics de puissance inutiles ;
- le niveau de température dans le ballon d'ECS peut être atteint sans appoint électrique s'il y a une bonne gestion de la production alternée du chauffage et de l'ECS.

b) En termes de consommation électrique annuelle :

- la consommation associée au plus mauvais cas dépasse de 24 % celle du paramétrage le plus efficace (92 kWh/m² vs. 74 kWh/m², à seuil de confort identique) ;
- pour un seuil de confort de 24 h/an, la consommation électrique totale du système est plus élevée pour la PAC de 9 kW (dégradation du COP saisonnier associé à l'utilisation des appoints électriques) ;
- les consommations sont plutôt groupées par loi d'eau. Celle-ci affecte directement la consommation du système (température de consigne demandée en sortie du condenseur plus élevée, et dégradation du COP) ;
- la consommation du circulateur est plus élevée quand on n'utilise pas de thermostat d'ambiance (le régulateur n'a pas d'informations de température intérieure pour arrêter le circulateur en l'absence de besoin).

c) En termes de facture électrique :

- la facture annuelle d'électricité pour la production de chauffage et d'ECS (hors abonnement) varie de 970 € à 1208 € en fonction du paramétrage choisi ;
- si le paramétrage de la PAC est adapté au bâtiment, le client peut économiser en moyenne 200 €/an sur sa facture d'électricité par rapport à un paramétrage dit « usine ».

RÉFÉRENCES

- [1] CEN, *Standard EN 14511-2, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling: test conditions*, 2013.
- [2] N. Park, H.-S. Woo, J.-C. Ha, D.-H. Lee et S. Chin, «On the Optimal Water Discharge Temperature of Air-to-Water Heat Pump for Space Heating and Domestic Hot Water,» chez *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, Purdue, 2010.
- [3] J. Hoogmartens et L. Helsen, «Influence of control parameters on the system performance of ground coupled heat pump systems: a simulation study,» chez *12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, Sydney, 2011.
- [4] "Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012", «Pompes à chaleur double service en habitat individuel : Conception et dimensionnement, installation et mise en service, entretien et maintenance,» AQC, Paris, 2014.
- [5] R. Green et T. Knowles, «The effect of thermostatic radiator valves on heat pump performance,» ea Technology Consulting, Chester, 2011.
- [6] R. Green, «The effects of cycling on heat pump performance,» ea Technology Consulting, Chester, 2012.
- [7] R. Nordman, O. Kleefkens, P. Riviere, T. Nowak, A. Zottl, C. Arzano-Daurelle, A. Lehmann, O. Polyzou, K. Karytsas, P. Riederer, M. Miara, M. Lindahl, K. Andersson et M. Olsson, «SEASONAL PERFORMANCE factor and MONITORING for heat pump systems in the building sector SEPOMO-Build,» Boras, 2012.