



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

RAPPORT

**PRODUCTION D'EAU CHAUDE
SANITAIRE INDIVIDUELLE**

PERFORMANCE DES APPAREILS DOUBLE-SERVICE

OCTOBRE 2013

ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT-PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les Recommandations Professionnelles « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les Calepins de chantier « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les Rapports « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les Recommandations Pédagogiques « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



Sommaire

Introduction	5
1 - Essais sur une chaudière à condensation	6
1.1. • Caractéristiques de la chaudière soumise aux essais	6
1.2. • Résultats des essais	7
1.3. • Analyse des résultats	9
1.4. • Etude de cas.....	15
2 - Essais sur une pompe à chaleur double-service ...	21
2.1. • Caractéristiques de la pompe à chaleur soumise aux essais	21
2.2. • Résultats des essais.....	22
2.3. • Analyse des résultats.....	25



Introduction



Les performances des générateurs double-service pour la production individuelle d'eau chaude sanitaire (ECS) sont méconnues. C'est le cas notamment pour les chaudières à condensation et les PAC double-service. Diverses questions se posent quant aux performances énergétiques de ces appareils : les rendements ou les COP pour la production d'ECS peuvent-ils être déduits des valeurs nominales indiquées en mode chauffage seul ? Assurer le chauffage et l'ECS avec un même générateur conduit-il à une dégradation des performances en chauffage ? Les besoins d'ECS par nature très variables impliquent-ils des variations importantes du rendement ou du COP en ECS ? Le réglage de la température de consigne d'ECS et d'autres paramètres, tels que le différentiel de régulation pour la production d'ECS, influent-ils de manière importante sur les performances ?

L'approche adoptée dans cette étude pour apporter des éléments de réponses à ces questions a consisté à réaliser des essais sur :

- une chaudière à condensation murale gaz mixte à micro-accumulation ;
- une pompe à chaleur double-service équipée d'un ballon échangeur pour la production d'ECS.

Cette synthèse présente les résultats de ces essais. Ces éléments viennent enrichir les productions du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sur l'ECS et les pompes à chaleur double-service.



Essais sur une chaudière à condensation

1

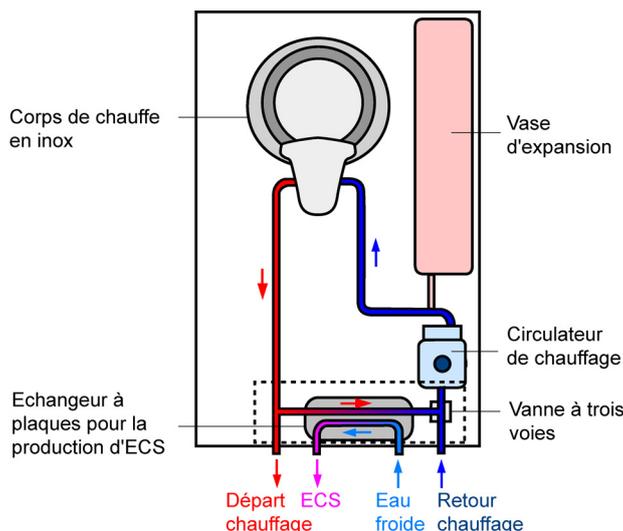


Des essais ont été menés sur une chaudière murale gaz à condensation à micro-accumulation pour différentes conditions de fonctionnement en mode ECS seule (été) et en mode double-service (hiver). Les résultats de ces essais ont ensuite été utilisés pour évaluer le rendement annuel de production d'ECS d'un cas d'étude et effectuer une analyse de sensibilité sur plusieurs paramètres.

1.1. • Caractéristiques de la chaudière soumise aux essais

Le modèle sélectionné est une chaudière représentative du marché, à combustion étanche équipée d'un brûleur à prémélange total. Sa puissance est modulée de 25 à 100 % de sa puissance nominale.

La micro-accumulation est obtenue par le maintien en température de l'échangeur sanitaire. Le débit spécifique d'ECS de cette chaudière de 14 l/min permet couvrir les besoins d'une maison ou d'un appartement avec une seule salle de bains.



▲ Figure 1 : Schéma de principe de la chaudière à micro-accumulation retenue pour les essais

Les principales caractéristiques de ce générateur indiquées par le constructeur sont présentées dans le tableau de la (Figure 2).

Principales caractéristiques de la chaudière		
Puissance utile chauffage pour un régime 80-60°C		5,5 à 23,6 kW
Puissance utile ECS		27,4 kW
Débit spécifique ECS		14 l/min
Rendement sur PCI	à 100% de charge pour une température moyenne d'eau de 70°C	98,3 %
	à 30% de charge pour une température de retour de 30°C	108,7 %
Pertes à l'arrêt pour un ΔT de 30K		57 W
Puissance électrique de la chaudière	hors circulateur à puissance minimale et maximale	17/33 W
	pour le circulateur à puissance minimale et maximale	69/72 W
	en mode ECS	115 W

▲ Figure 2 : Principales caractéristiques du modèle de chaudière retenue pour les essais

1.2. • Résultats des essais

Au total 10 essais ont été réalisés : 4 en mode ECS seule (été) et 6 en mode double-service (hiver). Les conditions d'essais se rapprochent de conditions réelles d'utilisation. Elles ont été définies afin d'établir un modèle de comportement pour le cas d'étude et d'observer l'influence sur les performances de divers paramètres : température de consigne d'ECS, besoins d'ECS, maintien ou non de l'échangeur sanitaire en température en été, ...

En mode double-service (hiver), les essais sont menés pour deux températures de départ en chauffage de 40°C et de 60°C et des taux de charge en chauffage variant de 3 à 19%.

Les profils de soutirage correspondent à des profils normatifs, excepté la température d'eau froide qui varie au cours des essais de 20 à 23°C.

La durée d'un cycle de mesure est de 24 heures.



La (Figure 3) présente les rendements obtenus pour les essais en mode ECS seule (été) et la (Figure 4) ceux déterminés en mode double-service (hiver). La (Figure 5) indique les consommations d'énergie électrique des auxiliaires mesurées lors des essais.

Essais en mode ECS seule (été)	Rendements sur PCI obtenus sur 24 heures en % ⁽¹⁾
1^{er} essai, essai de référence Consigne de production d'ECS de 55°C Echangeur sanitaire maintenu en température (mode confort) Profil de soutirage M de 5,9 kWh	77,4 ± 3,0
2^{ème} essai : idem 1 ^{er} essai mais avec une consigne ECS de 60°C	74,1 ± 2,9
3^{ème} essai : idem 1 ^{er} essai mais avec un profil de soutirage S plus faible, de 2,1 kWh	59,0 ± 2,3
4^{ème} essai : Idem 1 ^{er} essai mais sans maintien en température de l'échangeur sanitaire (mode Eco)	83 ± 3,2

(1) Les rendements correspondent à l'énergie utile soutirée divisée par l'énergie fournie à la chaudière durant les 24 heures d'essai. L'énergie soutirée n'est considérée comme utile que lorsque la température de l'eau puisée atteinte est supérieure à 25°C pour les petits soutirages et à 40°C pour la douche et les nettoyages ménagers, telle que définie dans la norme NF EN 13203-1.

▲ Figure 3 : Résultats des essais en mode ECS seule (été)

Essais en mode double-service (hiver)		Rendements sur PCI obtenus sur 24 h en % ⁽¹⁾	Rendements sur PCI obtenus durant une phase de chauffage sans soutirage en % ⁽²⁾
Température de départ de 60°C	5^{ème} essai : Taux de charge de 19% ⁽³⁾ Consigne de production d'ECS de 55°C Echangeur sanitaire maintenu en température Profil de soutirage M de 5,9 kWh	101,4 ± 4	101,3 ± 3,9
	6^{ème} essai : idem au 5 ^{ème} essai excepté le taux de charge de 11%	98,4 ± 3,9	98,0 ± 3,9
	7^{ème} essai : idem excepté le taux de charge de 9%	98,1 ± 3,9	97,6 ± 3,9
Température de départ de 40°C	8^{ème} essai : Taux de charge de 10% Consigne ECS de 55°C Echangeur sanitaire maintenu en température Profil de soutirage M de 5,9 kWh	107,7 ± 4,3	108,4 ± 4,4
	9^{ème} essai : idem excepté le taux de charge de 8%	106,3 ± 4,3	107,1 ± 4,4
	10^{ème} essai : idem excepté le taux de charge de 3%	104,2 ± 5,2	108,8 ± 6,2

(1) Ce rendement correspond à la somme de l'énergie utile pour l'ECS et le chauffage divisée par l'énergie fournie à la chaudière durant les 24 heures d'essai.

(2) Ce rendement correspond à l'énergie utile pour le chauffage divisée par l'énergie fournie par la chaudière durant la période de chauffage, sans soutirage, de 21h30 à 7h du matin

(3) Le taux de charge correspond à la puissance utile en chauffage de l'essai divisée par la puissance utile de la chaudière en mode chauffage de 23,6 kW.

▲ Figure 4 : Résultats des essais en mode double-service pour une consigne de température de départ de chauffage de 60°C et de 40°C

Puissances électriques moyennes absorbées sur 24 heures par la chaudière (circulateur inclus)	
Essais en mode ECS seule (été)	Essais en mode double-service (hiver)
3 à 4 W	94 W

▲ Figure 5 : Puissances électriques moyennes mesurées pour les 4 essais en mode ECS seule et les 6 essais en mode double-service par la chaudière (y compris le circulateur)

1.3. • Analyse des résultats

Les performances de la chaudière en été varient fortement selon les besoins d'ECS

Les besoins d'ECS qui sont variables d'un jour à l'autre, pour une même famille et selon le logement, conduisent à des variations de performances sensibles en été. Ainsi en mode ECS seule, le rendement sur PCI obtenu sur 24 h est de 77,4% avec le profil de soutirage M (1^{er} essai) et de 59% avec le profil S qui correspond à des besoins environ 3 fois moins élevés (3^{ème} essai).

Plus les besoins sont faibles, plus le poids de la consommation d'énergie nécessaire pour le maintien en température de l'échangeur sanitaire est important, voir (Figure 6), d'où une dégradation du rendement.

La consommation pour le maintien en température de l'échangeur sanitaire en été est le premier poste de pertes

La consommation pour le maintien en température de l'échangeur sanitaire représente environ 65% des besoins d'ECS dans le cas du profil S. Pour le profil M, elle ne représente plus que 25% des besoins mais reste toujours le premier poste de pertes comme le montre la (Figure 6).

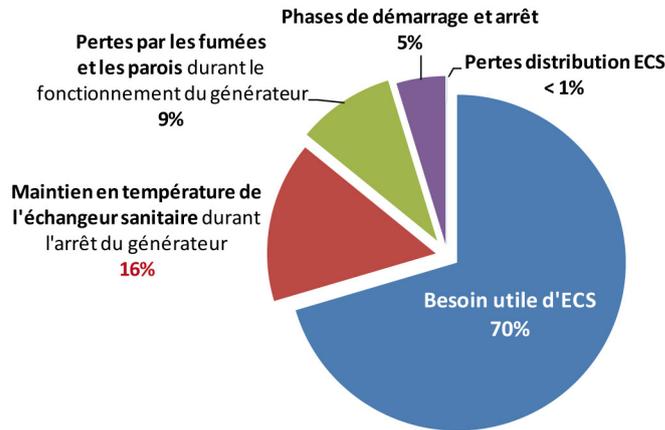
Les autres postes de pertes dont le poids est nettement plus faible sont :

- les pertes par les fumées et les parois durant les phases de fonctionnement du générateur. Hors phases de démarrage et d'arrêt, le rendement mesuré durant 15 minutes de soutirage à un débit d'ECS d'environ 5 l/min, qui ne tient donc compte que des pertes par les fumées et les parois, est de 99,5% sur PCI. Il est proche du rendement annoncé par le constructeur de 98,3% sur PCI à puissance nominale pour une température entrée-sortie de chaudière de 80-60°C ;
- les pertes durant les phases de démarrage et d'arrêt du générateur. Elles sont liées à la pré-ventilation et post-ventilation du brûleur ainsi qu'à la remontée en température, si nécessaire, du corps de chauffe. Le rendement moyen estimé durant les phases de fonctionnement de la chaudière pour la production d'ECS, démarrages et arrêts inclus est d'environ 93% sur PCI ;

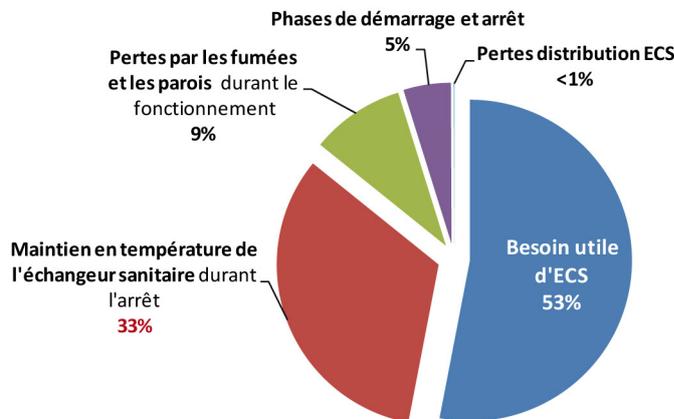
- les pertes de distribution d'ECS. Elles sont négligeables compte-tenu des très courtes longueurs de distribution du banc d'essai.

En été, le poids des pertes liées au maintien en température de l'échangeur sanitaire est très important, surtout lorsque les besoins d'ECS sont faibles

Répartition des consommations sur 24 h dans le cas d'un profil de soutirage M de 5,9 kWh (1^{er} essai)



Répartition des consommations sur 24 h dans le cas d'un profil de soutirage S de 2,1 kWh (3^{ème} essai)



▲ Figure 6 : Répartition des postes de consommation estimée pour les profils M et S en mode ECS seule (1^{er} et 3^{ème} essai).

Adopter une consigne de 60°C au lieu de 55°C dégrade peu les performances

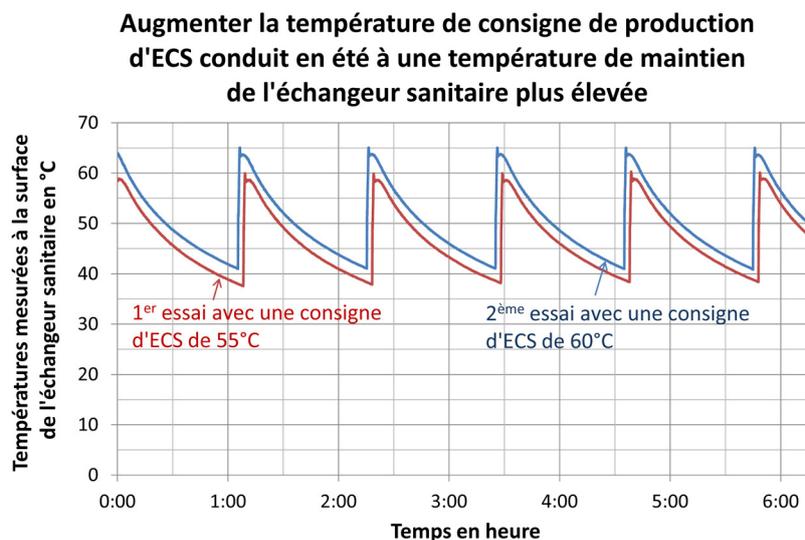
En mode ECS seule, le rendement sur 24h sur PCI obtenu est de :

- 77,4% pour une température de consigne ECS de 55°C (1^{er} essai) ;
- 74,1% pour 60°C (2^{ème} essai).

L'écart observé s'explique par la différence de consommation pour le maintien en température de l'échangeur.

La puissance moyenne fournie pour le maintien en température durant une période d'environ 9 h sans soutirage est estimée à 55 W pour le 1^{er} essai à 55°C et à 70 W pour le 2^{ème} essai à 60°C. La

température de l'échangeur sanitaire mesurée est en effet plus élevée pour le 2^{ème} essai, comme l'illustre la (Figure 7). Elle est en moyenne de 46°C pour le 1^{er} essai et 49°C pour le 2^{ème} essai.



▲ **Figure 7** : Evolution des températures mesurées à la surface de l'échangeur sanitaire, en dehors des périodes de soutirage, pour une température de consigne d'ECS de 55 et 60°C (essais en mode ECS seule). L'écart sur les températures est en moyenne de 3K.

Si l'échangeur sanitaire n'est pas maintenu en température en été, le rendement du générateur est plus élevé mais reste inférieur au rendement indiqué à puissance nominale

Le rendement sur PCI sur 24 h obtenu est de :

- 83% si l'échangeur sanitaire n'est pas maintenu en température (4^{ème} essai) ;
- 77,4% si il est maintenu en température (1^{er} essai).

La suppression des consommations dues au maintien en température de l'échangeur permet effectivement d'augmenter le rendement. Il reste néanmoins très inférieur au rendement annoncé par le constructeur de 98,3% sur PCI à puissance nominale pour une température entrée-sortie de chaudière de 80-60°C. Il est également plus faible que le rendement de 93% estimé durant les phases de soutirages, démarrages et arrêts inclus pour le 1^{er} essai.

Cet écart par rapport à cette dernière valeur est très certainement dû aux consommations nécessaires pour la remise en température de la chaudière, à chaque démarrage.

Même si le non maintien en température de l'échangeur sanitaire correspond effectivement à un mode plus économique, on perd les avantages de la micro-accumulation :

- l'obtention immédiate d'eau chaude en sortie de chaudière. Pour l'essai de référence, le maintien de l'échangeur sanitaire permet d'obtenir instantanément de l'eau chaude à une température suffisante, ce qui n'est pas le cas pour tous les soutirages



de cet essai. L'écart entre l'énergie soutirée et réellement utile est cependant très faible, de 1 Wh seulement ;

- un débit spécifique d'ECS généralement un peu plus élevé tel que défini dans la norme NF EN 13203-1.

En été, la consommation d'énergie électrique de la chaudière est beaucoup plus faible qu'en hiver

La puissance électrique moyenne sur 24 h absorbée par la chaudière (circulateur inclus) varie de 3 à 4 W pour les différents essais en mode ECS seule contre 86 à 94 W pour ceux en mode double-service.

En été, la chaudière est la plupart du temps en veille. D'après les indications du constructeur la puissance électrique consommée durant les phases de production d'ECS est de 115 W. Néanmoins ces phases sont brèves. Les temps de marche du circulateur qui assure le maintien en température de l'échangeur sont également limités.

En hiver, la chaudière fonctionne beaucoup plus longtemps. Le circulateur, qui représente très approximativement 2/3 des consommations électriques de la chaudière d'après les données du constructeur, fonctionne en permanence au cours des essais en double-service. Au global, on constate que les consommations mesurées pour ces essais en double-service sont comprises dans l'intervalle de 85 à 106 W indiqué par le constructeur respectivement pour un fonctionnement de la chaudière à puissance minimale et maximale.

Les rendements en mode double-service sont très supérieurs aux rendements observés en mode ECS seule

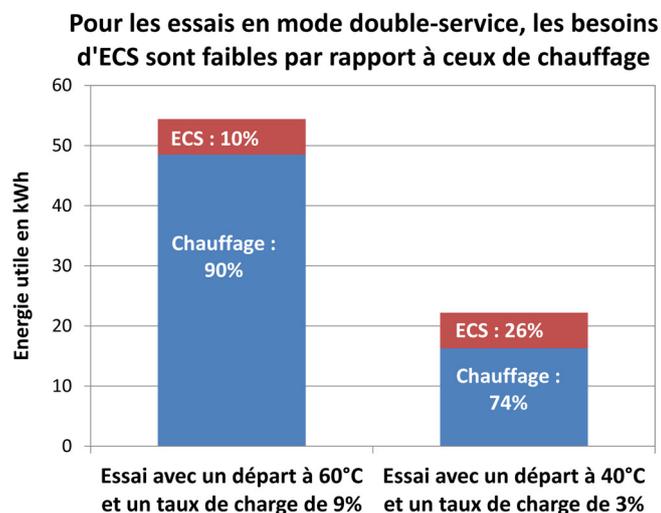
Les rendements sur 24 h mesurés en mode double-service sont supérieurs à 98% sur PCI, alors qu'en mode ECS, ils sont inférieurs à 83% pour les différents essais.

En mode double-service, compte-tenu du poids important des consommations de chauffage, c'est essentiellement la phase de chauffage qui conditionne la performance globale du générateur. Le rendement durant cette période étant plus élevé que durant la phase de soutirage, surtout à une température de départ de 40°C où l'on profite pleinement de la condensation, le rendement sur 24 h est donc supérieur à celui obtenu en mode ECS seule.

Par exemple, pour l'essai à une température de départ en chauffage de 60°C, à un taux de charge de 9%, l'énergie utile pour l'ECS représente 10% de l'énergie utile totale, voir (Figure 8). On constate pour cet essai très peu d'écart entre le rendement en période de chauffage et sur les 24h d'essais.

Pour l'essai à une température de départ 40°C et à un taux de charge de 3%, la part de l'ECS représente 26% de l'énergie utile totale, voir (Figure 8). C'est pour cet essai au plus faible taux de charge, où le poids de l'ECS est le plus élevé, que l'écart le plus important entre le rendement sur 24 h et celui en période de chauffage est observé.

Néanmoins la diminution de rendement induite par la phase de production d'ECS reste limitée. Le rendement durant les 9h30 de chauffage sans soutirage est de 108,8% sur PCI et le rendement sur 24 h de 104,2%.



▲ **Figure 8** : Répartition des énergies utiles entre l'ECS et le chauffage en mode double-service pour un taux de charge en chauffage de 9 et 3% (7^{ème} et 10^{ème} essai). Compte-tenu du faible poids de l'ECS, les performances globales du générateur sur 24h sont peu influencées par les performances de la chaudière durant les phases de production d'ECS.

Le rendement en mode double-service baisse lorsque le taux de charge diminue

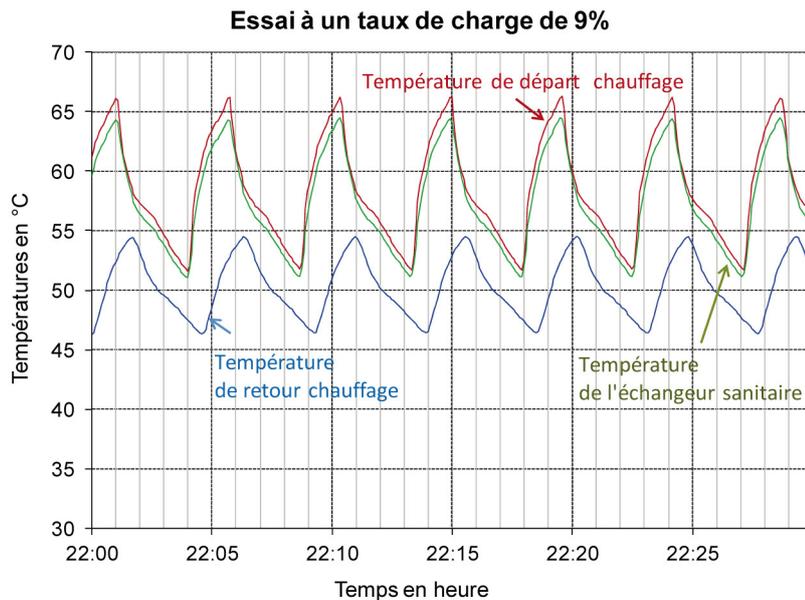
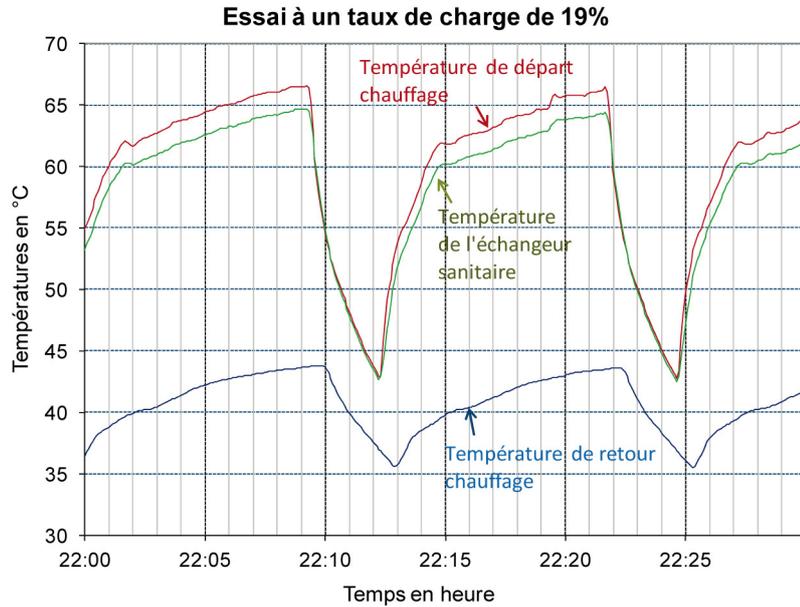
Le rendement sur PCI sur 24 h mesuré, pour une température de départ en chauffage de 60°C est de :

- 101,4% pour un taux de charge de 19% (5^{ème} essai) ;
- 98,1% pour un taux de charge de 9% (7^{ème} essai).

Plus le taux de charge diminue, plus les consommations de chauffage sont faibles et plus les pertes liées aux démarrages et à l'arrêt de la chaudière représentent un poids important. Ces pertes sont d'autant plus élevées que le nombre de cycles marche-arrêt est plus important comme le montrent la (Figure 9) et la (Figure 10).

De plus, à de plus faibles taux de charge, le débit étant identique, la puissance moyenne étant moindre, les températures de retour sont donc plus élevées pour une même température de départ. Elles permettent donc moins de bénéficier des performances de la condensation.

Plus les taux de charge sont faibles, plus le nombre de séquences marche-arrêt est important et plus les températures de retour sont élevées pour une même température de consigne de départ en chauffage



▲ **Figure 9** : Températures mesurées durant une période de 30 minutes de chauffage sans soutirage lors d'essais à une température de consigne de départ en chauffage de 60°C, pour un taux de charge de 19 et 9%.

Le maintien en température de l'échangeur sanitaire influe sur les performances obtenues durant la période de chauffage

L'énergie nécessaire au maintien en température de l'échangeur sanitaire est très faible par rapport à l'énergie utile pour le chauffage. Néanmoins, ce maintien en température conduit à une augmentation des températures d'entrée d'eau dans la chaudière ce qui influe sur le rendement.

En mode double-service, lorsque la chaudière fonctionne, une partie du débit primaire irrigue l'échangeur sanitaire pour le maintenir en température, voir schéma de principe (Figure 1). La température à l'entrée primaire de l'échangeur correspond à la température du circuit de départ chauffage, voir (Figure 9). Les pertes thermiques dans l'échangeur étant très faibles, l'eau à la sortie primaire de l'échangeur sanitaire est généralement plus élevée que l'eau de retour du circuit de chauffage, si bien qu'elle conduit à un réchauffement de cette dernière.

Ceci a peu d'influence lorsque les températures d'eau sont basses, par exemple dans le cas d'une consigne à 40°C, mais beaucoup plus à 60°C.

Ainsi pour l'essai à 60°C et à 9% de taux de charge, les températures de retour observées en dehors des périodes de soutirage sont inférieures à 55°C, voir (Figure 9) et pourtant le rendement obtenu durant cette période de chauffage n'est que de 97,6% sur PCI.

Cependant, l'irrigation de l'échangeur sanitaire a en fait un double rôle :

- son maintien en température ;
- le maintien d'un débit dans la chaudière lorsque tous les robinets thermostatiques se ferment.

Il n'est donc pas entièrement exact d'imputer cette baisse du rendement en chauffage à la production d'ECS.

1.4. • Etude de cas

Les résultats des essais sur la chaudière à condensation sont utilisés pour évaluer le rendement annuel de production d'ECS d'un cas d'étude et réaliser une étude de sensibilité sur plusieurs paramètres.

Le cas étudié est une maison rénovée en BBC

La maison individuelle considérée est de 100 m² et est occupée par deux personnes. Elle est équipée d'une chaudière murale gaz à condensation à micro-accumulation et de radiateurs à basse température dont le régime nominal de fonctionnement est 60-45°C. La température de production d'ECS est de 55°C et l'échangeur sanitaire est maintenu en température.

Cette maison est localisée en région parisienne et ses déperditions sont de 4 kW. Les besoins de chauffage au pas horaire sont déterminés par des simulations sous TRNSYS.

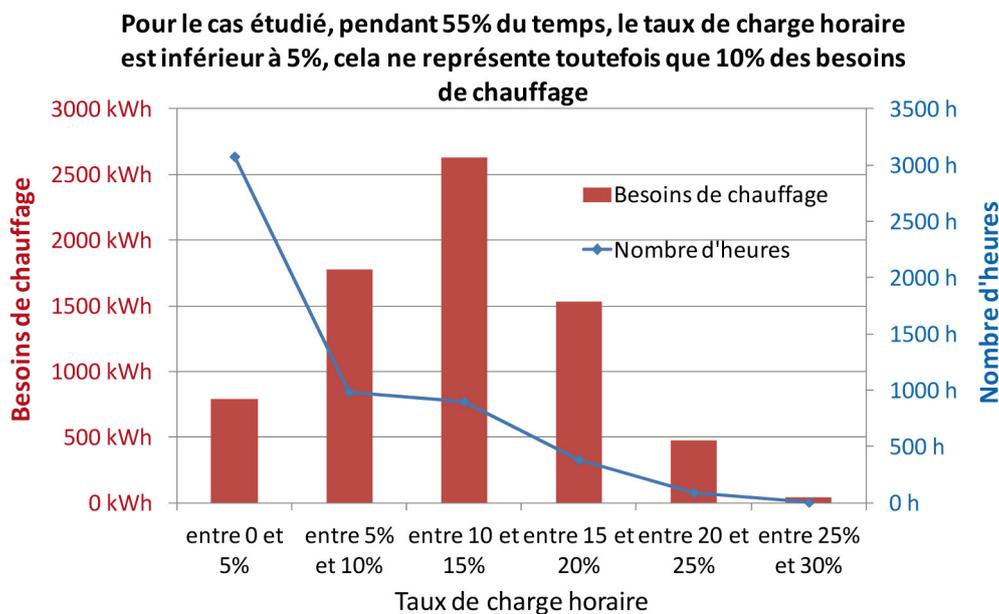
Les taux de charge en chauffage du cas étudié sont faibles

Compte-tenu des faibles déperditions de la maison par rapport à la puissance nominale de la chaudière de 23,6 kW, les taux de charge horaires obtenus pour la saison de chauffe sont faibles. Ils varient de 0



à 27% de la puissance nominale. Cela correspond à un mode de fonctionnement du générateur pratiquement toujours en marche-arrêt, la chaudière étant modulante à partir de 25% de taux de charge.

Pour des taux de charge inférieurs à 5%, l'incertitude est importante sur les valeurs de rendement. Cependant le fonctionnement à de tels taux représente une faible part des besoins de chauffage, voir (Figure 10) si bien que cela influe peu sur le rendement saisonnier.

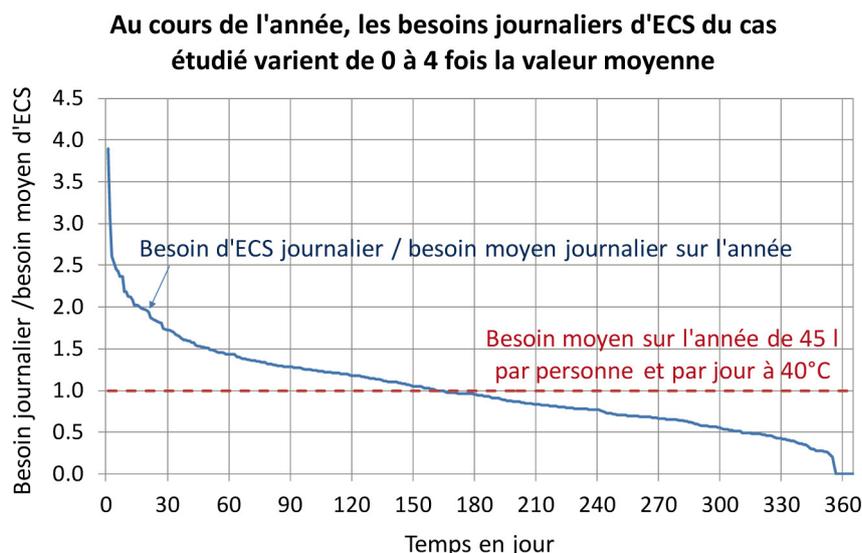


▲ Figure 10 : Répartition des besoins de chauffage et du nombre d'heures de fonctionnement de la chaudière pour différents taux de charge horaires.

Les besoins d'ECS varient fortement au cours du temps

Les profils journaliers de puisage d'ECS considérés pour l'étude de cas sont issus d'un suivi instrumenté réalisé par le COSTIC. Ils varient de manière importante au cours de l'année comme le montre la (Figure 11).

En moyenne sur l'année, les besoins d'ECS du ménage sont de 45 l à 40°C par personne et par jour. Cette valeur correspond approximativement au ratio de 33 litres à 50°C établi à partir du suivi d'une centaine de chauffe-eau solaires individuels réalisé dans le cadre du Plan Soleil de l'ADEME.



▲ **Figure 11** : Besoins journaliers d'ECS au cours de l'année. Pendant 96% du temps, les besoins journaliers sont inférieurs à 2 fois les besoins moyens annuels. La consommation est nulle 9 jours par an.

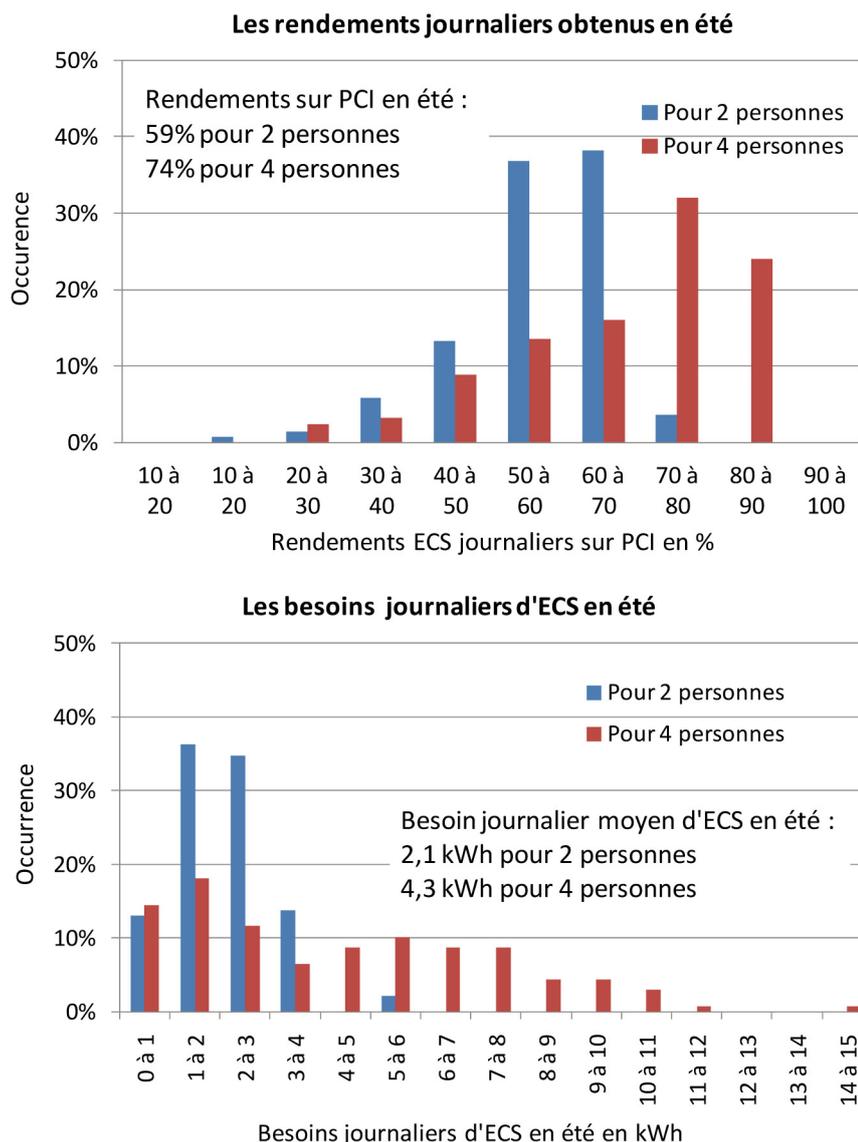
Le rendement d'ECS annuel obtenu est de l'ordre de 80% sur PCI

L'extrapolation des résultats d'essais conduit, pour le cas étudié, à un rendement annuel sur PCI pour la production d'ECS d'environ 80%:

- En hiver, le rendement sur PCI durant les phases de production d'ECS issu des résultats d'essais est de 93%.
- En été, le rendement de production varie fortement selon les besoins d'ECS, voir (Figure 12). Pour le cas étudié, il est de l'ordre de 60% sur PCI. Les besoins d'ECS en été ne représentent qu'environ 30% des besoins annuels d'ECS ce qui limite l'impact des performances du générateur en été sur le rendement annuel en ECS.

4 personnes au lieu de 2, soit deux fois plus de besoins d'ECS, conduit à une augmentation de 7 % du rendement annuel pour la production d'ECS (85% contre 80%). Sur l'été, le rendement augmente de 15% (75% au lieu de 60%).

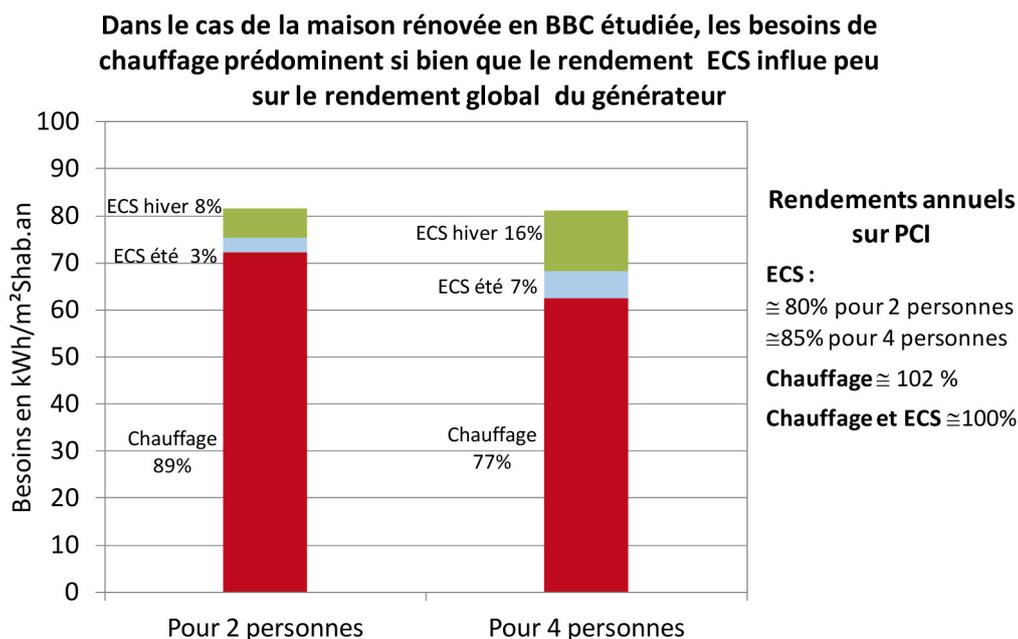
Les rendements journaliers en été varient fortement selon les besoins d'ECS



▲ Figure 12 : Les graphiques montrent les variations des besoins d'ECS et des rendements obtenus sur les 132 jours d'été considérés dans le cas de 2 ou 4 personnes.

Le rendement annuel global du générateur dépend du poids des besoins d'ECS par rapport aux besoins de chauffage

Pour le cas étudié, les besoins d'ECS de 9 kWh/m²Shab.an sont faibles par rapport aux besoins de chauffage de 72 kWh/m²Shab.an. Par conséquent, les performances de la chaudière pour la production d'ECS jouent peu sur le rendement annuel global de la chaudière pour le chauffage et l'ECS. Le rendement global est d'environ 100% sur PCI. Il varie peu si le logement est occupé par 4 ou 2 personnes.



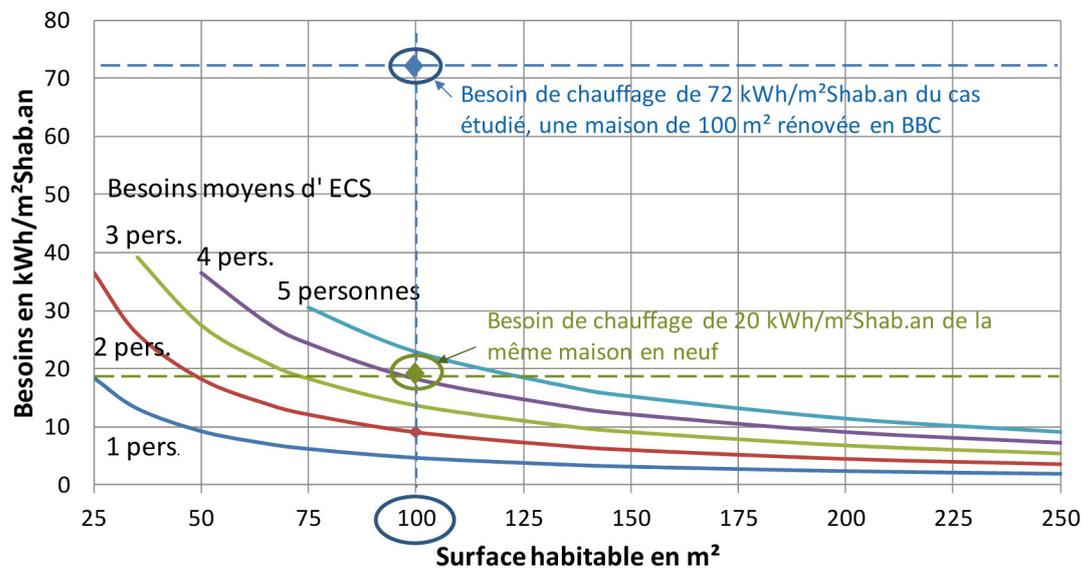
▲ **Figure 13** : Répartition des besoins de chauffage et d'ECS pour le cas étudié d'une maison rénovée en BBC occupée par 2 personnes et pour la même maison habitée par 4 personnes.

Par contre, pour la même maison de 100 m² neuve, basse consommation, occupée par 4 personnes, les besoins d'ECS sont équivalents à ceux du chauffage (20 kWh/m²Shab.an). Les performances en mode ECS influent donc beaucoup plus sur les performances globales du générateur pour le chauffage et l'ECS que dans le cas étudié. On peut donc supposer que le rendement annuel global pour le chauffage et l'ECS sera plus faible dans le cas d'une maison neuve basse consommation. D'autant plus que les taux de charge en chauffage sont très faibles dans ce cas (inférieurs à 5%). Le modèle établi à partir des résultats d'essais ne permet pas d'estimer ce rendement. L'incertitude est trop importante pour les très faibles taux de charge.

La (Figure 12) montre le poids de l'ECS par rapport au chauffage pour différentes surfaces habitables. L'impact de l'ECS au niveau des besoins énergétiques en kWh/m²Shab.an est plus important pour des appartements de plus faibles surfaces que pour de grandes maisons.



**Plus la surface habitable et les besoins de chauffage diminuent,
plus les performances en ECS influent sur le rendement global annuel
pour le chauffage et l'ECS**



▲ **Figure 14 :** Evolution des besoins d'ECS en kWh/m²Shab.an en fonction de la surface habitable et du nombre de personnes occupant le logement. Les valeurs indiquées correspondent à une consommation d'ECS moyenne de 45 l par jour et par personne à 40°C.

Essais sur une pompe à chaleur double-service

2



Des essais ont été menés sur une pompe à chaleur double-service pour différentes conditions de fonctionnement en mode ECS seule (été) et en mode double-service (hiver).

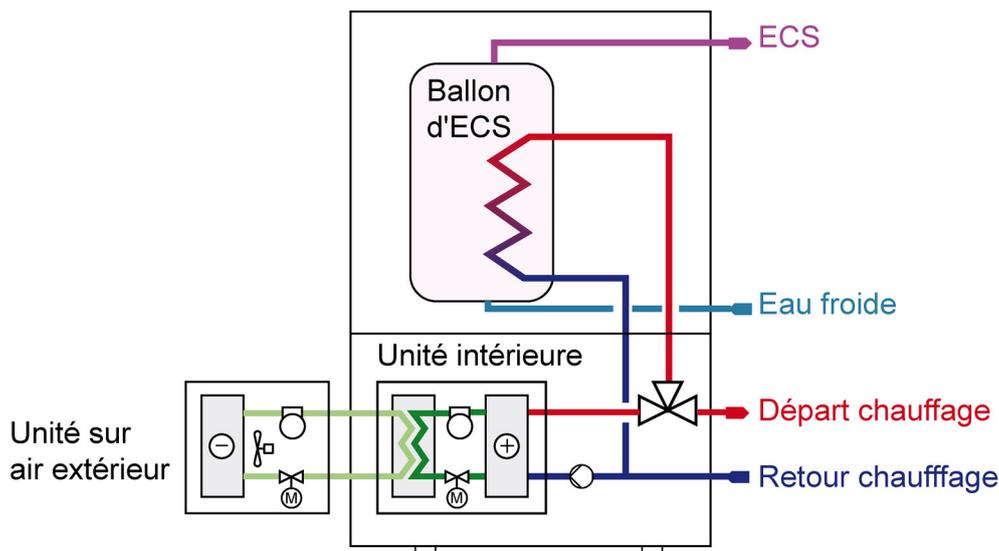
2.1. • Caractéristiques de la pompe à chaleur soumise aux essais

Le modèle sélectionné est une pompe à chaleur haute température air/eau d'une puissance de 11kW. Elle est dotée pour la production d'ECS d'un ballon échangeur de 200 litres, sans appoint, placé au-dessus de l'unité intérieure.

La pompe à chaleur (PAC) comprend deux étages de compression avec variation électronique de vitesse (« Inverter ») et deux circuits frigorifiques indépendants.

En mode double-service, la PAC assure soit le réchauffage du ballon d'ECS soit le chauffage. La permutation entre le chauffage et l'ECS est réalisée par la commutation d'une vanne à trois voies directionnelle. Le circulateur, intégré sous le carénage de l'unité intérieure, est commun au circuit de chauffage et au circuit primaire du ballon d'échangeur d'ECS, voir (Figure 15). Il fonctionne à vitesse variable de manière à maintenir un écart de température constant en entrée-sortie de PAC paramétrable (10 K par défaut).

La sonde de régulation qui enclenche le réchauffage du ballon d'ECS est située à la moitié de la hauteur du ballon, légèrement au-dessus de son échangeur.



▲ Figure 15 : Schéma de principe de la PAC à double-service retenue pour les essais.

Les principales caractéristiques de la PAC fournies par le constructeur sont indiquées dans le tableau de la (Figure 16).

Principales caractéristiques de la PAC		
Puissance calorifique		11 kW
COP pour une température extérieure sèche de 7°C, une température extérieure humide de 6°C et pour les écarts de température de départ et de retour	35/30°C	4,22
	55/45°C	3,46
Pertes thermiques du ballon d'ECS de 200 litres pour un écart de 45K		1,2 kWh/24h

▲ Figure 16 : Principales caractéristiques du modèle de PAC testé

2.2. • Résultats des essais

Au total, 14 essais ont été réalisés : 6 essais en mode ECS seule (été) et 8 en mode double-service (hiver). Les conditions d'essais se rapprochent de conditions réelles d'utilisation. Elles ont été définies afin d'observer l'influence de différents paramètres sur les performances : besoins d'ECS, température de consigne d'ECS, réchauffage du ballon d'ECS nocturne ou non asservi à une programmation horaire, différentiel d'enclenchement et d'arrêt du réchauffage d'ECS,...

En mode ECS seule (été), la température extérieure fixée est de +25°C.

En mode double-service (hiver), les essais sont menés pour trois températures extérieures différentes, +7°C, +2°C et -7°C avec des taux de charge respectivement de 50%, 65% et 80% et des températures de départ de 42°C, 50°C et 65°C. Les taux de charge sont exprimés par rapport aux déperditions considérées de 9,2 kW. La puissance nominale de la PAC est supposée représenter 1,2 fois les déperditions pour la température extérieure de base de -7°C.

Les profils de soutirage réalisés correspondent à des profils normatifs, excepté la température d'eau froide qui varie au cours des essais de 18 à 20°C. Le profil le plus conséquent, dénommé L', de 7,2 kWh,



correspond au profil normatif L sans les 3 derniers soutirages qui ont été supprimés afin que les besoins d'ECS soient couverts.

La durée d'un cycle de mesure est de 24 h.

La (Figure 17) présente les résultats des essais en mode ECS seule (été) et la (Figure 18) ceux obtenus en mode double-service (hiver).

Essais en mode ECS seule (été) 25°C extérieur et environ 50% d'humidité relative	COP en sortie de PAC		COP en sortie de ballon d'ECS	
	Sur 24 h ⁽¹⁾	Hors veille ⁽²⁾	Sur 24 h ⁽³⁾	Hors veille ⁽⁴⁾
1^{er} essai, essai de référence : consigne de production d'ECS de 55°C, profil de soutirage M de 5,9 kWh, réchauffage nocturne de l'ECS, ambiance autour du ballon d'ECS à 20°C	2,03 ± 0,07	4,06 ± 0,13	1,43 ± 0,05	2,86 ± 0,09
2^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai mais avec une consigne ECS à 60°C	2,04 ± 0,07	3,83 ± 0,12	1,34 ± 0,04	2,52 ± 0,08
3^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai excepté le profil de soutirage plus important L' de 7,2 kWh	2,17 ± 0,07	4,13 ± 0,13	1,67 ± 0,05	3,18 ± 0,10
4^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai excepté le réchauffage d'ECS non asservi à une programmation horaire avec un différentiel ECS de 10K	1,66 ± 0,05 ⁽⁵⁾	3,57 ± 0,12 ⁽⁵⁾	1,39 ± 0,05 ⁽⁵⁾	2,98 ± 0,10 ⁽⁵⁾
5^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai, excepté le réchauffage d'ECS non asservi à une programmation horaire avec un différentiel ECS de 5 K	1,83 ± 0,06	3,44 ± 0,11	1,18 ± 0,05	2,21 ± 0,08
6^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai mais avec un profil de soutirage S plus faible de 2,1 kWh	1,30 ± 0,05	3,42 ± 0,11	0,64 ± 0,03	1,68 ± 0,05

(1) Le COP en sortie de PAC sur 24 h correspond à l'énergie calorifique mesurée en sortie de PAC divisée par l'énergie électrique totale absorbée par la PAC (auxiliaires inclus), sur les 24 h d'essais.

(2) Le COP en sortie de PAC hors consommation de veille est égal à l'énergie calorifique mesurée en sortie de PAC divisée par l'énergie électrique totale absorbée par la PAC non plus sur les 24 h d'essai mais uniquement durant les phases de réchauffage du ballon d'ECS.

(3) Le COP en sortie de ballon d'ECS sur 24 h correspond à l'énergie utile soutirée divisée par l'énergie électrique totale absorbée par la PAC sur les 24 h d'essais. L'énergie soutirée n'est considérée comme utile que lorsque la température de l'eau puisée atteinte est supérieure à 25°C pour les petits soutirages et à 40°C pour la douche et les nettoyages ménagers, telle que définie dans la norme NF EN 16147.

(4) Le COP en sortie de ballon hors veille est égal à l'énergie utile soutirée divisée par l'énergie électrique totale absorbée par la PAC seulement durant les phases de réchauffage du ballon d'ECS.

(5) A la fin de cet essai, toute l'eau du ballon d'ECS n'est pas chaude contrairement aux autres essais si bien que les résultats ne sont pas totalement comparables.

▲ Figure 17 : Résultats des essais en mode ECS seule (été)



Essais en mode double-service (hiver)	COP en sortie de PAC			COP en sortie de ballon d'ECS sur 24 h ⁽³⁾	COP global pour l'ECS et le chauffage sur 24 h ⁽⁴⁾
	Sur les phases de réchauffage du ballon d'ECS ⁽¹⁾	Sur les phases de chauffage hors dégivrage ⁽²⁾	Sur les phases de chauffage avec dégivrage ⁽²⁾		
7^{ème} essai, essai de référence : +2°C extérieur , 90% d'humidité relative, température de départ chauffage de 50°C, taux de charge en chauffage d'environ 65% (puissance chauffage moyenne de 6kW), consigne ECS de 55°C, profil de soutirage M de 5,9 kWh, réchauffage nocturne d'ECS, ambiance autour du ballon d'ECS à 20°C	3,16 ± 0,14	3,01 ± 0,13	2,94 ± 0,13	2,36 ± 0,11	2,91 ± 0,13
8^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai excepté le profil plus important L' de 7,2 kWh	3,15 ± 0,14	2,98 ± 0,13	2,92 ± 0,13	2,50 ± 0,10	2,90 ± 0,13
9^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai mais avec -7°C extérieur , une température de départ chauffage de 65°C , un taux de charge en chauffage de 80% (puissance de 7,4kW)	2,76 ± 0,12	2,41 ± 0,11	2,30 ± 0,10	2,04 ± 0,08	2,29 ± 0,10
10^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai mais avec +7°C extérieur , une température de départ chauffage de 42°C , un taux de charge en chauffage de 50% (puissance de 4,5kW)	3,13 ± 0,13	3,16 ± 0,14	3,09 ± 0,13	2,19 ± 0,09	3,02 ± 0,13
11^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai excepté le réchauffage d'ECS non asservi à une programmation avec un différentiel ECS de 10 K	3,06 ± 0,13 ⁽⁵⁾	3,04 ± 0,13	2,98 ± 0,13	2,03 ± 0,08 ⁽⁵⁾	2,94 ± 0,13 ⁽⁵⁾
12^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai excepté le réchauffage d'ECS non asservi à une programmation avec un différentiel ECS de 5K	2,88 ± 0,13 ⁽⁶⁾	3,05 ± 0,13	2,98 ± 0,13	2,05 ± 0,08 ⁽⁶⁾	2,92 ± 0,13 ⁽⁶⁾
13^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai excepté la consigne de production d'ECS de 60°C	3,03 ± 0,13	3,00 ± 0,13	2,93 ± 0,13	1,97 ± 0,08	2,87 ± 0,13



Essais en mode double-service (hiver)	COP en sortie de PAC			COP en sortie de ballon d'ECS sur 24 h ⁽³⁾	COP global pour l'ECS et le chauffage sur 24 h ⁽⁴⁾
	Sur les phases de réchauffage du ballon d'ECS ⁽¹⁾	Sur les phases de chauffage hors dégivrage ⁽²⁾	Sur les phases de chauffage avec dégivrage ⁽²⁾		
14^{ème} essai : idem au 1 ^{er} essai mais avec ambiance autour du ballon à 16°C , un réchauffage d'ECS non asservi à une programmation avec un différentiel ECS de 5K	2,99 ± 0,13	3,07 ± 0,13	2,97 ± 0,13	1,87 ±0,07	2,90 ± 0,13

(1) Le COP en sortie de PAC pour la production d'ECS correspond à l'énergie calorifique mesurée en sortie de PAC divisée par l'énergie électrique totale absorbée par la PAC (auxiliaires inclus) durant les phases de réchauffage du ballon d'ECS.

(2) Le COP en sortie de PAC pour le chauffage correspond à l'énergie calorifique mesurée en sortie de PAC divisée par l'énergie électrique totale absorbée par la PAC durant les phases de chauffage. Il est calculé en incluant les phases de dégivrage et hors phases de dégivrage.

(3) Le COP en sortie de ballon d'ECS correspond à l'énergie utile soutirée divisée par l'énergie électrique totale absorbée par la PAC durant les phases de réchauffage du ballon d'ECS.

(4) Le COP global pour le chauffage et l'ECS correspond à l'énergie calorifique mesurée en sortie de PAC pour le chauffage auquel est ajoutée l'énergie utile soutirée divisées par l'énergie électrique totale absorbée par la PAC sur les 24 heures d'essai.

(5) Le réchauffage d'ECS a lieu juste après un dégivrage

(6) Un dégivrage est observé au cours d'un réchauffage du ballon d'ECS

▲ **Figure 18** : Résultats des essais en mode double-service (hiver)

2.3. • Analyse des résultats

La consommation de veille influe fortement sur les performances de la PAC en été

Pour les 6 essais réalisés en mode ECS seule, les COP en sortie de PAC sur les phases de réchauffage du ballon varient de 3,42 à 4,13. En sortie de ballon d'ECS sur les 24 h d'essai, les COP ne sont plus que de 0,64 à 1,67, selon les essais.

La dégradation du COP est imputable, par ordre d'importance, à la consommation de veille, aux pertes par stockage et dans une moindre mesure aux pertes de distribution d'ECS, comme le montre la (Figure 19).

En mode ECS seule, la PAC fonctionne uniquement pour réchauffer le ballon d'ECS. En dehors de ces périodes de réchauffage, elle est en veille. La puissance moyenne mesurée durant ces phases d'arrêt est d'environ 90W. Cela conduit à des consommations de veille du même ordre que celles nécessaires au chauffage de l'eau du ballon d'ECS.

Les performances en été varient de manière importante en fonction des besoins d'ECS

Les besoins d'ECS qui sont variables d'un jour à l'autre, pour une même famille ou d'un logement à l'autre, conduisent à des performances qui peuvent varier fortement en été.



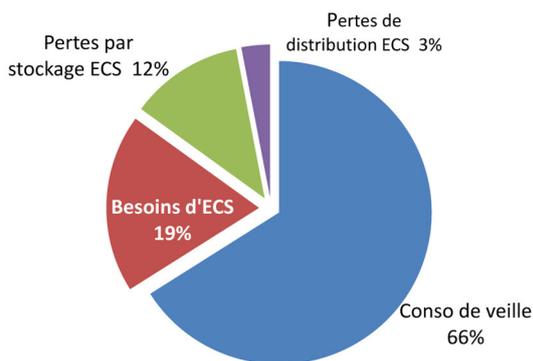
Ainsi pour le profil L' de 7,21 kWh, le COP en sortie de ballon d'ECS sur 24 h obtenu est de 1,67 contre 0,64 pour le profil S de 2,1 kWh, pour les mêmes conditions d'essai.

En effet, plus la consommation diminue, plus le poids de la consommation de veille de la PAC, des pertes thermiques du ballon d'ECS et des pertes de distribution d'ECS devient important par rapport à l'énergie utile soutirée, comme le montre la (Figure 19).

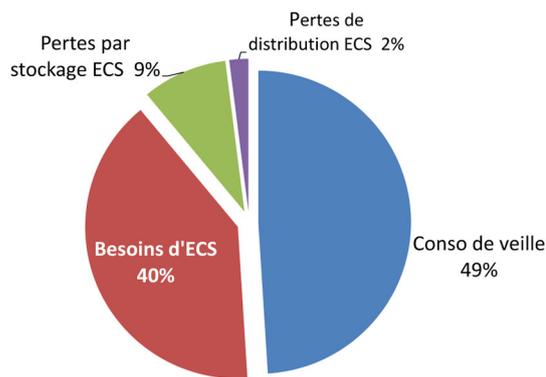
D'autre part, le COP en sortie de PAC, durant les phases de réchauffage est également plus faible lorsque le volume soutiré diminue. Il est de 4,13 pour le profil L' et de 3,42 pour le profil S. Au moment du réchauffage, tout le ballon est rempli d'eau froide dans le cas du soutirage L' contre seulement 35% environ pour le profil S, d'où des températures moyennes de l'eau dans le ballon plus faibles et de meilleures performances de la PAC pour le profil L'.

En mode ECS seule, le poids de la consommation de veille augmente lorsque les besoins d'ECS diminuent

Répartition de l'énergie électrique consommée de 3,2 kWh pour le 6^{ème} essai avec le profil S



Répartition de l'énergie électrique consommée de 4,3 kWh pour le 3^{ème} essai avec le profil L'



▲ Figure 19 : Répartition des consommations d'énergie électrique estimées pour deux essais identiques, excepté le profil de soutirage, en mode ECS seule

En hiver, par contre le COP varie peu en fonction des besoins d'ECS

En sortie de PAC, le COP pour le réchauffage d'ECS est similaire entre un profil M (de 5,9kWh) et L' (de 7,2kWh) pour les essais en mode double-service. Il est d'environ 3,15.

En sortie de ballon d'ECS, le COP est de 2,36 pour le profil M et de 2,5 pour le profil L'. Le COP en sortie de ballon un peu moins élevé pour le profil M s'explique par un poids plus important des pertes par stockage et des pertes par la distribution d'ECS.

L'impact important des consommations durant les phases d'arrêt observé en été n'existe plus en hiver. Lorsque la PAC ne produit pas d'ECS, elle assure le chauffage.

Les COP obtenus en sortie de ballon d'ECS en hiver sont nettement supérieurs à ceux observés en été

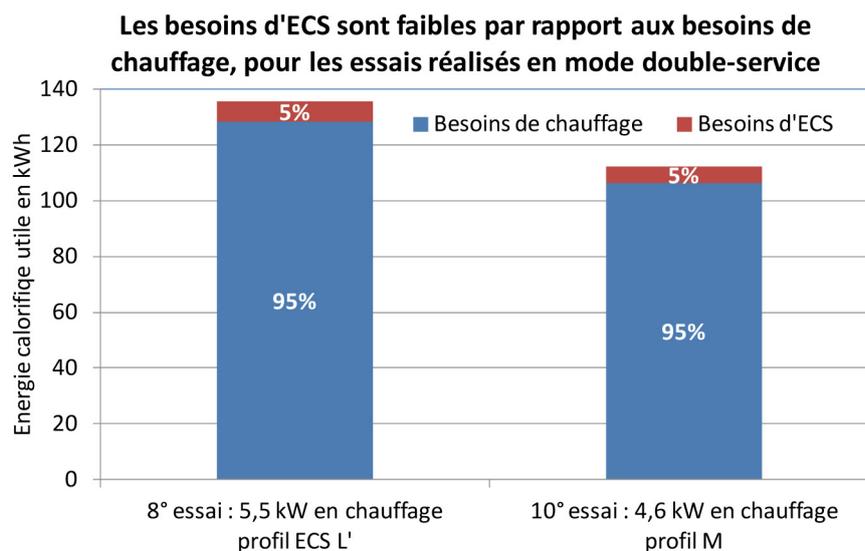
Les COP en sortie de ballon sur 24 h varient de 1,87 à 2,50 pour les essais en double-service (hiver) contre 0,64 à 1,67 pour les essais en fonctionnement ECS seule (été). En effet, la diminution importante des COP journaliers observée en été pour la production d'ECS, provoquée par les consommations de veille durant les phases d'arrêt, n'existe plus en hiver. Lorsque la PAC ne produit pas d'ECS, elle assure le chauffage.

Le COP en sortie de PAC durant les phases de réchauffage du ballon d'ECS est généralement proche de celui observé sur les phases de chauffage

Les températures en sortie de PAC pour le chauffage, de 42 à 65°C selon les essais, se rapprochent des températures moyennes pour le réchauffage du ballon d'ECS, de 55°C environ, d'où des performances généralement proches.

Assurer la production d'ECS en plus du chauffage ne dégrade pas le COP global de la PAC en hiver pour les différents points d'essais

Au final, les COP globaux obtenus pour le chauffage et l'ECS sont peu affectés par les performances de la PAC en mode ECS. En effet, l'ECS représente une faible part de l'énergie totale. Par exemple, pour l'essai de référence, l'énergie calorifique produite par la PAC est de 140 kWh pour le chauffage et de 8 kWh pour l'ECS, soit 5% de l'énergie totale.



▲ Figure 20 : Répartition des besoins de chauffage et d'ECS pour le profil L' et M en mode double-service (8^{ème} et 10^{ème} essais).



D'autre part, produire de l'ECS avec la PAC n'affecte pas les performances de la PAC en chauffage. Les phases transitoires après les périodes de réchauffage d'ECS durant lesquelles la PAC se remet à assurer le chauffage sont très courtes par rapport aux périodes de chauffage, voir (Figure 24) et n'ont pas d'impact sur le COP de la PAC pour le chauffage.

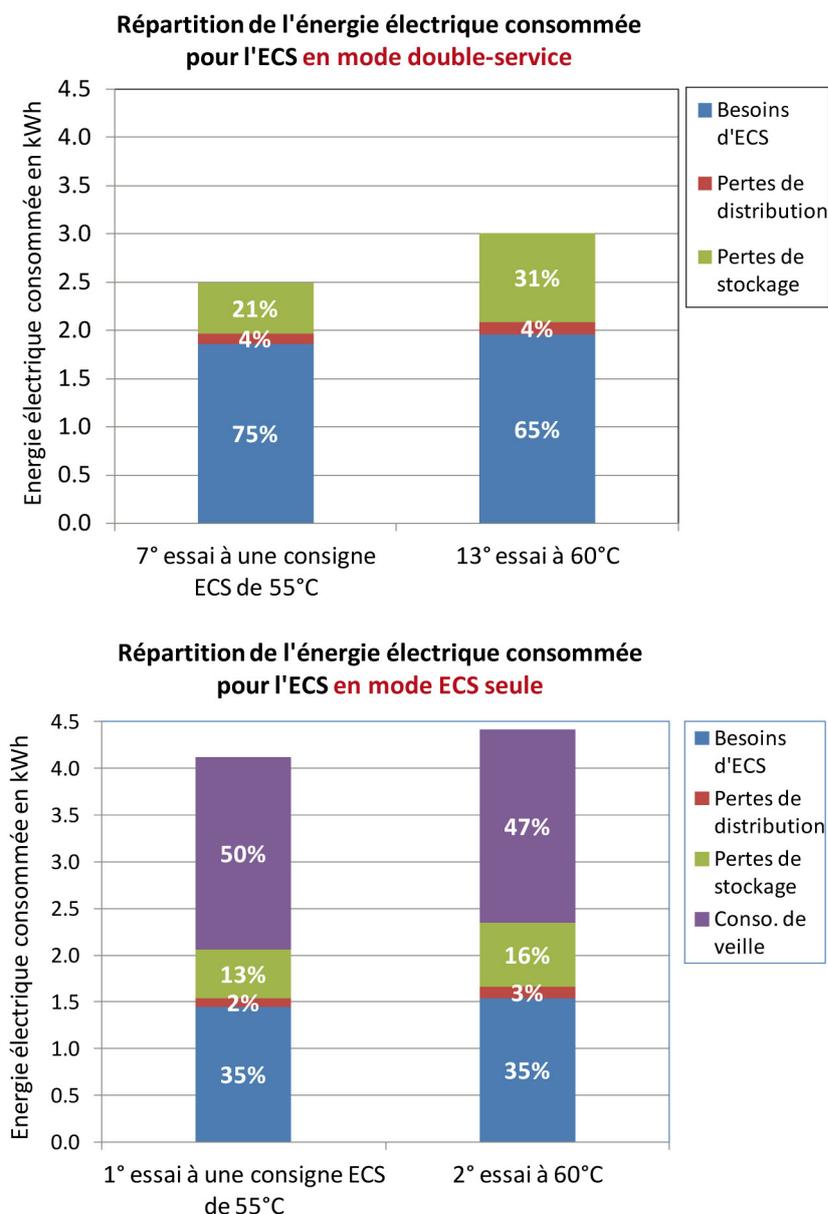
La température de consigne de la production d'ECS influe sur les performances

Opter pour une température de consigne de 60°C au lieu de 55°C diminue les COP.

En sortie de PAC durant la période de réchauffage d'ECS, pour les essais en mode double-service, le COP passe de 3,16 à 3,03 soit une diminution de 4%. En sortie de ballon d'ECS pour les mêmes essais, le COP obtenu sur 24 h diminue de 2,36 à 1,97 soit -17%. Ces résultats montrent que cette dégradation des performances globales est essentiellement due à l'augmentation des pertes thermiques du ballon d'ECS. L'impact de la diminution de la performance de la PAC pour le réchauffage du ballon d'ECS liée à l'augmentation de la consigne est plus faible.

En été, la dégradation du COP en sortie de ballon sur 24h provoquée par une consigne de 60°C au lieu de 55°C est de seulement 6%. Ce pourcentage est plus faible compte-tenu du poids important des consommations de veille en été, comme l'illustre la (Figure 21).

Augmenter la température de consigne d'ECS engendre surtout une augmentation des pertes par stockage d'ECS



▲ **Figure 21** : Répartition des consommations d'énergie électrique pour deux essais dans des conditions identiques (profil de puisage M) excepté la température de consigne de production d'ECS de 55 ou 60°C en mode double-service et ECS seule

L'augmentation du nombre de réchauffages du ballon d'ECS engendre une diminution des performances et une augmentation des temps de chauffe du ballon limités

Le nombre de réchauffages du ballon d'ECS est conditionné par le paramétrage de la régulation de l'ECS.

Pour une même capacité d'ECS, réaliser un seul réchauffage nocturne améliore les résultats en comparaison du mode non asservi qui entraîne 2 à 3 réchauffages de l'ECS par jour, selon le différentiel réglé.



Ainsi en mode double-service pour le profil M, avec une température extérieure sèche de 2°C et une humidité relative de 90% :

- Dans le cas d'un seul réchauffage nocturne, la durée de chauffe du ballon d'ECS est de 35 minutes et le COP en sortie de ballon d'ECS est de 2,36 ;
- Dans le cas où le réchauffage n'est pas asservi à une programmation horaire et où le différentiel est de 5 K (ce qui correspond à un enclenchement du réchauffage du ballon d'ECS à 50°C et à un arrêt à 55°C), 3 réchauffages se produisent. La durée totale des réchauffages est de 40 minutes et le COP en sortie de ballon d'ECS de 2,05.

Entre ces deux cas, l'écart sur le COP est d'environ 15%. En effet, au moment du réchauffage, pratiquement tout le ballon est rempli d'eau froide dans le 1^{er} cas contre seulement 1/4 environ dans le 2^{ème} cas, d'où des températures moyennes de l'eau dans le ballon plus faibles et de meilleures performances de la PAC dans le 1^{er} cas. Dans ce cas, les pertes par stockage du ballon d'ECS sont également plus faibles.

En mode « été », pour des conditions d'essais similaires, un écart d'environ 20% du COP est observé entre ces deux cas.

En ce qui concerne les durées totales de réchauffage de l'ECS, elles sont environ 15 à 20% plus longues dans le 2^{ème} cas.

Toutefois, un nombre de réchauffage de l'ECS plus important en hiver permet de fractionner les durées d'arrêt du chauffage et d'avoir une baisse des températures ambiantes plus faibles. La durée d'un seul réchauffage en hiver passe ainsi de 40 minutes dans le cas d'un asservissement nocturne à une quinzaine de minutes dans le cas de 3 réchauffages, comme indiqué (Figure 22).

Profil de puisage M de 5.9 kWh			Premier réchauffage de l'ECS		Deuxième réchauffage de l'ECS		Troisième réchauffage de l'ECS		Durée totale du réchauffage de l'ECS
			Début	Durée	Début	Durée	Début	Durée	
Un seul réchauffage nocturne	1 ^{er} essai de référence en « été »	1h	40 min						40 min
	7 ^{ème} essai de référence en « hiver »	1h	35 min						35 min
Réchauffage non asservi	Différentiel ECS de 10 K	Essai « été »	9 h	18 min	21h	21 min			39 min ⁽¹⁾
		Essai « hiver »	10h30	16 min	21h30	26 min ⁽²⁾			42 min
	Différentiel ECS de 5 K	Essai « été »	8h30	17 min	18h30	17 min	22h30	18 min	52 min
		Essai « hiver »	9h20 ⁽³⁾	12 min	19h	13 min	22h30	15 min	40 min

(1) A la fin de cet essai, toute l'eau du ballon n'est pas chaude contrairement aux autres essais. Les durées ne sont donc pas totalement comparables.

(2) Le réchauffage d'ECS intervient juste après un dégivrage, d'où une durée plus longue

(3) Un dégivrage est observé au cours du réchauffage du ballon d'ECS et augmente donc sa durée

▲ Figure 22 : Heures d'enclenchement du réchauffage du ballon d'ECS et durées de chauffe pour des essais dans des conditions identiques, excepté l'asservissement et le différentiel réglé

En été, les temps de réchauffage sont un peu plus longs qu'en hiver car au début du réchauffage du ballon d'ECS, la PAC à l'arrêt se remet à fonctionner et le circuit remonte en température, voir (Figure 24).

En été, le gain sur la facture énergétique lié à un réchauffage de l'ECS uniquement en heures creuses est faible.

Sur un plan économique, le gain sur la facture énergétique en été, hors coût d'abonnement, engendré par le choix d'un seul réchauffage nocturne du ballon d'ECS au lieu d'un mode non asservi est faible, car les consommations d'ECS sont peu élevées. Opter pour un seul réchauffage nocturne par jour ne justifie pas le choix d'un tarif heures creuses/heures pleines dont l'abonnement est plus élevé.

Le tableau (Figure 23) présente les résultats obtenus en considérant :

- Un coût du kWh de 0,1287 € TTC pour le tarif option de base (tarif du 01/06/2013).
- Un cout du kWh de 0,0964 €TTC en heures creuses et de 0,1391 € TTC en heures pleines (tarif du 01/06/2013).
- Des heures creuses de 23 h à 7 h du matin,
- Une consommation journalière d'ECS identique chaque jour correspondant au profil M de 5,9 kWh/jour soit 112 litres à 55°C. Cette consommation se rapproche de la consommation moyenne d'une famille de 3 personnes.
- Une période d' « été », hors saison de chauffe, de 138 jours.

	Consommation journalière totale	Consommation en heures creuses par rapport à la consommation totale	Coût hors abonnement pour la production d'ECS pour les 138 jours hors saison de chauffe
Cas d'un seul réchauffage nocturne (1 ^{er} essai)	4,1 kWh	66%	63 € TTC pour un tarif HC/HP 73 € TTC pour un tarif de base
Cas de 3 réchauffages par jour (5 ^{ème} essai)	5 kWh	15%	89 € TTC pour un tarif de base

▲ Figure 23 : Valeurs obtenues par extrapolation des résultats d'essais

Dans le cas d'un seul réchauffage nocturne, entre un tarif heures creuses/heures pleines et un tarif de base, le gain est de seulement 10 € TTC, hors prise en compte du surcout de l'abonnement, pour les 138 jours en dehors de la saison de chauffe. La consommation de veille entraîne une consommation d'énergie électrique importante durant les heures pleines qui limite le gain.

Entre un réchauffage nocturne avec le tarif heures creuses/heures pleines et trois réchauffages par jour avec le tarif de base, le gain est de 26 € TTC.



Le surcout de l'abonnement annuel pour l'option heures creuses/heures pleines est de 49 € TTC pour une puissance souscrite de 12 kW et de 63 € TTC pour une puissance de 15 kW (tarif au 01/06/2013).

L'emplacement du ballon d'ECS influe sur les performances

La température du local dans lequel est placé le ballon a un impact sur les performances en ECS.

Le COP en sortie de ballon d'ECS sur 24 heures est plus faible dans le cas d'une ambiance autour du ballon d'ECS de 16°C au lieu de 20°C (8^{ème} et 6^{ème} essai). Il est de 1,87 contre 2,05, soit un écart de 9%. Les pertes par stockage sont dans ce cas plus élevées.

Les temps de réchauffage du ballon sont également allongés. Ils sont de 44 minutes contre 40 minutes, soit 9% de plus.

Dans les deux cas, trois réchauffages du ballon d'ECS se produisent. Ils sont réalisés un peu plus tôt dans le cas d'une ambiance à 16°C (vers 8h30 pour le 1^{er}, 18h30 pour le 2^{ème} et 22h pour le 3^{ème}).

La puissance calorifique moyenne de la PAC au cours du réchauffage d'ECS est proche de sa puissance nominale

Après une phase de démarrage, la puissance calorifique de la PAC pour le réchauffage de l'ECS est maintenue aux environs de 14 kW, pour l'essai de référence en mode ECS seule. L'écart de température à ses bornes est d'environ 10 K. A la fin du réchauffage, la puissance chute aux environs de 12 kW, lorsque la température du ballon d'ECS atteint approximativement 50°C. En moyenne, la puissance calorifique sur toute la période de réchauffage est de 12,5 kW, la puissance nominale de cette PAC « Inverter » annoncée par le constructeur étant de 11 kW.

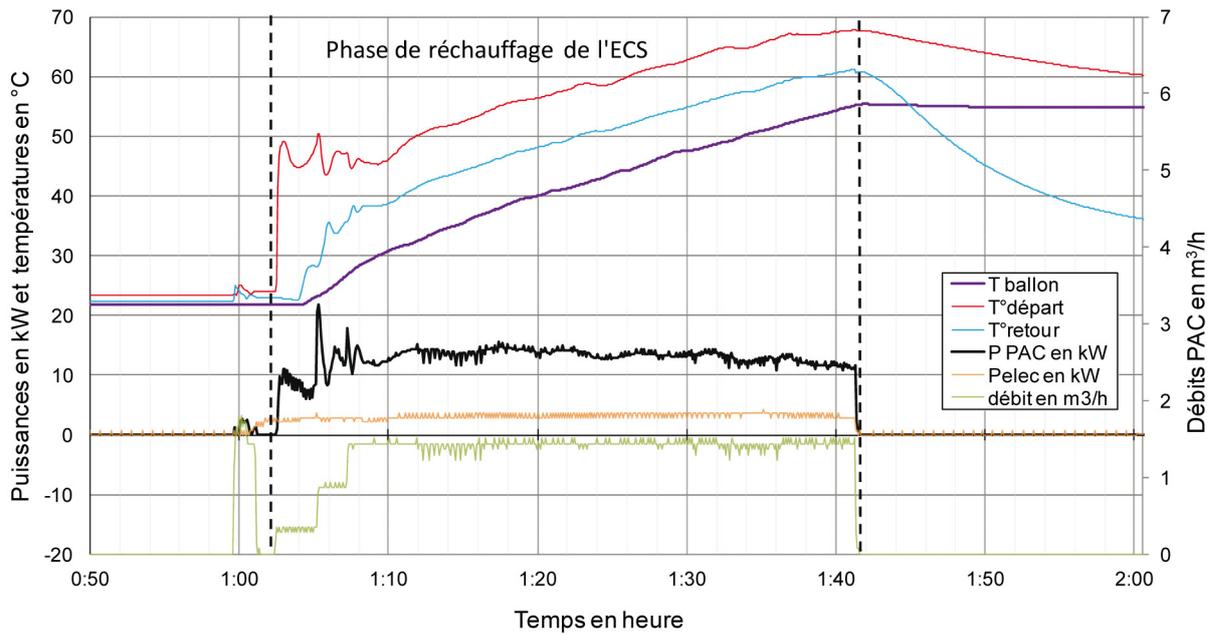
Durant le réchauffage du ballon d'ECS, la température de départ en sortie de PAC varie progressivement de 24 à 68°C. Elle est en moyenne de 56°C.

L'énergie utile soutirée est de 5,9 kWh ce qui correspond à un volume de 140 litres à 55°C, pour une eau froide à 19°C (température de l'eau froide lors des essais). En réalité, le volume soutiré est de 176 litres compte-tenu des pertes de stockage et de distribution d'ECS. Pour le dernier soutirage à 21h30, l'ECS soutirée n'est plus qu'à 45°C en moyenne, contre environ 55°C lors des premiers soutirages vers 7h00.

La phase de réchauffage du ballon d'ECS observée sur les essais en mode double-service (Figure 25) est assez similaire à celle décrite pour l'essai de référence en été, excepté les températures de départ et de retour qui sont plus élevées au début de cette phase.

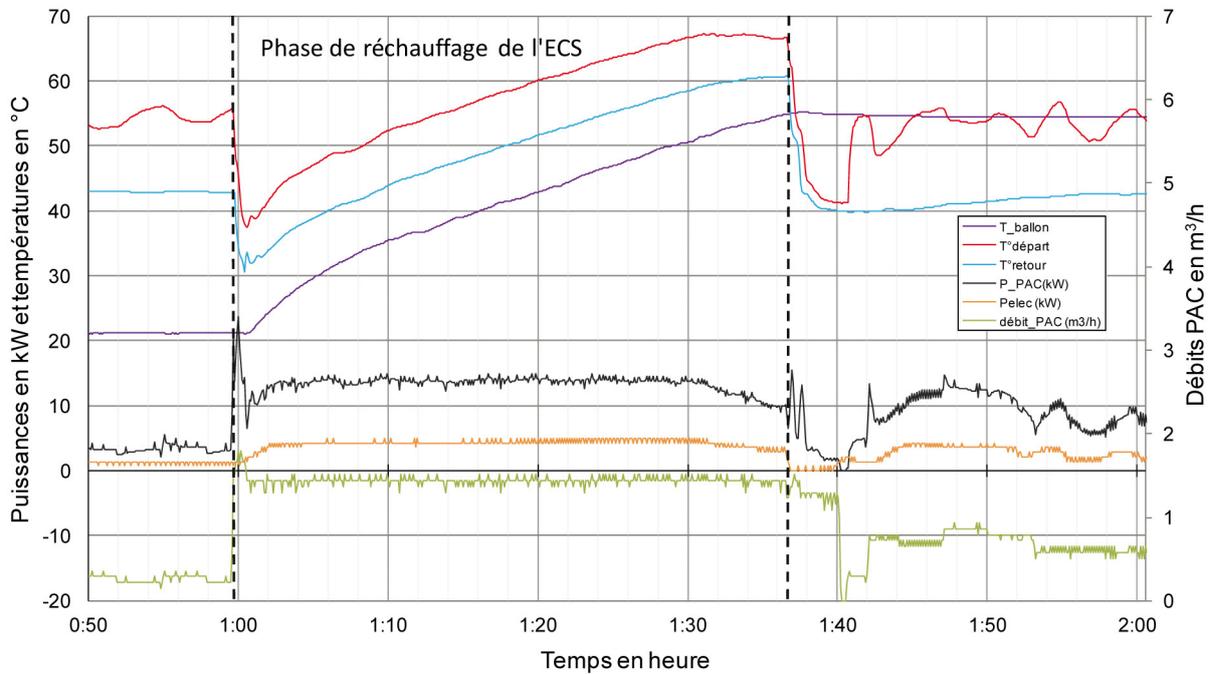


Evolution des températures et puissances durant le réchauffage du ballon d'ECS lors de l'essai de référence en mode ECS seule



▲ **Figure 24** : Evolution des températures en milieu de ballon (Tballon), en départ (T départ) et en retour (Tretour) de PAC, des puissances calorifiques (P PAC) et électriques (P elec) de la PAC ainsi que du débit au cours du réchauffage du ballon d'ECS obtenue pour l'essai de référence en mode ECS seule (25°C extérieur, profil M, réchauffage nocturne et consigne d'ECS de 55°C).

Evolution des températures et puissances durant le réchauffage du ballon d'ECS enregistrées lors de l'essai de référence en mode double-service

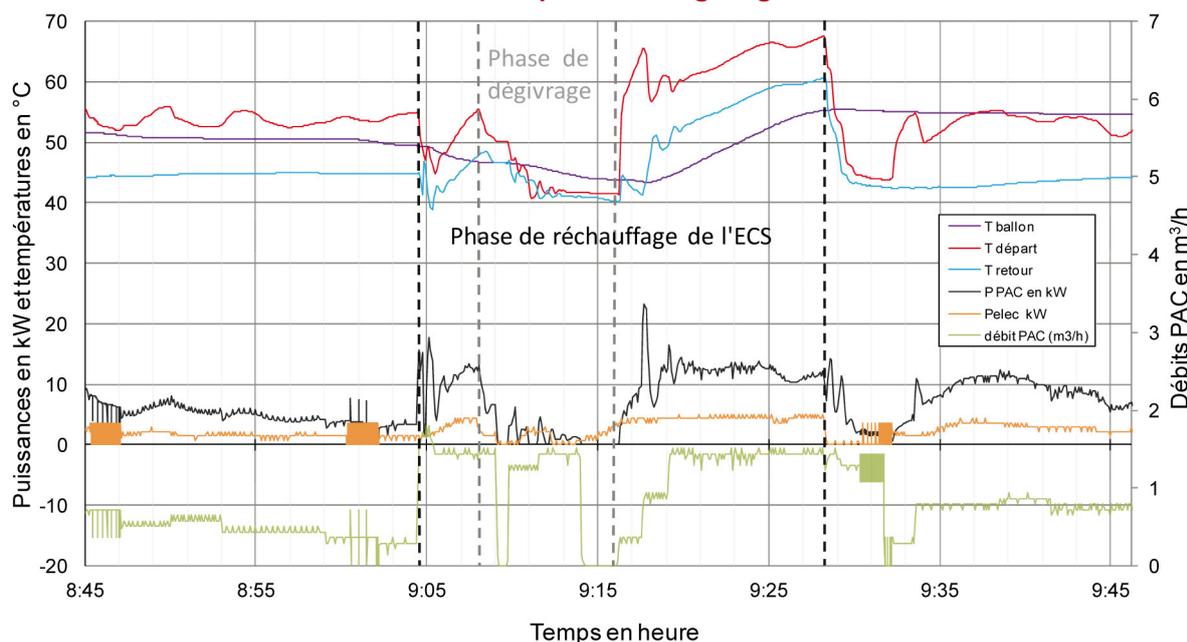


▲ **Figure 25** : Evolution des températures en milieu de ballon (Tballon), en départ (T départ) et en retour (Tretour) de PAC, des puissances calorifiques (P PAC) et électriques (P elec) de la PAC ainsi que du débit au cours du réchauffage du ballon d'ECS obtenue pour l'essai de référence en mode double-service (2°C extérieur, profil M, réchauffage nocturne, consigne d'ECS de 55°C, consigne de température de départ chauffage de 50°C).



Un dégivrage au cours du réchauffage de l'ECS est observé seulement sur le 12^{ème} essai. Cette phase qui ne dure qu'environ 6 minutes vient se rajouter au temps de réchauffage du ballon. Au cours de cette phase de dégivrage, les températures de départ et de retour de la PAC chutent et l'écart de température entre le départ et le retour devient pratiquement nul comme le montre la (Figure 26). La température mesurée au milieu du ballon, un peu au-dessus de son échangeur, chute légèrement.

Evolution des températures et puissances durant le réchauffage du ballon d'ECS enregistrées lors du 6^{ème} essai en mode double-service avec une phase de dégivrage



▲ **Figure 26** : Evolution des températures en milieu de ballon (Tballon), en départ (T départ) et en retour (Tretour) de PAC, des puissances calorifiques (P PAC) et électriques (P elec) de la PAC ainsi que du débit au cours du réchauffage du ballon d'ECS obtenue pour le 12^{ème} essai en hiver (2°C extérieur, profil M, réchauffage non asservi, consigne d'ECS de 55°C, consigne de température de départ chauffage de 50°C) qui comporte une phase de dégivrage. La durée du réchauffage de l'ECS est plus courte que pour l'essai de référence compte-tenu du non asservissement de ce réchauffage à une programmation horaire.

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOV) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSFA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



PRODUCTION D'EAU CHAUDE
SANITAIRE INDIVIDUELLEPERFORMANCE DES APPAREILS
DOUBLE SERVICE

OCTOBRE 2013

Ce rapport d'étude présente les résultats des essais réalisés sur une chaudière murale gaz à condensation et une pompe à chaleur double-service afin de déterminer leurs performances pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS). Dans les logements basse consommation, l'ECS devient souvent un poste énergétique prédominant par rapport au chauffage. Or les performances énergétiques des appareils de production d'ECS sont méconnues. C'est le cas notamment pour les chaudières à condensation et les PAC double-service. Diverses questions se posent quant aux performances énergétiques de ces appareils : Les rendements ou les COP pour la production d'ECS peuvent-ils être déduits des valeurs nominales indiquées en mode chauffage seul ? Assurer le chauffage et l'ECS avec un même générateur conduit-il à une dégradation des performances en chauffage ? Les besoins d'ECS par nature très variables impliquent-ils des variations importantes du rendement ou du COP en ECS ? Le réglage de la température de consigne d'ECS et d'autres paramètres, tels que le différentiel pour la production d'ECS, influent-ils de manière importante sur les performances ?

L'approche adoptée dans cette étude pour apporter des éléments de réponses à ces questions a consisté à mener des essais. Une étude de cas a été également effectuée.



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

