

CHANGEMENT DU GÉNÉRATEUR DE CHAUFFAGE : IMPACTS DU DIMENSIONNEMENT

HABITAT INDIVIDUEL

DECEMBRE 2021



AVANT-PROPOS

Avec le programme PROFEEL, la filière Bâtiment s'est rassemblée pour répondre collectivement aux défis de la rénovation énergétique. 16 organisations professionnelles ont été à l'initiative de cette démarche et, continuent aujourd'hui à la porter activement.

PROFEEL se compose concrètement de 9 projets, positionnés sur trois grands enjeux : favoriser le déclenchement des travaux de rénovation, garantir la qualité des travaux réalisés et consolider la relation de confiance entre les professionnels. Ces projets s'appuient sur l'innovation, qu'elle soit technique ou numérique, afin de mieux outiller les professionnels du bâtiment, d'améliorer les pratiques sur le marché de la rénovation énergétique et de garantir la qualité des travaux réalisés. Ces outils permettront d'accompagner les acteurs durant toutes les étapes d'un projet de rénovation : en amont, pendant et après les travaux.

Dans le cadre du projet BONNES PRATIQUES, un des 9 projets PROFEEL, 14 nouveaux outils pratiques sont développés pour accompagner les professionnels dans la conception, la mise en œuvre et la maintenance de solutions techniques, clés ou innovantes de rénovation énergétique. Cette nouvelle collection d'outils s'inscrit dans la continuité des référentiels techniques produits dans le cadre de précédents programmes portés par la filière Bâtiment : PACTE et RAGE.

Le présent document est le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.

Pour plus d'information : <https://programmeprofeel.fr/>

PARTENAIRES PROFEEL :

Pouvoirs Publics



Porteurs



Financiers



Filière Bâtiments

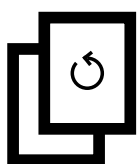


PROFEEL, un programme financé par le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE)



SOMMAIRE

①	QUE TROUVE-T-ON DANS CE GUIDE ?	4
②	QUELLES SONT LES RÈGLES DE RÉFÉRENCE POUR LE DIMENSIONNEMENT DES GÉNÉRATEURS ?	5
③	QUEL EST L'IMPACT DES CHOIX ADOPTÉS LORS DU CHANGEMENT DE GÉNÉRATEUR DE CHAUFFAGE ?	12
④	RÉFÉRENCES	42



VERSION
Initiale

DATE DE LA PUBLICATION
Décembre 2021

MODIFICATIONS

1

QUE TROUVE-T-ON DANS CE GUIDE ?

Ce guide, destiné aux professionnels, traite de l'impact des choix de conception faits lors du changement de générateur de chauffage en maison individuelle. Mon client souhaite changer son générateur :

- Je le remplace par un appareil de même puissance ?
- Y a-t-il un intérêt à recalculer la puissance du nouveau générateur ?
- J'opte pour deux appareils indépendants pour le chauffage et pour l'ECS ou bien pour un générateur assurant à la fois le chauffage et la production d'ECS ?
- J'installe des planchers-chauffants, des radiateurs à basses températures ?
- Quel est l'impact de ces choix vis-à-vis des consommations d'énergie ainsi que sur d'autres aspects : confort thermique et ECS, risque sanitaire, pérennité du générateur, pollution atmosphérique, ... ?

Voici les principales questions auxquelles ce guide apporte des réponses à travers des exemples, après un rappel des règles de dimensionnement.

Les générateurs visés sont :

- Les chaudières gaz à condensation.
- Les pompes à chaleur (PAC) air/eau.
- Les chaudières à granulés.
- Les poêles à granulés.

Le changement de générateur peut être réalisé ou non dans le cadre d'une rénovation thermique du bâti.

QUEL EST L'IMPACT DES CHOIX DE CONCEPTION FAITS LORS DU CHANGEMENT DE GÉNÉRATEUR ?



FIGURE 1

Ce guide, qui s'adresse aux professionnels, apporte des réponses à travers des exemples, à différentes questions qui se posent lors du changement d'un générateur en maison individuelle, vis-à-vis notamment de la performance énergétique des générateurs : Je mets un générateur de même puissance ? Quel gain si j'installe des planchers-chauffants ou des radiateurs à basses températures ? Faut-il opter pour des appareils indépendants pour la production d'ECS ou de chauffage ? ...

2

QUELLES SONT LES RÈGLES DE RÉFÉRENCE POUR LE DIMENSIONNEMENT DES GÉNÉRATEURS ?

Dans ce chapitre sont rappelées les règles de références (normes, NF DTU, Recommandations, ...) pour le dimensionnement des PAC air/eau, des générateurs gaz, des

chaudières et poêles à granulés ainsi que pour le calcul des déperditions.

2 1

LE CALCUL DES DÉPERDITIONS

Quel que soit le générateur de chauffage, son dimensionnement nécessite de connaître les déperditions des volumes chauffés. Les méthodes de calcul des déperditions sont décrites dans la norme NF EN 12831-1. Pour les pompes à chaleur (PAC), le NF DTU 65.16 P1-1 impose l'application de cette norme pour déterminer les déperditions afin de dimensionner la PAC.

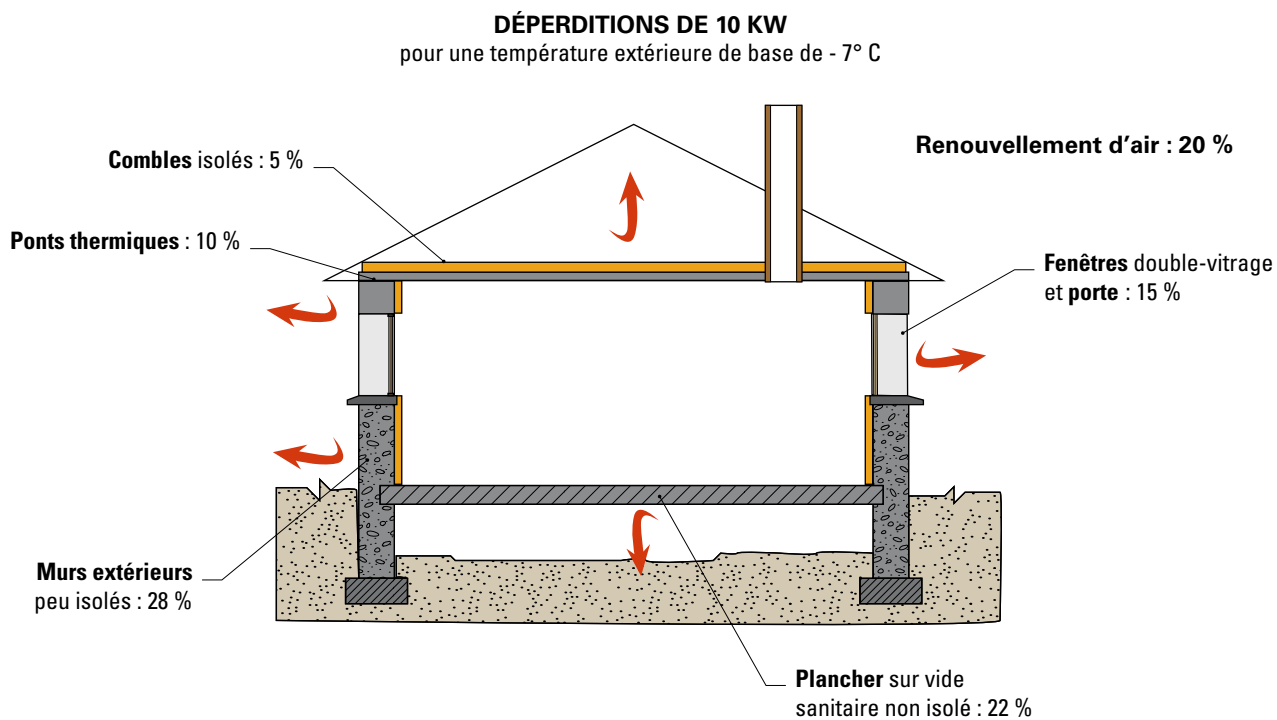
Comme l'illustre la figure ci-après, ces déperditions se décomposent en :

- Déperditions surfaciques à travers les parois (murs, fenêtres, portes, plancher bas, plancher haut ou toit).
- Déperditions linéiques au niveau des liaisons des différentes parois, par exemple entre le mur extérieur et le plancher.
- Déperditions par renouvellement d'air par la ventilation mécanique ou naturelle et par les infiltrations (jointures des huisseries des fenêtres, des portes, ...).

Les apports solaires ainsi que les apports internes liés aux occupants et aux appareils (éclairage, cuisine, ...) ne sont pas pris en compte.

Les déperditions sont calculées pour la température extérieure de base du lieu définie dans le complément national à la norme NF EN 12831, référencé NF P 52-612/CN [actuellement non remis à jour, à la suite de la révision de la norme NF EN 12831 en 2017].

EXEMPLE DE RÉSULTATS DE CALCULS DES DÉPERDITIONS OBTENUS À PARTIR DE L'OUTIL DÉVELOPPÉ POUR LES PAC
DANS LE CADRE DE PROFEEL

**FIGURE 2**

Exemple de répartition des déperditions obtenue pour l'exemple de référence illustrant ce guide, à partir de l'outil de calcul pour les PAC, développé dans le cadre de PROFEEL. Cet outil pour ordinateur, tablette ou smartphone, téléchargeable librement, permet, notamment, de réaliser un calcul des déperditions selon une approche simplifiée de la norme NF EN 12831-1.

2

2

LES RÈGLES DE DIMENSIONNEMENT

2.2.1 PAC AIR/EAU

Les PAC air/eau doivent être dimensionnées selon les règles du NF DTU 65.16 P1-1, récapitulées dans les tableaux ci-après.

NOTE



La puissance de la PAC est déterminée par rapport aux besoins de chauffage à la température extérieure de base et non en fonction des besoins d'ECS même si elle assure également la production d'ECS.

PAC air/eau



Fonctionnement avec appoint
(électrique, hydraulique ou autre)

PAC

Installation neuve dans des locaux neufs ou existants ou substitution

PAC fonctionnant en tout ou rien :
Puissance PAC (P_{PAC}) : entre 70 et 100 % des déperditions à la température extérieure de base.

PAC avec variation de puissance (inverter, multi-compresseur) :

- pour une maison avec une inertie moyenne à très lourde :
 P_{PAC} : entre 70 et 100 % des déperditions
- pour une maison avec une inertie légère :
 P_{PAC} : entre 80 et 100 % des déperditions

Appoint

 $P_{PAC + appoint} \geq 1,2 \times \text{Déperditions}$

Installation existante - relève

Fonctionnement avec
chaudière en relève d'une PAC

PAC

Pas de règle

Appoint

 $P_{chaudière} \geq 1,2 \times \text{Déperditions}$

TABLEAU 1

Les règles de dimensionnement des PAC air/eau du NF DTU 65.16 P1-1. Une méthode pour déterminer l'inertie des locaux est donnée en annexe de ce NF DTU.

COMMENT FAIRE



Le dimensionnement des PAC air/eau, en rénovation, peut-être réalisé à l'aide de l'outil de calcul des PAC développé dans le cadre de PROFEEL (outil pour ordinateur, tablette ou smartphone, téléchargeable librement).

En plus du calcul des déperditions, cet outil permet de déterminer le régime d'eau des émetteurs optimal vis-à-vis des performances énergétiques, à partir de la connaissance des puissances des émetteurs installés.

C'est également un outil d'aide pour l'étude de faisabilité et l'estimation des consommations prévisionnelles.

Le NF DTU 65.16 P1-1 traite aussi du dimensionnement du **ballon d'ECS**, dans le cas d'une PAC assurant également la production d'ECS. Il spécifie les consommations d'ECS journalières à considérer pour déterminer la capacité du ballon en fonction du nombre d'occupants de la maison et de la stratégie de programmation du réchauffage de l'ECS adoptée.

Il impose également pour limiter les risques d'inconfort, que la puissance de la PAC, à la température extérieure de

base, permette de produire les besoins d'ECS, à la température de consigne choisie :

- En moins de 3 h dans le cas d'un réchauffage de l'ECS uniquement en période nocturne.
- En moins de 1,5 h dans les autres cas.

Il exige par ailleurs la présence d'un appoint dimensionné pour couvrir à lui seul les besoins d'ECS journaliers.

2.2.2 CHAUDIÈRES GAZ POUR LE CHAUFFAGE SEUL

Il n'existe pas de DTU pour le dimensionnement de ces générateurs. Dans la pratique, il est constaté que la puissance est généralement prise égale à 1,2 fois les déperditions.

La norme de référence NF EN 12831-1 recommande d'éviter le plus possible de surdimensionner le générateur. Elle indique des valeurs par défaut de surpuissance qui peuvent être ajoutées aux déperditions dans certains cas, pour la remontée en température après un ralenti. Ces valeurs sont fonction de plusieurs paramètres : surface de

plancher, taux de renouvellement d'air, temps de réchauffage souhaité, inertie et abaissement de température réalisé. Ainsi, pour la maison prise comme exemple de référence dans ce guide, la valeur par défaut du coefficient de surpuissance obtenue est d'environ 1,2.

Le complément national de cette norme NF P 52-612/CN qui précisait les valeurs applicables pour la France n'a pas été remis à jour, actuellement, à la suite de la révision de cette norme en 2017.

AUCUNE RÈGLE DE RÉFÉRENCE ACTUELLEMENT NE DÉFINIT LA SURPUISSANCE À AJOUTER OU NON POUR LE DIMENSIONNEMENT DES CHAUDIÈRES GAZ, EN FRANCE

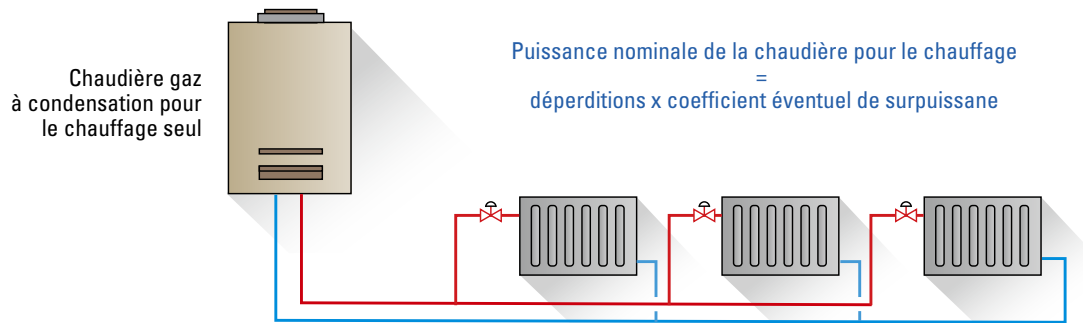


FIGURE 3

La norme européenne de référence NF EN 12831-1 indique que, dans de nombreux cas, l'application d'un coefficient de surpuissance pour la remontée en température après un ralenti n'est pas nécessaire ; par exemple si la température baisse peu durant le ralenti compte tenu du niveau d'isolation important de la maison. A noter également que les conditions de température extérieure de base sont très peu rencontrées.

2.2.3 CHAUDIÈRE GAZ POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS

Pour les chaudières gaz assurant le chauffage et la production d'ECS, la puissance requise pour l'ECS est généralement supérieure à la puissance nécessaire pour le chauffage. C'est donc très souvent la puissance pour la production d'ECS qui est dimensionnante.

Pour l'ECS, les générateurs gaz sont choisis de manière à satisfaire des exigences de débit spécifique fixées en fonction des appareils sanitaires de la maison. Les exigences de débit spécifique indiquées dans le tableau ci-après sont les valeurs spécifiées dans le référentiel NF habitat & NF habitat HQE™.

Le débit spécifique d'ECS d'un générateur est une caractéristique propre à chaque produit, mesurée selon la norme NF EN 13203-1 pour les chaudières à gaz. C'est le débit maximal que peut fournir un appareil avec une élévation de température moyenne de 30 K, au cours de deux puisages successifs. La durée de ces deux puisages est de 10 minutes, avec un temps d'attente de 20 minutes entre chaque puisage.

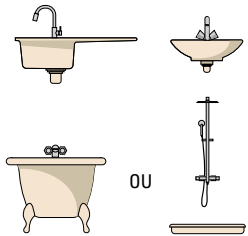
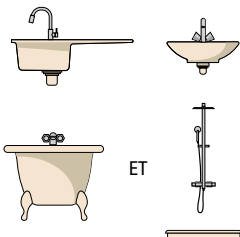
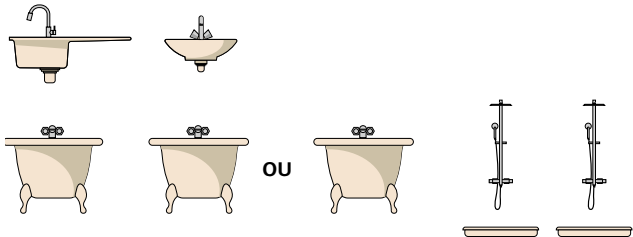
Appareils sanitaires de la maison		Débits spécifiques minimaux ($\Delta T=30K$)
Un évier, un lavabo une baignoire ou une douche		12 l/min
Au moins un évier un lavabo, une baignoire et une douche		14 l/min
Au moins un évier, un lavabo, deux baignoires (ou une baignoire et deux douches)		16 l/min
		

TABLEAU 2 Les exigences de débits spécifiques minimaux requis en ECS spécifiées dans la méthode de dimensionnement de référence de la certification NF Habitat & NF Habitat HQE™

Le débit spécifique dépend de la capacité de stockage et de la puissance du générateur. Le tableau ci-après présente, à titre d'illustration, des exemples de valeurs pour différents types de chaudières assurant le chauffage et la production d'ECS.

Débit spécifique en l/min	Exemples de puissances minimales d'ECS et volumes requis pour des chaudières assurant le chauffage et la production d'ECS		
	Chaudières instantanées ou micro-accumulées	Chaudières associées à un ballon	
12 l/min	25 kW		
14 l/min	29 kW	25 kW + 15 l	
16 l/min		22 kW + 50 l	20 kW + 80 l
20 l/min		35 kW + 50 l	15 kW + 125 l
22 l/min			22 kW + 120 l

TABLEAU 3 Exemples de solutions permettant de satisfaire les débits spécifiques d'ECS indiqués

2.2.4 CHAUDIÈRES À GRANULÉS

D'après les règles de dimensionnement des Recommandations PROFEEL sur ces générateurs, la puissance de la chaudière à granulés doit être **égale ou légèrement supérieure aux déperditions** thermiques de la maison,

même si elle assure également la production d'ECS. Il n'est pas recommandé de surdimensionner d'avantage afin notamment de limiter les fonctionnements en séquences marche-arrêt.

LES RÈGLES DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUDIÈRES À GRANULÉS ET DES ÉQUIPEMENTS ASSOCIÉS (SILO, BALLON, ...) SONT SPÉCIFIÉES DANS LES RECOMMANDATIONS PROFEEL SUR CES APPAREILS

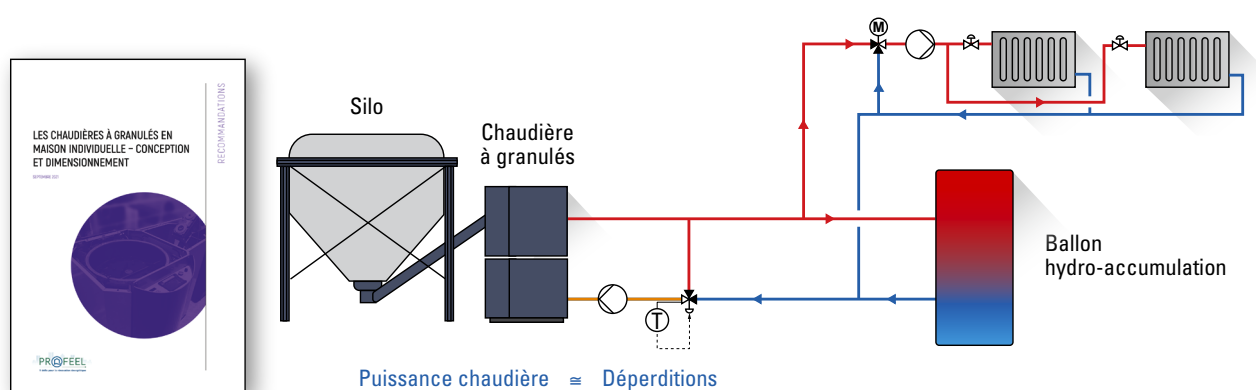


FIGURE 4 Les installations avec des chaudières à granulés, en maison individuelle existante, font l'objet de trois Recommandations PROFEEL. Les premières portent sur les règles de conception et de dimensionnement de l'ensemble des composants de l'installation (chaudière, silo, ballon à hydro-accumulation, ballon de production d'ECS, vase d'expansion fermé, vanne de régulation, circulateur). Les secondes traitent de la mise en œuvre et les troisièmes de la maintenance.

2.2.5 POÊLES À GRANULÉS

Les règles de dimensionnement des poêles à granulés sont décrites dans les Recommandations professionnelles Règles de l'Art Grenelle Environnement (RAGE) sur les appareils de chauffage divisé à granulés en habitat individuel.

Pour le dimensionnement de ces appareils, il faut considérer les déperditions de la pièce où le poêle est installé ainsi que de l'ensemble des zones ouvertes sur cette pièce, comme l'illustre la figure ci-après.

LES RÈGLES DE DIMENSIONNEMENT DES POÊLES À GRANULÉS SONT DÉCRITES DANS LES RECOMMANDATIONS RAGE SUR CES APPAREILS

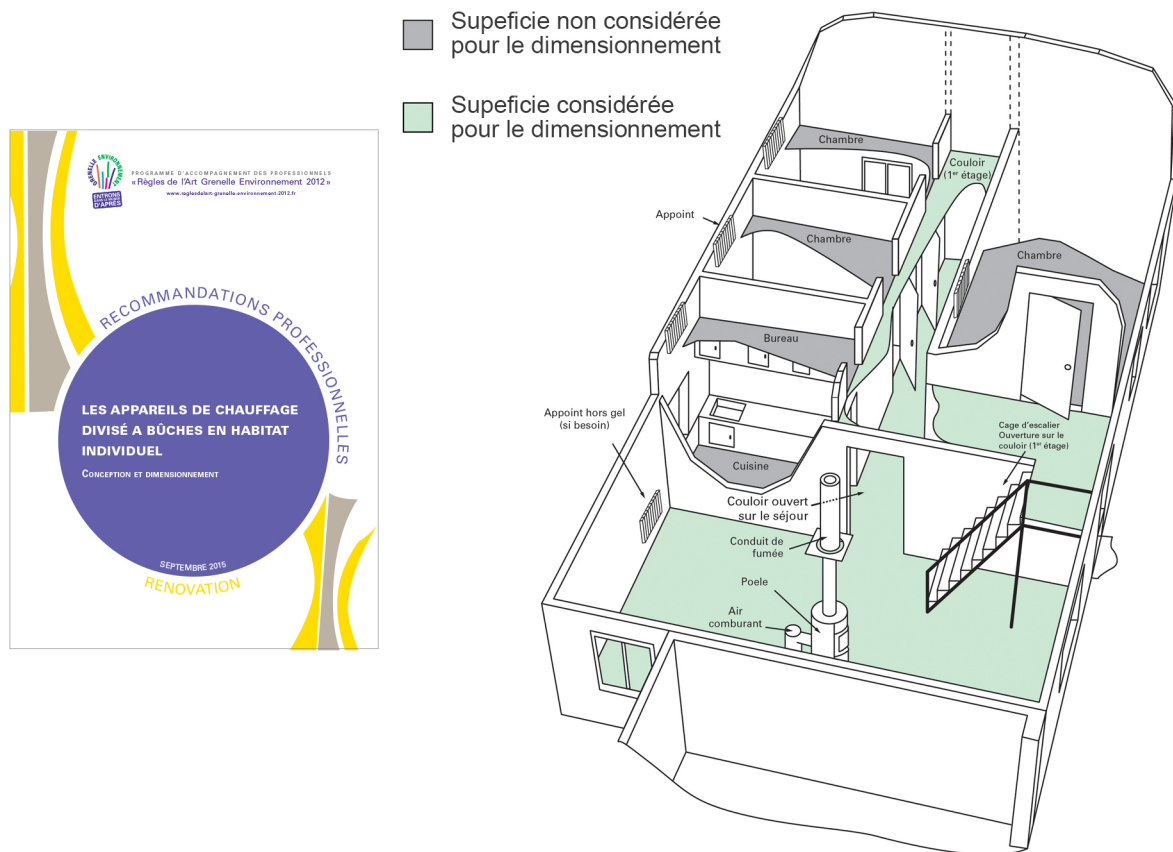


FIGURE 5 Les appareils de chauffage divisé à granulés, en habitat individuel existant, font l'objet de trois Recommandations RAGE. Les premières traitent des règles de conception et de dimensionnement. Les secondes traitent de la mise en œuvre et les troisièmes de l'entretien.

3

QUEL EST L'IMPACT DES CHOIX ADOPTÉS LORS DU CHANGEMENT DE GÉNÉRATEUR DE CHAUFFAGE ?

Ce chapitre traite de l'impact des choix faits au stade de la conception, sur les performances énergétiques des générateurs :

- Quelles sont les conséquences d'un surdimensionnement d'une chaudière gaz ou à granulés, d'une PAC air/eau ou d'un poêle à granulés pour le chauffage ?
- Quel est l'intérêt d'avoir une chaudière gaz à condensation ou une PAC air/eau avec une large plage de modulation de sa puissance ?
- Faut-il opter ou non pour un générateur indépendant pour le chauffage et l'ECS, dans le cas d'une chaudière gaz ou à granulés ou d'une PAC air/eau ?
- Quel est le gain avec une chaudière gaz à condensation ou une PAC air/eau si des planchers-chauffants sont installés ?
- Quel est l'impact d'un changement de régime de température des radiateurs pour une chaudière gaz à condensation ou une PAC air/eau ?

En plus de l'influence de ces choix sur les consommations énergétiques, l'impact sur d'autres aspects (confort

thermique et ECS, risque sanitaire, pérennité du générateur, pollution atmosphérique, ...) est aussi évoqué.

D'autres questions liées à celles-ci sont également abordées telles que :

- Le poids au niveau des besoins énergétiques des jours les plus froids et de l'ECS.
- Les taux de charge des générateurs les plus rencontrés au cours de l'année.
- L'évolution des rendements des générateurs en fonction de leurs taux de charge.

Des réponses à ces questions sont données à travers l'exemple, pris en référence tout au long de cet ouvrage, d'une maison individuelle de 120 m² avec des déperditions de 10 kW, habitée par une famille de 4 personnes. C'est une maison du milieu des années 1970, rénovée partiellement, située à Poitiers, dans une zone représentative au niveau des températures extérieures de la moyenne nationale.

Cette maison est équipée de radiateurs qui fonctionnent à basses températures (en 60-45°C en régime nominal).

LA MAISON PRISE COMME EXEMPLE DE RÉFÉRENCE DANS CET OUVRAGE

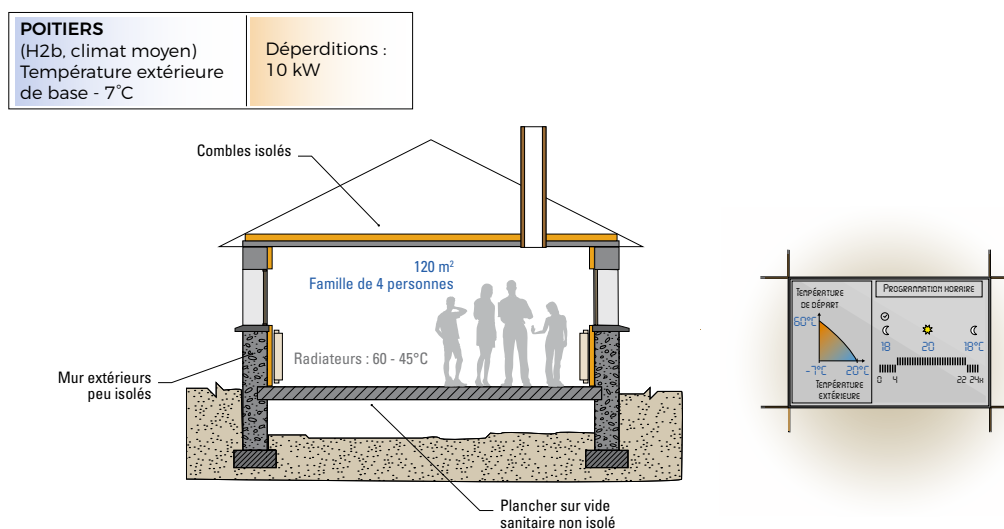


FIGURE 6

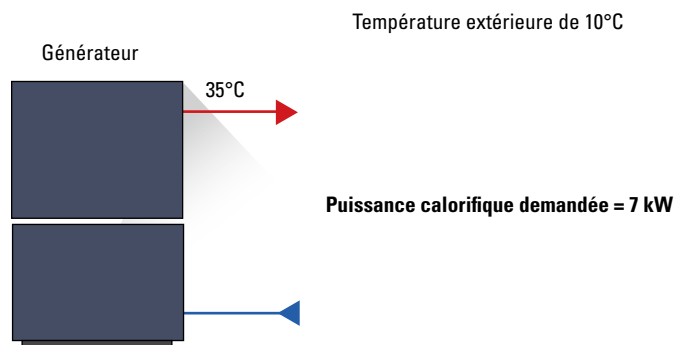
Les exemples présentés dans cet ouvrage sont pour une maison de 120 m² ayant des besoins de chauffage de 131 kWh/m².an. Cette maison, du milieu des années 70, a fait l'objet d'une rénovation partielle. Ses combles ont été isolés et des fenêtres double-vitrage ont été installées ; les travaux de rénovation thermique les plus fréquemment mis en œuvre en France. Elle présente une inertie moyenne et est moyennement vitrée. Un ralenti de nuit est réalisé. La saison de chauffe considérée dure du 15 octobre au 15 mai.

A QUOI CORRESPOND LE TAUX DE CHARGE DU GÉNÉRATEUR ?

Exemple

Puissance calorifique maximale du générateur
pour ces conditions de fonctionnement
(35°C au départ et 10°C à l'extérieur, pour une PAC air/eau)
= 14 kW

Puissance calorifique minimale du générateur
pour ces conditions de fonctionnement
= 4 kW
soit un taux de charge minimal de modulation
 $\frac{4 \text{ kW}}{14 \text{ kW}} \approx 30 \%$



$$\text{Taux de charge} = \frac{\text{Puissance calorifique demandée}}{\text{Puissance calorifique maxi du générateur}} = \frac{7 \text{ kW}}{14 \text{ kW}} = 50 \%$$

FIGURE 7

Le taux de charge d'un générateur correspond à la puissance calorifique demandée à l'appareil par rapport à la puissance calorifique maximale qu'il pourrait délivrer dans les mêmes conditions de fonctionnement (même température de départ et extérieure pour une PAC air/eau). Ainsi pour cet exemple, le taux de charge du générateur est de 50 %.

Lorsque la puissance demandée est inférieure à la puissance maximale du générateur, il module sa puissance jusqu'à atteindre sa puissance minimale (correspondant au taux de charge minimal de modulation). En dessous de cette puissance minimale (ou de ce taux de charge minimal de modulation), il fonctionne en cycles marche-arrêt pour fournir une puissance moyenne correspondant à la puissance demandée.

3

1

LES JOURS LES PLUS FROIDS REPRÉSENTENT-ILS LA PART LA PLUS IMPORTANTE DES CONSOMMATIONS DE CHAUFFAGE ?

L'installation de chauffage est dimensionnée pour les jours les plus froids, pour autant ceux-ci ne constituent pas la part la plus importante des consommations.

Ainsi, comme le montre la figure ci-après, pour la maison à Poitiers décrite précédemment, environ 10 % seulement des besoins correspondent à des températures inférieures à 0°C.

LES TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES LES PLUS FROIDES SONT PEU RENCONTRÉES. 3/4 DES BESOINS DE CHAUFFAGE CORRESPONDENT À DES TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES COMPRISES ENTRE 0 ET 10°C, POUR CET EXEMPLE À POITIERS

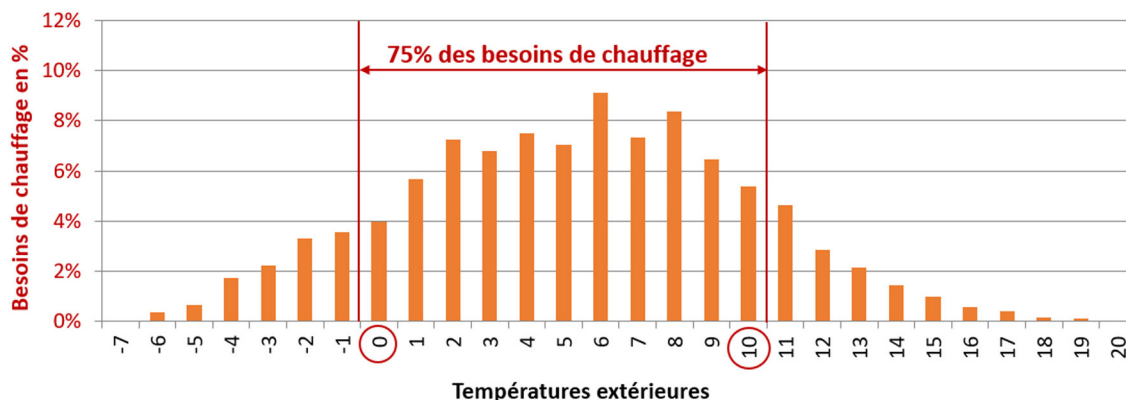


FIGURE 8 Répartition des besoins de chauffage de la maison à Poitiers, décrite précédemment, en fonction des températures extérieures.

3

2

A QUELS TAUX DE CHARGE UN GÉNÉRATEUR DE CHAUFFAGE FONCTIONNE-T'IL LE PLUS FRÉQUEMMENT DANS L'ANNÉE ?

Les températures les plus froides n'étant pas très fréquentes, les générateurs pour le chauffage fonctionnent rarement à des taux de charge élevés.

Les taux de charge les plus rencontrés au cours de l'année dépendent du dimensionnement du générateur et de la programmation du chauffage réalisée (consigne, ralenti). Ainsi, pour la maison avec des déperditions de 10 kW décrite précédemment, avec une chaudière **bien dimensionnée** pour le chauffage de 12 kW, environ 80 % des besoins de chauffage de cette maison sont couverts par la chaudière fonctionnant à des taux de charge horaires compris entre 10 et 50 %, c'est-à-dire à des puissances moyennes horaires appelées comprises entre 10 et 50 % de sa puissance maximale (voir figure ci-après).

// Même un générateur bien dimensionné fonctionne une partie importante de l'année à de faibles taux de charge. Le constat d'un nombre de cycles marche/arrêt important n'est pas nécessairement le signe d'un surdimensionnement.

POUR CET EXEMPLE AVEC UNE CHAUDIÈRE BIEN DIMENSIONNÉE POUR LE CHAUFFAGE, LA PUISSANCE APPELÉE EN MOYENNE SUR TOUTE LA SAISON DE CHAUFFE CORRESPOND À 25 % DE LA PUISSANCE MAXIMALE DE LA CHAUDIÈRE

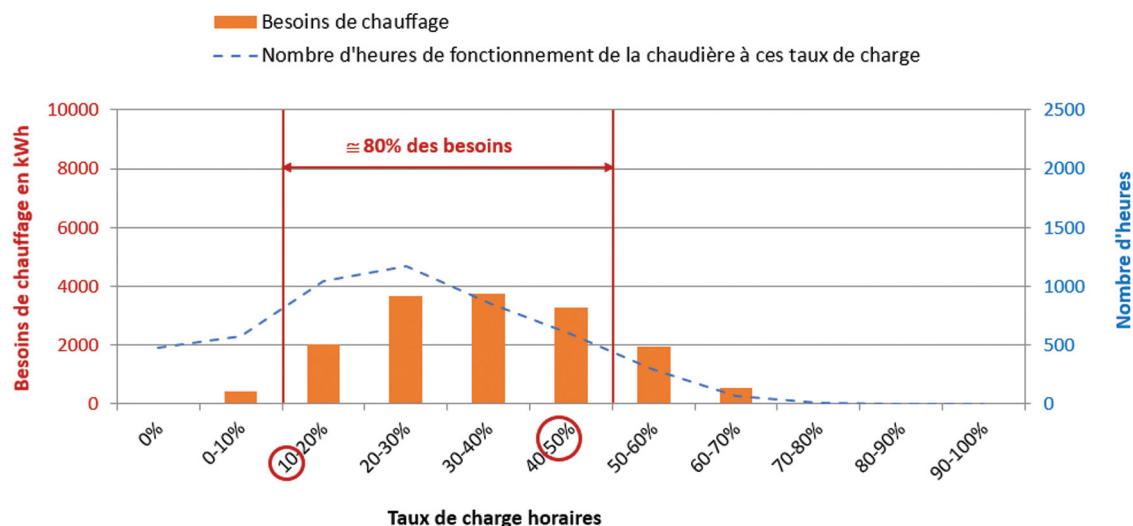


FIGURE 9 Graphe indiquant pour chaque plage de taux de charge horaires de fonctionnement de la chaudière, les besoins de chauffage couverts durant la saison de chauffe et le nombre d'heures de marche correspondant. Ainsi environ 80 % des besoins de chauffage de cette maison sont couverts par la chaudière fonctionnant à des taux de charge horaires compris entre 10 et 50 %. Ces valeurs ont été obtenues pour la maison de référence décrite précédemment avec une chaudière gaz de 12 kW bien dimensionnée par rapport aux déperditions

* Les taux de charge horaires correspondent aux puissances moyennes horaires demandées à la chaudière par rapport à sa puissance maximale

Pour un générateur surdimensionné, ces taux de charge sont encore plus faibles.

Si pour cette même maison, la chaudière est 2 fois plus puissante, 80 % des besoins de chauffage sont couverts par la chaudière fonctionnant à des taux de charge horaires compris entre 10 et 30 % seulement, c'est-à-dire à

des puissances moyennes horaires appelées comprises entre 10 et 30 % de sa puissance maximale (voir figure ci-après). Les puissances moyennes horaires appelées sont identiques mais la puissance maximale est 2 fois plus élevée, si bien que les taux de charge horaires sont plus faibles.

POUR CET EXEMPLE AVEC UNE CHAUDIÈRE SURDIMENSIONNÉE POUR LE CHAUFFAGE, 2 FOIS PLUS PUISSANTE, LA PUISSANCE APPELÉE EN MOYENNE SUR TOUTE LA SAISON DE CHAUFFE CORRESPOND À 12 % DE LA PUISSANCE MAXIMALE DE LA CHAUDIÈRE

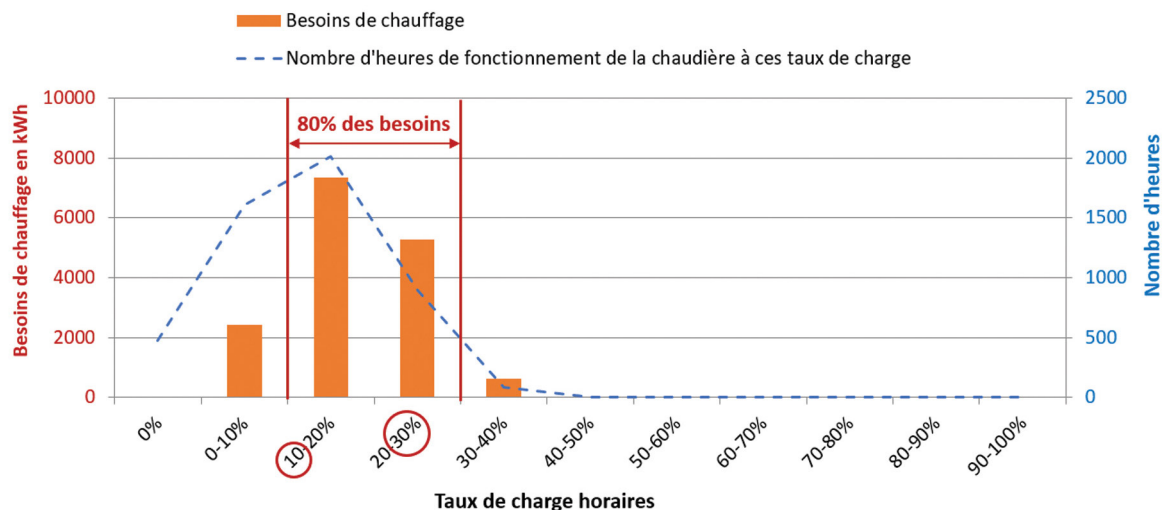


FIGURE 10 Répartition des besoins en fonction des taux de charge horaires pour une chaudière gaz de 24 kW surdimensionnée par rapport aux déperditions et nombre d'heures de fonctionnement du générateur correspondant à chaque taux de charge. Ces valeurs ont été obtenues pour la même maison de référence que précédemment.

3

3

Y-A-T-IL UNE DÉGRADATION IMPORTANTE DES RENDEMENTS DES GÉNÉRATEURS À FAIBLES TAUX DE CHARGE ?

L'évolution des performances des générateurs en fonction de leur taux de charge diffère selon le type d'appareil (chaudière gaz à condensation, chaudière à granulés, ...),

selon le seuil minimal de modulation de la puissance du générateur et les performances propres à chaque produit.

3.3.1 CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION

Pour les chaudières gaz à condensation, dans leur plage de modulation, les rendements augmentent légèrement lorsque les taux de charge diminuent, jusqu'au seuil minimal de modulation.

En deçà de leur plage de modulation, les essais réalisés sur une chaudière dans le cadre du programme Règles de l'Art Grenelle Environnement montrent que la dégradation

des rendements est plutôt limitée (voir tableau ci-après), excepté lorsque les taux de charge deviennent extrêmement faibles. Ainsi, avec la chaudière gaz condensation testée modulant jusqu'à 25 %, fonctionner à des taux de charge faibles entre 3 et 25 % et non dans sa plage de modulation engendre une augmentation des consommations très limitées.

Chaudière gaz à condensation testée : ■ 23,6 kW en chauffage, ■ Modulation de 25 % à 100 % ■ Rendement à 30 % pour un retour à 30°C de 108,7 %		Taux de charge	Rendement sur PCI mesuré en %
		10 %	108,4 ± 4,4
		8 %	107,1 ± 4,4
		3 %	108,8 ± 6,2

TABLEAU 4

Rendements mesurés durant les phases de chauffage d'une chaudière gaz à condensation à micro-accumulation, pour une température de consigne de départ de 40°C et des températures moyennes de retour comprises entre 27 et 33°C (Rapport Règles de l'Art Grenelle Environnement Production d'eau chaude sanitaire individuelle, Performance des appareils double-service)

EXEMPLE D'ÉVOLUTION DU RENDEMENT D'UNE CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION

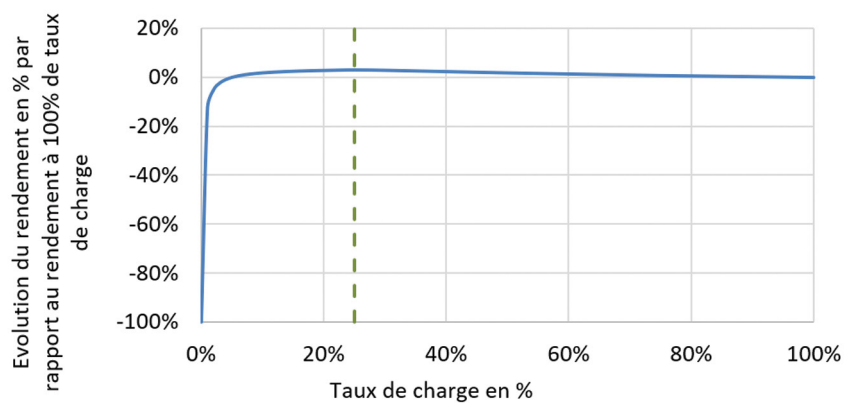


FIGURE 11

Exemple d'évolution du rendement en fonction du taux de charge pour une chaudière murale gaz présentant un seuil minimal de modulation de 25 %, pour une température de retour de 45°C (établie à partir des résultats d'essais du COSTIC sur une chaudière, Rapport Règles de l'Art Grenelle Environnement Production d'eau chaude sanitaire individuelle Production d'eau chaude sanitaire individuelle, Performance des appareils double-service).

* Le taux de charge correspond à la puissance demandée à la chaudière par rapport à sa puissance maximale

3.3.2 CHAUDIÈRE À GRANULÉS

Les chaudières à granulés ont un rendement qui diminue lorsque le taux de charge baisse et ce d'autant plus que

l'on est en deçà du seuil de modulation, comme le montre l'exemple d'évolution figure ci-après.

EXEMPLE D'ÉVOLUTION DU RENDEMENT D'UNE CHAUDIÈRE À GRANULÉS

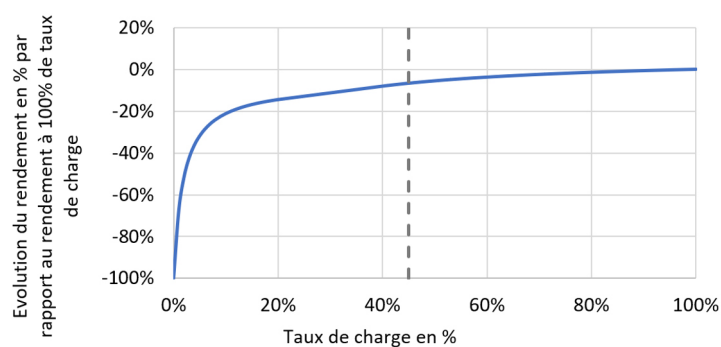
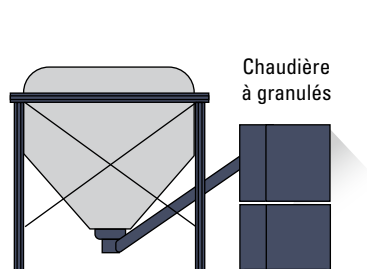


FIGURE 12

Exemple d'évolution du rendement en fonction du taux de charge pour une chaudière à granulés fonctionnant en cycles marche-arrêt en deçà de 45% de taux de charge (courbe établie à partir des résultats d'essais du COSTIC sur une chaudière).

* Le taux de charge correspond à la puissance calorifique demandée à la chaudière par rapport à sa puissance calorifique maximale

3.3.3 POÊLES À GRANULÉS

Comme les chaudières à granulés, les poêles à granulés ont un rendement qui diminue lorsque le taux de charge baisse, comme le montre la courbe, figure ci-après.

EXEMPLE D'ÉVOLUTION DU RENDEMENT D'UN POÊLE À GRANULÉS

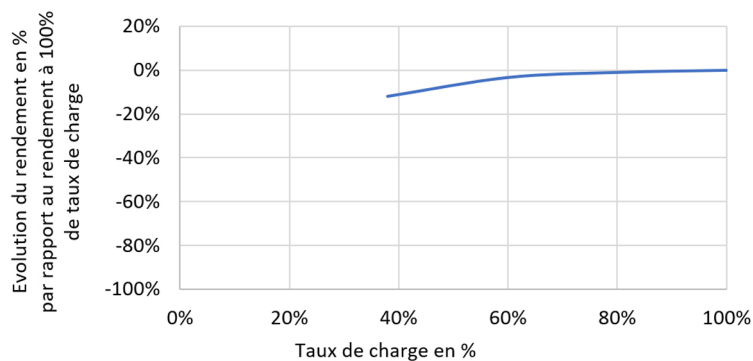


FIGURE 13 Exemple d'évolution du rendement en fonction du taux de charge issue de résultats d'essais du COSTIC sur un poêle à granulés modulant de 40 % à 100 % de sa puissance et ne disposant pas d'une fonction marche-arrêt automatique.

* Le taux de charge correspond à la puissance demandée au poêle par rapport à sa puissance maximale

3.3.4 PAC AIR/EAU

Comme le montre l'exemple ci-dessous, d'évolution du coefficient de performance (COP) en fonction du taux de charge pour une PAC air/eau inverter, le COP est fortement dégradé aux très faibles taux de charge.

En dessous du taux de charge minimal de la PAC, lorsqu'elle fonctionne en cycles marche/arrêt, plus le taux de charge diminue, plus le COP est plus dégradé. A contrario, entre 100 % et le taux de charge minimal, le COP augmente légèrement lorsque le taux de charge diminue.

EXEMPLE D'ÉVOLUTION DU COP D'UNE PAC AIR/EAU

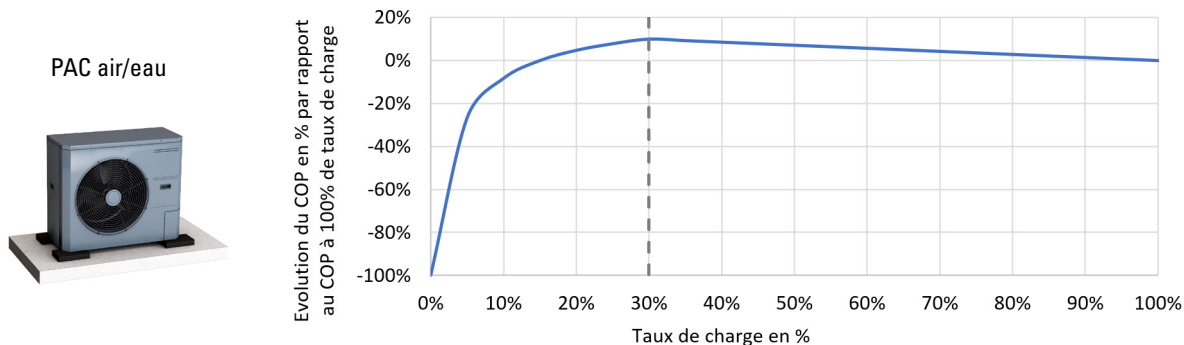


FIGURE 14 Exemple d'évolution du COP en fonction du taux de charge pour une PAC air/eau inverter pour une même température de départ et d'entrée d'air (issue du rapport Règles de l'Art Grenelle Environnement sur les consommations et performances réelles des pompes à chaleur). Cet exemple est pour une PAC présentant un seuil minimal de modulation de 30 %.

* Le taux de charge correspond à la puissance calorifique demandée à la PAC par rapport à la puissance calorifique maximale qu'elle pourrait délivrer dans les mêmes conditions (même température de départ et même température extérieure)

3

4

QUELLES SONT LES CONSÉQUENCES D'UN SURDIMENSIONNEMENT DU GÉNÉRATEUR DE CHAUFFAGE ?

3.4.1 CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION

Le surdimensionnement ne conduit pas dans tous les cas à une diminution du rendement de la chaudière sur la saison de chauffe.

Ainsi pour l'exemple considéré d'une maison ayant des déperditions de 10 kW, les rendements sur la saison de chauffe déterminés pour une chaudière de 12 kW, bien dimensionnée par rapport aux déperditions, et une chaudière 2 fois plus puissante de 24 kW sont similaires, compte tenu de l'évolution des rendements en fonction des taux de charge (voir figure ci-après). Le surdimension-

nement d'un facteur 2 n'entraîne pas de dégradation du rendement de la chaudière.

De même, un télésuivi d'une chaudière murale micro-accumulée de 21,5 kW en chauffage et 26 kW en ECS (modulant de 25 à 100 %) dans une petite maison moyenne de 60 m² labellisée BBC Effienergie 2005, réalisé par le COSTIC, montrait également un rendement saisonnier très élevé en chauffage (proche de 100 % sur PCS) malgré le surdimensionnement important du générateur par rapport aux déperditions.

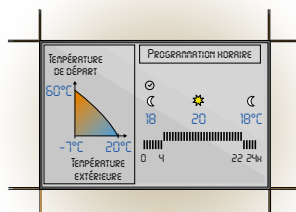
NOTE



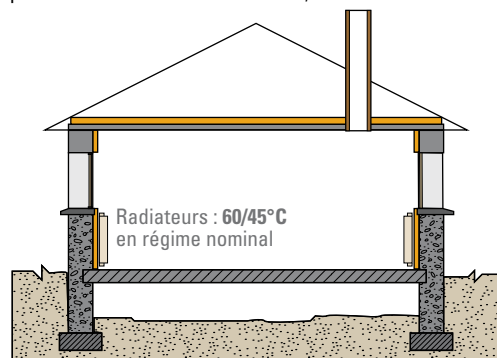
A contrario, dans le cas d'un appartement n'ayant que 1 kW de déperditions équipé d'une chaudière de 24 kW correspondant à des taux de charge maximaux de 4 %, le surdimensionnement très important du générateur par rapport aux déperditions conduit à une dégradation du rendement sur la saison de chauffe.

LE SURDIMENSIONNEMENT D'UN FACTEUR 2 DE LA CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION POUR LE CHAUFFAGE N'ENTRAÎNE PAS DE DÉGRADATION DE SON RENDEMENT SUR LA SAISON DE CHAUFFE, POUR CET EXEMPLE.

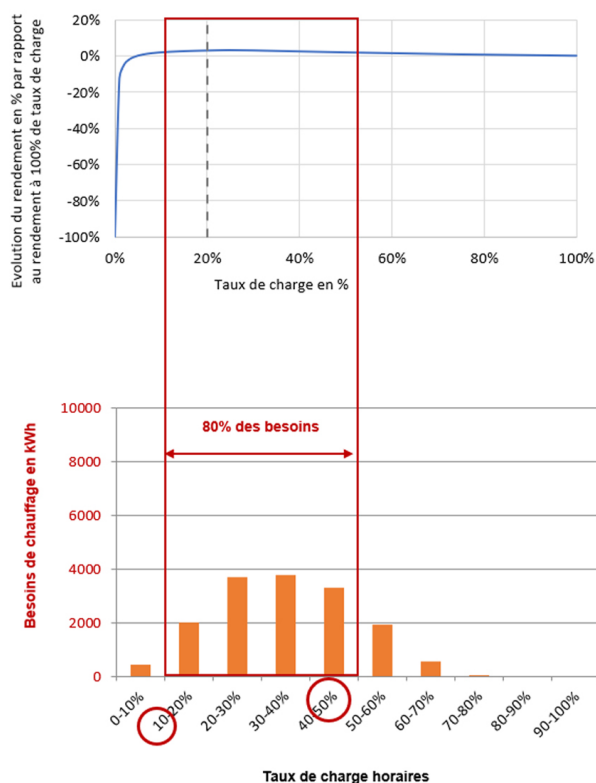
Chaudière gaz à condensation
modulant de 20 à 100 %



Maison de référence, à Poitiers
avec des déperditions de **10 kW**
(Température extérieure de base : - 7°C)



Chaudière gaz à condensation de 12 kW bien dimensionnée pour le chauffage



Chaudière de 24 kW surdimensionnée pour le chauffage

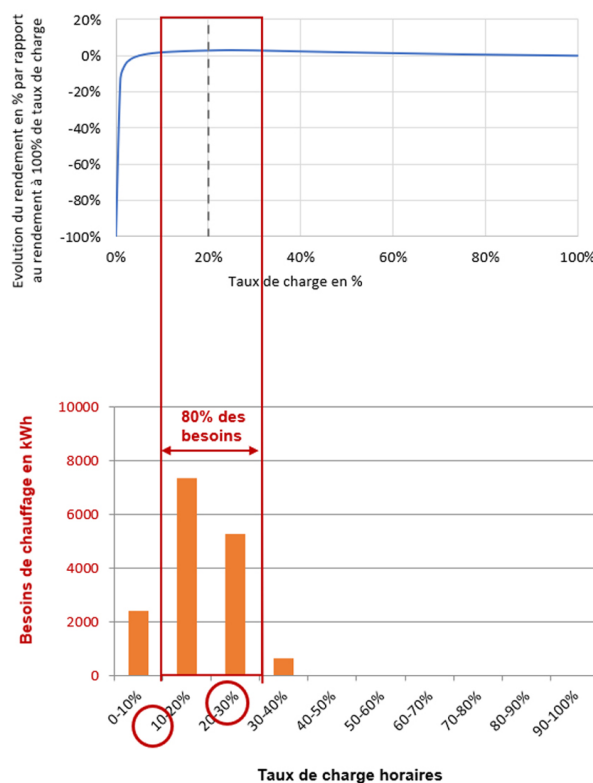


FIGURE 15 Dans le cas de la maison de référence présentant 10 kW de déperditions, 80 % des besoins de chauffage correspondent à des taux horaires de fonctionnement du générateur compris entre 10 et 50 % pour la chaudière de 12 kW bien dimensionnée par rapport aux déperditions et entre 10 à 30 % de taux de charge pour une chaudière de 24 kW, 2 fois plus puissante. Dans ces plages, les performances diffèrent peu en fonction des taux de charge, comme le montrent les exemples d'évolution de rendement pour une température de retour de 45°C, si bien que le rendement global obtenu sur l'ensemble de la saison de chauffe est similaire pour une chaudière de 12 et 24 kW. Dans les 2 cas, le seuil minimal de modulation des chaudières est de 20 %.

* Les taux de charge horaires correspondent aux puissances moyennes horaires demandées par rapport à la puissance maximale de la chaudière

Même si un surdimensionnement ne conduit pas dans tous les cas à une diminution du rendement de la chaudière sur la saison de chauffe, il est préjudiciable vis-à-vis des cycles marche-arrêt. L'augmentation du nombre de cycles conduit à :

- Une usure plus rapide de la chaudière (électrovanne gaz, corps de chauffe, ...).
- Plus d'émissions de polluants atmosphériques liées aux séquences de démarrage.

Ainsi pour l'exemple considéré, entre une chaudière gaz à condensation modulant de 20 à 100 % bien dimensionnée par rapport aux déperditions et une chaudière surdimensionnée, 2 fois plus puissante, le pourcentage d'heures de fonctionnement en cycles marche-arrêt passe d'environ 30 % à 70 %, soit plus de 2 fois plus.

POUR CET EXEMPLE, UNE PUISSANCE DOUBLÉE MULTIPLIE PAR PLUS DE 2 LE NOMBRE D'HEURES DE FONCTIONNEMENT EN CYCLES MARCHE-ARRÊT, PRÉJUDICABLES VIS-À-VIS DE LA DURABILITÉ ET LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

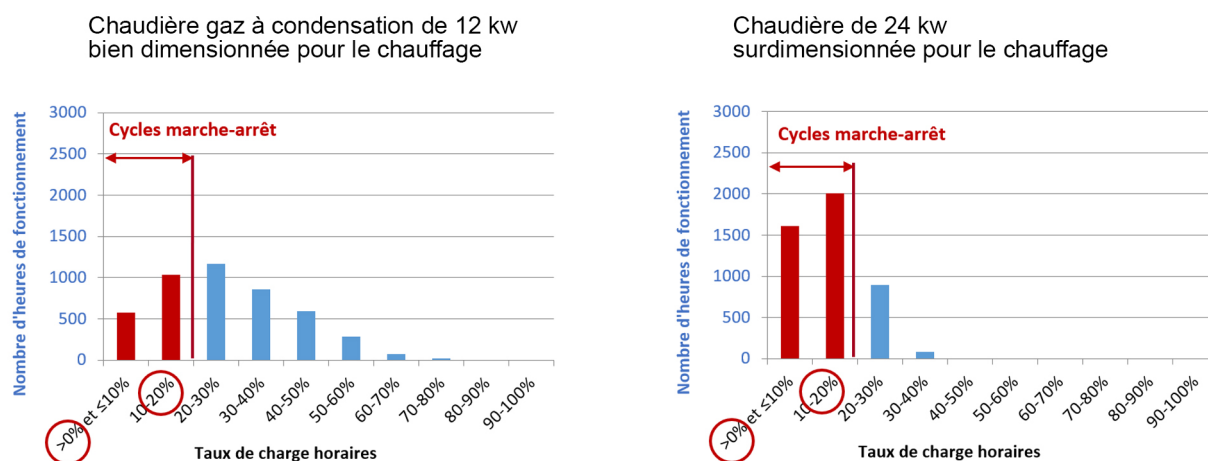


FIGURE 16 Dans le cas de la maison de référence présentant 10 kW de déperditions, entre une chaudière gaz à condensation modulant de 20 à 100 % de 12 kW, bien dimensionnée par rapport aux déperditions, et une chaudière surdimensionnée, 2 fois plus puissante de 24 kW modulant également de 20 à 100 %, le pourcentage de nombre d'heures de fonctionnement en cycles marche-arrêt sur la saison de chauffe passe de 30 à 70 %.

* Le nombre d'heures pendant lequel la chaudière est à l'arrêt, correspondant à un taux de charge de 0 %, n'est pas indiqué sur ces graphes.

NOTE



Recourir à une chaudière avec un stockage d'ECS permet de réduire la puissance de la chaudière nécessaire et de limiter ainsi le nombre de cycle marche-arrêt. Plus le stockage d'ECS est important, plus la puissance requise pour l'ECS est faible. Ainsi une chaudière de 15 kW avec un stockage d'ECS de 125 l permet d'obtenir un débit spécifique en ECS de 20 l/min. Avec un stockage d'ECS de 50 l, pour avoir ce même débit, la puissance de la chaudière requise est de 22 kW. Toutefois, cette augmentation du stockage d'ECS, qui permet de limiter le nombre de cycles marche-arrêt, se traduit également par une diminution du rendement en ECS compte tenu des pertes thermiques du ballon d'ECS plus importantes.

3.4.2 PAC AIR/EAU

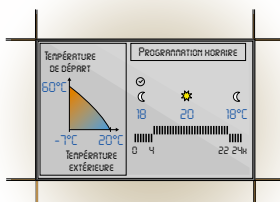
Même si la surévaluation des déperditions n'entraîne pas dans tous les cas, une dégradation notable des performances de la PAC sur la saison de chauffe, elle conduit à un risque plus important de courts-cycles et à un surcoût élevé.

Dans l'exemple traité, décrit figure ci-après, avec une PAC modulant sa puissance de 30 à 100 %, une surévaluation de

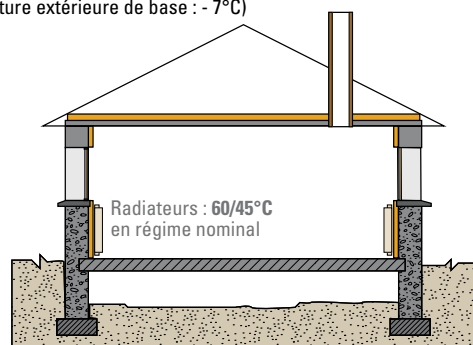
50 % des déperditions, correspondant pratiquement à un doublement de la puissance de la PAC à +7/35°C, conduit à une dégradation de quelques pourcents du coefficient de performance saisonnier du système (SCOP) par rapport au cas de référence. Pour une PAC modulant seulement de 50 à 100 %, une dégradation du SCOP de presque 10 % est observée.

UNE SURÉVALUATION DES DÉPERDITIONS DE 50 % ET UN DIMENSIONNEMENT DE LA PAC POUR COUVRIR 100 % DES DÉPERDITIONS AU LIEU DE 80 % ENTRAÎNENT UNE PUISSANCE DE LA PAC À +7/35°C PRESQUE MULTIPLIÉE PAR 2.

PAC air/eau inverter
modulant de 30 à 100 %
COP + 7/35°C = 4,2

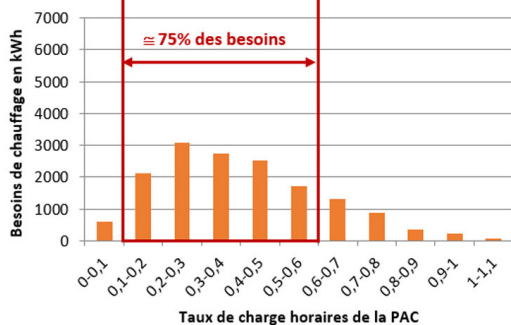
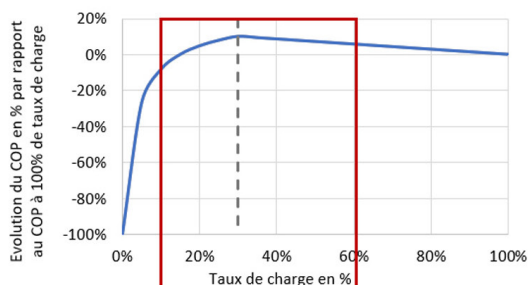


Maison de référence, à Poitiers
avec des déperditions de **10 kW**
(Température extérieure de base : - 7°C)



Cas de référence

PPAC à -7/60°C =
80% des déperditions
soit
PPAC à +7/35°C =
12,5 kW



**Déperditions surévaluées de 50%
= 15 kW**

PPAC à -7/60°C =
100% des déperditions surévaluées
soit
PPAC à +7/35°C =
23,5 kW

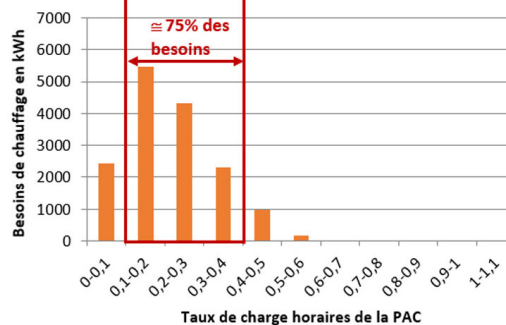
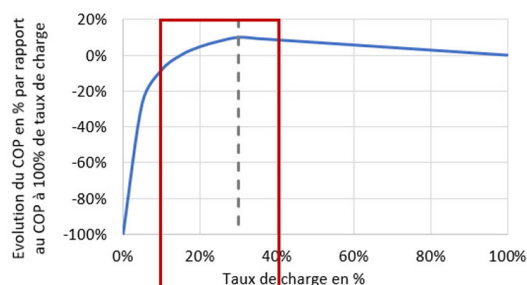


FIGURE 17

Dans cet exemple, avec une PAC air/eau modulant de 30 à 100 %, la multiplication presque par 2 de la puissance de la PAC à +7/35°C conduit à une dégradation du coefficient de performance saisonnier du système (SCOP) de quelques pourcents, compte tenu de l'évolution du COP en fonction du taux de charge. Même s'il y a peu de dégradation du SCOP, cette multiplication par 2 de la puissance génère un surcoût très important pour un taux de couverture des besoins de chauffage similaire.

* Les taux de charge horaires correspondent aux puissances calorifiques moyennes horaires demandées à la PAC par rapport à la puissance calorifique maximale qu'elle pourrait délivrer dans les mêmes conditions (même température de départ et même température extérieure).
L'évolution du COP en fonction du taux de charge est pour des conditions de températures de fonctionnement identiques.

3.4.3 CHAUDIÈRE À GRANULÉS

Le surdimensionnement de la chaudière à granulés par rapport aux déperditions de la maison entraîne une dégradation de son rendement saisonnier et ce d'autant plus que le surdimensionnement est important.

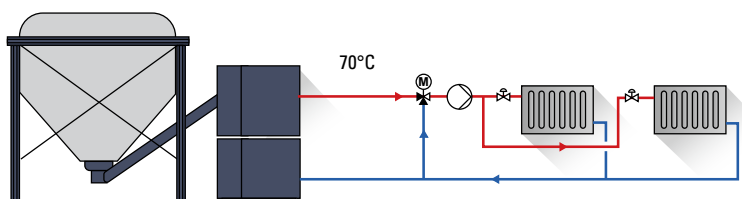
Ainsi pour la chaudière à granulés et la maison présentant 10 kW de déperditions prises en exemple (voir figure ci-après), la diminution du rendement sur la saison de chauffe (hors consommations des auxiliaires) entre la chaudière de 10 kW, dimensionnée selon les Recommandations PROFEEL, et la chaudière 2 fois plus puissante de

20 kW est de presque 10 %, compte tenu de l'évolution des rendements en fonction des taux de charge.

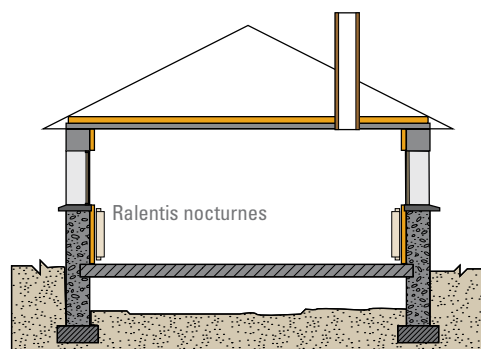
Pour une maison ayant seulement 5 kW de déperditions, la dégradation du rendement est encore plus importante avec une chaudière de 20 kW, surdimensionnée dans ce cas d'un facteur 4. Cela conduit à un fonctionnement de la chaudière presque toujours dans une plage de taux de charge de 0 à 20 % où le rendement est particulièrement dégradé.

LE SURDIMENSIONNEMENT DE LA CHAUDIÈRE À GRANULÉS ENTRAÎNE UNE DÉGRADATION DE SON RENDEMENT SUR LA SAISON DE CHAUFFE ET UNE AUGMENTATION DU NOMBRE DE CYCLES MARCHE-ARRÊT PRÉJUDICIABLE EN TERMES D'USURE ET D'ÉMISSIONS POLLUANTES.

Chaudière à granulés
modulant de 45 à 100 %
sans ballon hydro-accumulation



Maison de référence, à Poitiers
avec des déperditions de 10 kW



NOTE



Le surdimensionnement entraîne également une augmentation des cycles marche-arrêt. La répétition des cycles d'allumage, d'autant plus importante lorsque la chaudière est peu modulante et sans ballon à hydro-accumulation, est néfaste pour la durabilité des chaudières. Ces séquences marche-arrêt conduisent également à une augmentation des émissions de polluants atmosphériques.

Pour une chaudière surdimensionnée d'un facteur 2, modulant de 20 à 100 %, sans ballon hydro-accumulation, le pourcentage d'heures de fonctionnement avec des cycles marche-arrêt est d'environ 60 % au lieu de 25 %, pour une chaudière bien dimensionnée présentant la même plage de modulation, dans le cas de la maison avec 10 kW de déperditions prise en exemple. Si la plage de modulation de la chaudière est seulement de 45 à 100 % (comme dans l'exemple ci-après), le pourcentage d'heures avec des cycles marche-arrêt est d'environ 90 % dans le cas de la chaudière surdimensionnée d'un facteur 2 au lieu de 65 % pour la chaudière bien dimensionnée.

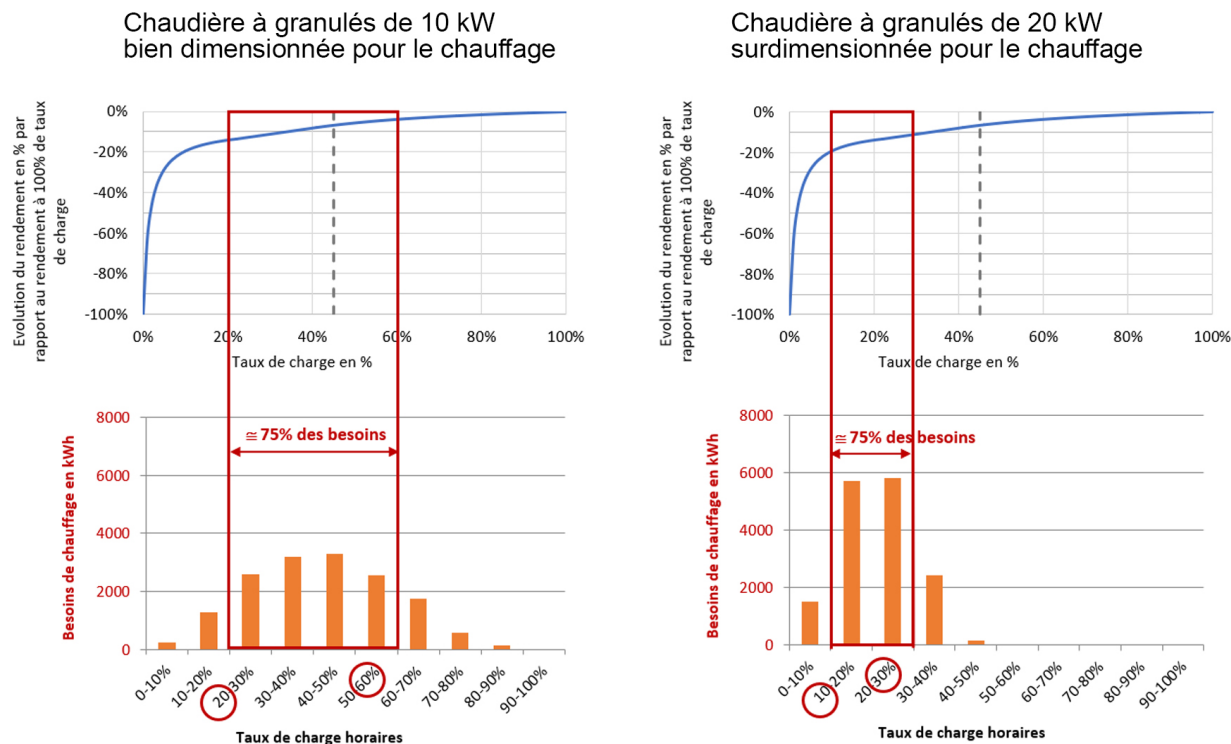


FIGURE 18

Dans le cas de la maison de référence avec 10 kW de déperditions, pour la chaudière bien dimensionnée de 10 kW, sans ballon à hydro-accumulation, environ 75 % des besoins de chauffage correspondent à des taux de charge horaires de fonctionnement du générateur compris entre 20 et 60 % avec un rendement qui varie pour ces taux de 85 à 95 % environ du rendement nominal.

Pour la chaudière de 20 kW, 2 fois plus puissante, les taux de charge sont 2 fois plus faibles. Environ 75 % des besoins de chauffage correspondent à des taux de charge horaires de 10 à 30 %, avec un rendement qui varie pour ces taux d'environ 80 à 88 % du rendement nominal.

L'installation d'une chaudière de 20 au lieu de 10 kW conduit, dans ce cas, à une dégradation du rendement sur la saison de chauffe de presque 10 %.

* Les taux de charge horaires correspondent aux puissances moyennes horaires demandées à la chaudière par rapport à sa puissance maximale. Le dispositif anti-retours froids est intégré à la chaudière dans cet exemple.

3.4.4 POÊLES À GRANULÉS

Comme dans le cas d'une chaudière à granulés, le surdimensionnement d'un poêle entraîne une dégradation de son rendement saisonnier et ce d'autant plus que le surdimensionnement est important.

Même si l'appareil possède une certaine modulation de puissance et une fonction de marche-arrêt automatique, plus sa puissance est élevée par rapport aux déperditions,

plus les cycles d'arrêt et de démarrage sont importants. Cela implique :

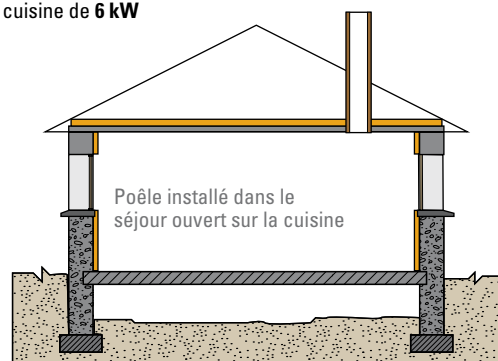
- Une dégradation du rendement.
- Une augmentation des émissions de polluants atmosphériques.
- Une usure prématurée des composants (par condensation des fumées, formation d'imbrûlés, ...).

LE SURDIMENSIONNEMENT D'UN FACTEUR 2 D'UN POÊLE À GRANULÉS MODULANT DE 40 À 100 % ENTRAÎNE, UNE TRÈS GRANDE PARTIE DU TEMPS, UN FONCTIONNEMENT EN CYCLES MARCHE-ARRÊT, D'OÙ UNE DÉGRADATION DU RENDEMENT, UNE USURE PRÉMATURÉE ET DES ÉMISSIONS POLLUANTES PLUS IMPORTANTES.

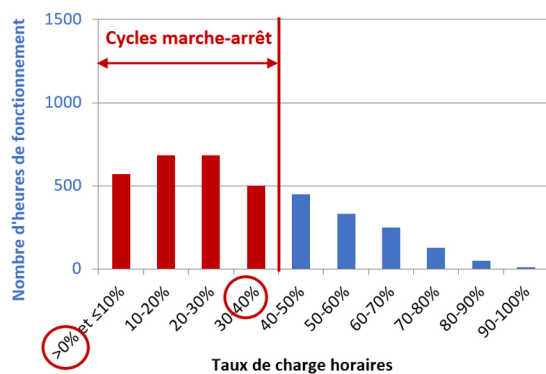
Poêle à granulés
modulant de 40 à 100 %



Maison de référence, à Poitiers
avec des déperditions du séjour
et de la cuisine de 6 kW



Poêle à granulés bien dimensionnée de 6 kW
avec une puissance minimale d'environ 2,5 kW
(40% de Pmax)



Poêle à granulés surdimensionnée de 12 kW
avec une puissance mini. d'environ 5 kW
(40% de Pmax)

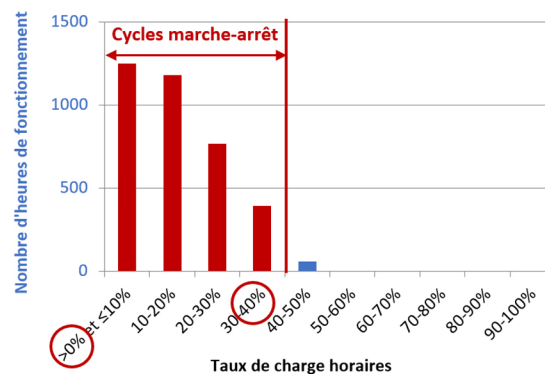


FIGURE 19

Dans le cas d'un poêle modulant de 40 à 100 %, installé dans le séjour ouvert sur la cuisine de la maison de référence, le surdimensionnement de l'appareil d'un facteur 2 entraîne un nombre d'heures de fonctionnement en cycles marche-arrêt très important. En effet, la puissance minimale du poêle surdimensionné est d'environ 5 kW pour des déperditions de 6 kW.

* Les taux de charge horaires correspondent aux puissances moyennes horaires demandées au poêle par rapport à sa puissance maximale. Le nombre d'heures pendant lequel le poêle est à l'arrêt, correspondant à un taux de charge de 0 %, n'est pas indiqué sur ces graphes.

NOTE



Privilégier un poêle avec la plus large plage de modulation possible, pour limiter les cycles marche-arrêt.

Même dans le cas d'un poêle bien dimensionné, modulant de 40 à 100 %, le pourcentage d'heures de fonctionnement sur la saison de chauffe avec des cycles marche-arrêt est de près de 50 %, pour l'exemple présenté ci-avant.

3

5

QUEL EST L'INTÉRÊT D'AVOIR UN GÉNÉRATEUR AVEC UNE LARGE PLAGE DE MODULATION DE SA PUISSANCE ?

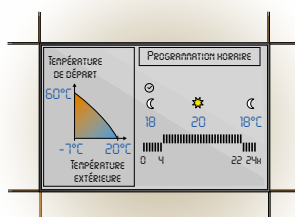
3.5.1 CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION

Pour les chaudières gaz à condensation, même si l'augmentation de la plage de modulation ne conduit pas à une augmentation notable du rendement saisonnier, compte

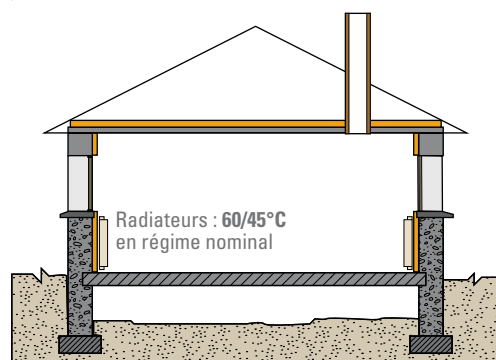
tenu des rendements de ces générateurs aux faibles taux de charge, elle est bénéfique vis-à-vis du nombre de cycles marche-arrêt.

AVOIR UN SEUIL MINIMAL DE MODULATION DE 10 % AU LIEU DE 20 % RÉDUIT PAR PLUS DE 2, LE NOMBRE D'HEURES EN CYCLES MARCHÉ-ARRÊT, POUR CET EXEMPLE

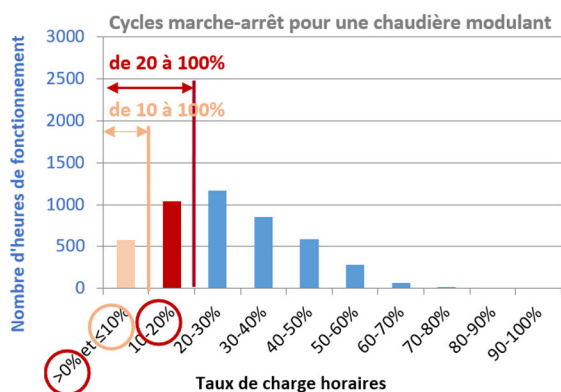
Chaudière gaz à condensation



Maison de référence, à Poitiers
avec des déperditions de **10 kW**
(Température extérieure de base : - 7°C)



Chaudière gaz à condensation de 12 kW
bien dimensionnée pour le chauffage



Chaudière de 24 kW
surdimensionnée pour le chauffage

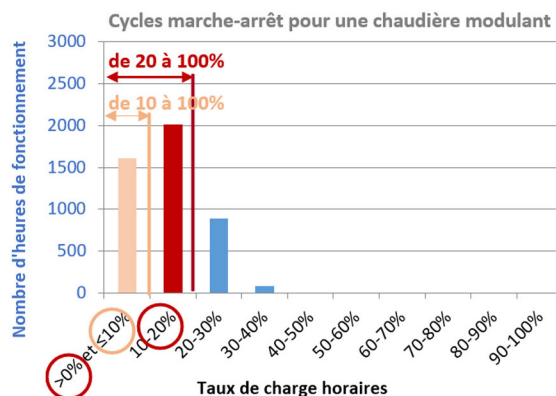


FIGURE 20

Pour l'exemple considéré d'une maison avec 10 kW de déperditions, entre une chaudière gaz à condensation de 24 kW, surdimensionnée par rapport aux déperditions, modulant de 20 à 100 %, et une chaudière de même puissance modulant de 10 à 100 %, le pourcentage d'heures de fonctionnement en cycles marche-arrêt sur la saison de chauffe passe d'environ 70 à 30 %, soit plus de 2 fois moins. Pour une chaudière de 12 kW, bien dimensionnée pour le chauffage, ce pourcentage passe d'environ 30 % à 10 %.

* Les taux de charge horaires correspondent aux puissances moyennes horaires demandées à la chaudière par rapport à sa puissance maximale. Le nombre d'heures pendant lequel la chaudière est à l'arrêt, correspondant à un taux de charge de 0 %, n'est pas indiqué sur ces graphes.

3.5.2 PAC AIR/EAU

Même si l'augmentation de la plage de modulation ne conduit pas à une augmentation notable du coefficient de performance saisonnier du système (SCOP) pour une PAC bien dimensionnée, elle est bénéfique vis-à-vis du risque de courts-cycles.

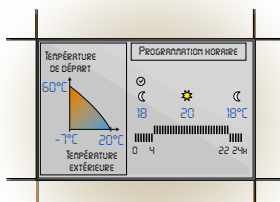
Dans l'exemple traité, une modulation jusqu'à 10 % ou 30 % de taux de charge au lieu de 50 % conduit à une augmentation quelques pourcents du SCOP. Le cas traité est celui de la maison de référence avec des déperditions de 10 kW, équipée d'une PAC inverter, dimensionnée pour couvrir

80 % des déperditions (12,5 kW à +7/35°C) ayant un COP à +7/35°C de 4,2, avec des radiateurs fonctionnant en régime 60/45°C.

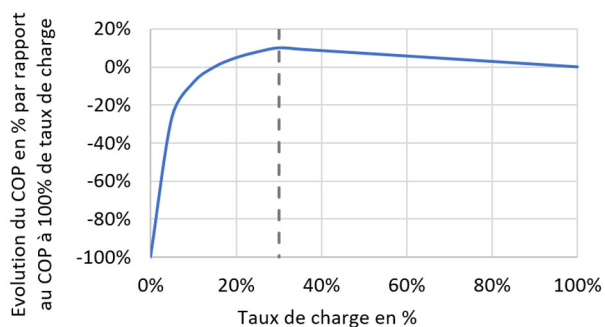
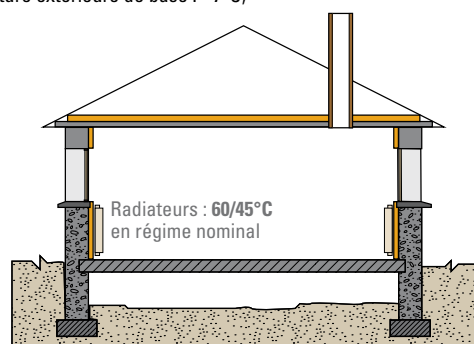
Par ailleurs, comme l'illustre l'exemple ci-après, plus la plage de modulation de la PAC est importante, moins la dégradation du SCOP est élevée, en cas de surdimensionnement. Pour une PAC modulant seulement de 50 à 100 %, une dégradation du SCOP de presque 10 % est observée, dans ce cas.

PLUS LA PAC EST MODULANTE, MOINS LA DÉGRADATION DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES EST IMPORTANTE EN CAS DE SURÉVALUATION DES DÉPERDITIONS.

PAC air/eau inverter
COP + 7/35°C = 4,2



Maison de référence, à Poitiers
avec des déperditions de **10 kW**
(Température extérieure de base : - 7°C)

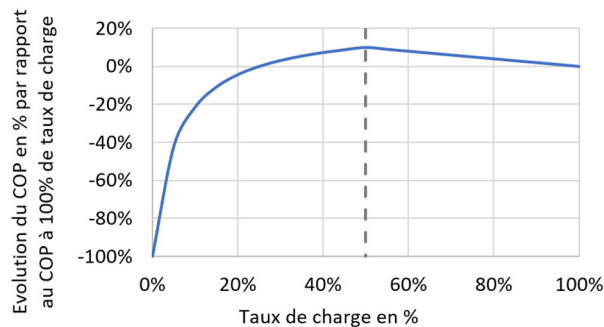


PAC modulant de 30 à 100%

PAC surdimensionnée
PPAC à +7/35°C = 23,5 kW
au lieu de 12,5 kW



Dégradation de
quelques pourcents du
SCOP



PAC modulant de 50 à 100%

Dégradation de
presque 10 % du SCOP

FIGURE 21

Dans cet exemple, avec une PAC air/eau modulant de 30 à 100 %, la multiplication presque par 2 de la puissance de la PAC conduit à une dégradation du coefficient de performance saisonnier du système (SCOP) de presque 10 % dans le cas d'une PAC modulant de 50 à 100 % contre seulement quelques pourcents pour une PAC modulant de 30 à 100 %.

* L'évolution du COP en fonction du taux de charge est représentée pour des conditions de températures de fonctionnement identiques.

3

6

QUEL EST LE POIDS DES BESOINS D'ECS ?

La répartition des besoins annuels d'une maison entre le chauffage et l'ECS varie selon ses besoins pour ces deux usages.

Les besoins annuels d'ECS en habitat dépendent principalement du nombre d'occupants et de leur présence plus ou moins importante tout au long de l'année (étudiants absents durant la période scolaire, gardes partagées, déplacements professionnels, ...).

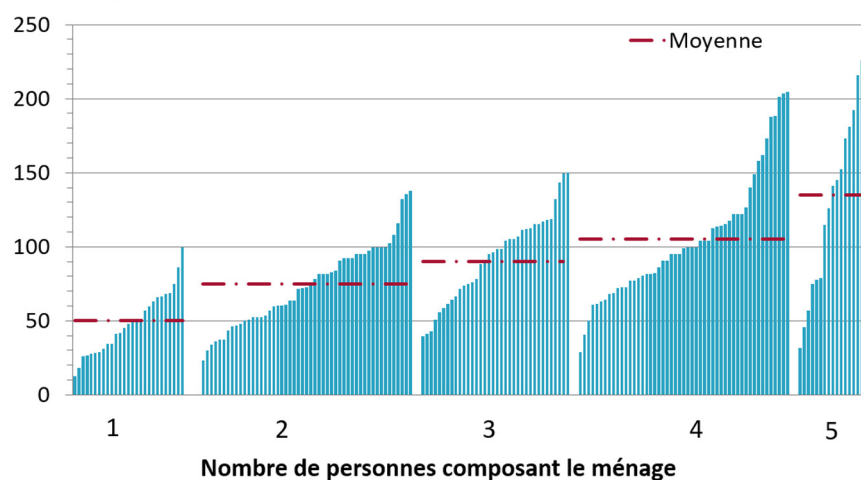
D'après le guide Ademe/Costic sur les besoins d'ECS en habitat, les besoins moyens journaliers par ménage à 55°C

varient, en moyenne, de 50 litres pour une personne seule à 135 litres pour une famille de 5 personnes. Pour une même taille de ménage, les besoins moyens observés varient plus du simple au double, comme le montre la figure ci-après.

A noter par ailleurs que la température moyenne d'eau froide sur l'année observée en France métropolitaine est de 16°C.

DES BESOINS JOURNALIERS MOYENS D'ECS VARIABLES SELON LES MÉNAGES

**Besoins journaliers moyens
de 182 ménages en litres à 55°C**



Nombre de personnes composant le ménage	Besoins moyens d'ECS par ménage			
	en litres à 55°C par jour		en kWh par an	
	moyenne pour l'ensemble des ménages	pour 2/3 des ménages	moyenne pour l'ensemble des ménages	pour 2/3 des ménages
1	50 l	Entre 30 à 70 l	795 kWh	445 à 1 145 kWh
2	75 l	45 à 100 l	1 220 kWh	760 à 1 680 kWh
3	90 l	60 à 120 l	1 530 kWh	1 030 à 2 030 kWh
4	105 l	65 à 150 l	1 740 kWh	1 040 à 2 440 kWh
5	135 l	70 à 200 l	2 200 kWh	1 130 à 3 260 kWh

FIGURE 22 Les besoins moyens d'ECS observés pour 182 ménages de 1 à 5 personnes, en litres par jour à 55°C et en kWh par an.

COMMENT FAIRE



COMMENT ESTIMER LES BESOINS D'ECS À PARTIR DE LA FACTURE D'EAU FROIDE ?

Les factures d'eau peuvent être utilisées pour estimer les besoins d'ECS d'une famille et les situer par rapport aux valeurs moyennes indiquées ci-avant. D'après le guide Ademe/Costic, les besoins d'ECS à 55°C représentent en moyenne environ 30 % des consommations d'eau froide pour une maison individuelle (sans piscine).

Par exemple, si la consommation annuelle d'eau froide d'une famille de 4 personnes est de 140 m³, en supposant que 30 % de cette consommation correspond à l'ECS, on obtient des besoins annuels d'ECS à 55°C de 42 m³ soit 1 900 kWh, en considérant une température moyenne d'eau froide de 16°C ($1,16 \times 140 \times 30 \% \times (55 - 16)$). Pour 2/3 des ménages de 4 personnes les besoins moyens indiqués ci-avant varient entre 1 040 et 2 440 kWh. Les besoins de cette famille se situent donc dans la plage des « comportements moyens ».

Les besoins annuels de chauffage dépendent des déperditions liées à la surface habitable, à la zone géographique et à l'isolation de la maison. Ils varient également selon les apports solaires et internes liés aux occupants et aux appareils (éclairage, cuisine ...) ainsi qu'en fonction du comportement des occupants (températures de consigne, nombre de pièce sans chauffage, fermeture variable des volets, pratique ou non d'un ralenti de nuit et en inoccupation...).

Comme le montre la figure ci-après, les besoins d'ECS deviennent d'autant moins négligeables par rapport aux besoins de chauffage que les déperditions de la maison sont faibles, sa surface habitable est petite et le nombre d'occupants et leurs besoins d'ECS élevés.

Ainsi pour une maison dans le sud de la France de 120 m², occupée par une famille de 4 personnes, ayant fait l'objet

d'une rénovation globale performante dont les besoins de chauffage sont de 30 kWh/m² par an (avec des déperditions de 5 kW), les besoins d'ECS qui varient de 1 040 à 2 440 kWh pour 2/3 des familles représentent de 20 à 40 % des besoins totaux de chauffage et d'ECS.

Pour une maison de même surface, du milieu des années 70, partiellement rénovée (isolation des combles et fenêtres double-vitrage), avec des besoins de chauffage de 131 kWh/m².an (avec des déperditions de 10 kW), les besoins d'ECS représentent de 6 à 13 % des besoins de chauffage et d'ECS.

Pour une maison de même surface non isolée ayant fait l'objet d'aucune rénovation, avec des besoins de chauffage de 300 kWh/m² par an (avec des déperditions de 22 kW), les besoins d'ECS ne représentent plus que 3 à 6 %.

LE POIDS DE L'ECS, TRÈS FAIBLE POUR UNE MAISON TRÈS DÉPERDITIVE, DEVIENT IMPORTANT LORSQUE LES BESOINS DE CHAUFFAGE ET LA SURFACE HABITABLE SONT FAIBLES

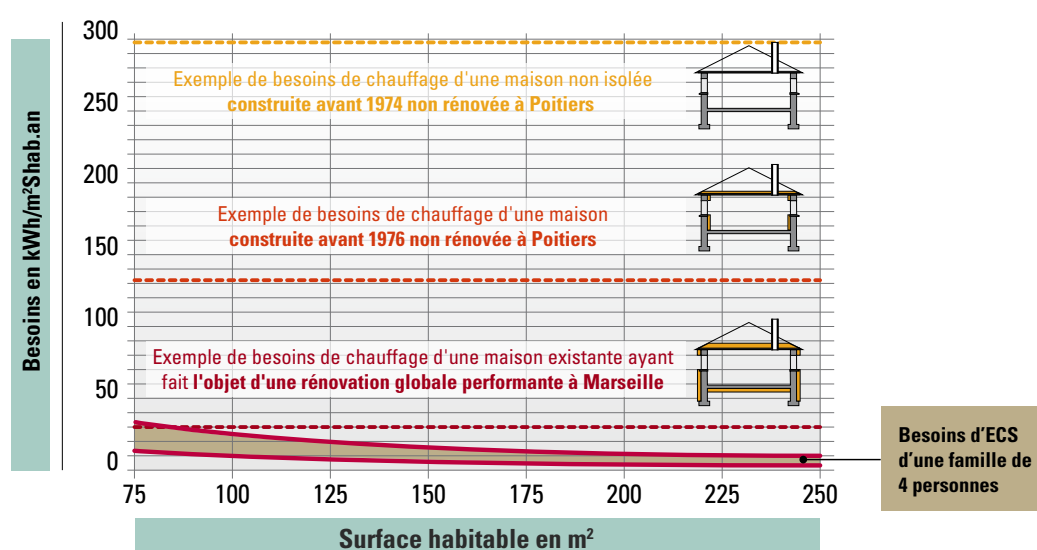


FIGURE 23

Exemple de besoins d'ECS et de chauffage, en kWh/m².an, en fonction de la surface habitable. Par exemple, pour une maison de 120 m², à Marseille, occupée par 4 personnes, ayant fait l'objet d'une rénovation globale performante, avec des besoins de chauffage de 30 kWh/m².an (avec des déperditions de 5 kW), les besoins d'ECS qui varient de 9 à 20 kWh/an.m² pour 2/3 des familles représentent de 20 à 40 % des besoins de chauffage et d'ECS.

// Dans le cas d'un générateur de chauffage et d'ECS, si les besoins de chauffage prédominent, la performance du générateur en mode ECS impacte peu sur les consommations d'énergie. A contrario, si les besoins de chauffage sont faibles, la performance du générateur en mode ECS influe de manière plus notable.

3

7

FAUT-IL OPTER OU NON POUR UN GÉNÉRATEUR INDÉPENDANT POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS ?

3.7.1 UNE CHAUDIÈRE GAZ POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS OU UNE CHAUDIÈRE GAZ POUR LE CHAUFFAGE ASSOCIÉE À UN CHAUFFE-EAU THERMODYNAMIQUE ?

Choisir un générateur indépendant ou non pour le chauffage et l'ECS, pose la question de l'impact de ce choix sur la performance énergétique à la fois en chauffage et en ECS.

Pour ce qui est de l'impact au niveau des performances en chauffage, cela va dépendre des puissances requises. Si la puissance nécessaire pour assurer l'ECS ne conduit pas à sélectionner une chaudière avec une puissance pour le chauffage extrêmement élevée par rapport à celle réellement requise, alors les performances énergétiques en chauffage seront similaires que la chaudière assure seulement le chauffage ou le chauffage et l'ECS, à condition qu'elle ait les mêmes caractéristiques en chauffage.

Ainsi, dans le cas d'une maison ayant des déperditions de 10 kW, recourir à une chaudière chauffage seul de 12 kW ou à une chaudière micro-accumulée de 24 kW en chauffage et 27 kW en ECS conduit à des rendements saisonniers en chauffage similaires. Comme indiqué au chapitre 3.4.1. pour cet exemple, un facteur de 2 au niveau du surdimensionnement de la chaudière en chauffage n'implique pas de dégradation du rendement pour le chauffage. Dans ce cas, ce qui va différencier la performance énergétique globale entre un générateur indépendant ou non pour le chauffage et l'ECS, c'est uniquement la performance en ECS, à condition d'avoir une chaudière avec les mêmes caractéristiques en chauffage, qu'elle assure ou non la production d'ECS.

A contrario, dans le cas d'un appartement ayant seulement 1 kW de déperditions, adopter une chaudière de 24 kW en

chauffage afin de pouvoir produire l'ECS, conduit à une dégradation du rendement en chauffage et va donc pénaliser la performance de la chaudière qui assure à la fois le chauffage et l'ECS.

Pour ce qui est de l'impact au niveau des performances énergétiques en ECS, cela va dépendre des solutions adoptées et des besoins d'ECS.

Ainsi, dans le cas de la maison de 10 kW, occupée par une famille de 4 personnes ayant des besoins d'ECS moyens, opter pour une chaudière à micro-accumulation au lieu d'une chaudière chauffage seul et un chauffe-eau thermodynamique avec un COP moyen annuel de 2, conduit pour l'ECS à une consommation en kWh (en énergie finale) plus importante mais du même ordre de grandeur en €, pour un prix du kWh électrique environ 2,7 fois plus élevé que celui du gaz. Si le prix du kWh électrique est inférieur à 2,7 fois celui du gaz, alors la consommation d'ECS en € est plus faible dans ce cas avec un chauffe-eau thermodynamique.

Recourir à une chaudière à mini-accumulation avec un ballon d'ECS d'environ 40 litres conduit à des résultats similaires, les pertes thermiques liées au maintien en température de l'échangeur ECS de la chaudière à micro-accumulation sont du même ordre de grandeur que celles d'un ballon de 40 litres.

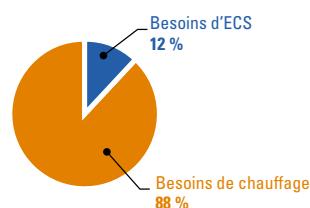
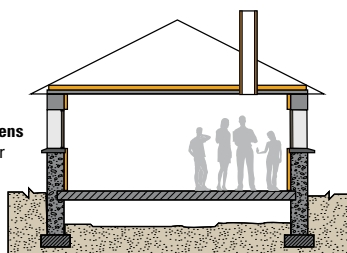
Pour un volume de stockage d'ECS plus important, les consommations seront a contrario plus élevées que celles obtenues pour la chaudière micro-accumulée.

**OPTER POUR UNE CHAUDIÈRE CHAUFFAGE SEUL ASSOCIÉE À UN CHAUFFE-EAU THERMODYNAMIQUE
AU LIEU D'UNE CHAUDIÈRE À MICRO-ACCUMULATION CONDUIT, POUR CET EXEMPLE, À UNE CONSOMMATION TOTALE
UN PEU PLUS FAIBLE EN KWH ET ÉQUIVALENTE EN €, DANS LE CAS D'UN PRIX DU KWH ÉLECTRIQUE 2,7 FOIS
PLUS ÉLEVÉ QUE CELUI DU GAZ**

Cas considérés

Maison de référence, à Poitiers avec des déperditions de 10 kW

Famille de 4 personnes
avec des besoins d'ECS moyens
d'environ 120 l à 55°C par jour
(2 000 kWh par an)



Solution 1	Solution 2
Chaudière gaz à condensation à micro-accumulation 23,6 kW en chauffage 27 kW en ECS Débit spécifique ECS de 14 l/min Echangeur ECS maintenu en température Consigne ECS de 55°C 	Chaudière gaz à condensation chauffage seul 12 kW Caractéristiques de rendement en chauffage similaires à celles de la chaudière à micro-accumulation + Chauffe-eau thermodynamique (CET) COP moyen annuel de 2 Consigne ECS de 55°C 

Consommations annuelles

Chauffage	Consommation solution 1 $\cong$ Consommation solution 2
ECS	$\frac{\text{Conso ECS chaudière à micro - accumulation en kWh}}{\text{Conso ECS CET en kWh}} = \frac{\text{Rendement ECS CET}}{\text{Rendement ECS chaudière à micro - accumulation}} \cong 2,7$
Chauffage et ECS	En kWh : Consommation solution 1 $\cong 1,1 \times$ consommation solution 2 En € : Consommation solution 1 $\cong$ consommation solution 2 si le prix du kWh électrique $\cong 2,7 \times$ Prix du gaz

FIGURE 24

Pour l'exemple considéré, la consommation annuelle en kWh pour l'ECS déterminée est environ 2,7 fois plus élevée pour une chaudière à micro-accumulation que celle obtenue avec un chauffe-eau thermodynamique. Au global, compte tenu du faible poids de l'ECS, la consommation annuelle en kWh pour le chauffage et l'ECS est environ 1,1 fois plus élevée pour la solution 1 que pour la solution 2. Les rendements en ECS pour la chaudière micro-accumulée ont été déterminés à partir des résultats d'essais réalisés par le COSTIC (rapport Règles de l'Art Grenelle Environnement sur les consommations et performances réelles des pompes à chaleur). Le COP moyen annuel de 2 pour le chauffe-eau thermodynamique correspond à la valeur moyenne observée lors de télé-suivis effectués par le COSTIC (rapport Règles de l'Art Grenelle Environnement : Audits et télé-suivis de 20 chauffe-eau thermodynamiques en maison individuelle). Les consommations des auxiliaires de la chaudière, hors circulateur représentent moins de 1 % de ses consommations (et moins de 2 % avec le circulateur).

Les besoins d'ECS sont un paramètre qui influe fortement sur les performances énergétiques en ECS comme le montre la courbe ci-dessous issue de résultats de télé-suivis sur des chauffe-eau thermodynamiques. Plus les besoins sont faibles, plus les performances en ECS sont dégradées. Cette dégradation des performances est encore plus importante pour un chauffe-eau thermodynamique que pour une chaudière à micro-accumulation. Lorsque les besoins diminuent :

- Pour une chaudière micro-accumulée, le poids des pertes liées au maintien en température de l'échangeur devient plus important, c'est pourquoi le rendement diminue.
- Pour un chauffe-eau thermodynamique, en plus du poids des pertes par stockage qui augmente, les performances du chauffe-eau sont dégradées également

à cause des températures d'eau lors du réchauffage du ballon qui sont plus élevées lorsque les besoins sont plus faibles.

Ainsi pour une famille de 4 personnes ayant des besoins environ 60 % moins élevés que la valeur moyenne considérée précédemment, la dégradation des performances en ECS est :

- D'environ 35 % pour le chauffe-eau thermodynamique d'après la courbe ci-dessous (en supposant que le taux d'utilisation était précédemment de 100 %).
- De l'ordre de 10 % pour la chaudière à micro-accumulation.

Les consommations d'énergie pour l'ECS avec la chaudière à micro-accumulation correspondent alors, pour cette famille de 4 personnes avec des besoins plus faibles, à environ 1,9 fois celles du chauffe-eau thermodynamique.

PLUS LES BESOINS D'ECS SONT FAIBLES, PLUS LES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES POUR LA PRODUCTION D'ECS SONT DÉGRADÉES.

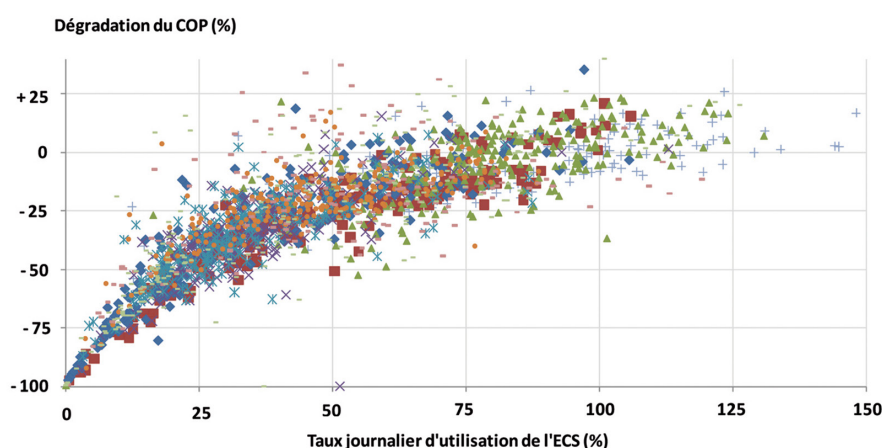


FIGURE 25 Dégradations du COP journalier en fonction du taux d'utilisation de l'ECS observées lors des télé-suivis de chauffe-eau thermodynamiques (rapport Règles de l'Art Grenelle Environnement : Audits et télé-suivis de 20 chauffe-eau thermodynamiques en maison individuelle). Le taux d'utilisation correspond au rapport entre le volume soutiré et le volume maximal disponible pour un appareil donné. Moins les volumes soutirés sont importants, pour un appareil donné, plus son COP est dégradé.

Ces performances peuvent également être impactées par les réglages (température de consigne, mode éco, confort, ...), comme le montrent les résultats des essais réalisés par le COSTIC. Par exemple, pour une consigne de 60°C au lieu de 55°C, la dégradation du rendement observée est de :

- De 20 à 30 % pour un chauffe-eau thermodynamique.

- De moins de 5 % pour une chaudière à micro-accumulation en mode ECS avec maintien en température de l'échangeur.

D'autres éléments plus qualitatifs, indiqués dans le tableau ci-après, interviennent également dans le choix du système de production d'ECS.

Principaux atouts	
Chaudière assurant le chauffage et l'ECS	Chaudière chauffage seul associée à un chauffe-eau thermodynamique
● Un seul appareil (réduction de l'encombrement, coûts d'entretien limités) ● Confort en ECS (volumes importants d'ECS qui peuvent être produits sur une journée) ● Risques sanitaires limités	● Utilisation des énergies renouvelables ● Optimisation du dimensionnement de la chaudière par rapport aux besoins de chauffage (moins de cycles marche-arrêt) ● En cas de panne sur un appareil, seul le chauffage ou la production d'ECS est arrêté.

TABLEAU 5 Principaux atouts, hors différences de coûts d'investissement et de performances énergétiques, entre une chaudière assurant le chauffage et l'ECS et une chaudière chauffage seul associée à un chauffe-eau thermodynamique.

3.7.2 UNE PAC AIR/EAU POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS OU UNE PAC POUR LE CHAUFFAGE ASSOCIÉE À UN CHAUFFE-EAU THERMODYNAMIQUE ?

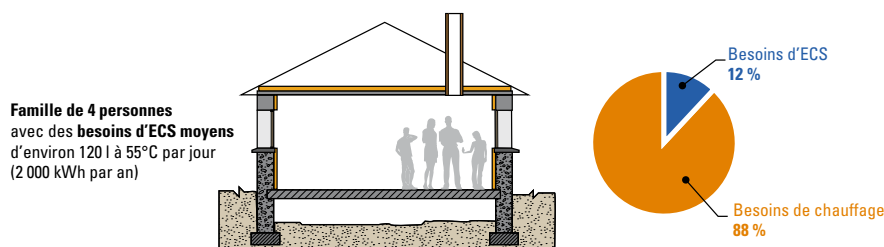
Recourir à une PAC qui assure à la fois le chauffage et la production d'ECS au lieu d'un chauffe-eau thermodynamique associé à une pompe à chaleur conduit pour l'exemple considéré ci-après à une consommation d'énergie et un coût énergétique du même ordre de grandeur.

Pour des PAC ayant les mêmes caractéristiques en chauffage, l'écart de consommations entre ces deux cas dépend essentiellement de leur performance intrinsèque pour la production d'ECS (de leur COP pour le même profil de soutirage et la même température de consigne d'ECS).

CHOISIR UNE PAC AIR/EAU POUR LE CHAUFFAGE ASSOCIÉE À UN CHAUFFE-EAU THERMODYNAMIQUE AU LIEU D'UNE PAC AIR/EAU POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS CONDUIT, POUR CET EXEMPLE, À UNE CONSOMMATION EN KWH ET EN € SIMILAIRE

Cas considérés

Maison de référence, à Poitiers avec des déperditions de 10 kW, pour une température extérieure de base de -7°C



Solution 1	Solution 2
PAC air/eau assurant le chauffage et l'ECS P_{PAC} à $-7/60^{\circ}\text{C}$ = 80 % des déperditions Soit P_{PAC} à $+7/35^{\circ}\text{C}$ = 12,5 kW Ballon échangeur ECS de 180 litres COP de 2,7 pour le profil L, pour une consigne ECS à 55°C Programmation de l'ECS : 2 plages de confort et le reste en réduit	PAC air/eau assurant le chauffage Puissance et COP à $+7/35^{\circ}\text{C}$ identiques à ceux de la PAC assurant le chauffage et l'ECS + Chauffe-eau thermodynamique (CET) CET air extérieur/air ambiant de 225 l COP de 2,7 pour le profil L, pour une consigne ECS à 55°C (idem solution 1) Réchauffage asservi aux heures creuses

Consommations annuelles

Conso chauffage et ECS en kWh et en € : similaires entre la solution 1 et 2

FIGURE 26

Pour l'exemple considéré, la consommation annuelle en kWh et en € pour le chauffage et l'ECS est similaire entre la solution 1 et 2. Dans cet exemple, les performances intrinsèques pour la production d'ECS et pour le chauffage sont identiques entre les 2 solutions : même COP en ECS pour le profil L à une consigne ECS de 55°C pour la PAC assurant le chauffage et l'ECS et le chauffe-eau thermodynamique et même COP $+7/35^{\circ}\text{C}$ ainsi que même puissance entre la PAC qui assure à la fois le chauffage et l'ECS et la PAC chauffage seul. La puissance de la PAC est déterminée en fonction des déperditions et non par rapport aux besoins d'ECS même si elle assure la production d'ECS en plus du chauffage.

Comme indiqué précédemment, les besoins d'ECS sont un paramètre qui influe fortement sur les performances énergétiques en ECS des systèmes thermodynamiques (voir chapitre précédent). Plus les besoins d'ECS sont faibles, plus les performances diminuent. Plus la capacité de l'appareil de production d'ECS est surdimensionnée, plus les performances sont dégradées.

Ces performances peuvent être également impactées par les réglages (température de consigne, mode éco, confort, ...).

D'autres éléments plus qualitatifs, indiqués dans le tableau ci-après, interviennent également dans le choix du système de production d'ECS.

Principaux atouts	
Pompe à chaleur assurant le chauffage et l'ECS	Pompe à chaleur assurant le chauffage associée à un chauffe-eau thermodynamique
- Un seul appareil (simplification de l'entretien, encombrement généralement un peu moins important). - Confort ECS en été généralement plus important. Puissance souvent plus élevée pour produire l'ECS.	- Confort ECS et thermique durant la saison de chauffe plus important (pas de coupures du chauffage pour assurer la production d'ECS). - En cas de panne sur un appareil, seul le chauffage ou la production d'ECS est arrêté.

TABLEAU 6 Principaux atouts, hors différences de coûts d'investissement, entre une PAC assurant à la fois le chauffage et l'ECS et une PAC chauffage seul associée à un chauffe-eau thermodynamique.

3.7.3 UNE CHAUDIÈRE À GRANULÉS ASSOCIÉE À UN BALLON D'ECS OU UNE CHAUDIÈRE À GRANULÉS POUR LE CHAUFFAGE ET UN CHAUFFE-EAU ELECTROSOLAIRE ?

Choisir un générateur indépendant ou non pour le chauffage et l'ECS pose la question de l'impact de ce choix sur la performance énergétique à la fois en chauffage et en ECS.

Pour ce qui est du chauffage, il n'y aura pas de différence de performances entre une chaudière à granulés assurant uniquement le chauffage ou bien le chauffage et l'ECS, à condition que la puissance de la chaudière soit identique dans les deux cas comme le préconisent les Recommandations PROFEEL sur ces chaudières.

A contrario, si la chaudière à granulés est surdimensionnée pour assurer la production de l'ECS en plus du chauffage, alors les performances énergétiques de cette chaudière en chauffage seront dégradées.

Pour ce qui est de l'impact au niveau des performances énergétiques en ECS, cela va dépendre des solutions adoptées et des besoins d'ECS.

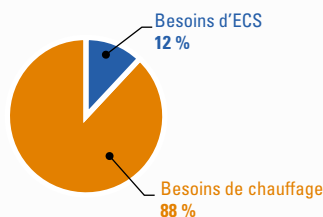
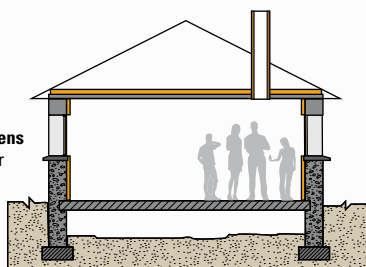
Pour l'exemple considéré ci-après, les consommations en ECS sont moins élevées lorsque le réchauffage de l'ECS est assuré par un chauffe-eau électrosolaire et non par la chaudière à granulés.

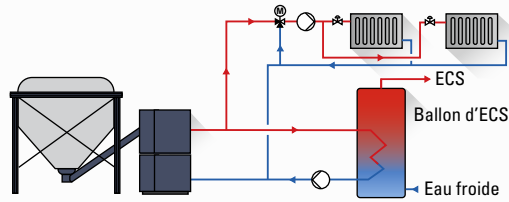
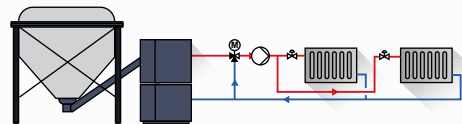
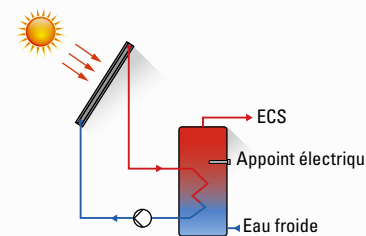
OPTER POUR UNE CHAUDIÈRE À GRANULÉS POUR LE CHAUFFAGE ASSOCIÉE À UN CHAUFFE-EAU ÉLECTROSOLAIRE AU LIEU D'UNE CHAUDIÈRE À GRANULÉS POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS CONDUIT, POUR CET EXEMPLE, À UNE CONSOMMATION TOTALE EN KWH UN PEU PLUS FAIBLE

Cas considérés

Maison de référence, à Poitiers avec des déperditions de 10 kW

Famille de 4 personnes
avec des **besoins d'ECS moyens**
d'environ 120 l à 55°C par jour
(2 000 kWh par an)



Solution 1	Solution 2
Chaudière à granulés assurant le chauffage et l'ECS Chaudière de 10 kW 	Chaudière à condensation assurant le chauffage Chaudière de 10 kW avec des caractéristiques de rendement en chauffage similaires à celles de la chaudière à granulés de la solution 1  + Chauffe-eau électrosolaire avec un taux de couverture des besoins de 50 % 

Consommations annuelles	
Chauffage	Consommation solution 1 $\cong$ Consommation solution 2
ECS	$\frac{\text{Conso ECS en kWh solution 1 (granulés)}}{\text{Conso ECS en kWh solution 2 (électrosolaire)}} = \frac{\text{Rendement ECS en solution 2 (électrosolaire)}}{\text{Rendement ECS solution 1 (granulés)}} > 2,5$
Chauffage et ECS	En kWh : Consommation solution 1 $\cong$ 1,1 x consommation solution 2

FIGURE 27 Pour l'exemple considéré, la consommation annuelle en kWh pour l'ECS est plus de 2,5 fois plus faible lorsque le réchauffage de l'ECS est assuré par un chauffe-eau électro-solaire avec un taux de couverture de 50 % et non par la chaudière à granulés via un ballon échangeur. Au global, compte tenu du faible poids de l'ECS, la consommation annuelle en kWh pour le chauffage et l'ECS est environ 1,1 fois plus élevée pour la solution 1 que pour la solution 2.

Le dispositif anti-retours froids est intégré à la chaudière dans cet exemple

D'autres éléments plus qualitatifs, indiqués dans le tableau ci-après, interviennent également dans le choix du système de production d'ECS.

Principaux atouts	
Chaudière à granulés assurant le chauffage et la production d'ECS par un ballon échangeur • Encombrement moins important • Un seul appareil à entretenir	Chaudière à granulés assurant le chauffage associée à un chauffe-eau électro-solaire • Arrêt de la chaudière à granulés en dehors de la saison de chauffe.

TABLEAU 7 Principaux atouts, hors différences de coûts d'investissement et de performances énergétiques, entre une chaudière à granulés assurant à la fois le chauffage et la production d'ECS par un ballon échangeur séparé et une chaudière à granulés assurant seulement le chauffage associée à un chauffe-eau électro-solaire.

3

8

QUEL EST L'INTÉRÊT D'AJOUTER UN BALLON HYDRO-ACCUMULATION POUR LES CHAUDIÈRES À GRANULÉS ?

Une réserve d'eau de chauffage peut être mise en œuvre entre la chaudière à granulés et le circuit de distribution. On parle d'hydro-accumulation. Cette réserve d'eau stocke en partie l'énergie produite par le générateur. Celle-ci est ensuite restituée au chauffage (et éventuellement à l'eau chaude sanitaire) quand l'appareil est arrêté.

Ce volume d'eau supplémentaire augmente l'inertie de l'installation ce qui permet de réduire le nombre de cycles de fonctionnement tout en allongeant leur durée. Les cycles marche-arrêt sont préjudiciables vis-à-vis du rendement et de la durabilité de la chaudière ainsi qu'en termes d'émissions de polluants.

Ces cycles marche-arrêt sont d'autant plus nombreux que la chaudière est peu modulante ou surdimensionnée.

Ainsi, dans le cas de la maison avec 10 kW de déperditions prise en exemple, pour une chaudière modulant seulement de 45 à 100 % bien dimensionnée, sans ballon hydro-accumulation, le pourcentage d'heures de fonctionnement avec des cycles marche-arrêt est d'environ 65 % et de 90 % si la chaudière est surdimensionnée d'un facteur 2 (voir chapitre 3.4.3.).

Le ballon hydro-accumulation permet également d'assurer un découplage hydraulique lorsque les circuits chaudière et distribution n'ont pas le même régime de température. C'est le cas, en particulier, pour les planchers chauffants. Le dimensionnement du ballon d'hydro-accumulation doit respecter les règles précisées dans les Recommandations PROFEEL sur les chaudières à granulés.

LA MISE EN ŒUVRE D'UN BALLON À HYDRO-ACCUMULATION PERMET D'ASSURER UN DÉCOUPLAGE HYDRAULIQUE ET DE RÉDUIRE LES CYCLES MARCHÉ-ARRÊT, NÉFASTES EN TERMES DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE, D'USURE ET D'ÉMISSIONS DE POLLUANTS.

Maison de référence, à Poitiers
avec des déperditions de 10 kW

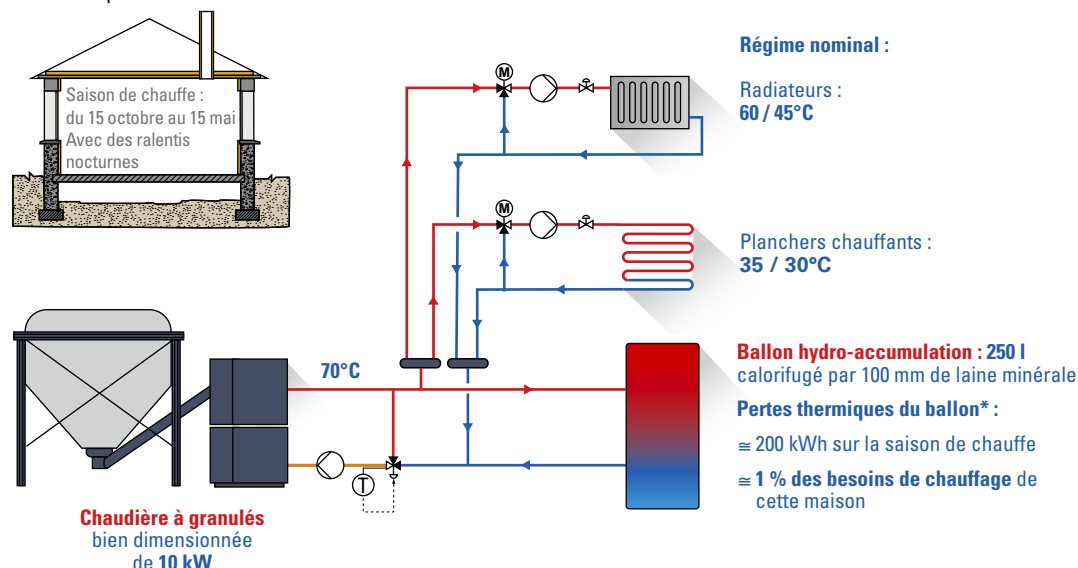


FIGURE 28

Exemple d'installation avec un ballon hydro-accumulation. La mise en œuvre d'un ballon hydro-accumulation est particulièrement recommandée dans le cas d'une chaudière faiblement modulante qui engendre un nombre plus important de cycles marche-arrêt ou en présence d'un plancher chauffant compte tenu des régimes de température plus faibles. Une chaudière surdimensionnée d'un facteur 2, de 20 kW, implique outre une dégradation de ses performances, un volume de ballon 2 fois plus important, de 500 litres soit 2/3 de pertes thermiques en plus, qui représentent environ 2 % des besoins de chauffage de cette maison prise en exemple.

Les pertes ont été déterminées en supposant en moyenne sur la saison de chauffe, une température d'eau de 55°C au sein du ballon et de 20°C autour de celui-ci.

NOTE



Opter pour un ballon hydro-accumulation bien calorifugé.

3

9

QUEL EST LE GAIN SI DES PLANCHERS-CHAUFFANTS SONT INSTALLÉS ?

3.9.1 PAC AIR/EAU

Dans le cas d'une PAC air/eau, l'installation de planchers-chauffants à la place des radiateurs entraîne un gain énergétique très important.

Pour l'exemple considéré ci-après, installer des planchers en régime nominal 35/30°C au lieu de radiateurs en 60/45°C entraîne une augmentation de l'ordre de 50 % du

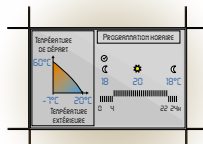
coefficient de performance saisonnier (SCOP), pour une même PAC.

Si le COP de la PAC installée dans le cas des planchers est plus grand, 4,7 au lieu de 4,2 à +7/35°C, le gain est de 70 % sur le SCOP.

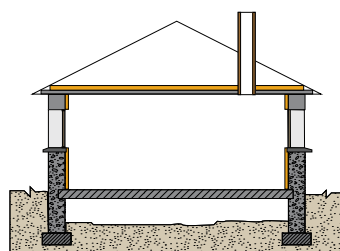
DANS LE CAS D'UNE PAC AIR/EAU, L'INSTALLATION DE PLANCHERS-CHAUFFANTS À LA PLACE DES RADIATEURS PERMET DE RÉDUIRE NOTABLEMENT LES CONSOMMATIONS.

Cas considérés

PAC air/eau inverter modulant de 30 à 100%
assurant uniquement le chauffage
 P_{PAC} à -7/60°C = 80% des déperditions
Soit P_{PAC} à +7/35°C = 12,5 kW

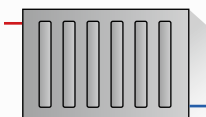


Maison de référence, à Poitiers
avec des déperditions de **10 kW**
(Température extérieure de base : -7°C)



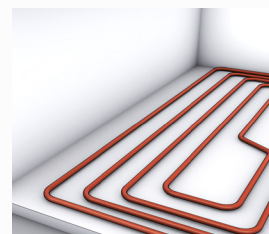
Solution 1

Radiateurs à basses températures
Régime nominal : 60/45°C



Solution 2

Planchers-chauffants
Régime nominal : 35/30°C



Consommations annuelles pour le chauffage

Gain sur les consommations de chauffage pour la solution 2 avec les planchers-chauffants $\cong$ 50 % par rapport à la solution 1 avec des radiateurs

FIGURE 29 Exemple de gain sur les consommations de chauffage obtenu si des planchers-chauffants sont installés au lieu des radiateurs à basses températures, pour une même PAC air/eau.

LA TEMPÉRATURE D'EAU DE FONCTIONNEMENT D'UNE PAC AIR/EAU A UNE INFLUENCE TRÈS IMPORTANTE SUR SES PERFORMANCES

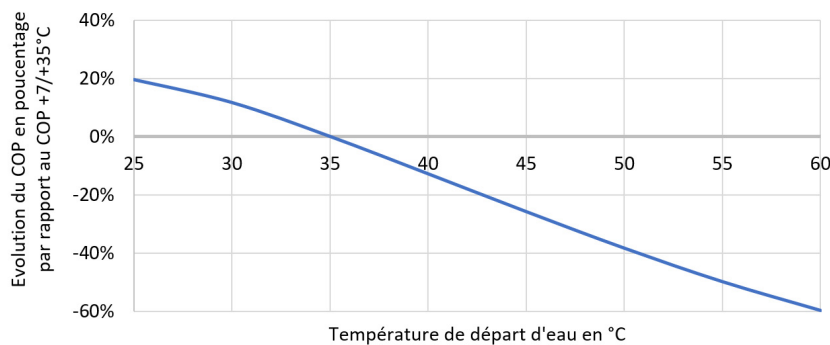


FIGURE 30 Exemple d'évolution du COP d'une PAC air/eau en fonction de sa température de départ d'eau, pour une température d'air de +7°C. La dégradation importante du COP lorsque la température de départ d'eau est plus élevée explique le gain notable obtenu si des planchers-chauffants sont installés au lieu des radiateurs à basses températures.

3.9.2 CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION

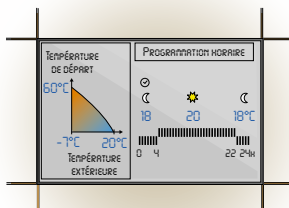
L'installation de planchers-chauffants fonctionnant à un régime 35/30°C au lieu de radiateurs à basses températures en régime de 60/45°C conduit à un gain limité sur les performances d'une chaudière gaz à condensation, car avec ces radiateurs à basses températures la chaudière fonctionne déjà tout le temps en mode condensation, même si elle condense moins.

Ainsi pour l'exemple décrit ci-dessous, avec une chaudière assurant seulement le chauffage, le gain est de seulement quelques pourcents sur le rendement du générateur sur la saison de chauffe.

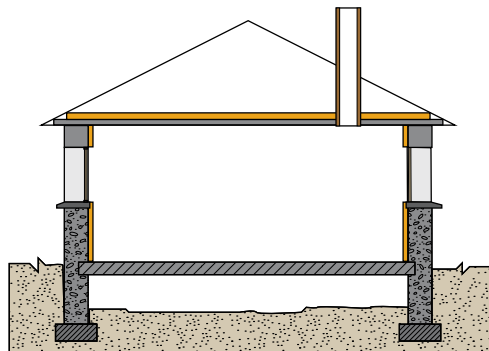
DANS LE CAS D'UNE CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION, L'INSTALLATION DE PLANCHERS-CHAUFFANTS À LA PLACE DES RADIATEURS A BASSES TEMPÉRATURES GÉNÈRE UNE TRÈS FAIBLE RÉDUCTION DU RENDEMENT EN CHAUFFAGE

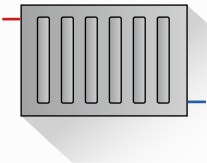
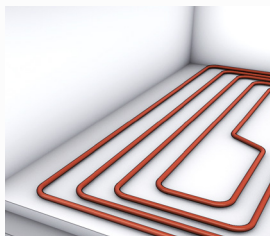
Cas considérés

Chaudière gaz à condensation
assurant uniquement le chauffage
modulant de 20 à 100%
 $P_{\text{Chaudière}} = 12 \text{ kW}$



Maison de référence, à Poitiers
avec des déperditions de **10 kW**
(Température extérieure de base : -7°C)



Solution 1	Solution 2
Radiateurs à basses températures Régime nominal : 60/45°C 	Planchers-chauffants Régime nominal : 35/30°C 

Consommations annuelles pour le chauffage

Gain sur les consommations de chauffage pour la solution 2 avec les planchers-chauffants

≡ Seulement quelques pourcents par rapport à la solution 1 avec des radiateurs à basses températures

FIGURE 31 Exemple de gain sur les consommations de chauffage obtenu si des planchers-chauffants sont installés au lieu des radiateurs à basses températures, pour une même chaudière gaz à condensation.

3

10

QUEL EST L'IMPACT D'UN CHANGEMENT DE RÉGIME DE TEMPÉRATURE DES RADIATEURS ?

3.10.1 DES RADIATEURS EN 80/60°C AU LIEU DE 60/45°C POUR UNE CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION

Avoir des radiateurs fonctionnant à des régimes nominaux de températures d'eau élevés et non à basses températures a un impact limité sur les performances d'une chaudière gaz à condensation avec une régulation en fonction de la température extérieure.

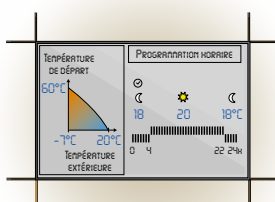
Pour l'exemple considéré ci-après, le rendement sur la saison de chauffe de la chaudière gaz à condensation est dégradé de moins de 5 % si les radiateurs fonctionnent en régime nominal en 80/60°C au lieu de 60/45°C.

Avec un régime nominal de 80/60°C, la chaudière ne condense pas pour les températures extérieures les plus froides. Néanmoins, ces conditions de températures sont peu rencontrées si bien qu'une grande partie de la saison de chauffe, grâce à la régulation de la température de départ en fonction de la température extérieure, on profite des performances de la chaudière en mode condensation. Ainsi pour l'exemple traité, 70 % des besoins de chauffage correspondent à des températures de retour d'eau inférieures à 55°C.

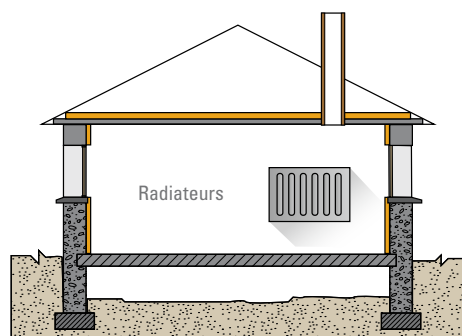
DANS LE CAS D'UNE CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION, UN FONCTIONNEMENT DES RADIATEURS EN 80/60°C AU LIEU DE 60/45°C, EN RÉGIME NOMINAL, A UN IMPACT LIMITÉ SUR SON RENDEMENT EN CHAUFFAGE, À CONDITION QUE LA TEMPÉRATURE DE SORTIE D'EAU DE LA CHAUDIÈRE SOIT BIEN RÉGLÉE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE

Cas considérés

Chaudière gaz à condensation
assurant uniquement le chauffage
modulant de 20 à 100 %
 $P_{\text{Chaudière}} = 12 \text{ kW}$



Maison de référence, à Poitiers
avec des déperditions de **10 kW**
(Température extérieure de base : - 7°C)



Cas 1	Cas 2
Radiateurs avec un régime nominal de 60/45°C	Radiateurs avec un régime nominal de 80/60°C

Consommations annuelles pour le chauffage

Augmentation des consommations de chauffage pour le cas 2 avec des radiateurs en 80/60°C
≃ Quelques pourcents par rapport au cas 1 avec des radiateurs à basses températures en 60/45°C

FIGURE 32 Exemple d'écart sur les consommations de chauffage obtenu si le régime nominal des radiateurs est de 80/60°C au lieu de 60/45°C, pour une même chaudière gaz à condensation, avec une régulation optimale de sa température de sortie en fonction de la température extérieure.

LA RÉGULATION EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE PERMET DE PROFITER UNE GRANDE PARTIE DE LA SAISON DE CHAUFFE DES PERFORMANCES EN MODE CONDENSATION, POUR UN RÉGIME NOMINAL DES RADIATEURS EN 80/60°C

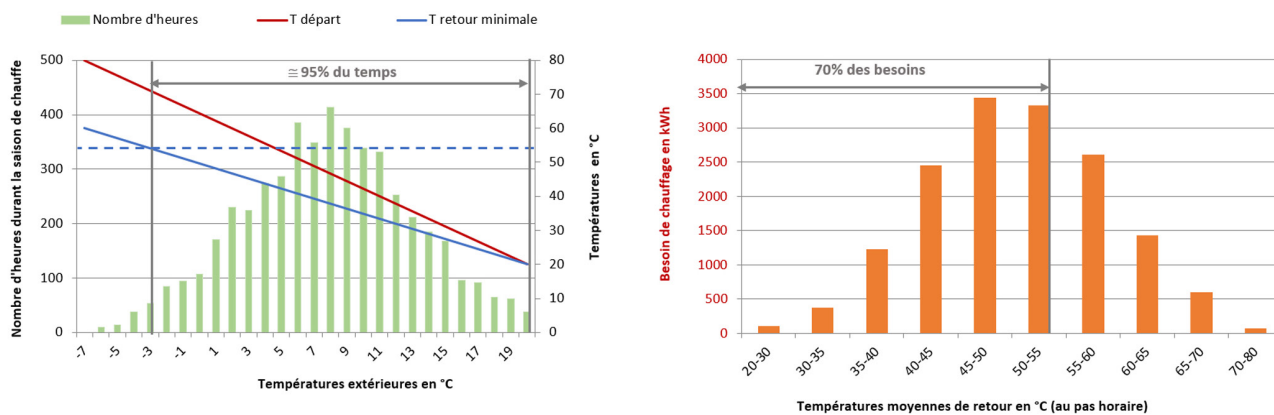


FIGURE 33 Avec une loi d'eau pour des radiateurs en 80/60°C en régime nominal, environ 70 % des besoins de chauffage de la maison prise en exemple située à Poitiers (H2b) correspondent à des températures de retour d'eau de moins de 55°C permettant à la chaudière de fonctionner en mode condensation. Environ 95 % du temps, les températures extérieures sont supérieures à -3°C ce qui correspond, selon la loi d'eau, à des températures de retour d'eau minimales de moins de 55°C. Ces résultats ont été obtenus pour une chaudière régulée en fonction de la température extérieure, parcourue par un débit constant.

3.10.2 DES RADIATEURS EN 50/40°C AU LIEU DE 60/45°C POUR UNE PAC AIR/EAU

Avoir des radiateurs fonctionnant à un régime nominal de température plus faible, avec une PAC air/eau, permet de réduire sensiblement les consommations. En effet, comme le montre la figure 30, la dégradation du COP d'une PAC air/eau est importante, lorsque la température de départ d'eau est plus élevée.

Pour l'exemple considéré ci-après, avoir des radiateurs fonctionnant en régime nominal 50/40°C au lieu de radiateurs en 60/45°C entraîne un gain de l'ordre de 20 % sur le coefficient de performance saisonnier (SCOP), pour une même PAC.

DANS LE CAS D'UNE PAC AIR/EAU, UN FONCTIONNEMENT DES RADIATEURS EN 50/40°C AU LIEU DE 60/45°C, EN RÉGIME NOMINAL, CONDUIT À UN GAIN DE L'ORDRE DE 20 % SUR LES CONSOMMATIONS POUR CET EXEMPLE

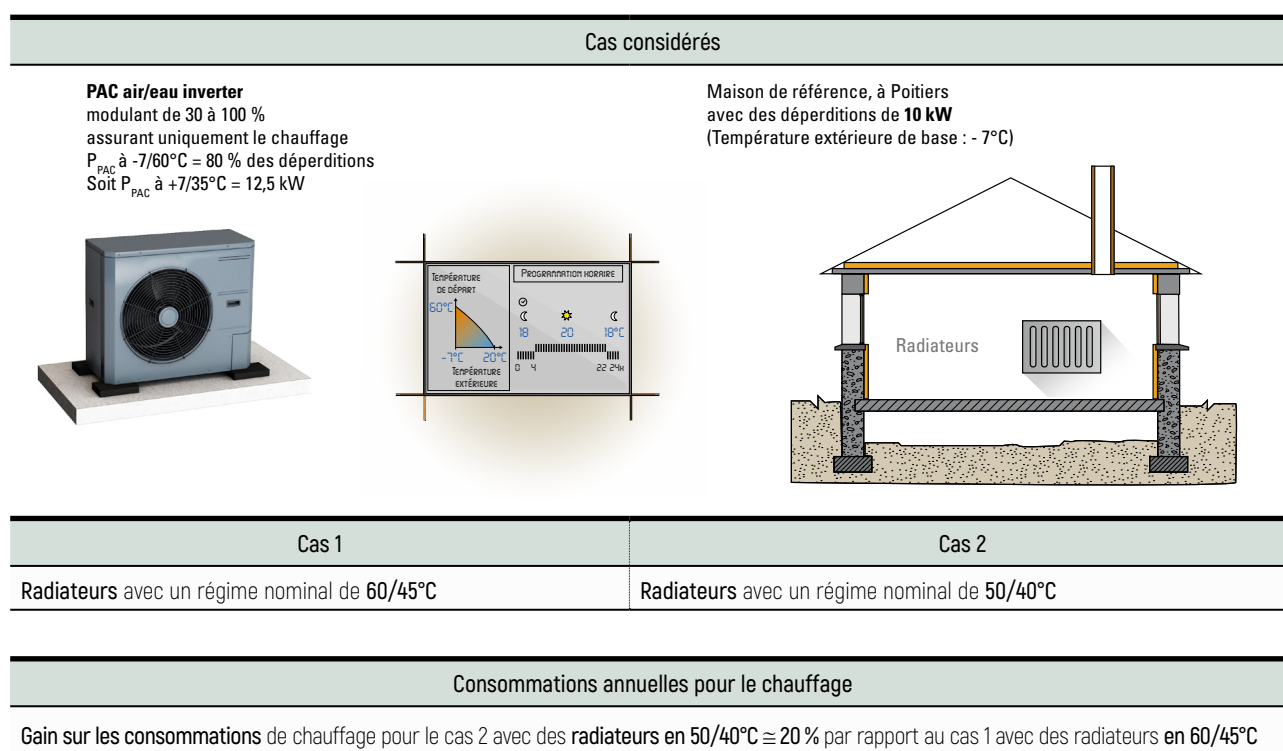


FIGURE 34 Exemple de gains sur les consommations de chauffage obtenu si le régime nominal des radiateurs est de 50/40°C au lieu de 60/45°C, pour une même PAC air/eau.

NOTE



Il est important de vérifier lors de l'installation d'une PAC en rénovation si les radiateurs existants peuvent fonctionner à des régimes de températures d'eau plus faibles et d'envisager si nécessaire, le changement des radiateurs ou de certains d'entre eux.

Cette vérification peut être faite à l'aide de l'outil de calcul des PAC développé dans le cadre de PROFEEL [outil pour ordinateur, tablette ou smartphone, téléchargeable librement]. En plus du calcul des déperditions, cet outil permet de déterminer le régime d'eau des émetteurs optimal vis-à-vis des performances énergétiques, à partir de la connaissance des puissances des émetteurs installés.

// Lors du changement du générateur, outre les choix de conception, la mise en œuvre et les réglages (loi d'eau, programmation horaire, ...) peuvent impacter de manière importante sur les consommations.

4

RÉFÉRENCES

4

1

RÉFÉRENCES NORMATIVES

NF EN 12831-1 : Performance énergétique des bâtiments – Méthode de calcul de la charge thermique nominale – Partie 1 : Charge de chauffage des locaux, module M3-3 – Juillet 2017

NF P52-612/CN : Systèmes de chauffage dans les bâtiments – Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base – Complément national à la norme NF EN 12831 – Valeurs par défaut pour les calculs des articles 6 à 9 – Décembre 2010

NF DTU 65.16 : Travaux de bâtiment – Installations de pompes à chaleur – Partie 1-1 : cahier des clauses techniques types – Juin 2017

NF EN 13203-1 : Appareils domestiques produisant de l'eau chaude sanitaire utilisant les combustibles gazeux – Partie 1 : Evaluation de la performance en puisage d'eau chaude – Novembre 2015

4

2

AUTRES DOCUMENTS

Recommandations professionnelles – Appareils de chauffage divisé à granulés en habitat individuel Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 – Septembre 2015

Recommandations professionnelles – Les chaudières à granulés en maison individuelle – Conception et dimensionnement – PROFEEL – Septembre 2021

Recommandations professionnelles – Chauffe-eau solaire en habitat individuel – Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 – Juillet 2013

Audits et télé-suivis de 20 chauffe-eau thermodynamiques en maison individuelle – Rapport Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 – Février 2013

Production d'eau chaude sanitaire individuelle – Performance des appareils double-service – Rapport Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 – Octobre 2013

Consommations et performances réelles des pompes à chaleur – Rapport Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 – Juin 2014

Les pompes à chaleur avec inverter – Rapport Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 – Septembre 2013

COSTIC – Guide technique : Les besoins d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif – Ademe – Mai 2016

COSTIC – Guide technique : Le dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif – Ademe, EdF, Cégibat, COSTIC – Juin 2019

TABLE DES MATIÈRES

1	QUE TROUVE-T-ON DANS CE GUIDE ?	4
2	QUELLES SONT LES RÈGLES DE RÉFÉRENCE POUR LE DIMENSIONNEMENT DES GÉNÉRATEURS ?	5
2.1	Le calcul des déperditions	5
2.2	Les règles de dimensionnement	7
2.2.1	PAC air/eau	7
2.2.2	Chaudières gaz pour le chauffage seul	8
2.2.3	Chaudière gaz pour le chauffage et l'ECS	8
2.2.4	Chaudières à granulés	10
2.2.5	Poêles à granulés	10
3	QUEL EST L'IMPACT DES CHOIX ADOPTÉS LORS DU CHANGEMENT DE GÉNÉRATEUR DE CHAUFFAGE ?	12
3.1	Les jours les plus froids représentent-ils la part la plus importante des consommations de chauffage ?	14
3.2	A quels taux de charge un générateur de chauffage fonctionne-t-il le plus fréquemment dans l'année ?	14
3.3	Y-a-t-il une dégradation importante des rendements des générateurs à faibles taux de charge ?	16
3.3.1	Chaudière gaz à condensation	16
3.3.2	Chaudière à granulés	17
3.3.3	Poêles à granulés	18
3.3.4	PAC air/eau	18
3.4	Quelles sont les conséquences d'un surdimensionnement du générateur de chauffage ?	19
3.4.1	Chaudière gaz à condensation	19
3.4.2	PAC air/eau	21
3.4.3	Chaudière à granulés	23
3.4.4	Poêles à granulés	24
3.5	Quel est l'intérêt d'avoir un générateur avec une large plage de modulation de sa puissance ?	26
3.5.1	Chaudière gaz à condensation	26
3.5.2	PAC air/eau	27
3.6	Quel est le poids des besoins d'ECS ?	28
3.7	Faut-il opter ou non pour un générateur indépendant pour le chauffage et l'ECS ?	30
3.7.1	Une chaudière gaz pour le chauffage et l'ECS ou une chaudière gaz pour le chauffage associée à un chauffe-eau thermodynamique ?	30

TABLE DES MATIÈRES

3.7.2	Une PAC air/eau pour le chauffage et l'ECS ou une PAC pour le chauffage associée à un chauffe-eau thermodynamique ?	33
3.7.3	Une chaudière à granulés associée à un ballon d'ECS ou une chaudière à granulés pour le chauffage et un chauffe-eau electrosolaire ?	34
3.8	Quel est l'intérêt d'ajouter un ballon hydro-accumulation pour les chaudières à granulés ?	36
3.9	Quel est le gain si des planchers-chauffants sont installés ?	37
3.9.1	PAC air/eau	37
3.9.2	Chaudière gaz à condensation	38
3.10	Quel est l'impact d'un changement de régime de température des radiateurs ?	39
3.10.1	Des radiateurs en 80/60°C au lieu de 60/45°C pour une chaudière gaz à condensation	39
3.10.2	Des radiateurs en 50/40°C au lieu de 60/45°C pour une PAC air/eau	41

4

	RÉFÉRENCES	42
4.1	Références normatives	42
4.2	Autres documents	42

[illegible]

NOTES

[illegible]

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary-ruled notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

RÉSUMÉ

Ce guide, destiné aux professionnels, apporte des réponses à travers des exemples, à différentes questions qui se posent lors du changement de générateur de chauffage en maison individuelle. Mon client souhaite changer son générateur :

- Je le remplace par un appareil de même puissance ?
- Quel est l'impact d'un surdimensionnement du générateur sur ses performances ?
- J'opte pour deux appareils indépendants pour le chauffage et pour l'ECS ou bien pour un générateur assurant à la fois le chauffage et la production d'ECS ?
- Quel gain si j'installe des planchers-chauffants ou des radiateurs à basses températures à la place des émetteurs existants ? ...

En plus de l'influence de ces choix sur les consommations énergétiques, l'impact sur d'autres aspects (confort thermique et ECS, risque sanitaire, pérennité du générateur, pollution atmosphérique, ...) est aussi évoqué.

Des réponses à d'autres questions liées à celles-ci sont également apportées :

- Les jours les plus froids représentent-ils la part la plus importante des consommations de chauffage ?
- A quels taux de charge le générateur fonctionne t'il le plus fréquemment durant la saison de chauffage ?
- Quel est le poids des besoins d'ECS ? ...

Les générateurs visés sont :

- Les chaudières gaz à condensation.
- Les pompes à chaleur (PAC) air/eau.
- Les chaudières à granulés.
- Les poêles à granulés.