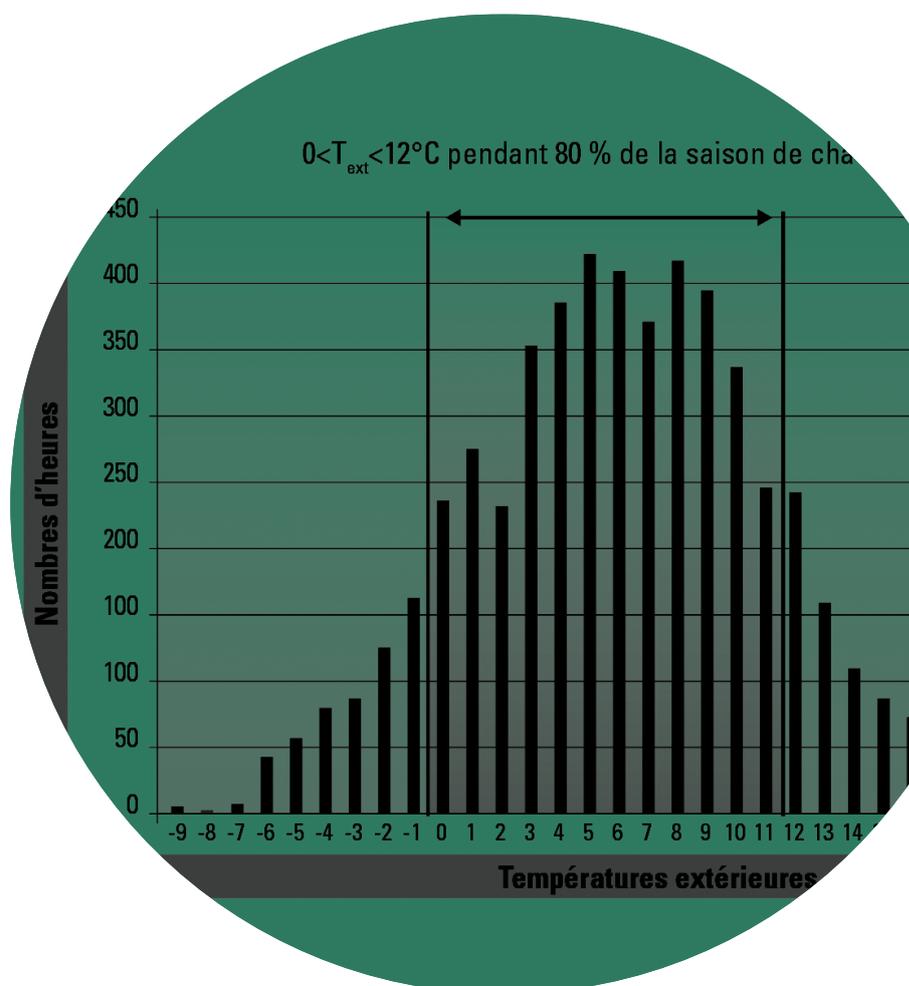


IMPACT DES CHOIX DE CONCEPTION SUR LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES GÉNÉRATEURS EN HABITAT COLLECTIF

AOÛT 2022



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



Filière Bâtiments

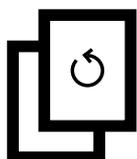


PROFEEL, un programme financé par le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE)



SOMMAIRE

①	POURQUOI CE GUIDE ?	4
②	RÉFÉRENCES	5
③	QUEL DIMENSIONNEMENT POUR LES INSTALLATIONS DE PRODUCTION DE CHAUFFAGE	6
④	QUEL EST L'IMPACT DES CHOIX ADOPTÉS LORS DU CHANGEMENT DE GÉNÉRATEUR DE CHAUFFAGE ?	23
⑤	QUEL DIMENSIONNEMENT POUR LES INSTALLATIONS DE PRODUCTION D'ECS ?	51



VERSION

DATE DE LA PUBLICATION

MODIFICATIONS

Août 2022

1

POURQUOI CE GUIDE ?

Dans le cadre d'une opération de rénovation de chaufferie, un changement de chaudière (voire d'énergie) est réalisé. La généralisation des appareils de chauffage performants y est évidente, notamment du fait d'obligations réglementaires :

- la réglementation thermique des bâtiments existants impose une efficacité énergétique minimale lors du remplacement des équipements de chauffage. L'installation d'une chaudière à condensation permet par exemple de répondre à cette exigence ;
- la Directive européenne sur l'éco-conception qui impose des rendements minimaux pour toutes les chaudières de plus de 70 kW et moins de 400 kW, commercialisées depuis le 26 septembre 2015. Concrètement, cela revient, par exemple, à imposer des technologies plus performantes telle que la condensation pour les chaudières fonctionnant au gaz naturel.

Mais choisir un générateur performant ne suffit pas, d'autant plus en rénovation. Quel que soit le type de production adopté, les spécificités des nouvelles technologies mais aussi la réduction importante des besoins des bâtiments amène en effet à revoir les pratiques de conception des installations de chauffage à eau chaude.

L'objectif de ce guide est d'indiquer, au travers d'un jeu de questions/réponses, les choix devant être faits au niveau de la chaufferie, au stade de la conception, dans le cadre d'une rénovation globale (bâti et systèmes) ou encore d'une rénovation limitée au périmètre de la chaufferie.

- faut-il recalculer la puissance du nouveau générateur ou maintenir un générateur de même puissance que celui existant ?
- quelle règle utiliser pour déterminer la puissance à installer pour le chauffage ? Pour l'eau chaude sanitaire ?
- les règles de référence sont-elles source de surdimensionnement ? Si oui, quelles sont les conséquences d'une surpuissance importante ?
- quel choix adopter vis-à-vis du nombre de générateurs ?
- quel choix adopter vis-à-vis de la répartition des puissances entre les générateurs ?
- quel est l'impact du choix du système de production d'ECS sur le fonctionnement et les performances de la chaufferie ?
- plutôt opter pour deux appareils indépendants (un pour le chauffage et un pour l'ECS ou bien pour un générateur assurant à la fois le chauffage et la production d'ECS ?

Voici des exemples de questions auxquels ce guide apporte des réponses.

Les générateurs de chauffage à eau chaude ciblés sont les chaudières gaz à condensation et pour certaines questions, les chaudières à bois déchiqueté ou les pompes à chaleur.

Un guide à destination des professionnels : bureaux d'études, maîtres d'ouvrage, installateurs, exploitants, ...

2

RÉFÉRENCES

2

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

DTU 65.4 : « Prescriptions techniques relatives aux chaufferies aux gaz et aux hydrocarbures liquéfiés » – Novembre 1997

2

2

AUTRES DOCUMENTS

Conception de chaufferies collectives gaz à condensation – Cegibat – 2017

Comment optimiser la performance en chaufferie ? – GRDF, Atlantic – 2018

Recommandations professionnelles – Chaufferie bois – Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 – 2015

Dossiers techniques Cegibat – <https://cegibat.grdf.fr>

MOOC « **Optimisation des Chaufferies : Conception, Régulation, Gestion** » – Plateforme « MOOC bâtiment durable » mise en place dans la dynamique du Programme d'Action pour la qualité de la Construction et la Transition Energétique PACTE – 2015

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

3

QUEL DIMENSIONNEMENT POUR LES INSTALLATIONS DE PRODUCTION DE CHAUFFAGE

Cette partie porte sur les différentes questions relatives au dimensionnement des générateurs de chauffage à eau chaude, dans le cadre d'une rénovation de chaufferie accompagnée ou non d'une rénovation globale.

Après être revenu sur ce qu'est le dimensionnement d'une installation de production de chauffage, les règles de référence associées sont rappelées et leur impact sur le choix final de la puissance en chaufferie mis en avant.

3

1

DIMENSIONNER UNE INSTALLATION DE PRODUCTION DE CHAUFFAGE, QU'EST-CE QUE C'EST ?

Dimensionner une installation, c'est déterminer la puissance (ici de chauffage) nécessaire pour assurer le besoin (ici le maintien du confort) en toutes circonstances et notamment les plus extrêmes. Ces circonstances extrêmes se traduisent notamment par :

- le choix d'une température extérieure de référence, température « minimale » dite de base, rarement observée ;
- la non prise en compte des apports gratuits c'est-à-dire quand il n'y a pas de soleil et que les apports internes sont nuls ;
- la non-considération de l'inertie du bâtiment, qui va accumuler la puissance produite.

// Etant données les conditions considérées pour dimensionner, la puissance de chauffage ainsi déterminée et installée est une considération réglementaire voire assurantielle (assurer une ambiance à 19 °C), mais en aucun cas technique (optimiser les performances).

3 2 DES RÉGLES À SUIVRE ?

3.2.1 LES RÉGLES UTILISÉES EN PRATIQUE

Le dimensionnement des installations de chauffage sur les projets de rénovation est un sujet majeur qui impacte le fonctionnement, la performance énergétique et le coût de l'opération. Pour autant, les pratiques divergent. Différentes pratiques sont ainsi constatées lors d'une rénovation de chaufferie. Par exemple :

- dans le cas où cette dernière est globale (travail sur l'enveloppe et les systèmes), alors que les besoins de chauffage diminuent, la puissance de chauffage est très rarement recalculée pour l'adapter au bâtiment après travaux ;

// Très souvent, les acteurs remettent une chaufferie d'une puissance équivalente à celle d'avant travaux pour éviter tous risques de plaintes ou de contre références.

- quand la puissance est recalculée, différentes méthodes de dimensionnement sont utilisées, plus ou moins précises. Les méthodes « EN12831 » ou « ratios » sont le plus souvent employées par les bureaux d'études. L'utilisation de la simulation thermique dynamique permet, dans certains cas, de confirmer/optimiser le calcul des déperditions et des puissances de chauffage à mettre en jeu ;
- la norme EN 12831-1 relative aux calculs des déperditions thermiques inclut une surpuissance nécessaire à la période de relance du chauffage. Pour certaines professionnels, cette surpuissance ne semble plus justifiée, particulièrement pour des bâtiments performants thermiquement. Les performances des bâtiments rénovés mais aussi du fait des apports internes non comptabilisés dans les calculs, implique qu'aucune surpuissance ne soit appliquée de façon systématique ;
- à l'inverse, même si le calcul de la puissance nécessaire après travaux est réalisé, des entreprises continuent à appliquer des coefficients supplémentaires de surpuissance importants pour éviter tous risques de plaintes ultérieures. Plusieurs éléments incitent en effet les concepteurs à appliquer une surpuissance systématique, par exemple :
 - les défauts de mise en œuvre de l'isolant pouvant remettre en cause les performances thermiques de l'enveloppe initialement calculées ;
 - il peut arriver que la température de base utilisée pour le calcul des déperditions ne corresponde pas aux températures les plus froides constatées ;
 - la ventilation et plus spécifiquement le réglage des débits hygiéniques. Souvent mal réglés à la mise en service, les sur-débits d'extraction occasionnent des déperditions par renouvellement d'air supérieures à celles du calcul ;
 - une température intérieure imposée par le calcul de 19 °C contre des températures de chauffe réelle généralement supérieures.

ATTENTION



On distingue chez les concepteurs deux approches pour le dimensionnement d'une installation de chauffage : une approche économe et ajustée et une autre intégrant des marges de sécurité et des surpuissances maximales.

3.2.2 LES RÈGLES DE RÉFÉRENCE

Le processus de calcul de la puissance de chauffage d'une installation, ou autrement dit sa charge thermique nominale, est défini dans la norme de référence NF EN 12831-1. Les valeurs de consignes et les différents facteurs à introduire dans ce calcul sont déterminés dans le complément national à la norme, référencé NF P52-612/CN.

L'application de cette norme permet de déterminer la puissance nécessaire (pour compenser les déperditions thermiques du bâtiment et la relance éventuelle) permettant de maintenir la température intérieure requise dans des conditions de fonctionnement données.

CONSEILS



Une norme est par nature d'application volontaire (et non obligatoire). Leur valeur technique est néanmoins reconnue et officialisée par les pouvoirs publics, notamment pour servir de référence dans une réglementation, un marché public ou encore une marque de certification. Élaborées et validées à l'issue d'une procédure largement ouverte à toutes les parties intéressées, elles sont l'expression d'un consensus.



Sans pour autant être obligatoire réglementairement, nombre de bureaux d'études s'appuient sur la NF EN 12831-1 lors du calcul de dimensionnement d'un générateur. Dans tous les cas, si la puissance installée est inférieure à celle calculée et que des problèmes d'inconfort sont constatés, le concepteur de l'installateur pourra être mis en cause.

3.2.2.1 LES DÉPERDITIONS DE BASE, COMMENT LES CALCULER ?

Quel que soit le système de chauffage, son dimensionnement nécessite de connaître les déperditions du bâtiment à chauffer. La méthode de calcul existante est décrite dans la NF EN 12831-1. Elle édicte des dispositions claires sur le calcul des déperditions qu'elles soient surfaciques, linéiques ou par renouvellement d'air.



Peu d'écart sont de ce fait constaté sur le calcul des déperditions d'un même bâtiment entre concepteurs.

CONSEILS



Une nouvelle version de la NF EN 12831 est entrée en vigueur en 2017. L'annexe nationale, pas encore parue à ce jour, doit préciser les valeurs de consignes et les différents facteurs (notamment les températures extérieures de base en fonction des localités en France, la température intérieure de référence et un certain nombre d'autres entrées par défaut) à introduire dans le calcul de la charge thermique nominale. Ainsi, en toute rigueur, il n'est pas possible aujourd'hui en France de faire un calcul de déperditions conformément à la dernière version de cette norme.

3.2.2.2 LA SURPUISSANCE DE RELANCE, A INTÉGRER OBLIGATOIREMENT ?

La charge thermique nominale de l'installation est fonction des déperditions thermiques mais aussi d'un facteur de surpuissance de relance.

CONSEILS



Cette surpuissance ne fait pas partie du calcul de déperditions de base mais du dimensionnement. Les professionnels sont tout à fait libres de leurs choix pour fixer une éventuelle surpuissance de relance.

Cette surpuissance n'est pas une majoration de puissance pour palier à certains défauts de l'installation mais la surpuissance nécessaire pour atteindre la température intérieure nominale requise en un temps donné après une période de ralenti. En effet, lorsque l'on pratique un chauffage discontinu, pour ajuster la température ambiante à l'usage du bâtiment, la relance de l'installation demande une surpuissance par rapport au fonctionnement continu.

COMMENT FAIRE



Pour un local à chauffage permanent, la surpuissance de relance est nulle et la charge thermique nominale est donc égale aux déperditions.

Elle est déterminée de manière détaillée (par des méthodes de calcul dynamique) ou simplifiée. Dans ce cas, elle est calculée à partir de l'annexe nationale NF P52-612/CN (2010) et dépend de plusieurs facteurs et notamment :

- du temps de relance ;
- de la chute de température prévue lors de l'intermittence de 8 heures (en résidentiel) ;
- de l'inertie du bâtiment.

COMMENT FAIRE



La surpuissance de relance est un coefficient en W/m^2 de la surface du bâtiment qui permet de relancer la température de 2, 3 ou 4 °C en 1, 2 ou 3 heures. Ce coefficient est fonction de l'inertie (faible, moyenne ou lourde) du bâtiment.

// D'importants écarts sont constatés de ce fait entre concepteurs sur le calcul du facteur de surpuissance d'un même bâtiment.

Appliquer une surpuissance de relance est fonction du projet à traiter et plus particulièrement :

- du type de bâtiment : logement ou tertiaire ;
- de son occupation : continue ou discontinue ;
- de son emplacement géographique : pour un bâtiment occupé saisonnièrement à Nice ou à Strasbourg par exemple ;
- de son niveau d'isolation.

CONSEILS



Dans certains cas, notamment lorsque le système de régulation est capable de supprimer automatiquement le ralenti lors des jours les plus froids, il n'est pas toujours nécessaire de tenir compte d'une surpuissance de relance lors du calcul de dimensionnement des installations de chauffage. Il est toutefois conseillé de se mettre explicitement d'accord sur ce point avec le client.

3

3

LES RÈGLES DE RÉFÉRENCE, SOURCE DE SURDIMENSIONNEMENT ?

COMMENT FAIRE



L'annexe nationale à la NF EN 12831-1, pas encore parue à ce jour, doit donner de nouvelles règles notamment par rapport :

- à la prise en compte ou non des apports dans les conditions de températures extérieures de base ;
- à la surpuissance à prévoir ou non dans le cas d'une programmation d'intermittence du chauffage. Des questions se posent en effet sur la justification ou non de cette surpuissance pour des bâtiments performants thermiquement.

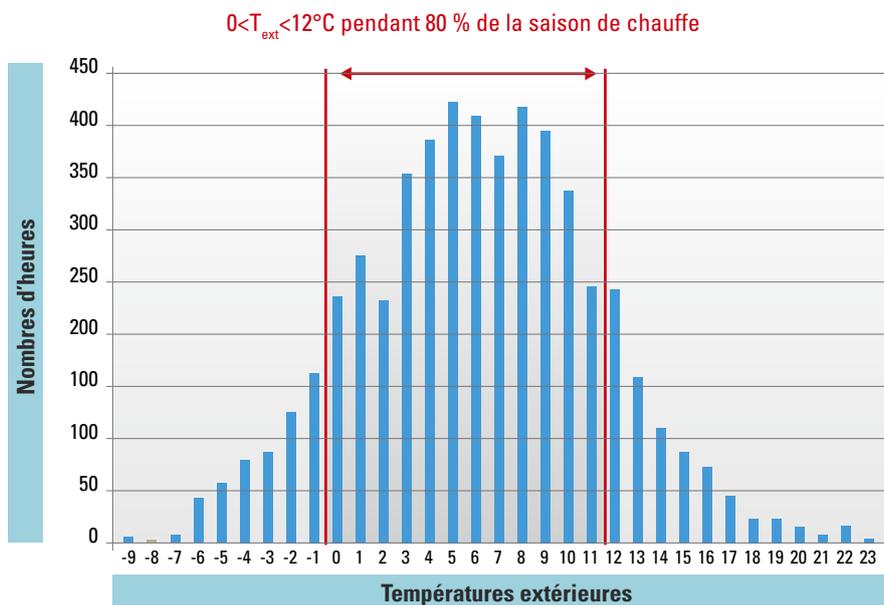
3.3.1 UNE PUISSANCE DE CHAUFFAGE CALCULÉE POUR DES CONDITIONS RAREMENT OBSERVÉES ?

La puissance de chauffage est déterminée pour les conditions les plus extrêmes :

- les apports solaires ainsi que les apports internes liés aux occupants et aux appareils (éclairage, cuisine ...) ne sont pas pris en compte ;
- l'inertie du bâtiment, qui va accumuler la puissance produite, n'est pas considérée dans les calculs ;
- les déperditions sont calculées pour la température extérieure minimale dite de base.

On donne, à titre d'exemple, la fréquence d'apparition des températures extérieures pour un immeuble de logements situé dans le Nord de la France. Pour rappel, la température extérieure de référence utilisée pour déterminer la puissance de chauffage est de $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figure 1 Exemple de répartition de la fréquence d'apparition des Text sur la saison de chauffe pour la station du Nord et une température extérieure de base de $-9\text{ }^{\circ}\text{C}$



Les températures extérieures les plus froides sont peu rencontrées. Pendant plus de $\frac{3}{4}$ de la saison de chauffe correspondent à des températures extérieures comprises entre 0 et 12 °C, pour cet exemple dans le Nord.

La température extérieure de base utilisée pour la détermination de la puissance de chauffage est très peu rencontrée, seulement quelques heures dans l'année. La puissance appelée est donc la plupart du temps inférieure à la puissance calculée.

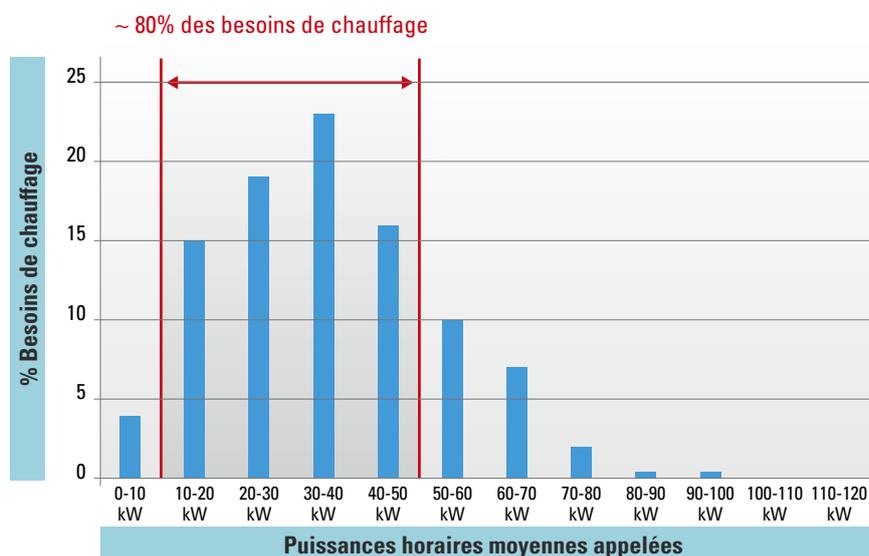
On donne, à titre d'exemple, la répartition des besoins de chauffage couverts et des puissances chauffage réellement appelées pendant la saison de chauffe. Ces valeurs ont été obtenues pour un bâtiment de référence avec une chaudière bien dimensionnée de 130 kW.

Ainsi, pour un bâtiment simulé avec des déperditions de 115 kW et une chaudière bien dimensionnée pour le chauffage de 130 kW (en intégrant une faible surpuissance de relance) :

- le taux de charge journalier n'atteint jamais 100 % sur l'ensemble de la saison de chauffe ;
- la puissance nominale de 130 kW n'est jamais appelée (du fait de la prise en compte des apports gratuits notamment) ;
- la puissance maximale appelée réellement est de 94 kW, soit 70 % de la puissance nominale ;
- 80 % des besoins de chauffage du bâtiment sont couverts par la chaudière fonctionnant à des taux de charge horaires compris entre 10 et 50 %.

Correctement dimensionnés, les générateurs pour le chauffage fonctionnent rarement (voire jamais) à pleine puissance et donc à pleine charge. On ne peut donc pas conclure, lorsqu'on observe sur une installation un taux de charge moyen faible, que l'installation est « surdimensionnée ».

Figure 2 Répartition des besoins de chauffage couverts et des puissances réellement appelées. Ces valeurs ont été obtenues pour un bâtiment de référence avec une chaudière bien dimensionnée de 130 kW



CONSEILS



Le sous-dimensionnement, c'est-à-dire un dimensionnement du générateur qui ne se fait pas à température extérieure de base, pourrait être envisagé si ce dernier est accepté par le maître d'ouvrage et pris en compte par l'exploitant (notamment par ajout en prévention de convecteurs ponctuels par exemple).

3.3.2 DES TEMPÉRATURES EXTÉRIEURES DE BASE QUI NE CORRESPONDENT PLUS À LA RÉALITÉ ?

Le dimensionnement d'une installation de chauffage est réalisé en considérant les déperditions du bâtiment à la température extérieure de base du lieu.

COMMENT FAIRE



La température de base utilisée pour le calcul des circuits de chauffage n'est pas la température la plus basse qui puisse être mesurée dans une région donnée. Il s'agit d'une valeur raisonnable pour, en règle générale, permettre d'assurer correctement le chauffage par grand froid, tout en limitant les excès de puissance installée.

Indépendamment du débat éventuel de la pertinence de cette approche, il est légitime de se poser la question de la pertinence de cette valeur de référence, notamment vis-à-vis du changement climatique. Autrement dit, doit-on tenir compte de l'évolution climatique dans les pratiques de conception et de dimensionnement des installations de chauffage ?

Les DJU étant calculés à partir des valeurs minimales et maximales journalières de la température extérieure, il est possible d'analyser l'évolution des températures minimales observées chaque année.

COMMENT FAIRE



Les DJU sont calculés par le COSTIC à partir des valeurs maximales et minimales quotidiennes de la température extérieure, sur la base d'une observation trihoraire (une donnée toutes les 3 heures). Les données utilisées sont issues de stations MétéoFrance. Les DJU sont établis du 1^{er} septembre au 30 juin pour couvrir la saison de chauffe. Les DJU sont calculés selon ces modalités depuis les années 50.

Sur ces vingt dernières années, on observe pour cet indicateur une évolution traduisant un réchauffement. Cependant, l'oscillation autour de la tendance générale (tendance moyenne sur l'ensemble des stations de + 3,4 K sur 20 ans) fait que des températures assez basses peuvent toujours être rencontrées.

On donne ci-dessous l'examen des températures minimales rencontrées au cours des vingt dernières saisons de chauffe pour deux exemples : Rennes et Strasbourg. Est indiqué le nombre de jours dans la saison de chauffe où la température minimale a été inférieure ou égale à la température de base :

Tableau 1 Nombre de jours dans la saison de chauffe où la température minimale a été inférieure ou égale à la température de base

Ville	Rennes	Strasbourg
Température extérieure de base	- 4 °C	- 15 °C
2001 / 2002	5 j	1 j
2002 / 2003	9 j	0 j
2003 / 2004	6 j	0 j
2004 / 2005	7 j	0 j
2005 / 2006	13 j	0 j
2006 / 2007	1 j	0 j
2007 / 2008	16 j	0 j
2008 / 2009	11 j	0 j
2009 / 2010	16 j	1 j
2010 / 2011	10 j	1 j
2011 / 2012	10 j	1 j
2012 / 2013	3 j	0 j
2013 / 2014	3 j	0 j
2014 / 2015	8 j	0 j
2015 / 2016	0 j	0 j
2016 / 2017	17 j	0 j
2017 / 2018	3 j	0 j
2018 / 2019	1 j	0 j
2019 / 2020	2 j	0 j

L'examen sur un plus grand nombre de stations permet de tirer les conclusions suivantes :

- la fréquence des hivers doux s'est accentuée ces dix dernières années et les températures minimales tendent à augmenter. Cependant, ce processus n'est pas constant, ni linéaire et des extrema froids peuvent encore être observés ;
- la pertinence actuelle des températures extérieures de base est plus liée au calage initial (selon les lieux, elle peut être sur ou sous-évaluée) qu'à l'évolution climatique.

3.3.3 DES VALEURS DE SURPUISSANCE POUR LA RELANCE TROP IMPACTANTES ?

On rappelle que les professionnels sont tout à fait libres de leurs choix pour fixer une éventuelle surpuissance de relance.

COMMENT FAIRE



En outre, le CCTG, dont les règles de dimensionnement étaient imposées précédemment dans les marchés publics et servaient de référence dans les marchés privés n'est plus en vigueur. Dans ce CCTG, des coefficients de surpuissance étaient indiqués en fonction du combustible et des puissances de la chaufferie. Dans ce CCTG étaient également données des règles pour la répartition des puissances des chaudières, la règle des 2/3.

Néanmoins, il peut être noté plusieurs points :

- de manière simplifiée, le facteur de surpuissance peut varier de 6 W/m² (relance de la température de 2 °C en 4 h pour un bâtiment de faible inertie) à 25 W/m² (relance de la température de 4 °C en 1 h pour un bâtiment de faible inertie).

A titre d'exemple, pour un bâtiment justifiant de 100 kW de déperditions thermiques, la surpuissance de relance peut représenter de 20 % (relance de la température de 2 °C en 4 h) à 80 % (relance de la température de 4 °C en 1 h) de ces déperditions. Selon la NF EN 12831-1, la puissance installée peut être dans ce cas très impactée et varier de 120 à 180 kW.

- généralement, les concepteurs considèrent que la surpuissance adoptée pour la relance du chauffage après un ralenti est déjà intégrée dans les déperditions du fait du processus de calcul (notamment vis-à-vis de la non prise en compte des apports gratuits et des fréquences d'apparition des températures extérieures de base utilisées) ;



Les concepteurs estiment qu'il existe peu de risque d'être confronté à un manque de chauffage dans les bâtiments, même les quelques jours dans l'année à - 7 °C à Paris ou à - 4 °C à Nice.



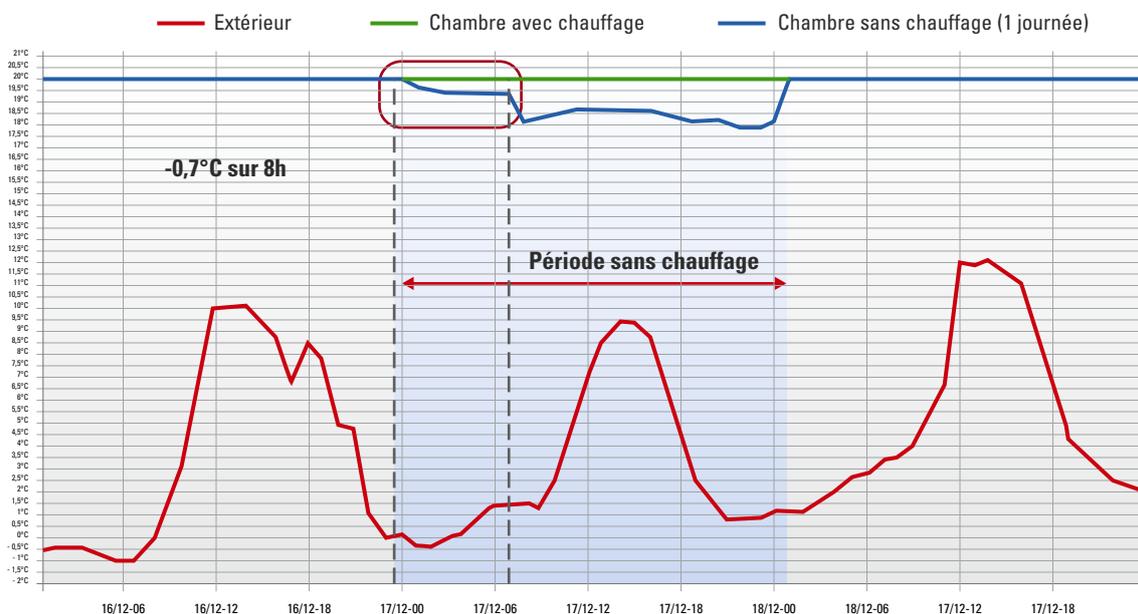
- les surpuissances généralement adoptées jusqu'à présent sont remises en cause, notamment dans les bâtiments neufs ou fortement rénovés. En effet, dans ces bâtiments très isolés avec une forte inertie, les températures ambiantes durant les ralentis de nuit chutent peu et ne justifient pas la mise en place d'une surpuissance de relance.



Les concepteurs estiment qu'avec des bâtiments neufs ou fortement rénovés, 10 % de surpuissance lié à la relance suffisent pour passer sans inconfort les deux ou trois jours de l'année où il fait vraiment froid. Néanmoins, un calcul dynamique doit permettre cette prise de position.

Faut-il alors prendre en compte des abaissements de nuit sur un bâtiment neuf à forte inertie ?

On simule un arrêt de chauffage de 24 h (le jours le plus froid de l'année) dans une pièce d'un bâtiment afin d'observer la chute de température ambiante obtenue. Elle est de 0.7 °C sur la période nuit (de 8 heures) et de 2 °C au maximum sur les 24 heures étudiées.

Figure 3 Impact d'un abaissement de nuit sur un bâtiment neuf, à forte inertie

// Sur un bâtiment neuf, à forte inertie, ne pas prendre d'abaissement de nuit semble justifié (ce qui évite une surpuissance à la relance inutile).

Faut-il prendre en compte des abaissements de nuit sur un bâtiment existant ?

On simule différents réduits (de 2 à 5 K) de nuit sur 3 jours (correspondant à la période la plus froide de l'année) et ce pour un deux ensembles de logements :

- un petit collectif de 20 logements isolé (115 kW de déperditions) et non isolé (178 kW de déperditions) ;
- un grand collectif de 54 logements isolé (227 kW de déperditions) et non isolé 367 kW de déperditions).

ATTENTION



Aucune surpuissance de relance n'est considérée.

On donne ci-dessous le comportement à la relance pour le grand collectif isolé pour un réduit de 2 °C et de 5 °C.

Figure 4 Evolution de la température intérieure et de la puissance fournie par les chaudières en fonction de la température extérieure : cas d'un grand collectif isolé avec réduit de 2 K

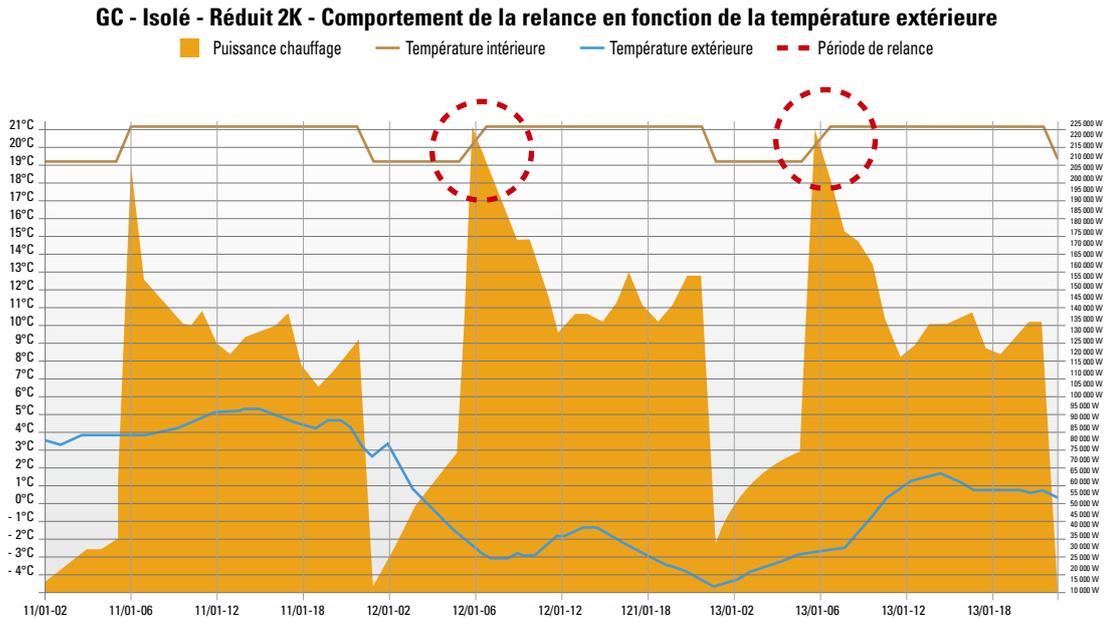
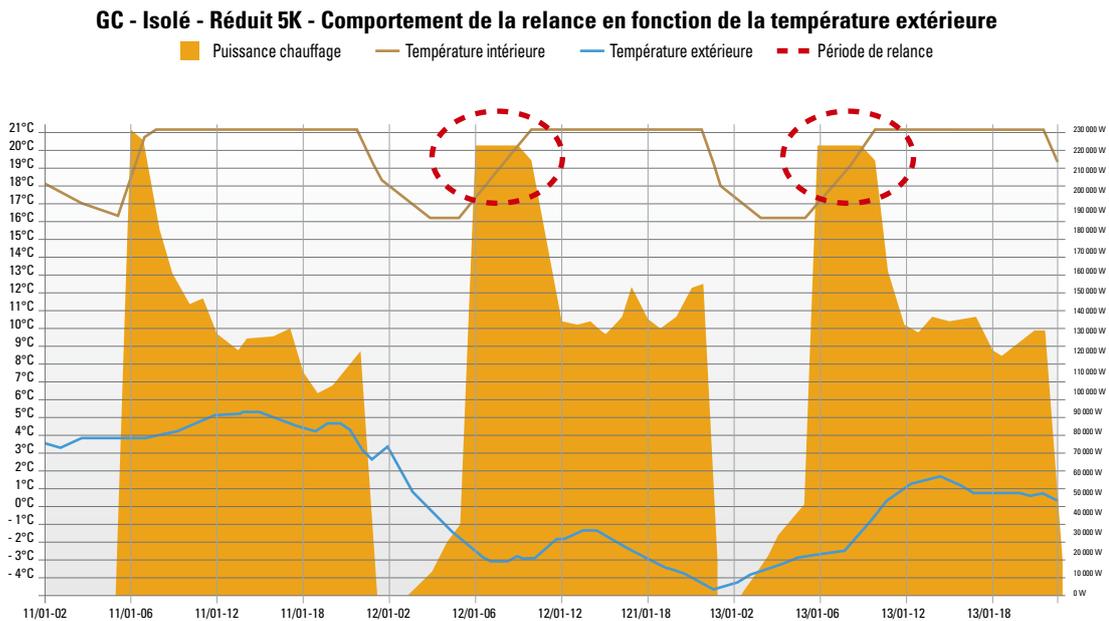
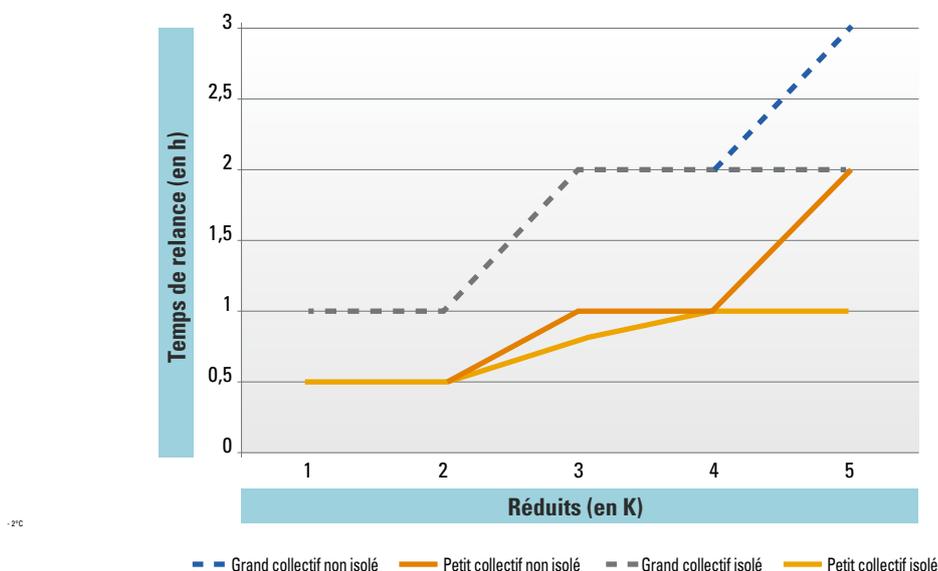


Figure 5 Evolution de la température intérieure et de la puissance fournie par les chaudières en fonction de la température extérieure : cas d'un grand collectif isolé avec réduit de 5 K



On donne les évolutions des temps de relance en fonction du réduit pour les différents cas simulés. Le temps de relance est fonction de la puissance disponible en chaufferie et au niveau des émetteurs de chaleur dans les locaux.

Figure 6 Evolution des temps de relance nécessaire en fonction des réduits mis en place et du type de bâtiment

Ce que l'on peut observer :

- naturellement, plus le réduct est important, plus le temps de relance l'est aussi ;
- plus le bâtiment est isolé, plus le temps de relance est réduit ;
- peu importe les cas simulés, un réduct de 2 K implique une température de confort atteinte en moins d'1 h après l'horaire de relance ;
- peu importe les cas simulés, la température de confort est atteinte de 1 à 3 h après l'horaire de relance, impliquant un risque d'inconfort s'il n'y a pas de prise en compte du temps de relance.

// Au-delà d'un réduct de 2 K, si aucune surpuissance de relance n'est prévue ou s'il n'y a pas de prise en compte du temps de relance, un abaissement de nuit sur un bâtiment existant (qu'il soit isolé ou non) peut impliquer des risques d'inconfort.

3.3.4 SÉLECTION DU MATÉRIEL, UNE SURPUISSANCE CACHÉE ?

Le client, au moment de la sélection finale, achète toujours un modèle commercial de générateur légèrement plus puissant que la valeur calculée. Cette sélection ajoute une surpuissance indirecte supplémentaire du générateur.

De la même manière, l'adéquation entre la gamme de puissance des émetteurs proposés par les fabricants et les besoins estimés implique une surpuissance supplémentaire des émetteurs.

ATTENTION



Pour limiter les risques (et d'autant plus que certains éléments ne sont pas sous la maîtrise du concepteur mais lié au comportement des occupants), le concepteur aura toujours tendance à prendre une marge de sécurité.

CONSEILS



Afin de réaliser un dimensionnement optimal de la chaufferie, le profil des besoins thermiques (soit la monotone de puissance) doit être connu. Définir la monotone de puissance, qui représente le nombre d'heures durant lesquelles la puissance thermique est appelée au cours de l'année, permet de :

- confirmer et optimiser le calcul des déperditions de chauffage ;
- identifier la pointe de production d'ECS ;
- identifier les taux de charge partielle dans le cas de plusieurs chaudières en cascade.

3

4

QUELLE PUISSANCE CHAUFFAGE INSTALLER EN CHAUFFERIE ?

3.4.1 CAS DES INSTALLATIONS INTÉGRANT DU GAZ ?

Il n'existe pas de règles de l'art pour le dimensionnement de ces générateurs.



La puissance de chauffage pour une chaufferie fonctionnant au gaz est fonction des déperditions thermiques et de la surpuissance de relance éventuellement considérée.

3.4.2 CAS DES INSTALLATIONS INTÉGRANT DU BOIS ?

Il n'existe pas de règles de l'art pour le dimensionnement de ces générateurs. Néanmoins, il convient de rappeler que le choix de la puissance d'une chaudière bois doit répondre au double critère d'optimisation économique (limitation des investissements pour les équipements bois) et de garantie des performances techniques de fonctionnement de l'installation (limitation des périodes de fonctionnement à faible taux de charge de la chaudière pour maintenir un niveau élevé de rendement, diminuer le niveau d'encrassement et prolonger la durée de vie de la chaudière).

COMMENT FAIRE



Les chaudières bois brûlent des combustibles solides au pouvoir calorifique faible et aux caractéristiques de granulométrie et d'humidité hétérogènes. Aussi, à puissance équivalente, les foyers des chaudières bois disposent :

- d'un grand volume de combustion (en comparaison avec le gaz naturel, le propane ou le fioul) pour contenir la quantité de bois suffisante à la fourniture de la puissance nominale du générateur ;
- d'une grande inertie, liée à la présence d'une masse réfractaire importante (notamment dans le cas de chaudière consommant du combustible relativement importante).

En fonctionnement, une chaudière à bois ne présente donc pas la même réactivité que celle utilisant un combustible fossile (injection dans le foyer instantanée, faible inertie de la chaudière, modulation de la puissance plus importante en fonction des besoins).

// Il convient de sélectionner une puissance assurant un fonctionnement dans la plage de modulation de puissance de la chaudière (entre 20/30 % et 100 %) pendant le nombre d'heures le plus important.

3.4.2.1 QUELLE PUISSANCE POUR LES INSTALLATIONS MONO-ÉNERGIE (COMPOSÉE D'UNE SEULE OU DE PLUSIEURS CHAUDIÈRE BOIS) ?

Dans ce cas, la puissance bois correspond au niveau de l'appel de puissance maximale pour le chauffage (pour la température extérieure de base). Dans ce type de conception, l'installation d'un ballon d'hydroaccumulation reste fortement recommandée. Dans ce cas, il n'existe pas de surpuissance sur la chaudière bois, mais l'installation dispose d'une « réserve » sur le ballon d'hydroaccumulation. Le cas échéant, celui-ci contribue également partiellement à l'effacement de l'appel d'ECS.

CONSEILS



En première approche, une capacité de ballon d'hydroaccumulation de 20 à 30 litres par kW bois peut être retenue.

// Pour les faibles puissances (< 200 kW), la chaudière bois peut être installée seule mais doit être couplée à un ballon d'hydro-accumulation (20 à 30 litres/kW bois).

3.4.2.2 QUELLE PUISSANCE POUR LES INSTALLATIONS BI-ÉNERGIE (COMPOSÉE DE CHAUDIÈRE(S) BOIS ET D'UNE RELÈVE) ?

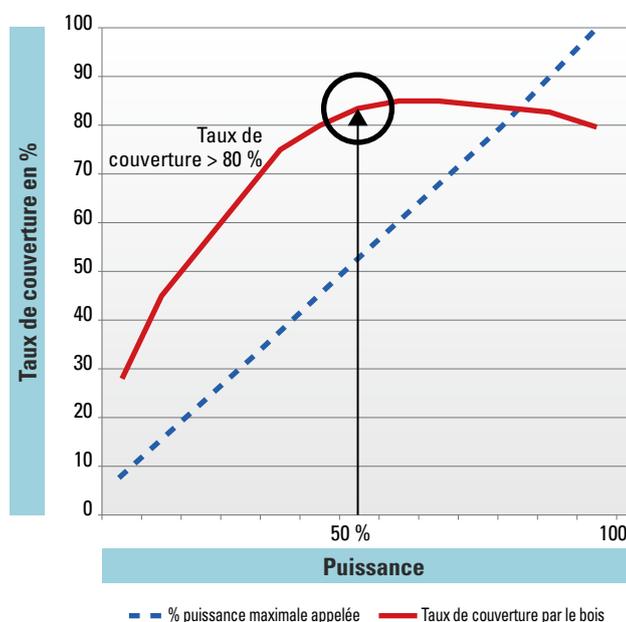
CONSEILS



Cette configuration est fortement recommandée pour les chaufferies de plus de 200 kW (optimisation technico-économique du projet). Dans ce type de conception, le complément est fourni par un ou plusieurs générateurs d'appoint utilisant un combustible fossile. En général, ces générateurs sont également dimensionnés pour assurer le secours total de l'installation (puissance correspondant à la puissance maximale appelée par grand froid, avec coefficient de surpuissance).

Dans ce cas, le dimensionnement de la puissance de la chaudière bois correspond à la recherche de l'optimum entre le taux de couverture des besoins par le bois et la puissance installée de la relève. Le calcul, réalisé par la construction de la monotone des appels de puissance, doit intégrer la puissance minimale (15 à 25 %) et maximale (100 %) de fonctionnement de la chaudière bois.

On donne ci-dessous un exemple de détermination du taux de couverture en % en fonction de la puissance bois installée. Il correspond à un projet de moyenne puissance, sans production d'ECS, avec une chaudière bois de 250 kW et 2 chaudières d'appoint (2 x 250 kW). On observe un plafonnement du taux de couverture dès lors que l'on dépasse les 50 % de la puissance maximale appelée et même une diminution du taux de couverture, si la puissance bois dépasse les 70 % de cette valeur.

Figure 7 Exemple de détermination du taux de couverture en % en fonction de la puissance bois installée

II Le fonctionnement d'une chaudière bois dont la puissance est comprise entre 40 et 60 % de la puissance maximale appelée, verra son fonctionnement « linéarisé », tout en couvrant plus de 80 % des besoins sur l'année.

Le complément d'énergie est ici fourni par 2 chaudières à combustible fossile, disposant d'une plus grande plage de modulation et d'une meilleure réactivité. L'appoint intervient dans les cas suivants :

- insuffisance ponctuelle de la chaudière bois : relance matinale du chauffage ;
- insuffisance prolongée de la chaudière bois : température extérieure extrême ;
- arrêt de la chaudière bois : puissance appelée inférieure au taux de charge minimum ou dysfonctionnement, dans ce dernier cas (secours), il peut s'avérer nécessaire de mettre en fonctionnement les deux générateurs à combustible fossile.

CONSEILS



Si la continuité de la fourniture de chaleur est importante pour tous les usagers, elle devient indispensable pour les bâtiments hospitaliers ou sanitaires et sociaux. A ce titre, quel que soit la Pmax de ces établissements, il est fortement déconseillé d'installer une chaufferie mono-énergie au bois et de systématiser la mise en place d'une énergie d'appoint/secours.

3.4.3 CAS DES INSTALLATIONS INTÉGRANT UNE PAC ?

Les PAC collectives sont aujourd'hui encore peu présentes en chaufferie. Elle peut y assurer la production :

- uniquement de chauffage, un appoint assurant le complément ainsi que la production d'eau chaude sanitaire (de manière séparée) ;
- uniquement de l'eau chaude sanitaire, la PAC pouvant couvrir seule les besoins d'ECS (avec parfois le recours à un appoint électrique) ou qu'une partie (elle vient en préchauffage d'une chaudière gaz par exemple) ;
- du chauffage et/ou du rafraîchissement dans les bâtiments à usage tertiaire.

Il est important de noter que :

- l'offre industrielle est récente et encore en construction ;
- pas ou peu de retours d'expérience sont disponibles, notamment sur l'aspect performanciel ;
- les méthodes de dimensionnement (pour les systèmes de production d'ECS et/ou de chauffage) sont propres à chaque industriel.

COMMENT FAIRE



Le guide Technique Le dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif de 2019 ne traite du dimensionnement des PAC qui assurent uniquement le réchauffage des besoins d'ECS, pas le réchauffage du bouclage, ni le chauffage des bâtiments.

Il n'existe pas de règles de l'art pour le dimensionnement de ces systèmes.

ATTENTION



La NF DTU 65.16 P1-1 traite notamment du dimensionnement des PAC air/eau d'une puissance thermique nominale maximale inférieure ou égale à 70 kW.

CONSEILS



Des règles de dimensionnement des PAC collectives sont décrites dans les Recommandations professionnelles Règles de l'Art Grenelle Environnement (RAGE) sur les PAC en habitat collectif et tertiaire. Par exemple, pour une PAC air/eau en relève de chaudière, la somme des puissances calorifique de la chaudière et de la PAC est supérieure ou égale à 120 % des déperditions calculées à la température de base, quel que soit le type de pompe à chaleur installé. La solution permettant de couvrir 120 % des déperditions optimise la performance saisonnière, de la PAC notamment.

Le dimensionnement d'une PAC est plus délicat que celui pour une chaudière du fait :

- une variation de puissance et de performances en fonction de la température de source froide mais aussi de la source chaude (régime d'eau pour une installation de chauffage) et du taux de charge ;
- d'une logique base plus appoint (la base étant la PAC).

Une PAC ne doit pas être dimensionnée pour couvrir la totalité des déperditions à la température extérieure de base (comme pour une chaudière) mais pour couvrir seulement une partie des déperditions à la température extérieure de base.

CONSEILS



Même dans les situations où la température de production de la PAC est toujours suffisante, il est le plus souvent préférable de tout de même l'associer avec un système d'appoint. En effet, si la PAC doit couvrir seule l'ensemble des besoins de chauffage, sa puissance calorifique devra être dimensionnée par rapport aux besoins de chauffage à la température de base. Si la machine n'est pas capable de moduler sa puissance (grâce à un Inverter ou une architecture bi-étagée), elle fonctionnera quasiment toute l'année à faible taux de charge, ce qui diminuera son rendement saisonnier et pourra altérer sa durée de vie.

4

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

Après avoir rappelé ce qu'est le dimensionnement d'une installation de production de chauffage, l'objectif de ce chapitre est de montrer de manière qualitative (en regard de l'état de l'art et d'avis d'experts) et de manière quantitative l'impact des choix faits au stade de la conception, sur les performances énergétiques des générateurs de chauffage.

Ainsi, est traité ici l'impact (performanciel et fonctionnel) pour des générateurs de type gaz condensation ou bois :

- d'une surpuissance importante ;
- d'une mise en cascade de plusieurs générateurs ;
- d'une gestion non optimale de la cascade de plusieurs générateurs ;
- du choix vis-à-vis de la répartition des puissances entre générateurs ;
- d'une plage de modulation plus ou moins importante du générateur ;
- du régime de température des émetteurs.

4

1

LES PERFORMANCES DES GÉNÉRATEURS

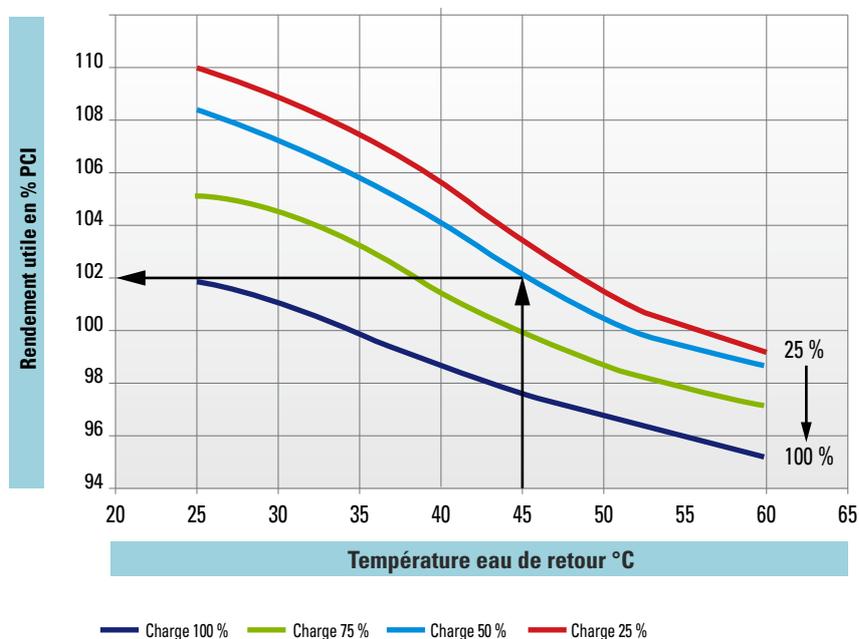
4.1.1 CAS DES GÉNÉRATEURS GAZ À CONDENSATION

Pour les chaudières gaz à condensation, dans la plage de modulation des générateurs, les rendements augmentent légèrement lorsque les taux de charge diminuent, jusqu'au seuil minimal de modulation du brûleur (généralement proche de 20 %).

Par exemple, le rendement utile constaté (pour une température de retour de 45 °C) est de :

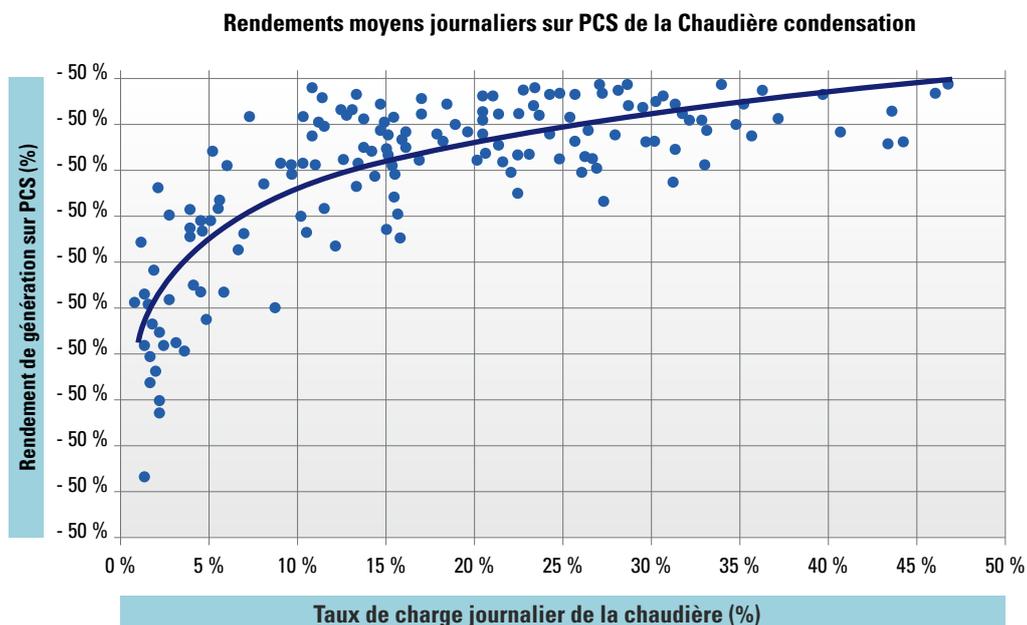
- 97.5 pour un taux de charge de 100 % ;
- 102 % pour un taux de charge de 50 %.

Figure 8 Détermination du rendement à 50 % de charge et 45 °C de retour chaudière



Néanmoins, on donne ci-dessous un exemple de rendements de génération et de taux de charge obtenus sur une installation équipée d'une chaudière à condensation (de 150 kW). Les différents points obtenus correspondent aux rendements moyens journaliers de génération mesurés sur l'installation de chauffage, pourvue d'une chaudière gaz à condensation, desservant différents réseaux (radiateurs et CTA).

Figure 9 Evolution de rendements de génération et de taux de charge obtenus sur une installation équipée d'une chaudière à condensation



COMMENT FAIRE



Cette évolution de rendement est issue du suivi du bâtiment de bureaux de l'INEED mis en place par l'ADEME Rhône Alpes et réalisé par Enertech.

Le rendement sur PCI annoncé par le constructeur de cette chaudière (modulant sa puissance de 10 % à 100 %) est de :

- 97.4 % à 100 % pour un régime d'eau de 80-60 °C ;
- 109.6 % pour 40-30 °C.

On constate sur cette installation sans surdimensionnement spécifique de la chaudière :

- un taux de charge journalier ne dépasse jamais 50 % sur l'ensemble de la saison de chauffe ;
- un rendement annuel de génération mesuré sur cette installation, qui inclut également les pertes du circuit primaire, de 101.2 % sur PCI soit 91.2 % sur PCS ;
- en deçà de leur plage de modulation, la dégradation des rendements est plutôt limitée, excepté lorsque les taux de charge deviennent très faibles.

Plus le taux de charge est faible, plus les rendements mesurés chutent, surtout en dessous de 10 % (l'imprécision sur les mesures devenant toutefois plus grande). En dessous de 10 % de taux de charge, les séquences marche-arrêt de la chaudière entraînent des pertes plus importantes tant au niveau de la chaudière que du circuit primaire, liées aux remises en température.

Plus la chaudière sera surdimensionnée, plus elle fonctionnera à de très faibles taux de charge ce qui conduira à un plus faible rendement annuel. Dans des bâtiments très isolés, compte-tenu du poids des apports gratuits, les équipements fonctionnent encore plus à des faibles taux de charge.

CONSEILS



Ces résultats montrent aussi l'importance d'optimiser le circuit primaire de manière à limiter son volume en eau et ses pertes thermiques.

4.1.2 CAS DES GÉNÉRATEURS BOIS

Le rendement d'une chaudière bois est dépendant de multiples facteurs liés :

- à la conception : taux de charge de la chaudière, isolation et efficacité de la chaudière, économiseur, condenseur... ;
- à l'exploitation : adéquation du combustible en termes d'humidité, de PCI et de taux de cendre, optimisation des paramètres de combustion, entretien de la chaudière...

COMMENT FAIRE



Les rendements de combustion des chaudières affichés par les fabricants correspondent à des valeurs atteintes avec un combustible de caractéristiques précises. Lorsque ces conditions optimales ne sont pas remplies, le rendement est altéré.
Le taux d'humidité du combustible influence notamment le rendement de combustion des chaudières : la vaporisation de l'eau contenue dans le combustible (séchage) nécessite d'autant plus d'énergie que le bois est humide.

Les chaudières à bois déchiqueté 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. On donne ci-dessous l'évolution réelle du rendement en fonction du taux de charge et du taux d'humidité du combustible pour une chaufferie bois de 2 MW.

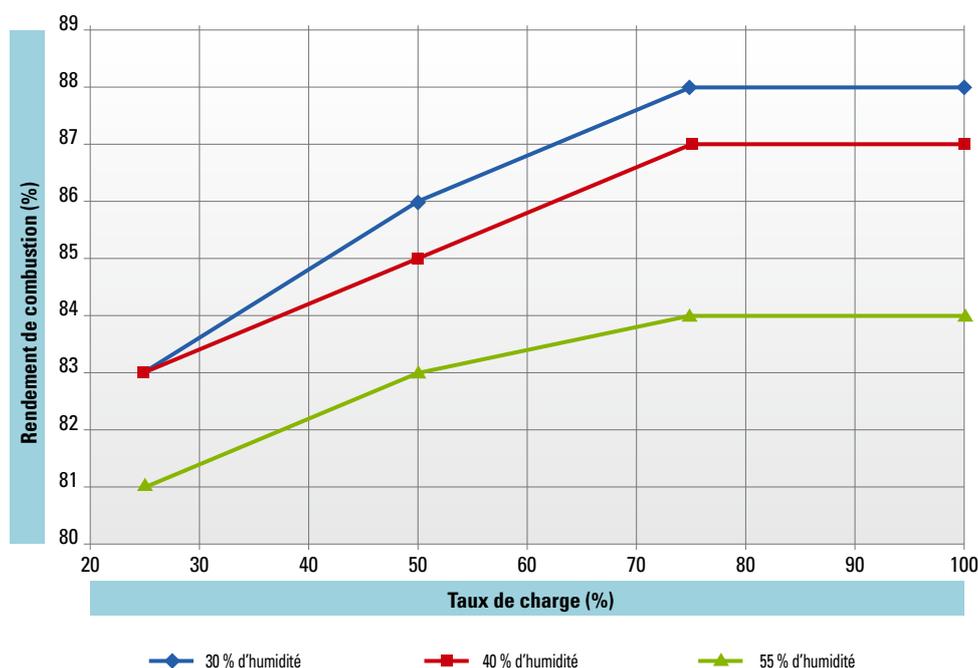
Quel que soit le combustible brûlé (humidité variable), la chaudière suivie présente une baisse de rendement de combustion lorsqu'elle fonctionne à une allure réduite (inférieure à son régime nominal).

COMMENT FAIRE



Cette dégradation de la combustion est particulièrement sensible pour le bois du fait de l'inertie importante de ce type d'installation.

Figure 10 Exemple de courbe montrant les variations des rendements des générateurs en fonction des taux de charge et du taux d'humidité du combustible pour une chaufferie bois – Biomasse Normandie



Un fonctionnement à faible taux de charge occasionne une combustion incomplète et donc une dégradation des performances énergétiques et environnementales du système.

Une chaudière qui est surdimensionnée ne fonctionne jamais à sa puissance nominale et augmente considérablement le nombre de phases de mise en marche et d'arrêt. Un tel fonctionnement sollicite beaucoup les mécanismes de régulation et accélère leur usure. D'autre part, chaque étape de mise en marche ou d'arrêt augmente les pertes thermiques par chaleur sensible des fumées et par imbrûlés gazeux ainsi que les émissions polluantes.

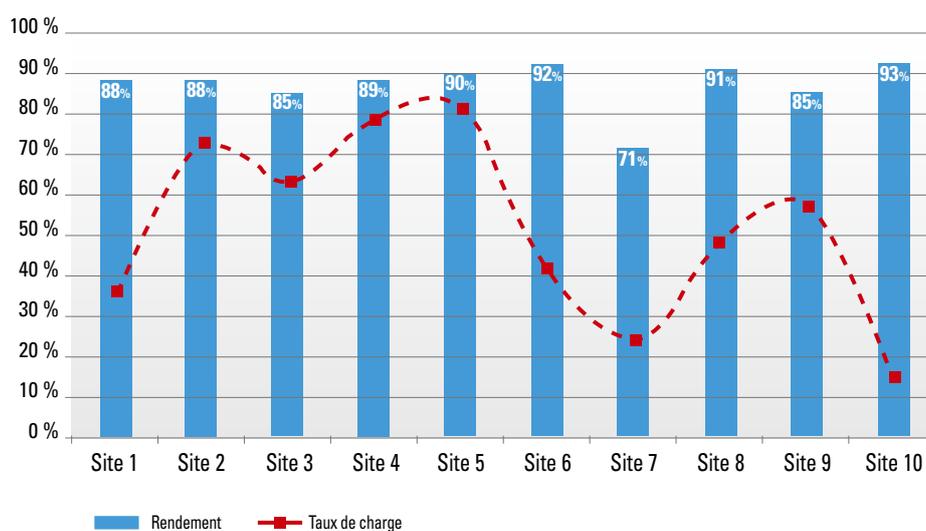
En outre, le risque de corrosion des équipements, à cause des températures de fumées trop basses pouvant engendrer des condensats acides, est accru.

On note que, entre le régime de la puissance nominale et le taux de charge minimum (15 à 25 % suivant les constructeurs), les systèmes de régulation couramment utilisés pour gérer les paramètres de combustion (vitesse d'introduction du combustible, ouverture des volets modulants alimentant les équipements en air primaire et air secondaire, rythme d'avancée de la grille mobile et mise en marche / arrêt des équipements) permettent d'optimiser les performances énergétiques des chaudières bois. Dans ces conditions, les rendements sont certes légèrement moins bons mais restent supérieurs à 80 %.

Il est impératif, d'une part, de dimensionner l'installation de manière à faire fonctionner la chaudière à puissance nominale le plus souvent possible et, d'autre part, d'utiliser un combustible adéquat.

Néanmoins, l'évaluation des performances énergétiques et environnementales de 10 chaufferies bois a permis notamment de donner l'évolution du rendement des chaudières en fonction de leurs taux de charge. On observe que les chaudières gardent de bonnes performances pour des taux de charges aux alentours de 40 %. La valeur du taux de charge obtenu sur le site n° 10 est faussée car l'installation dispose de deux chaudières dont une seule fonctionne réellement (installation largement surdimensionnée). Si l'on considère une seule chaudière, le taux de charge est alors de 30 %, ce qui explique que le rendement ne soit pas trop dégradé.

Figure 11 Rendement annuel et taux de charge de 10 chaufferies suivies



4

2

QUELLES SONT LES CONSÉQUENCES D'UNE SURPUISSANCE IMPORTANTE ?

Outre un investissement plus important, surdimensionner un générateur de chaleur risque d'impacter négativement la pérennité et le rendement de l'installation de chauffage.

COMMENT FAIRE



Le surdimensionnement dépend en premier lieu des éléments pris en compte pour calculer la puissance de chauffage (prise en compte ou non de surpuissance de relance, marge de sécurité...).

4.2.1 CAS DE LA CHAUDIÈRE GAZ À CONDENSATION

4.2.1.1 SURDIMENSIONNEMENT ET TAUX DE MODULATION

Plus le taux de modulation d'un brûleur est faible, plus son rendement est élevé. Le fonctionnement à charge partielle contribue à l'amélioration du rendement.

|| Une chaudière surdimensionnée (qui a un taux de modulation plus faible pour une température extérieure donnée) a de meilleures performances jusqu'à son taux minimum de modulation qu'une chaudière dimensionnée au plus juste.

4.2.1.2 SURDIMENSIONNEMENT ET CYCLES DE MARCHE/ARRET

La plupart des chaudières à condensation peuvent moduler jusqu'à 20 % de leur puissance maximale. En cas de surpuissance importante, le seuil minimal de modulation du brûleur est rapidement atteint. La chaufferie fonctionnera alors en « tout ou rien », pendant des cycles courts un grand nombre de jour de l'année. Plus le surdimensionnement est important et plus le nombre de cycles courts augmente.

|| Une chaudière surdimensionnée atteint plus rapidement son taux minimum de modulation que celle dimensionnée au plus juste (donc générera des cycles M/A plus important).

Les graphiques ci-dessous montrent les conséquences d'une surpuissance sur la modulation du brûleur :

- une surpuissance de seulement 10 % se traduit par 54 jours sans modulation (soit 23 % de la saison de chauffe). Ce délai de fonctionnement sans modulation ;
- une surpuissance de 66 %, le temps de fonctionnement de la chaudière sans modulation (la moitié de la durée de la saison de chauffe).

|| L'intérêt d'un brûleur modulant diminue face à la surpuissance importante d'un générateur.

Figure 12 Conséquences d'une surpuissance de 10 % sur la modulation du brûleur : 91 % des besoins de chauffage, les taux de charge journaliers sont supérieurs au taux de charge minimal

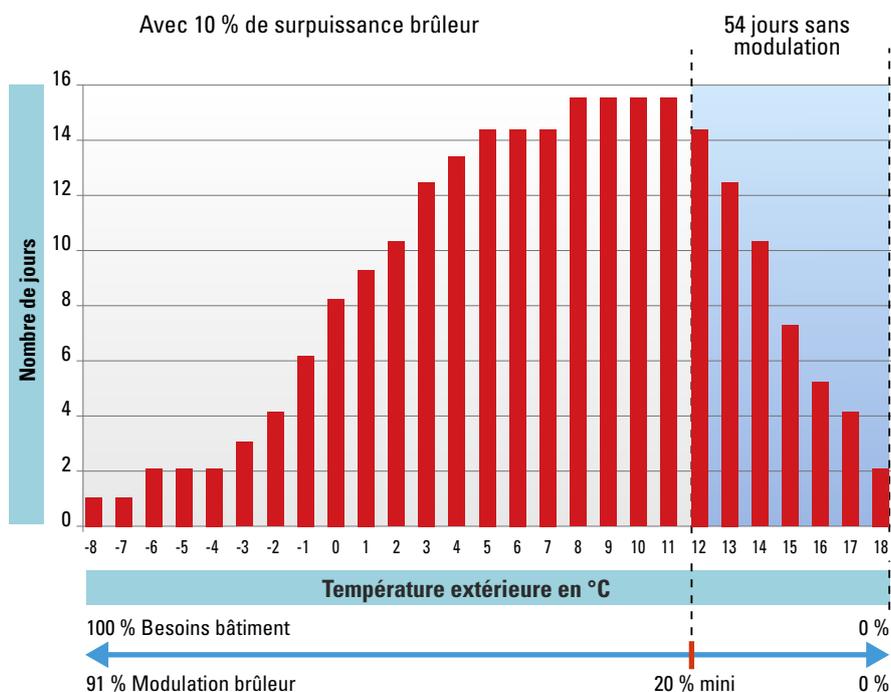
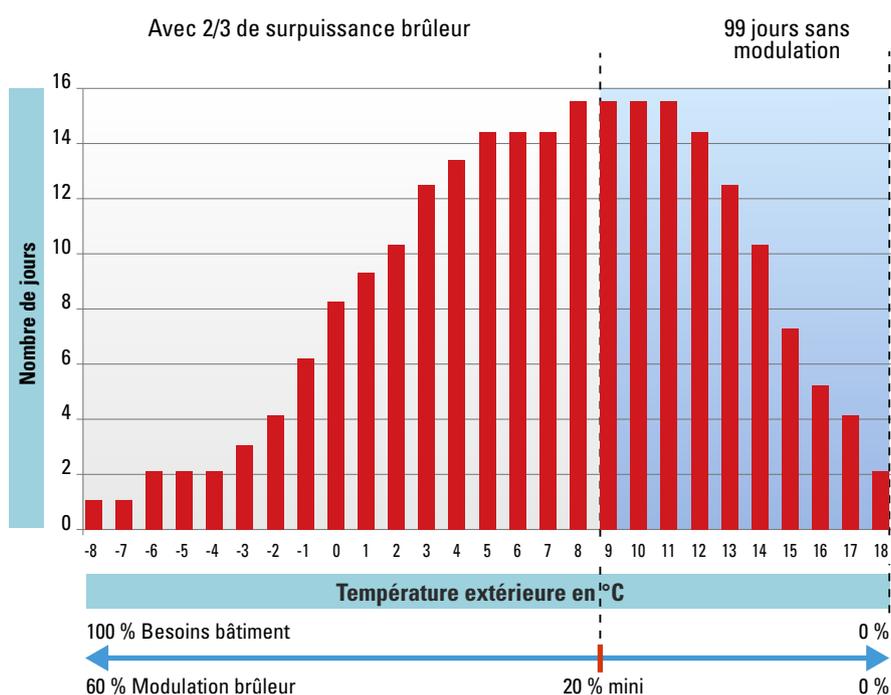


Figure 13 Conséquences d'une surpuissance de 66 % sur la modulation du brûleur : 60 % des besoins de chauffage, les taux de charge journaliers sont supérieurs au taux de charge minimal



Par ailleurs, un nombre de cycle marche/arrêt conséquent diminue sa durée de vie.

COMMENT FAIRE



Le nombre de cycles des chaudières est très sensible à la surpuissance. Le nombre de cycles baisse de 7 % avec une variation de la puissance de - 10 % mais augmente de 20 % avec une variation de + 10 %. En outre, l'inertie du bâtiment joue un rôle important sur le nombre de cycles : pour un dimensionnement à la puissance P, 5000 cycles pour une inertie forte, contre 9000 cycles pour une inertie faible.

Les conséquences d'une surpuissance importante sont nombreuses :

- Techniques :
 - Les démarrages et arrêts impliquent une usure prématurée des composants (la durée de vie d'une chaudière peut s'exprimer en termes de nombre maximum de cycles) ;
 - Pendant ces périodes, la production d'imbrûlés va encrasser la chaudière, et diminuer son rendement global ;
 - Les pertes à l'arrêt et par pré-ventilation proportionnelles à la puissance de la chaudière sont augmentées.

COMMENT FAIRE



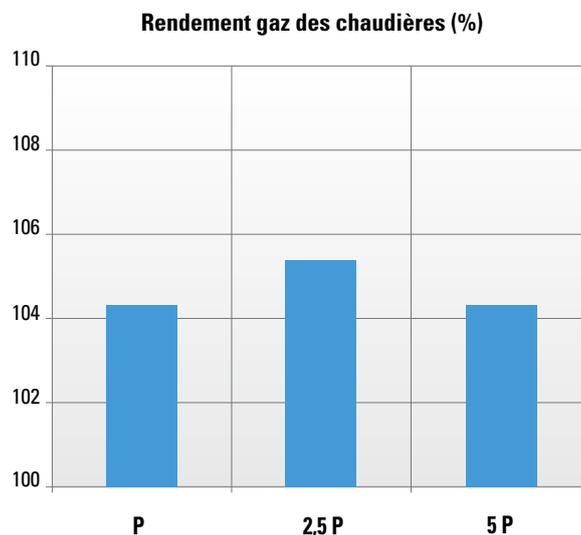
Une surpuissance implique des cycles de marche/arrêt du brûleur qui occasionnent des pertes thermiques lors de sa relance. Ces pertes sont essentiellement occasionnées par la pré-ventilation du brûleur qui évacue des calories par la cheminée.

- Environnementales :
 - C'est à l'allumage et à l'arrêt qu'une chaudière produit le plus de substances toxiques telles que le monoxyde de carbone, les suies, NOx et COV (jusqu'à 6x plus de démarrages) ;
 - Construire une chaudière plus puissante demande plus d'énergie (Analyse ACV).
- Financières :
 - Prix à l'achat de la chaudière ;
 - Coût annexes (conduits de cheminée de dimension plus importante notamment) ;
 - Coût de maintenance (P2).

Un surdimensionnement entraîne donc des coûts de maintenance plus élevés, une réduction de la durée de vie de la chaudière, ainsi qu'une augmentation des rejets de substances nocives dans l'atmosphère.

4.2.1.3 SURDIMENSIONNEMENT ET PERFORMANCE

La chaudière dimensionnée au plus juste (avec moins de cycle M/A) rattrape la performance qu'a gagné la chaudière surdimensionnée (avec un taux de modulation du brûleur plus faible). Au final, la performance est équivalente pour les 2 chaudières. On donne l'évolution du rendement (saisonnier) des chaudières en fonction du dimensionnement (de P à 5P).

Figure 14 Conséquences d'une surpuissance (P à 5P) sur les performances énergétiques de l'installation

// Pas d'évolution des performances avec l'augmentation de la puissance des chaudières (dans la plage des puissances étudiées).

4.2.1.4 BILAN

- Des chaudières surdimensionnées assurent le même niveau de confort de chauffage que des chaudières correctement dimensionnées ;
- Le nombre de cycles M/A augmente fortement avec le dimensionnement des chaudières. Les chaudières ainsi que les organes de régulation risquent de s'user prématurément ;
- L'investissement initial nécessaire pour installer des chaudières de plus grosse puissance est bien plus important. Si, en plus, les éléments sont usés plus rapidement, des investissements pour le remplacement des équipements usés sont à prévoir. Les coûts de réparation et maintenance pourraient également augmenter ;
- Ces observations sont d'autant plus importantes sur des bâtiments de plus faible inertie où des appels de chauffage plus fréquents amèneraient à l'augmentation du nombre de cycles marche/arrêt dans les cas surdimensionnés ;
- Il ne faut pas non plus négliger d'autres facteurs comme la surface nécessaire pour installer des chaudières supplémentaires et de plus forte puissance.

// Il n'y a aucun avantage à installer des chaudières surdimensionnées. Au contraire, une installation de chauffage correctement dimensionnée permet de réduire le nombre de cycles marche/arrêt.

4.2.2 CAS DE LA CHAUDIÈRES BOIS

ATTENTION



Le calcul de la puissance d'une chaudière bois doit être optimisé : le surdimensionnement aboutit en quelques années, à une détérioration accélérée du matériel.

La puissance installée est l'un des paramètres essentiels qui conditionne la réussite d'un projet de chaufferie au bois. Un mauvais dimensionnement du générateur à bois peut entraîner :

- mauvais rendement de combustion lorsque la chaudière fonctionne à une allure réduite (inférieure à son régime nominal) ;
- une surconsommation, d'où des coûts d'exploitation élevés ;
- augmentation des phases de mise en marche et d'arrêt ;
- sollicitation des mécanismes de régulation (accélération de leur usure) ;
- augmentation des pertes thermiques par chaleur sensible des fumées et par imbrûlés gazeux ;
- augmentation des émissions polluantes.

Une chaudière bois a généralement un rendement de combustion dégradé lorsqu'elle fonctionne à une allure réduite (inférieure à son régime nominal). Cette dégradation de la combustion est particulièrement sensible pour le bois du fait de l'inertie importante de ce type d'installation. Une chaudière qui est surdimensionnée ne fonctionne jamais à sa puissance nominale et augmente considérablement le nombre de phases de mise en marche et d'arrêt. Un tel fonctionnement sollicite beaucoup les mécanismes de régulation et accélère leur usure. D'autre part, chaque étape de mise en marche ou d'arrêt augmente les pertes thermiques par chaleur sensible des fumées et par imbrûlés gazeux ainsi que les émissions polluantes.

Néanmoins, même correctement dimensionnés, les générateurs pour le chauffage fonctionnent rarement (voire jamais) à pleine puissance et donc à pleine charge.

Pour le bois, opter pour de la bi-énergie permet un dimensionnement de la puissance bois aux alentours de 50 % de la puissance maximale appelée du site considéré un fonctionnement à un taux de charge élevé du générateur bois sur l'ensemble de l'année.

Une autre solution est d'intégrer une réserve d'eau chaude primaire (un ballon d'hydroaccumulation) d'une capacité suffisante permettant :

- de lisser les appels de puissance chauffage (mais aussi d'ECS) ;
- d'annuler les phases de ralenti de la chaudière ;
- de gérer les excédents d'énergie en réponse à la faible réactivité de la chaudière.

CONSEILS



Le ballon d'hydroaccumulation peut être évité pour :

- une installation à « coupure rapide » ;
- une contenance en eau du réseau suffisante et possibilité de « décharger » ;
- une installation sans production d'ECS en période estivale ;
- une puissance appelée toujours supérieure à 25 % de la puissance nominale de la chaudière (pas de « maintien de feu »).

Couplé à une ou plusieurs chaudières bois, un système d'hydroaccumulation permettant de stocker le surplus de chaleur produit pendant les creux de consommation et de le restituer lors des pics, peut se révéler particulièrement pertinent.

Des comportements très différents sont observés sur la saison de chauffe : des pics de consommation importants pendant l'hiver, une consommation plus réduite mais extrêmement variable à la mi-saison et une consommation faible mais peu variable pendant l'été. Ces comportements entraînent une utilisation importante du gaz pendant l'hiver, une variation importante de la charge bois

au cours de la mi-saison (donc des successions rapides de mise en marche et d'arrêt des chaudières bois lorsqu'il y a plusieurs générateurs biomasse) et la surproduction de chaleur pendant l'été, entraînant l'arrêt thermostatique des chaudières bois lorsque la puissance réseau devient trop faible.

L'intégration d'un ballon d'hydroaccumulation permet :

- période froide (hiver) : la ou les chaudières bois surproduisent de l'énergie lors des creux de consommation (la puissance appelée est inférieure à la puissance maximale de ces chaudières bois), le surplus étant stocké. Par la suite, cette énergie est déstockée afin de retarder voire d'empêcher l'enclenchement de l'appoint lors des pics de consommation (la puissance appelée est supérieure à la puissance maximale bois).
Dans ce cas, le système de stockage joue le rôle de système d'appoint et permet donc de minimiser la consommation de gaz ;
- mi-saison : la puissance de la ou les chaudières bois varie fortement afin de répondre à des appels de puissance très variables. Ainsi, les phases de démarrage et d'arrêt sont nombreuses sur des périodes relativement courtes. Le rôle du système de stockage est alors de permettre aux chaudières bois de fonctionner sur la base de cycles plus longs, en diminuant le nombre de transitions marche/arrêt.
Le système de stockage permet de lisser le fonctionnement des chaudières bois : stocker de l'énergie pour éviter l'arrêt d'un générateur bois ou déstocker de l'énergie pour éviter le démarrage d'un générateur bois ;
- période chaude (été) : il est possible de satisfaire les besoins en eau chaude sanitaire grâce à la chaudière bois. Le rôle du système de stockage est alors de stocker de l'énergie afin d'empêcher l'arrêt de ce générateur lorsque la puissance appelée devient trop faible et de diminuer ainsi les transitions marche/arrêt.

Un exemple d'impact du système de stockage sur le fonctionnement d'une chaufferie bi-énergie est donné par l'intermédiaire de l'évolution des puissances des chaudières bois et gaz au cours du mois de décembre. Il apparaît qu'une partie des pics de consommation de gaz est éliminée lorsque, préalablement, des creux de consommation ont permis aux chaudières bois de produire de l'énergie qui a pu être stockée dans les ballons.

Figure 15 Dynamique des chaudières bois au mois de décembre

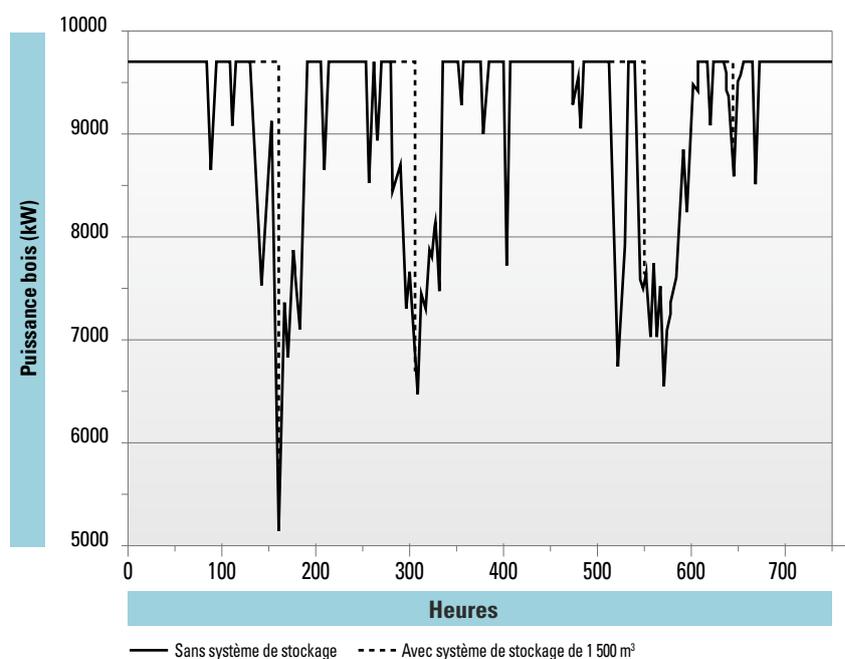
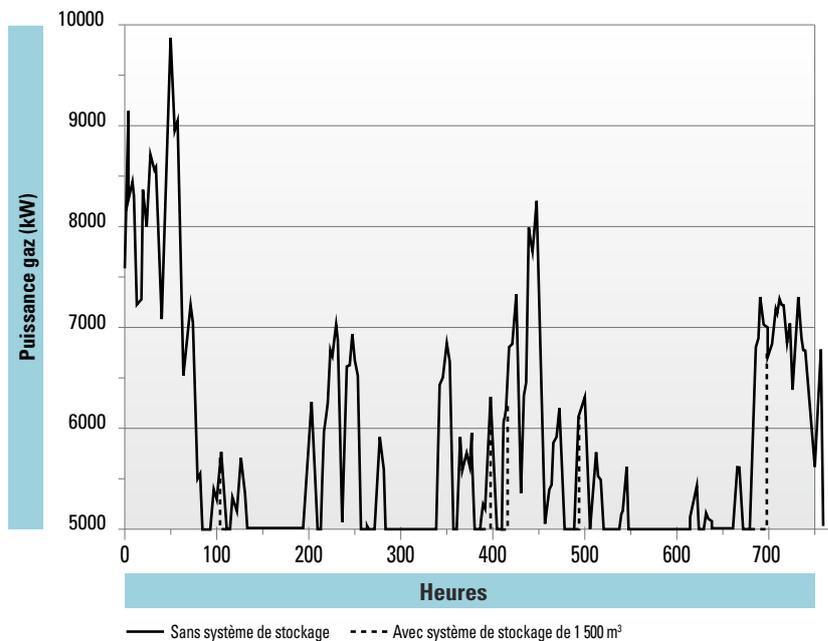
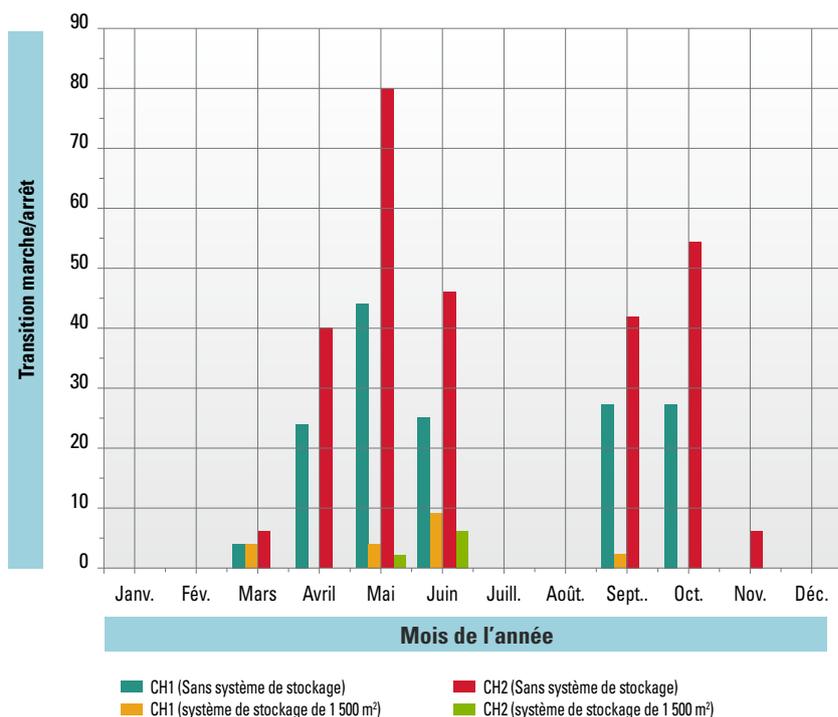


Figure 16 Dynamique de la chaudière gaz au mois de décembre

Le ballon d'hydroaccumulation a également un impact certain sur le fonctionnement des chaudières bois et notamment sur le nombre de transitions marche/arrêt des chaudières. On donne ci-dessous le nombre de cycles M/A pour une installation avec et sans ballon d'hydroaccumulation. Pour un volume optimal de 1500 m³, ce nombre de transitions est divisé par 14 (soit une diminution de 95 %), assurant ainsi une bien meilleure utilisation des équipements.

Figure 17 Nombre de cycle marche/arrêt pour les 2 chaudières bois avec et sans ballon d'hydroaccumulation

4

3

QUEL CHOIX ADOPTER VIS-À-VIS DU NOMBRE DE GÉNÉRATEURS ?

Le nombre de générateurs est fonction :

- du rapport de puissances entre le chauffage et l'ECS ;
- de la plage minimum de modulation du générateur.

4.3.1 POUR SÉPARER LES FONCTIONS ENTRE LES GÉNÉRATEURS

Cela permet de concevoir et de dimensionner au mieux chaque production sans pénaliser la performance de l'installation, notamment lorsque les profils de demande, ECS et chauffage, sont très différents.

- Production indépendante du système de chauffage :
 - Recours possible à des énergies différentes pour ces deux usages ;
 - Mixage entre des productions individuelles d'ECS et un chauffage collectif ;
 - Fonctionnement du générateur de chauffage à des températures plus basses ;
 - En cas de pannes, indépendance des deux services.
- Système assurant l'ECS et le chauffage :
 - Puissance totale pour le chauffage et l'ECS souvent plus faible, d'où un coût total d'investissement généralement moins élevé ;
 - Mutualisation de l'entretien ;
 - Pertes à l'arrêt du générateur durant la saison de chauffe mutualisées entre les deux usages.

4.3.2 POUR OPTIMISER LES PERFORMANCES DES GÉNÉRATEURS

4.3.2.1 CAS DES GÉNÉRATEURS GAZ CONDENSATION

Outre la performance, la mise en place de plusieurs générateurs permet :

- une fiabilité : lorsqu'une chaufferie est équipée de plusieurs chaudières, elle est naturellement plus fiable qu'une chaufferie ne comptant qu'un seul générateur. Il est en effet difficilement envisageable que toutes tombent en panne en même temps ;
- la redondance devient plus simple. Dans notre exemple d'une chaufferie de 400 kW équipée d'une seule chaudière, si les exploitants réclament une redondance pour garantir un fonctionnement sans interruption, il faut installer un second générateur de 400 kW pour basculer en cas de panne du premier. Dans le cas d'une cascade de quatre chaudières, il suffit d'en ajouter une cinquième ;
- une installation et surtout une manutention facilitée avec des générateurs plus petits ;
- une limitation des pertes par les parois des générateurs puisqu'une partie d'entre eux sera à l'arrêt une partie importante de l'année.

COMMENT FAIRE



Aujourd'hui, toutes les chaudières sont conçues pour atteindre leur rendement optimal à charge partielle et non plus à charge nominale. La régulation d'une cascade va donc s'attacher à faire fonctionner un maximum de ses générateurs à charge partielle.

// Répartir la puissance maximale appelée sur plusieurs générateurs permet un fonctionnement à charge partielle et une augmentation la plage de modulation globale de la chaufferie.

CONSEILS

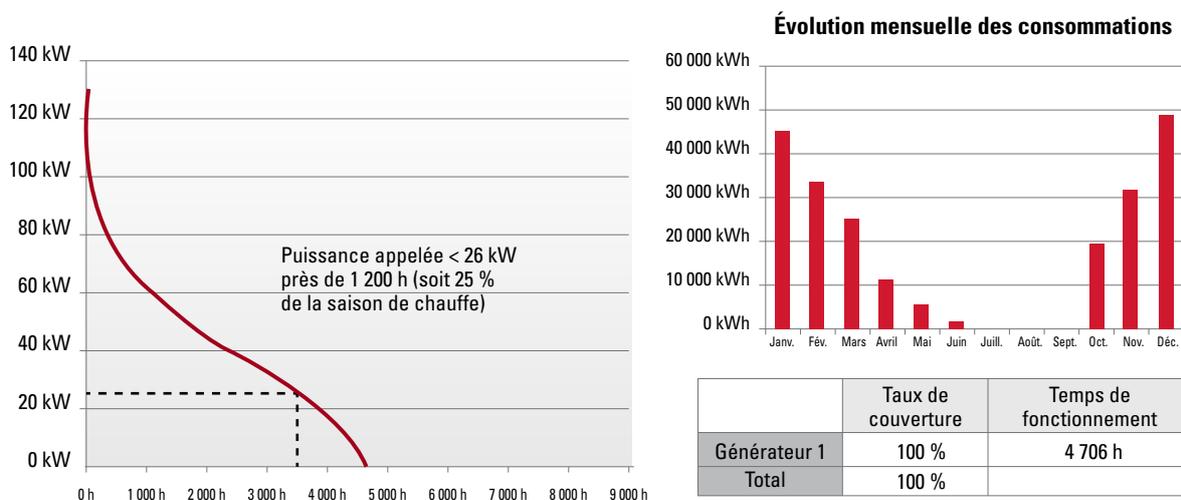


Dans tous les cas, l'utilisation de la monotone des puissances peut aider à réaliser le bon choix.

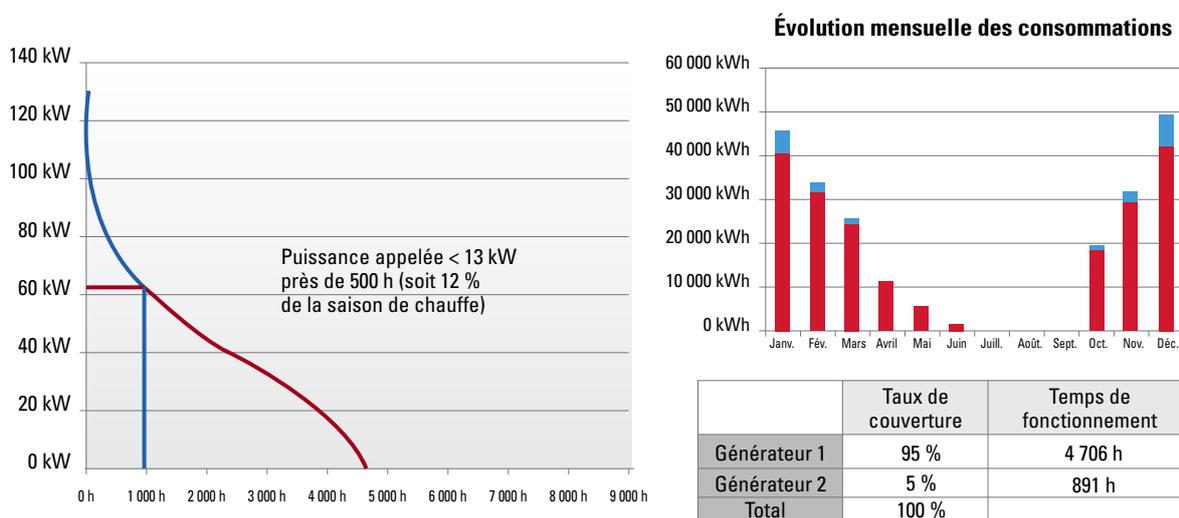
A titre d'exemple, on donne la monotone des puissances pour deux configurations de chaufferie alimentant un ensemble de logements en chauffage (présentant une charge thermique nominale de 130 kW) :

- chaufferie composée d'un générateur de 130 kW ;
- chaufferie composée de deux générateurs de 65 kW.

Figure 18 Dimensionnement avec un générateur de 130 kW (pour une charge thermique nominale de 130 kW)



// Le seuil de modulation minimum de la chaufferie est de 26 kW (plage de modulation du brûleur de 20 à 100 %). Le brûleur fonctionne sans modulation pendant 25 % de la saison de chauffe.

Figure 19 Dimensionnement avec deux générateurs de 65 kW (pour une charge thermique nominale de 130 kW)

Le seuil de modulation minimum de la chaufferie est de 13 kW (plage de modulation du brûleur de 20 à 100 %). Deux chaudières de 65 kW permettent de limiter les cycles de marche/arrêt (25 % contre 12 %). Une seule chaudière de 65 kW peut satisfaire 95 % du besoin de chauffage annuel.

4.3.2.2 CAS DES GÉNÉRATEURS BOIS

Dans les cas de la mono (uniquement bois) ou de la bi-énergie (bois relevé par une chaudière gaz par exemple), il est préférable d'un point de vue technique de scinder la puissance des générateurs dès lors que l'on dépasse les 200 kW.

Deux principaux avantages en découlent :

- un secours de la production de chaleur : si l'une des 2 chaudières devait s'arrêter (entretien ou panne), la puissance restante sera suffisante pour assurer la plus grande majorité des besoins du site ;
- une meilleure utilisation de la puissance installée : la chaudière utilisée prioritairement fonctionne dans une plage de modulation optimisée. Son temps de fonctionnement annuel est plus élevé avec un meilleur taux de charge.

CONSEILS



En fonction de la sensibilité du site, les chaufferies sont équipées de 2 chaudières quelle que soit la puissance appelée. Les maîtres d'ouvrage souhaitent rarement prendre le risque d'une interruption de la production de chaleur sur une école, une maison de retraite ou des logements.

- Puissance appelée inférieure à 200 kW :

Dans ce cas, le maître d'ouvrage doit se poser la question de la nécessité, ou non, de garantir une continuité de la production de chaleur sur le site. En effet, si nous pouvons envisager une coupure de chauffage momentanée sur un gymnase ou une salle des fêtes, il est plus difficile à vivre sur des logements, une école ou une maison de retraite.

Aussi plusieurs options s'offrent au maître d'ouvrage :

- La mono-énergie bois avec une seule chaudière ; dans ce cas, l'installation n'a pas de secours et couvre seule la totalité des besoins sur la période de chauffage. Cette solution technique doit obligatoirement être couplée à la mise en place d'un ballon tampon d'une capacité de 30 litres/kW bois installé ;

COMMENT FAIRE



Cette solution est intéressante pour une entreprise dont les besoins de process sont relativement constants dans le temps, beaucoup moins pour une installation collective pour laquelle il faut tenir compte des jours exceptionnellement froids : la chaudière doit alors avoir une puissance élevée et fonctionne sur une partie de la demi-saison à un taux de charge inférieur au minimum recommandé par le constructeur (généralement 15 à 25 %), induisant une combustion incomplète et une dégradation des performances énergétiques et environnementales ainsi qu'un risque sur la durée de vie des équipements.

- La mono-énergie bois avec 2 chaudières ou plus : cette solution pénalise sensiblement l'investissement de l'opération sans apporter d'intérêts économiques ou environnementaux significatifs. Il est conseillé de s'inscrire dans le cas précédent (un secours extrême peut être apporté par un combustible fossile présentant un coût d'achat de matériel de 5 à 6 fois moins cher) ;
- La bi-énergie bois + combustibles fossiles ; la chaufferie bois (environ 50 % de la puissance maximale) assure la base des besoins énergétiques (> 80 %) ; sollicitée en priorité, elle fonctionne plus souvent à sa puissance nominale, ce qui améliore ses performances énergétiques. La présence d'un ballon tampon est conseillée.

La chaudière d'appoint couvre le complément des besoins pendant les périodes les plus froides quand la puissance appelée est supérieure à la puissance du générateur bois.

- Puissance appelée supérieure à 200 kW :

Dans ce cas, il est fortement conseillé de s'inscrire dans une solution bi-énergie.

La disponibilité d'un second combustible en relève (gaz naturel ou fioul), permet d'optimiser techniquement et économiquement le dimensionnement du générateur bois en diminuant sa puissance.

Le (ou les) générateur(s) d'appoint couvre(nt) le complément des besoins pendant les périodes les plus froides et les plus douces de l'année, durant lesquelles la chaudière bois ne peut pas assurer la production de chaleur :

- en période très froide, quand la puissance appelée est supérieure à la puissance du générateur bois ;
- en fin de demi-saison et en été, quand la puissance appelée est inférieure au minimum technique de fonctionnement de la chaudière bois (soit environ 25 % de sa puissance nominale).

4.3.2.3 CAS DE 2 CHAUDIÈRES BOIS EN CASCADE

// Pour les chaufferies bois d'une puissance supérieure à 200 kW, il est fortement conseillé de s'inscrire dans une solution bi-énergie alliant une chaudière bois en base (environ 50 % de la puissance maximale) et une à deux chaudière(s) d'appoint/secours (100 % de la puissance maximale).

Pour les chaufferies bois de puissance inférieure à 1 000 kW, et supérieure à 200 kW, le concepteur peut être orienté vers une solution mono-énergie avec 2 chaudières à bois. Ce choix, bien que vertueux sur le principe (projet 100 % renouvelable), soulève un certain nombre de questions qui peuvent être un frein à sa mise en œuvre :

- le montant d'investissement : une chaudière bois est près de 5 fois plus chère qu'une chaudière à combustible fossile. L'augmentation du nombre de chaudière et de ses équipements associés (stockage, désilage, évacuation des cendres et des fumées) va augmenter le montant des travaux. D'ailleurs, paradoxalement, pour limiter ce montant, les installations avec deux chaudières bois prévoient rarement de chaudières de secours ; les 2 chaudières bois représentent alors 50 % de la puissance maximale ;
- le fonctionnement des chaudières : comme évoqué précédemment, une chaudière bois doit fonctionner le plus longtemps possible à sa puissance nominale. La mise en place de 2 chaudières bois est à ce titre complexe :
 - soit le concepteur prévoit une cascade classique où la seconde chaudière vient en appoint de la première. Dans ce cas, la chaudière d'appoint fonctionne en cours cycle (marche/arrêt) et uniquement pendant les périodes les plus froides. Ce montage est à éviter ;
 - soit le concepteur prévoit un fonctionnement en parallèle des 2 chaudières. Celles-ci vont fonctionner simultanément à la même puissance. Dans ce cas, les cours cycles sont limités mais les installations fonctionnent à un faible taux de charge.

|| Pour les chaufferies bois de puissance inférieure à 1 000 kW et toujours dans l'optique de maximiser le taux de couverture des besoins par le bois avec le meilleur rendement possible, il peut être pertinent de mettre en place deux chaudières bois (dont une peut, associée à un ballon d'hydroaccumulation, produire l'ECS en été).

Cette option est également à envisager lorsqu'un usager présente un profil énergétique particulier générant d'importants besoins thermiques l'été ou pour permettre l'adéquation entre moyens de production et besoins d'un réseau dont le développement s'effectue sur plusieurs années. En limitant les puissances unitaires des chaudières, cette solution permet l'allongement des durées de fonctionnement à pleine charge d'une part (avec un rendement maximal) et totale d'autre part (le minimum technique correspond à une puissance plus faible). Par ailleurs, le fractionnement des générateurs autorise l'alternance des périodes de maintenance, augmentant ainsi la disponibilité globale des chaudières bois.

Il découle de tout ceci un meilleur taux de couverture des besoins par le bois. En contrepartie, les investissements à consentir sont supérieurs, de même que les coûts de maintenance et de gros entretien / renouvellement (atténués toutefois par la standardisation de pièces ou fournitures). Il convient en outre de disposer d'une régulation optimisée afin d'assurer un fonctionnement harmonisé des chaudières bois.

4

4

QUEL CHOIX ADOPTER VIS-À-VIS DE LA RÉPARTITION DES PUISSANCES ENTRE LES GÉNÉRATEURS ?

4.4.1 QUELLES RÈGLES EXISTANTES ?

Il n'existe pas de règle d'application obligatoire concernant la répartition des puissances entre les générateurs. Néanmoins, on ressent différentes pratiques :

- répartition de la puissance appelée sur plusieurs chaudières en appliquant la règle des 2/3 ;
- répartition uniforme de la puissance appelée sur plusieurs chaudières.

4.4.1.1 RÈGLE DES 2/3

ATTENTION



Le CCTG, dont les règles de dimensionnement étaient imposées précédemment dans les marchés publics et servaient de référence dans les marchés privés, n'est plus en vigueur.

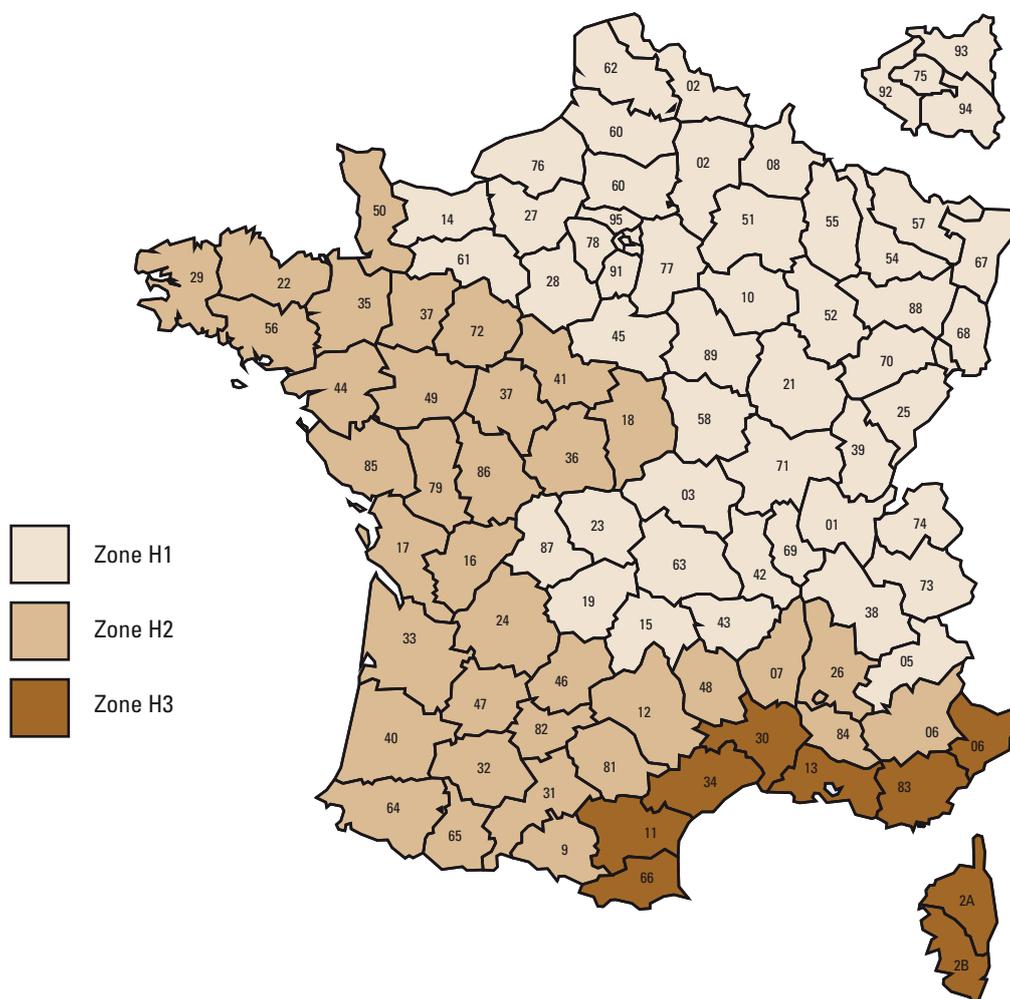
Pour rappel, le cahier des clauses techniques générales des marchés publics (CCTG) recommandait d'installer :

- au moins 2 chaudières si Putile > 350 kW ;
- au moins 3 chaudières si Putile > 1500 kW.

De plus, si l'un des générateurs est hors service, la puissance disponible restante doit être au moins égale aux pourcentages de la puissance utile totale suivants :

- 75 % en zone H1 (nord et moitié est de la France) ;
- 66 % en zone H2 (moitié ouest de la France) ;
- 50 % en zone H3 (bassin méditerranéen).

Figure 20 Définition des zones H1, H2 et H3 permettant de définir la puissance disponible restante en chaufferie



En d'autres termes, dans le cas des chaufferies équipées de deux chaudières, la règle facultative dite « des 2/3 » consiste à dimensionner chaque chaudière de façon à ce qu'en cas de panne de l'une des deux, l'autre soit capable de fournir les 2/3 de la puissance réclamée par l'installation.

La règle des 2/3 n'est plus applicable mais encore demandée par certains clients réclamant une sécurité de fonctionnement (copropriété avec personnes âgées, en plein hiver par exemple). Elle est également encore utilisée dans les bâtiments hospitaliers ou encore les maisons de retraite. En effet, le choix de l'installation de plusieurs chaudières permettra d'assurer la continuité du chauffage, même en cas de pannes ou d'entretiens prolongés.

CONSEILS



Même si les équipements sont de plus en plus performants, il est toujours intéressant de proposer aux utilisateurs finaux d'avoir un secours. En outre, une permutation des chaudières est dès lors possible avec une usure matériel plus faible.

Pour éviter le surdimensionnement de 33 % qui en résulte, il peut être intéressant d'appliquer cette règle en installant non pas deux mais trois chaudières dimensionnées chacune à P/3. Ce qui fait que quand 1 chaudière tombe en panne les 2 autres chaudières couvrent 2/3 de la puissance globale.

Cette dernière méthode présente l'avantage supplémentaire d'augmenter la plage de modulation globale de la chaufferie (rapport d'environ 1 à 10 avec 3 chaudières en terme de modulation comparativement à un rapport de 1 à 6 avec 2 chaudières en appliquant la règle des 2/3). Néanmoins, cette solution implique un surcoût, une emprise au sol ainsi que des coûts de maintenance plus importants.

COMMENT FAIRE



Pour les petits bâtiments et notamment quand la place en chaufferie est limitée, répartir la puissance sur plusieurs chaufferies peut ne pas être possible (même si aujourd'hui les chaudières sont de plus en plus compactes). Dans ce cas, mettre la priorité :

- sur la mise en place d'une loi d'eau pour condenser ;
- sur la sélection d'une chaudière 3 piquages ;
- sur l'entretien de la chaudière et son remplacement dès qu'il y a besoin.

4.4.1.2 RÉPARTITION HOMOGENE DE LA PUISSANCE NOMINALE

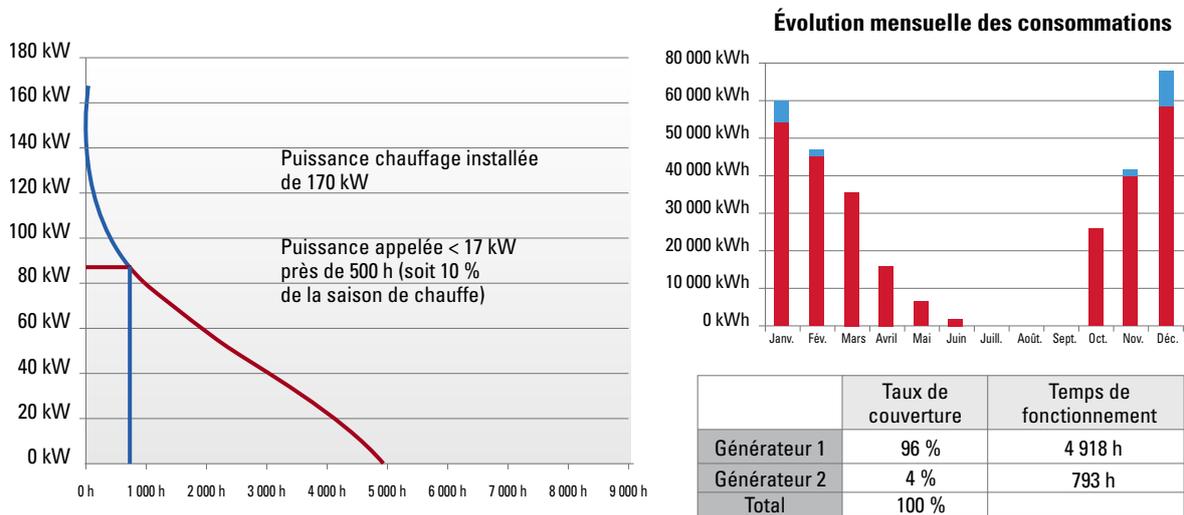
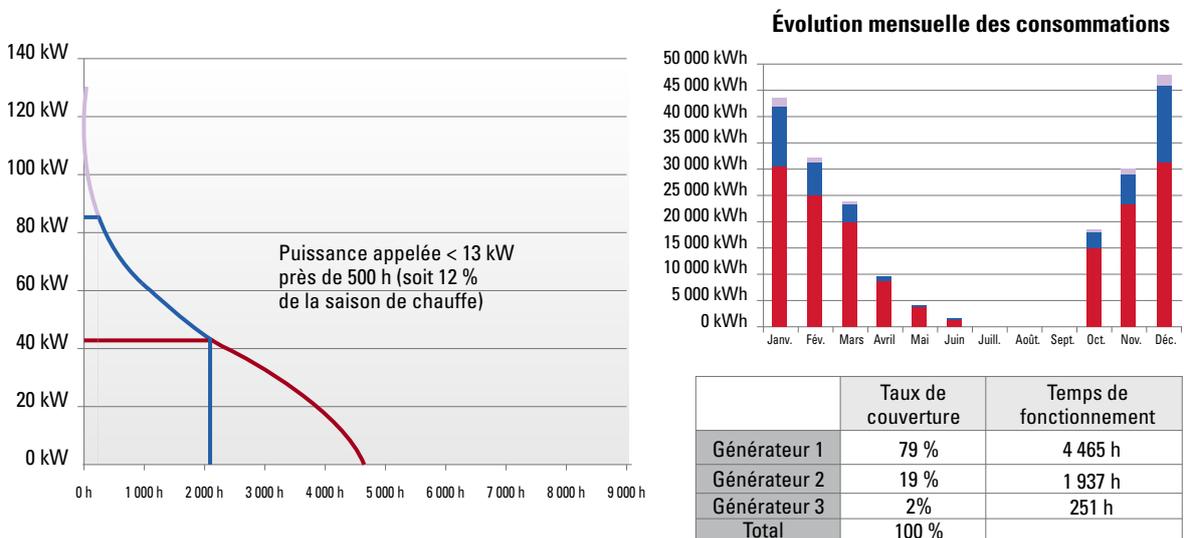
La puissance est répartie de manière homogène sur plusieurs chaudières. Cette répartition permet :

- d'éviter un surdimensionnement de la puissance chauffage (comparativement à la règle des 2/3) ;
- d'augmenter la plage de modulation globale de la chaufferie.

4.4.2 CAS DES GÉNÉRATEURS GAZ CONDENSATION

On donne, à titre d'exemple, les monotones pour une chaufferie présentant une charge thermique nominale de 130 kW et composée :

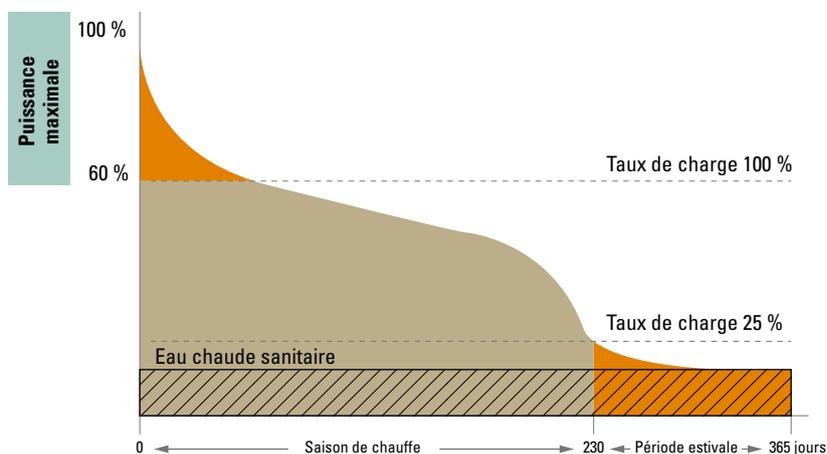
- de 2 chaudières condensation en appliquant la règle des 2/3, soit une puissance chauffage installée de 170 kW répartie sur 2 chaudières de 85 kW ;
- de 3 chaudières condensation avec répartition des puissances homogène, soit une puissance chauffage installée de 130 kW répartie sur 3 chaudières de 45 kW.

Figure 21 Monotone de puissance pour une chaufferie respectant la règle des 2/3**Figure 22** Monotone de puissance pour une chaufferie présentant une répartition homogène des puissances

4.4.3 CAS DES GÉNÉRATEURS BOIS

Pour une configuration de type bi-énergie, un dimensionnement de la chaudière bois aux alentours de 50 % de la puissance maximale appelée du site considéré permet d'atteindre un taux de couverture global des besoins annuels par le bois compris entre 80 et 90 %, tout en permettant un fonctionnement à un taux de charge élevé sur l'ensemble de l'année.

La courbe monotone ci-dessous représente la répartition des appels de puissance sur une année. Généralement, un dimensionnement de la chaudière bois aux alentours de 60 % de la puissance maximum appelée permet de couvrir 80 % à 90 % des besoins annuels. Le reste est couvert par une chaudière d'appoint fossile ou autre chaudière bois.

Figure 23 Dimensionnement de la chaudière bois dans une configuration bi-énergie

La puissance de la (ou des) chaudières d'appoint correspond généralement à l'appel de puissance maximum déterminé pour le site considéré.

COMMENT FAIRE



Le fonctionnement de la cascade entre la chaudière bois et appoint est géré automatiquement par une armoire de régulation. La continuité de la fourniture d'énergie du site est ainsi assurée, y compris lors des arrêts techniques de la chaudière bois (ramonages...) ou si un problème survient sur l'installation.

4

5

QUEL EST L'IMPACT DE LA RÉGULATION DE LA CASCADE ADOPTÉE ?

Dans le cas d'une production avec plusieurs chaudières, il y a plusieurs façons de gérer la cascade des chaudières :

- dans une cascade hiérarchique (ou avec priorité), la première chaudière va fonctionner jusqu'à atteindre 100 % de charge utile avant que la chaudière suivante se mette en marche ;
- dans une cascade en parallèle, les chaudières vont fonctionner simultanément à la même charge le plus tôt et la plus souvent possible.

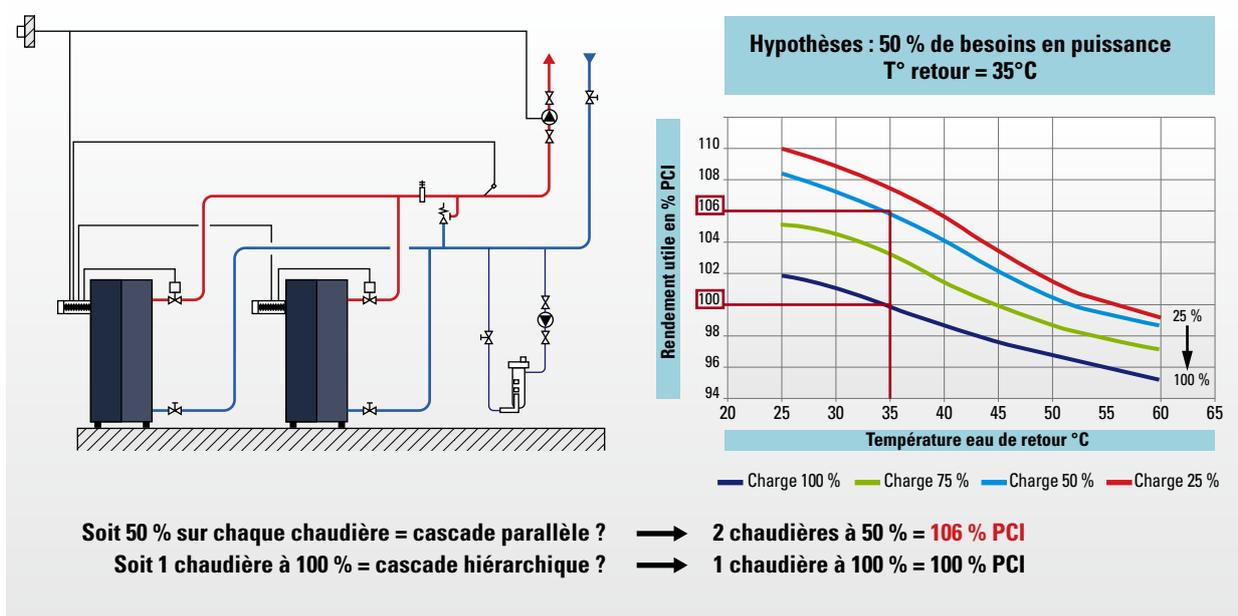
4.5.1 CAS D'UNE CHAUFFERIE AVEC UNIQUEMENT DES CHAUDIÈRES À CONDENSATION

Dans le cas d'une chaufferie composée de deux chaudières à condensation, le principe recommandé sera de type « cascade parallèle ». En effet, plus les taux de charge (supérieurs au seuil de modulation) sont faibles, plus les rendements chaudières seront bons.

Nous pouvons ainsi admettre qu'une chaudière à 100 % de fonctionnement génère un rendement de 100 % sur PCI, alors que 2 chaudières à 50 % génèrent un rendement de 106 % sur PCI. Tout cela s'explique du fait qu'à 50 % de charge, les surfaces d'échange de chaudière gaz condensation sont surdimensionnées et favorisent ainsi la condensation et l'efficacité énergétique.

Pour faire fonctionner au mieux les chaudières à condensation, il faut donc privilégier un taux de modulation des brûleurs le plus faible et mettre en place une régulation des chaudières en cascade parallèle.

Figure 24 Le fonctionnement en cascade parallèle de deux chaudières à 50 % de puissance permet d'atteindre un rendement de 106 % sur PCI contre 100 % avec une chaudière à 100 % de puissance en cascade hiérarchique



4.5.2 CAS D'UNE CHAUFFERIE MIXTE AVEC CHAUDIÈRE À CONDENSATION ET CHAUDIÈRE BASSE TEMPÉRATURE

Dans le cadre d'une chaufferie composée d'une chaudière gaz à condensation et d'une chaudière gaz de type basse température, le principe recommandé sera de type « cascade hiérarchique ».

Il s'agit en effet de rendre prioritaire le fonctionnement de la chaudière gaz à condensation qui donnera un rendement supérieur. La chaudière dite basse température ne fonctionnera qu'en appoint de sorte que la chaudière avec le meilleur rendement soit toujours appelée prioritairement.

CONSEILS



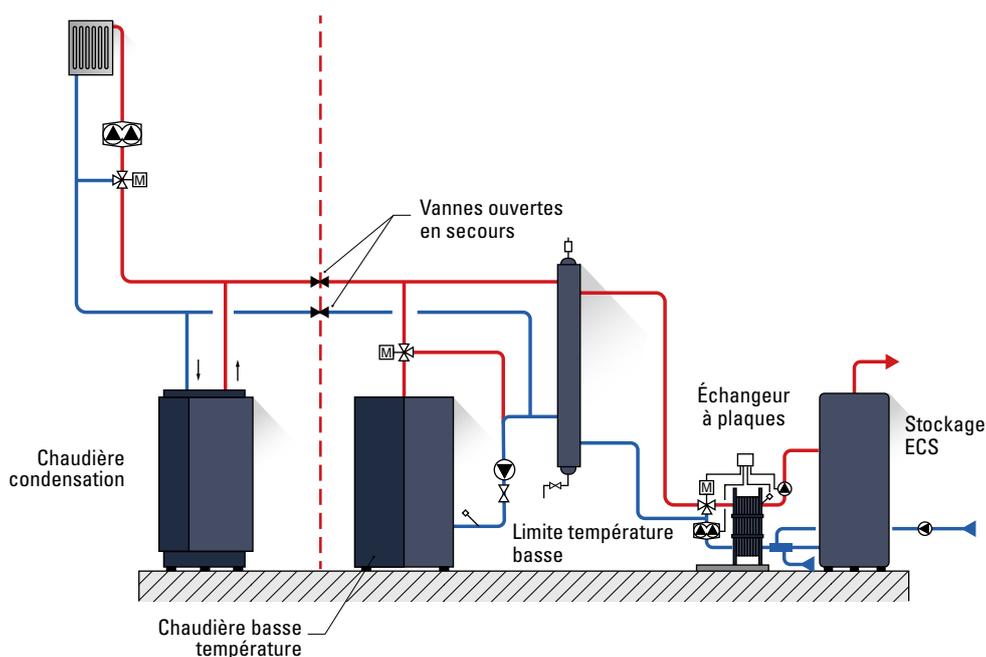
De fait, il n'est donc pas recommandé d'opérer avec des permutations de chaudière afin d'équilibrer les durées de fonctionnement de celles-ci.

// Pour faire fonctionner au mieux les chaudières à condensation et à basse température, il faut donc privilégier une régulation des chaudières en cascade hiérarchique.

La cascade hiérarchique a été souvent utilisée en présence de chaudières basse température. En présence de chaudières à condensation, il faut privilégier la cascade parallèle pour utiliser la surface d'échange totale disponible des 2 chaudières le plus tôt et le plus souvent possible. Cela permet de travailler au plus bas taux de charge sur les deux chaudières, et de ce fait, gagner jusqu'à plus de 6 % de rendement par rapport à une cascade hiérarchique.

Figure 25 Dimensionnement de la chaudière bois dans une configuration bi-énergie

Performance et secours assurés



4.5.3 CAS D'UNE CHAUFFERIE AVEC PRODUCTION DE CHAUFFAGE ET D'ECS

Dans le cas d'une production simultanée de chauffage et d'ECS avec deux chaudières à condensation en série hydraulique, il est recommandé de :

- les faire fonctionner simultanément en période de chauffe (production combinée de chauffage et d'ECS) afin de moduler efficacement sur l'ensemble des chaudières et de profiter d'une surface de condensation plus importante ;
- ne faire fonctionner qu'une seule chaudière en été pour la production de l'ECS.

4

6

QUEL EST L'IMPACT DES RÉGIMES DE TEMPÉRATURE D'EAU ?

Pour améliorer la performance de la condensation, il convient avant tout de minimiser la température de retour des circuits en entrée des chaudières.

La température de retour en entrée de chaudière à condensation, devra être plus faible que la température de rosée des combustibles. Cela permet de maximiser la performance de la condensation et ainsi récupérer la chaleur latente pour optimiser le rendement thermique de la machine.

La température de rosée, dépend du type de combustible. Pour le gaz naturel elle est de 59 °C.

COMMENT FAIRE



Dans le cas d'une combustion stœchiométrique au gaz naturel, la condensation se produit à partir de 59 °C. Dans la réalité, avec 10 à 20 % d'excès d'air, la condensation peut commencer dès que les températures de retour atteignent 55 °C.

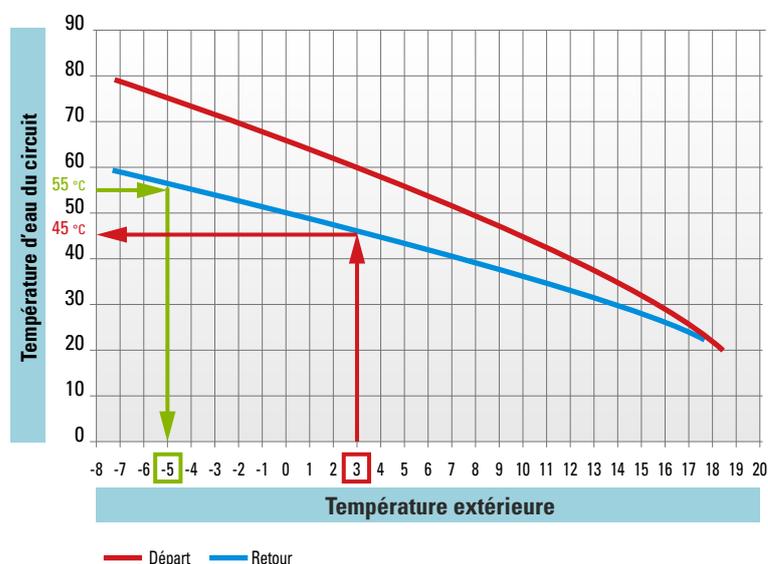
COMMENT FAIRE



Les éléments à prendre en compte lors de la rénovation d'une chaufferie collective à condensation, les régimes de températures dans les réseaux :

- Très basse température (plancher chauffant 35/27) ;
- Basse température (radiateurs 45/35 ou 40/35) ;
- Moyenne température (radiateurs 60/45) ;
- Haute température (production d'ECS, radiateurs 80/60) ;
- Haute température non régulée (batterie CTA à 80 °C, aérotherme, sous-station, ...).

On donne ci-dessous l'exemple d'une chaufferie à Orly (température extérieure de base de - 7 °C) alimentant des réseaux à hautes températures (radiateurs 80/60).

Figure 26 Loi d'eau des radiateurs eau chaude

Sur ce réseau haute température, par + 5°C extérieur, les retours à 45°C permettent de bénéficier de la condensation

La condensation se produit dès que la température extérieure est supérieure à - 5 °C.

Pour 3 °C extérieur, la température du circuit de retour est de 45 °C.

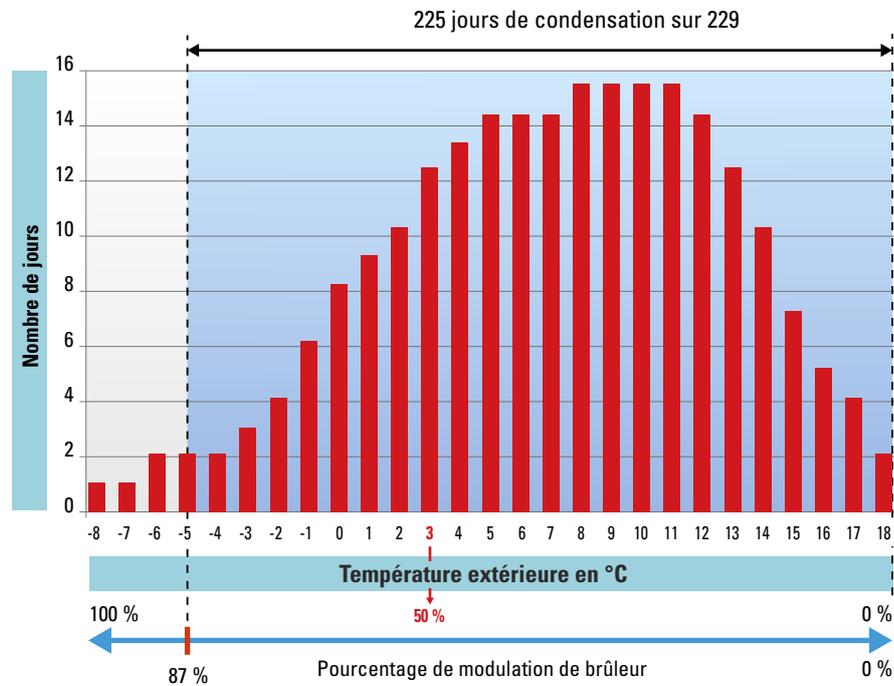
Une chaudière peut-elle condenser avec des circuits à haute température comme des radiateurs 80/60 ?

Dans cet exemple, il s'agit d'une rénovation de chaufferie à Lyon, où la température basse moyenne de référence est de - 8 °C, avec la pose d'une chaudière de 230 kW qui alimente un réseau de radiateur haute température (80/60 °C) ; la surpuissance est de 15 %.

La première question à se poser est : quel est l'intérêt d'une chaudière à condensation par rapport à une chaudière basse température à trois parcours de fumée ?

À la lecture du graphique ci-dessous, il est possible de condenser de - 5 °C à + 18 °C extérieur pour une température de rosée des fumées de 55 °C. Soit un fonctionnement en condensation de 225 jours sur les 229 jours de la saison de chauffe.

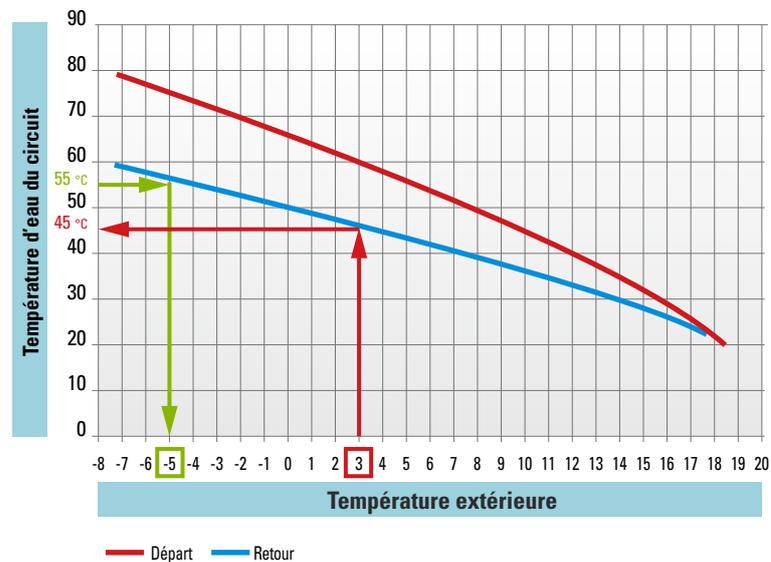
Figure 27



Quel est le rendement global annuel de cette installation ? Pour le déterminer, il faut calculer le rendement utile chaudière pour chaque température extérieure.

Exemple : lorsqu'il fait 5 °C à l'extérieur, la chaudière est sollicitée à 50 % de sa charge (figure ci-dessus).

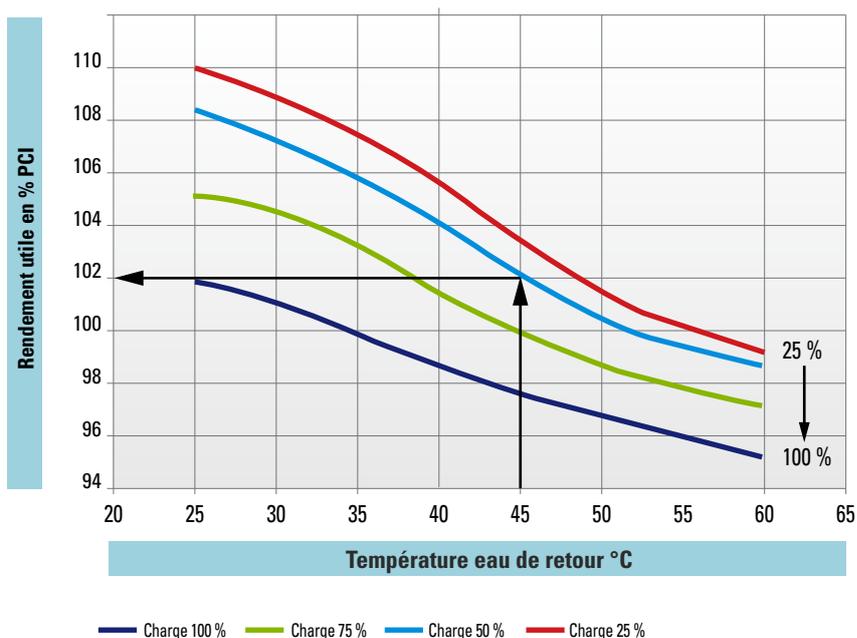
Figure 28



Sur ce réseau haute température, par +5°C extérieur, les retours à 45°C permettent de bénéficier de la condensation

En reportant cette information sur l'abaque de la loi d'eau (figure ci-dessous), on constate un retour à 45 °C. Ce qui, sur la courbe de rendement (figure ci-dessous), permet de lire un rendement de 102 % (à 50 % de charge).

Figure 29



En tenant compte du nombre d'heure de marche de la chaudière et de son rendement utile pour chaque température extérieure, on obtient son rendement global annuel.

COMMENT FAIRE



Comparativement, une chaudière basse température (trois parcours) présente un rendement de 93 % pour un régime de température 80/60.

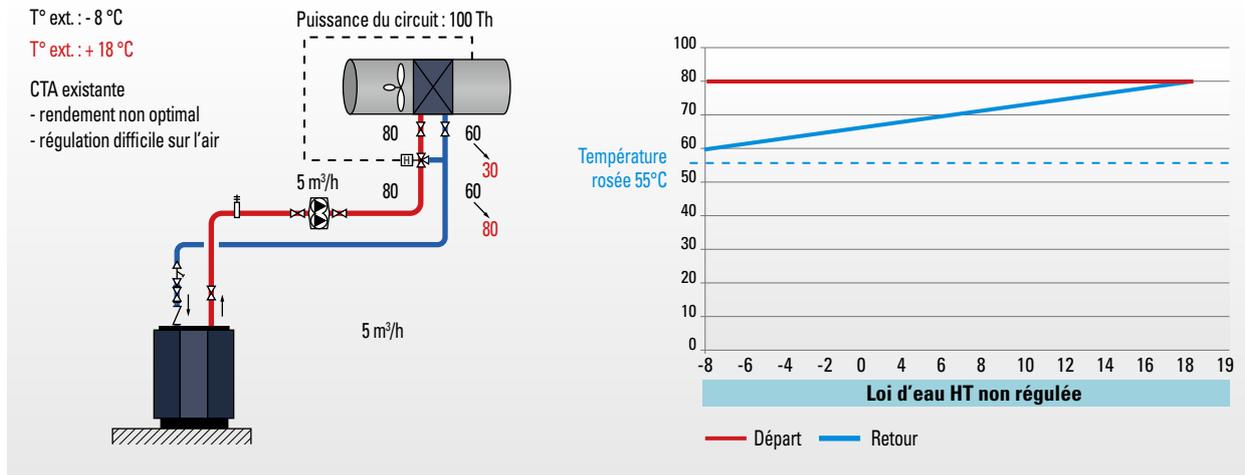
// La condensation se justifie sur des réseaux haute température, mais à condition qu'ils soient régulés.

Comment exploiter la condensation sur une alimentation de CTA avec loi d'eau à température constante ?

Dans les locaux tertiaires existants, les batteries chaudes des centrales de traitement d'air ont longtemps été dimensionnées avec une loi d'eau 80/60 °C avec vanne trois voies de régulation terminale (vanne de décharge).

Loi d'eau à température constante oblige, la variation de puissance dans cette batterie est basée sur la variation du débit. Que se passe-t-il au cours de la saison de chauffe ? Les retours reviennent de plus en plus chauds et jusqu'à 80 °C : quand la batterie n'a plus besoin de sa puissance nominale, une partie du débit départ chaudière à 80 °C est by-passé par la vanne de décharge et réchauffe alors les retours (figure ci-dessous).

Figure 30

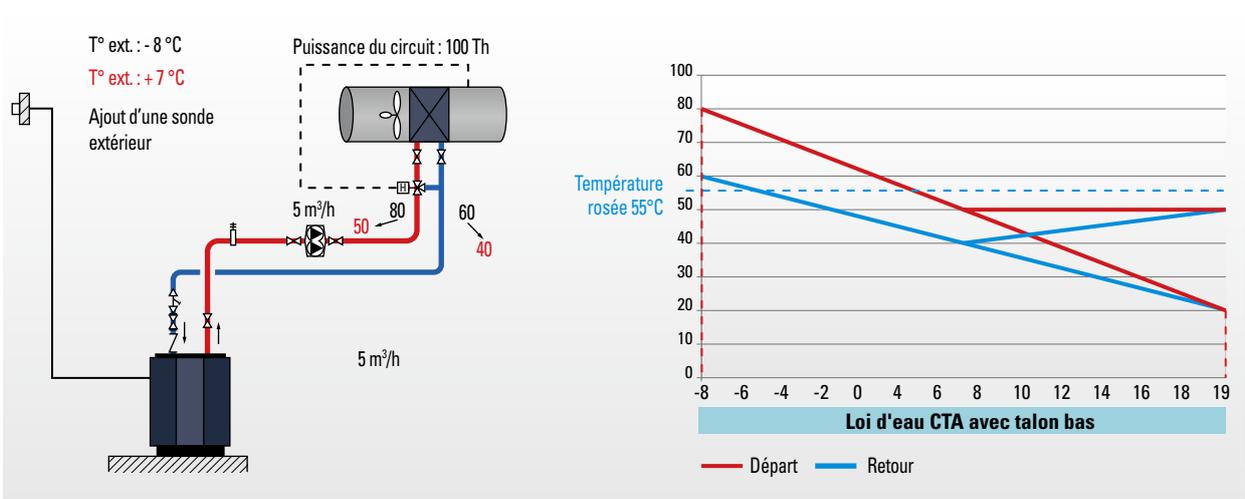


Ce montage n'est pas adapté à une chaudière à condensation et ne facilite pas la gestion de l'apport thermique sur l'air.

En effet, avec un tel différentiel de température sur la batterie, il est difficile de savoir où placer la sonde de régulation.

Comment parvenir à adapter ces émetteurs à ce type de chaudière ? Une solution simple – et connue – consiste à rajouter un talon bas. En clair, il s'agit de créer une « petite loi d'eau » : partir à 80 °C par température extérieure basse (de - 8 °C), et, lorsqu'on atteint une température extérieure plus élevée (+ 7 °C), maintenir une alimentation thermique à 50 °C pour satisfaire la température de soufflage – mais cette consigne peut être d'une température inférieure (40, voire 35 °C) selon le dimensionnement de la CTA à l'origine. Cette solution rend possible la condensation durant de nombreux jours de la période de chauffe et améliore la régulation sur l'air dû à un différentiel de température plus faible sur la batterie. Pour parvenir à ce résultat, la régulation doit être équipée d'une sonde extérieure pour appliquer une loi d'eau avec talon bas.

Figure 31



5

QUEL DIMENSIONNEMENT POUR LES INSTALLATIONS DE PRODUCTION D'ECS ?

Cette partie porte sur le dimensionnement des installations intégrant une production d'ECS. L'objectif est de rappeler les règles qui existent pour le dimensionnement des installations d'ECS. Il ne s'agit pas de décrire en détail le calcul de ces installations mais de rappeler les principes essentiels dans le cadre d'un choix de conception de rénovation de chaufferie.

Après avoir rappelé les différents types de production d'ECS, l'objectif de ce chapitre est de montrer de manière qualitative (en regard de l'état de l'art et des avis d'experts) et pour certains points de manière quantitative l'impact des choix de conception sur la performance des générateurs.

5

1

LE CONSTAT

Le type de production ECS dépend de plusieurs critères en rénovation : la place en chaufferie, le choix du maître d'ouvrage, l'objet de la rénovation (conservation des générateurs, changement des ballons seuls, ...).

5.1.1 D'UN POINT DE VUE ÉNERGÉTIQUE

- Plusieurs méthodes de dimensionnement coexistent (plus ou moins fiables) selon le type de production choisie (calcul du débit de pointe sur 1h sans prise en compte de foisonnement, coefficient de foisonnement non pertinent, débits des appareils sanitaires obsolètes) ;
- Le calcul du bouclage n'est souvent pas effectué de manière précise, conduisant à un débit de bouclage important ;
- La « tradition » est d'appliquer des coefficients de surdimensionnement afin d'éviter tout risque de manque d'ECS et de prendre en compte une puissance de réchauffage bouclage trop importante ;
- Des questions se posent concernant le choix entre un stockage primaire ou secondaire.

5.1.2 D'UN POINT DE VUE SANITAIRE

Un dimensionnement hasardeux peut entraîner des risques de développement de légionelles notamment du fait d'une non prise en compte des exigences de température en sortie de production (55 °C minimum en sortie, consigne à 60 °C).

5.1.3 D'UN POINT DE VUE CONFORT

La production d'ECS doit permettre de fournir de l'eau chaude en quantité suffisante à température constante. D'autre part, en période de chauffage, le réchauffage de l'ECS ne doit pas engendrer une chute de température ambiante sensible pour les usagers. Cela implique que la puissance de la chaufferie doit être suffisante pour assurer à la fois la production d'ECS et le chauffage ou bien, si le chauffage est arrêté pour produire de l'ECS, que la durée d'arrêt ne soit pas préjudiciable au confort des usagers.



QUELLE EST LA RÉPARTITION DES BESOINS ENTRE LE CHAUFFAGE ET L'ECS

Le poids des besoins d'ECS par rapport à ceux en chauffage, très faible dans un immeuble d'habitation très déperditif, devient important pour les bâtiments ayant fait l'objet d'une rénovation thermique très performante. Dans ces immeubles bénéficiant d'un niveau d'isolation thermique élevé, les besoins d'ECS peuvent être équivalents voire supérieurs aux besoins de chauffage, notamment en zone H3 où dans des immeubles avec des taux d'occupation élevés.

// Plus le poids des besoins d'ECS est important par rapport à ceux en chauffage, plus les performances de la chaufferie pour la production d'ECS vont influencer sur ses performances globales.

L'exploitation des relevés sur environ 1 200 sites montrent des valeurs de besoins moyens d'ECS qui varient pour 2/3 des sites, entre environ :

- 10 et 30 kWh/m².an dans le parc social ;
- 10 et 20 kWh/m².an dans le parc privé.

La moyenne est un peu plus élevée dans le parc social, 19 kWh/m².an (± 8 d'écart type) contre 15 kWh/m².an (± 7) dans le parc privé, compte tenu des taux d'occupation des logements sociaux plus importants.

De manière général, le facteur qui influe le plus sur les besoins d'ECS des immeubles est le taux d'occupation. On donne ci-dessous le taux moyen d'occupation des logements (dans le parc privé et social).

Tableau 2 Taux moyens d'occupation des logements déterminés par l'USH-DEEF, à partir des données INSEE de recensement de la population de 2008 et l'enquête nationale logement de 2006 en France métropolitaine

Type de logements	Taux moyens d'occupation	
	Parc privé	Parc social
T1	1,2	1,2
T2	1,4	1,4
T3	1,9	2,1
T4	2,3	3
T5	2,7	3,7
T6 ou plus	2,9	3,9

Dans les métropoles densément peuplées, par exemple en Ile de France ou bien dans les immeubles qui comptent beaucoup de studios (avec des taux d'occupation par m^2 plus importants que dans les autres logements), les besoins d'ECS sont généralement plus élevés.

Au contraire, certains immeubles comportent de nombreux logements vacants ou des logements peu occupés si bien que les besoins peuvent être très faibles comme le montre le graphe ci-après.

On donne ci-dessous les besoins ECS obtenus à partir de relevés annuels de compteurs d'eau installés à l'entrée de production d'ECS collective dans 719 immeubles du parc social et 498 immeubles du parc privé. Les températures ont été supposées de $60\text{ }^\circ\text{C}$ pour l'ECS et de $16\text{ }^\circ\text{C}$ pour l'eau froide.

Les fréquences auxquelles sont rencontrées les valeurs de besoins en $\text{kWh}/m^2\cdot\text{an}$ sont indiquées en abscisse. Par exemple, 25 % des 719 immeubles du parc social, soit environ 180 immeubles ont des besoins compris entre 15 et 20 $\text{kWh}/m^2\cdot\text{an}$. Le nombre d'immeuble correspondant aux fréquences est indiqué sur le second axe d'ordonnées.

Figure 32 Besoins ECS en $\text{kWh}/m^2\cdot\text{an}$ pour des immeubles du parc privé

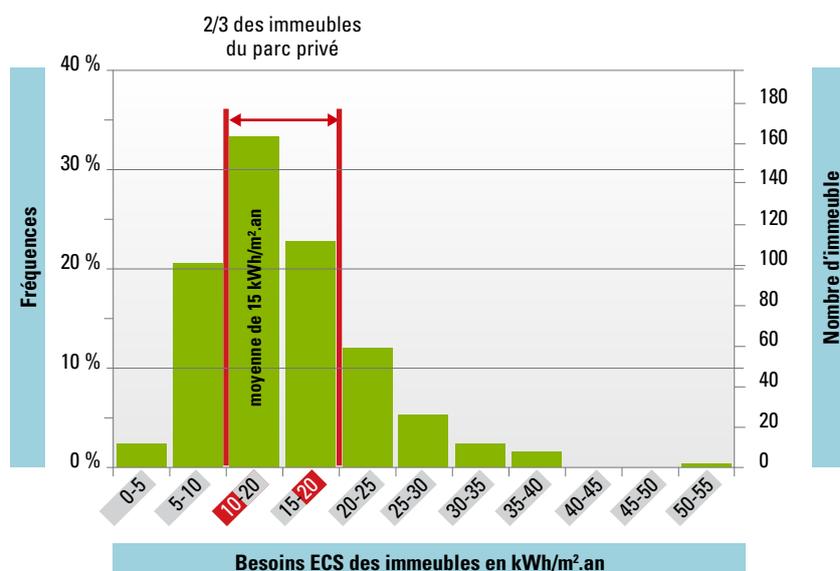
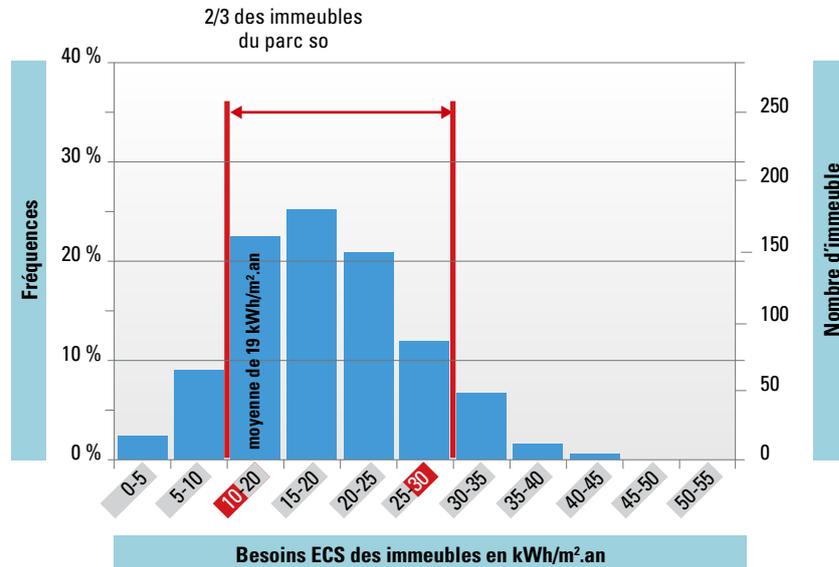


Figure 33 Besoins ECS en kWh/m².an pour des immeubles du parc social

5

3

LES RÈGLES DE DIMENSIONNEMENT EXISTANTES

5.3.1 POUR LES INSTALLATIONS ASSURANT UNIQUEMENT L'ECS

Il n'existe aucune règle normalisée pour le dimensionnement des installations d'ECS collective. En pratique, les règles utilisées sont multiples. On retrouve notamment les méthodes AICVF de 2004, Qualitel, Habitat & Environnement et Baeckeroot.

COMMENT FAIRE



Les méthodes de dimensionnement des installations de production d'ECS datent, pour certaines, de plusieurs dizaines d'années et aboutissent à des résultats variés. La plus utilisée d'entre elles, la méthode AICVF, pourtant actualisée en 2004, se base toujours sur des données établies dans les années 70, à une époque où les limiteurs de débit, par exemple, étaient encore rares et les bains plus courants.

Depuis 2019, une méthode de référence est parue pour le dimensionnement des systèmes de production d'eau chaude sanitaire en habitat individuel et collectif. Elle permet de :

- de s'appuyer sur de nouvelles valeurs de besoins d'ECS prenant désormais aussi en compte l'évolution des habitudes de consommation, avec des profils de puisage plus réguliers dans la journée dus à des changements dans l'occupation des bâtiments ;

COMMENT FAIRE



L'ADEME a publié en juillet 2016 un guide établissant de nouvelles valeurs de référence des besoins d'ECS en résidentiel, plus faibles que celles utilisées dans les méthodes de dimensionnement existantes et plus complètes que tout ce que l'on possédait jusqu'à lors.

- de tenir compte, en plus de la satisfaction des besoins, d'exigences de température en sortie de production vis-à-vis de la prévention des risques liés aux légionelles ;

COMMENT FAIRE



Dans les méthodes existantes, un bilan thermique est réalisé auquel on ajoute une fois la perte du bouclage. La prise en compte d'une exigence de température minimale d'ECS en sortie de production de 55 °C vis-à-vis de la prévention du risque lié aux légionelles implique d'ajouter une puissance plus importante pour le bouclage ».

- de mieux tenir compte du comportement des systèmes grâce à l'usage de la simulation thermique dynamique ;
- de traiter des solutions techniques comme les systèmes de stockage primaire et les PAC dédiées à l'ECS pour lesquelles étaient utilisées des méthodes constructeurs, sans méthode de référence.

Cette méthode se présente sous forme d'abaques. Ces abaques indiquent pour chaque système, l'ensemble des couples puissances ECS / volumes de stockage permettant de satisfaire les exigences de dimensionnement fixées.

ATTENTION



Cette méthode permet de déterminer la puissance que devront être capables de fournir les générateurs pour la production d'ECS. Par contre, elle ne donne pas de méthode permettant de déterminer la puissance totale de la chaufferie, à partir de cette puissance pour la production d'ECS et de la puissance requise pour le chauffage.



Selon la capacité de stockage adoptée, les puissances ECS requises varient quelle que soit la méthode.

5.3.2 POUR LES INSTALLATIONS ASSURANT LE CHAUFFAGE ET L'ECS



Les besoins de chauffage sont de plus en plus faibles, augmentant d'autant la part relative de l'ECS dans le bilan énergétique du bâtiment et dans la détermination de la puissance du générateur.

Il n'existe aucune règle normalisée pour le dimensionnement de la puissance en chaufferie. La référence sur cette question est le Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) des marchés publics de travaux d'installation de génie climatique de 1991. Les spécifications qui figurent dans le CCTG ont été reprises dans la recommandation AICVF ECS de 2004. Sur le terrain, d'après les retours des professionnels que nous avons, les pratiques diffèrent.

5.3.2.1 LES SPÉCIFICATIONS DU CCTG

Il est indiqué que les besoins totaux de production sont la somme directe :

- des besoins calorifiques de chauffage (Pchauffage) ;
- de la puissance calorifique nécessaire à la production d'ECS (PECS) ;
- des pertes de la boucle d'ECS (Pboucle ECS).

Il est précisé, toutefois que dans certaines conditions, il est possible de ne prendre en compte qu'une fraction de la puissance calorifique nécessaire à la production d'ECS. Dans ce cas, la fraction retenue ne doit jamais représenter une puissance inférieure à 3 fois la puissance nécessaire pour réchauffer le débit moyen d'ECS augmentée de la puissance nécessaire au maintien en température du réseau de distribution d'ECS.

Soit Puissance ECS mini [kW] = $3 (1.16 Q \Delta T) / 24$.

Avec :

- Q : Consommation maximale pendant 24 heures consécutives en m³ ;
- ΔT : élévation de la température d'ECS.

Il est indiqué que cette disposition s'applique dans le cas où il est donné priorité au réchauffage de l'ECS sur le chauffage, ce dernier étant réduit pendant la période de puisage d'ECS et qu'il n'a, en général, d'objet que dans le cas de production instantanée ou semi-instantanée de l'ECS.

Il est précisé qu'il faut veiller à ce que la régulation du chauffage et l'inertie du bâtiment permettent cette disposition.

En outre, il est spécifié que la puissance totale de la chaufferie ne peut pas être inférieure à la puissance calorifique nécessaire à la production d'ECS.

5.3.2.2 LES PRATIQUES SUR LE TERRAIN

Sur le terrain, les pratiques en matière de dimensionnement divergent. Ainsi, certains prennent une puissance pour la chaufferie :

- égale à la somme de la puissance nécessaire pour le chauffage et l'ECS ;
- conforme aux règles du CCTG ;
- égale seulement à la puissance pour le chauffage ;
- égale à la puissance la plus élevée entre celle nécessaire pour le chauffage et celle pour l'ECS.

Comme évoqué précédemment, compte tenu de l'inertie et l'isolation des bâtiments neufs ou justifiant d'une rénovation performante, il est possible d'envisager d'arrêter la production de chauffage pendant quelques heures pour produire l'ECS sans nuire au confort des occupants. En l'absence de chauffage durant la nuit, la température ambiante moyenne dans les logements vus précédemment ne chute que de 1.5 °C en 8 heures en plein hiver.

COMMENT FAIRE



Une étude de Cegibat relative au dimensionnement des chaufferies collectives (chauffage et ECS) dans les bâtiments neufs révèle que la puissance préconisée par un panel de BET va d'une puissance de P à 5 P pour un même projet, selon les méthodes et partis pris techniques. Ainsi, pour un immeuble donné, certains bureaux d'études thermiques vont dimensionner une chaudière à 100 kW, d'autres aboutiront à 480 kW. La crainte des BET qui optent pour autre chose que la plus grande des deux puissances, est que la baisse de température dans le bâtiment pendant la recharge du ballon ECS soit une source d'inconfort.



Les écarts de dimensionnement constatés entre bureaux d'études sur les puissances installées en chaufferie ne proviennent pas tant du volet chauffage des calculs que du volet ECS.

5

4

QUELLES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LA PRODUCTION D'ECS ?

5.4.1 INSTALLATION INDÉPENDANTE OU COMBINÉE ?

En matière de production d'ECS, les solutions sont multiples. Cette multiplicité des systèmes permet de répondre à la diversité des contraintes rencontrées d'un site à l'autre :

- énergies disponibles, possibilité notamment d'utiliser ou non l'énergie solaire ;
- choix adoptés pour le chauffage ;
- emplacements disponibles...

Outre ces contraintes ainsi que les coûts d'investissement et de maintenance, le critère important qui doit guider le choix est l'efficacité énergétique globale. La maîtrise des consommations pour la production d'ECS ne peut être abordée indépendamment de celle du chauffage. Les choix adoptés pour la production d'ECS impactent sur les performances du générateur de chaleur dans le cas de chaudières assurant les 2 services.

5.4.1.1 INSTALLATION INDÉPENDANTE

Une préparation spécifique d'eau chaude sanitaire, par l'intermédiaire d'un accumulateur gaz à condensation ou bien par une chaudière spécifique par exemple, permet de séparer les deux fonctions : chauffage des locaux et chauffage de l'eau chaude sanitaire. Cela permet de concevoir et de dimensionner au mieux chaque production sans pénaliser la performance de l'installation, notamment lorsque les profils de demande, ECS et chauffage, sont très différents.

Il peut être judicieux de mettre en place une production d'ECS indépendante pour :

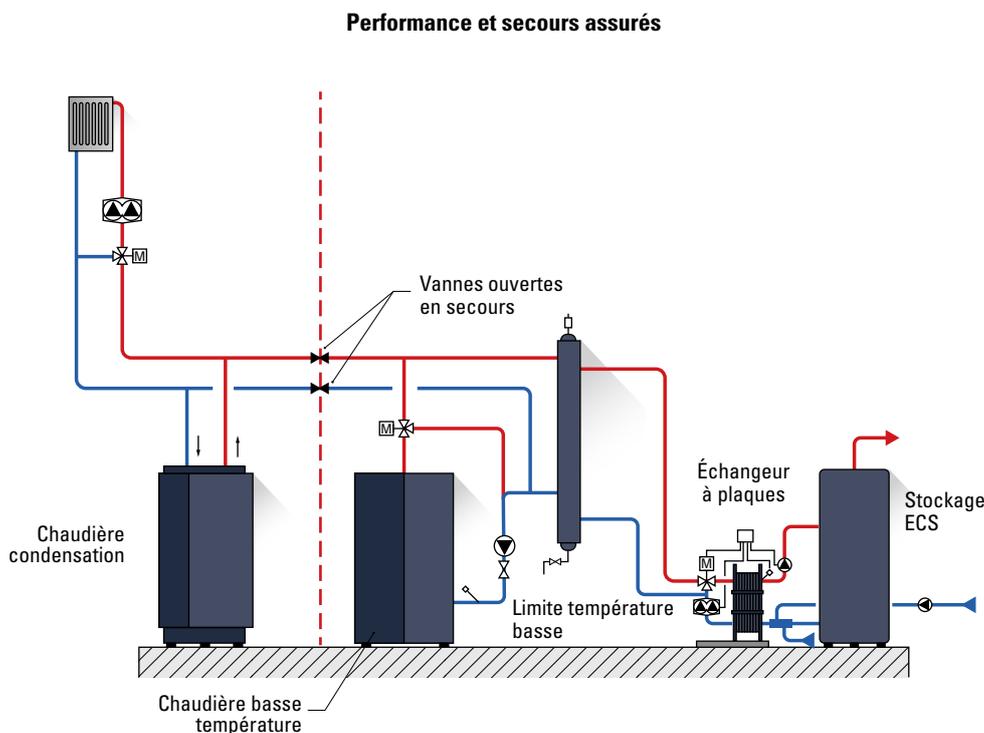
- une chaufferie qui alimente plusieurs bâtiments, en pieds d'immeuble, pour éviter les pertes de réseaux notamment ;
- utiliser deux énergies différentes (gaz pour l'ECS et bois pour le chauffage, par exemple) ;
- pour répondre aux besoins de circuits régulés et de circuit à température constante ;
- pour favoriser les phases de condensation en chauffage ;
- pour minimiser les pertes (non négligeables) du circuit primaire (moins conséquent) sur la période estivale ;
- assurer un secours entre les deux productions indépendantes (au moyen de vannes d'isolement notamment) ;
- maintenir le générateur existant et le dédier à l'ECS (tout en apportant une solution de secours).

CONSEILS



Une solution peut consister à fractionner la puissance de chauffe et à installer une petite chaudière dont la puissance convient pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire en été. Durant la saison de chauffe, cette chaudière peut être connectée en parallèle sur le réseau de chauffage et dédiée à la production d'eau chaude sanitaire en été. Elle peut ainsi être également utile pour les relances de chauffage de début de journée en mi-saison, évitant la mise en température de la chaudière principale.

Figure 34 Exemple de schéma de raccordement permettant de maintenir un équipement existant basse température tout en bénéficiant de la condensation et en apportant une solution de secours



5.4.1.2 INSTALLATION COMBINÉE

Une installation assurant à la fois le chauffage et l'ECS permet de minimiser le coût de l'opération, le poste production de chaleur étant commun au chauffage des locaux et à la production d'eau chaude sanitaire. Néanmoins, quelques inconvénients :

- la priorité ECS implique des relances et remontées en température de la chaudière et donc défavoriser les phases de condensation en chauffage (en fonction du type de chaudière et du régime de dimensionnement de l'échangeur) ;
- la puissance nécessaire pour assurer l'ECS peut conduire à sélectionner une chaudière avec une puissance pour le chauffage élevée par rapport à celle réellement requise ;
- le système de production de chaleur fonctionne en période de non-chauffage (en mi-saison et en été). Le rendement est dégradé suite aux pertes à l'arrêt du générateur, aux pertes du collecteur et au fonctionnement en cycles courts du brûleur.

CONSEILS



Répartir la puissance à installer sur plusieurs chaudières permet également :

- une sécurité d'approvisionnement, en cas de panne d'une des chaudières ;
- une intégration facilitée dans une chaufferie de faibles dimensions ;
- de gérer des besoins permanents et d'autres intermittents (par exemple, une partie du bâtiment chauffée en dehors des heures d'occupation du reste du bâtiment).

Adopter 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 le chauffage ou le chauffage et l'ECS.

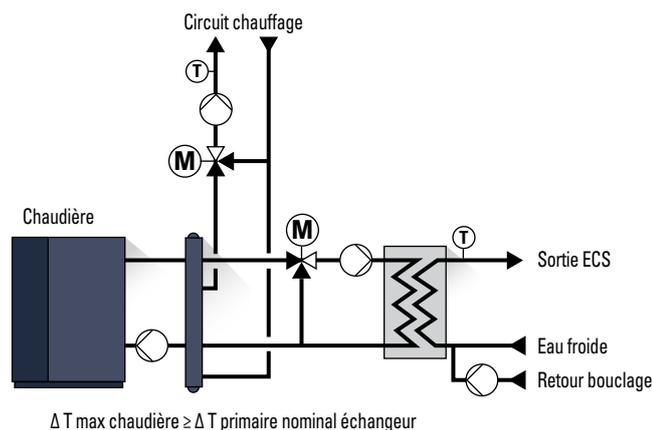
5.4.2 LES SOLUTIONS EXISTANTES

Pour assurer la production collective d'ECS, il existe essentiellement 4 types de systèmes qui peuvent être alimentés par la chaufferie :

- une production instantanée par échangeur à plaques ;
- une production dite semi-instantanée qui associe échangeur à plaques et ballon tampon ;
- une production par ballon échangeur ;
- une production avec un échangeur à plaques et un ballon tampon sur le primaire.

5.4.2.1 LES SYSTÈMES DE PRODUCTION INSTANTANÉE PAR ÉCHANGEUR

Figure 35 Schéma de principe d'un système de production d'ECS instantané. Pour obtenir la température d'ECS souhaitée, la chute maximale des générateurs doit être supérieure à la chute nominale au primaire de l'échangeur



Ces systèmes :

- nécessitent un fonctionnement permanent de la chaudière à une température de sortie d'eau élevée, y compris en l'absence de soutirage, pour assurer le réchauffage de la boucle d'ECS. Néanmoins, selon l'échangeur sanitaire choisi, des températures de retour inférieures à la température de condensation peuvent être obtenues lors des soutirages notamment lors des pointes, pour des régimes de température sur le secondaire de 10/60 °C ou 10/55 °C ;

COMMENT FAIRE



Les caractéristiques des échangeurs sont généralement données pour des températures entrée primaire de 90 °C, 80 °C, 70 °C voire 65 °C. Les chutes de température indiquées côté primaire varient de 20 K à 45 K, pour un régime secondaire de 10/60 °C ou 10/55 °C selon les notices des matériels consultées, ce qui conduit à des températures de retour allant de 55 °C à 45 °C, voir même de 30 °C.

- d'engendrer très souvent un surdimensionnement de la chaufferie pour assurer les pointes des besoins d'ECS. Ce surdimensionnement sera d'autant plus important dans les bâtiments fortement rénovés avec de faibles besoins de chauffage. Cela aura pour conséquence de faire fonctionner plus souvent la chaudière à de très faibles taux de charge, avec des séquences marche-arrêt.

Par contre, l'avantage de ces systèmes de production est de ne pas comporter de ballon de stockage, donc de ne pas engendrer de pertes de stockage, ni de risque légionelle lié à ce ballon.

ATTENTION



Calorifuger les échangeurs qui sont une source importante de pertes thermiques. Environ 0,7 kW de pertes moyennes enregistrées pour un échangeur de 50 kW non calorifugé (ENERTECH – Bâtiments de logements HQE® économes en énergie et en eau – programme ReStart – Evaluation des performances – Suivi lourd – Rapport – mars 2004).

5.4.2.2 LES SYSTÈMES DE PRODUCTION PAR ECHANGEUR EXTÉRIEUR ET BALLON DE STOCKAGE ECS

Figure 36 Schéma de principe d'un système de production semi-instantanée

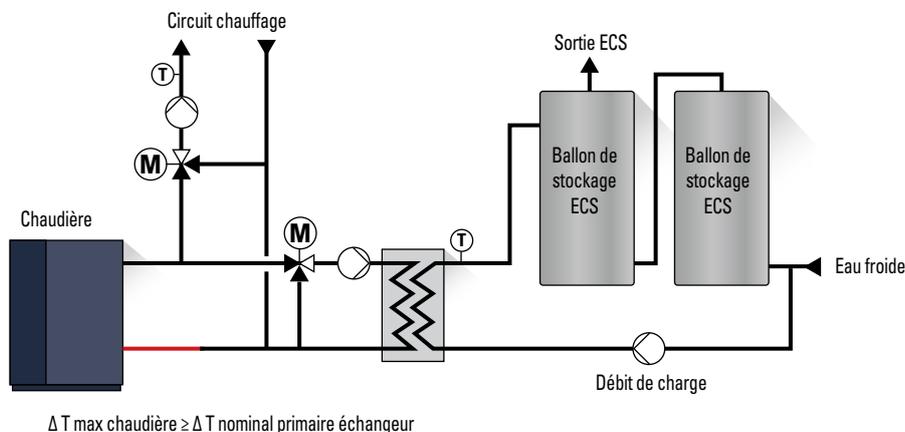


Figure 37a Sur les systèmes semi-instantanés, la pompe secondaire fonctionne habituellement en permanence. En l'absence de soutirage, c'est l'échangeur qui assure le réchauffage de la boucle. De même lors de faible soutirage, l'ECS est produite par l'échangeur

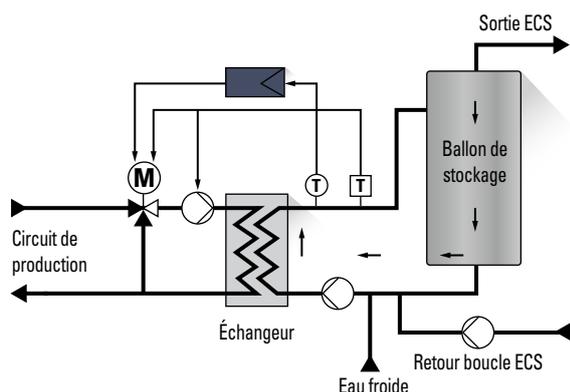
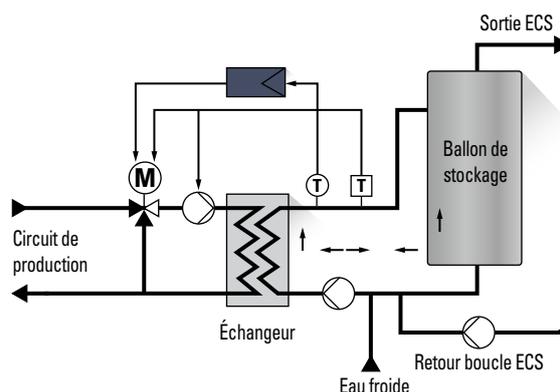


Figure 37b Lors de soutirages importants, l'ECS est fournie d'une part par l'échangeur et d'autre part par le ballon de stockage



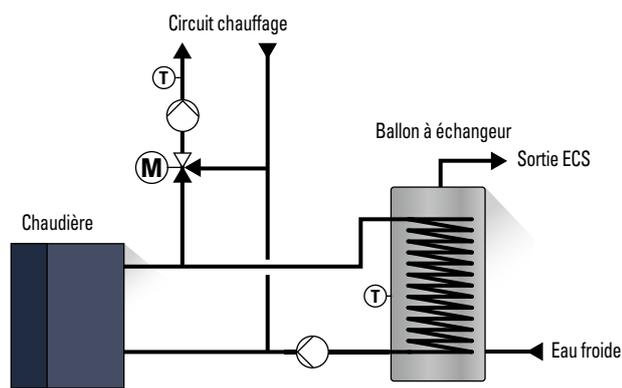
Par rapport à un système instantané, l'ajout d'un stockage d'ECS permet de limiter la puissance requise pour la production d'ECS.

Deux modes de fonctionnement de ces systèmes existent :

- Soit un fonctionnement permanent des circulateurs au primaire et secondaire de l'échangeur ; c'est généralement le cas des systèmes avec de faibles capacités de stockage et une puissance élevée. Ce mode de fonctionnement présente comme contrainte de maintenir la chaudière en permanence à température élevée pour la production d'ECS. En l'absence de soutirage, la puissance appelée est très faible ;
- Soit un fonctionnement non continu des circulateurs asservi à la température de stockage d'ECS. Les circulateurs sont enclenchés pour le réchauffage et ensuite arrêté. Ce mode de fonctionnement nécessite d'avoir un volume de stockage plus important de manière à disposer d'un stockage d'ECS suffisant en cas de forts soutirages. Ce stockage plus important implique une réduction plus importante de la puissance ECS. A contrario, les pertes par stockage sont plus importantes et plus le temps de reconstitution du stockage est élevé. Ces temps plus longs peuvent ne pas permettre de fonctionner en mode priorité ECS. L'emplacement du retour du bouclage au niveau du ballon impacte également sur les temps de fonctionnement du système de production. Ils sont plus courts lorsque le retour du bouclage est raccordé en bas de ballon.

5.4.2.3 LES BALLONS ÉCHANGEURS

Figure 38 Schéma de principe d'un système de production d'ECS avec ballon échangeur



Ce système de production d'ECS ne requiert pas un fonctionnement permanent de la chaudière à une température de sortie d'eau élevée. Sa charge pour monter l'ensemble du stockage de la température d'eau froide à la température de consigne d'ECS dure généralement moins d'une heure.

COMMENT FAIRE



Le nombre de charge du ballon va dépendre :

- du volume de stockage ;
- du différentiel fixé pour le réchauffage du ballon ;
- des soutirages ;
- des déperditions du bouclage ECS.

Comme les systèmes semi-instantanés, ils ne conduisent pas obligatoirement à un surdimensionnement de la puissance de la chaufferie. Cela dépend de la capacité du stockage et de la puissance échangeur choisies. Plus la taille du ballon est importante, plus les pertes de stockage seront élevées.

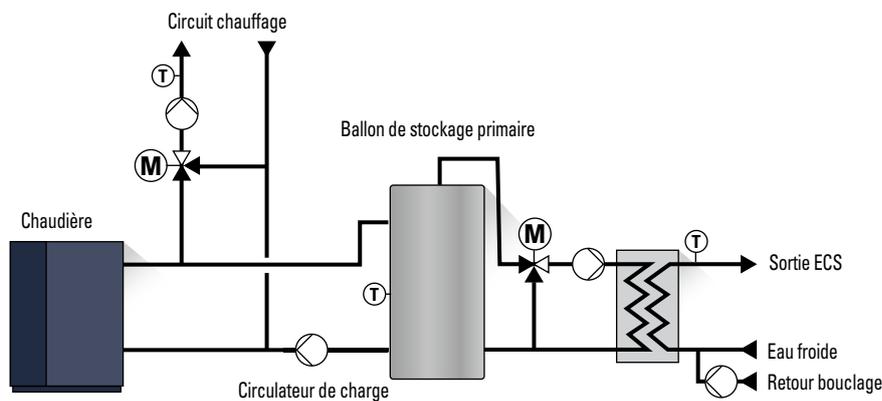
CONSEILS



A noter qu'une capacité plus importante (ou bien un ballon avec un échangeur de plus grande taille) est nécessaire, si la température de sortie générateur est plus faible, la puissance de l'échangeur étant dans ce cas plus faible.

5.4.2.4 LES SYSTÈMES AVEC STOCKAGE SUR LE PRIMAIRE

Figure 39 Schéma de principe d'un système avec stockage sur le primaire



Ces systèmes ne nécessitent pas une production de chaleur en permanence à haute température. L'ajout du ballon permet de limiter le surdimensionnement du système pour assurer les besoins de pointe d'ECS. Par contre, il existe des pertes par stockage.

5.4.3 LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LA PRODUCTION D'ECS ET LE BOIS

Les chaudières bois brûlent des combustibles solides au pouvoir calorifique faible et aux caractéristiques de granulométrie et d'humidité hétérogènes. Aussi, à puissance équivalente, les foyers des chaudières bois disposent d'un grand volume de combustion (en comparaison avec le gaz naturel, le propane ou le fioul) pour contenir la quantité de bois suffisante à la fourniture de la puissance nominale du générateur, et d'une grande inertie, liée à la présence d'une masse réfractaire importante.

En fonctionnement, une chaudière à bois ne présente donc pas la même réactivité que celle utilisant un combustible fossile (injection dans le foyer instantanée, faible inertie de la chaudière, bonne modulation de la puissance en fonction des besoins).

Deux situations types se présentent :

- Lors d'une augmentation de l'appel de puissance (relance matinale du chauffage par exemple), la chaudière bois va progressivement augmenter sa fréquence d'alimentation en bois ; parallèlement grâce à un contrôle continu des paramètres de combustion (taux d'oxygène, température des fumées), les arrivées d'air sont également modulées pour atteindre une qualité optimum de la combustion. La puissance maximale requise est atteinte dans un délai minimum de 15 à 20 minutes pour les matériels performants de petite puissance (< 100 kW) pouvant aller jusqu'à 1 heure pour des chaudières plus puissantes (jusqu'à 1 000 kW) ;
- Lors d'une diminution de l'appel de puissance (arrêt de la production d'ECS instantanée par exemple), la chaudière bois va diminuer sa fréquence d'alimentation, mais tout en continuant à brûler la quantité de combustible présente dans le foyer ; dans ce cas, il peut être nécessaire de disposer d'un système permettant d'évacuer efficacement l'énergie « excédentaire produite » ; cela concerne notamment des petites installations où la puissance nécessaire à la production d'ECS est relativement importante par rapport à celle nécessaire au chauffage ; dans ce cas, la mise en place d'un ballon tampon doit être systématiquement proposée.

Dans le cas extrême où la puissance diminue jusqu'au seuil du taux de charge minimum de fonctionnement de la chaudière (défini par les constructeurs et généralement compris entre 15 et 25 % de la puissance nominale), on parle alors d'un « maintien de feu », qui correspond à des amenées fractionnées de combustible (avec temporisation), avec une combustion à une température de foyer faible et dans des conditions de rendement et d'émissions polluantes peu satisfaisantes.

En fonction des projets et pour optimiser le dimensionnement de la chaudière bois, le concepteur pourra chercher à « effacer » au maximum l'appel de puissance ECS, par la mise en œuvre de différents dispositifs, qui peuvent se cumuler :

- décalage des heures de relance du chauffage avec les pics de soutirage de l'ECS, pour éviter que les puissances ne se surajoutent simultanément ;
- priorisation temporisée de la production d'ECS, en coupant ponctuellement le chauffage (l'inertie des bâtiments compense partiellement cet arrêt momentané) ;
- installation d'un ballon de stockage de l'ECS pour lisser les appels de puissances ECS ;
- installation d'un ballon d'hydroaccumulation sur le primaire de l'installation, pour lisser les appels de puissance (chauffage et ECS).

CONSEILS



L'installation d'un ballon d'hydroaccumulation permet de :

- lisser les appels de puissance chauffage et ECS ;
- d'annuler les phases de ralenti de la chaudière ;
- de gérer les excédents d'énergie ;
- répondre à la faible réactivité de la chaudière.

5.4.4 LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LA PRODUCTION D'ECS ET LA CONDENSATION

CONSEILS



Une solution peut consister à fractionner la puissance de chauffe et à installer une petite chaudière dont la puissance convient pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire en été. Durant la saison de chauffe, cette chaudière peut être connectée en parallèle sur le réseau de chauffage et dédiée à la production d'eau chaude sanitaire en été. Elle peut ainsi être également utile pour les relances de chauffage de début de journée en mi-saison, évitant la mise en température de la chaudière principale.

5.4.4.1 LA SOLUTION DE PRODUCTION D'ECS INSTANTANÉE AVEC ECHANGEUR NON RECOMMANDÉE

Cette solution requiert une puissance très élevée des générateurs de chaleur pour assurer les besoins de pointes rarement rencontrés. Pendant une très grande partie du temps, les puissances appelées sont très faibles.

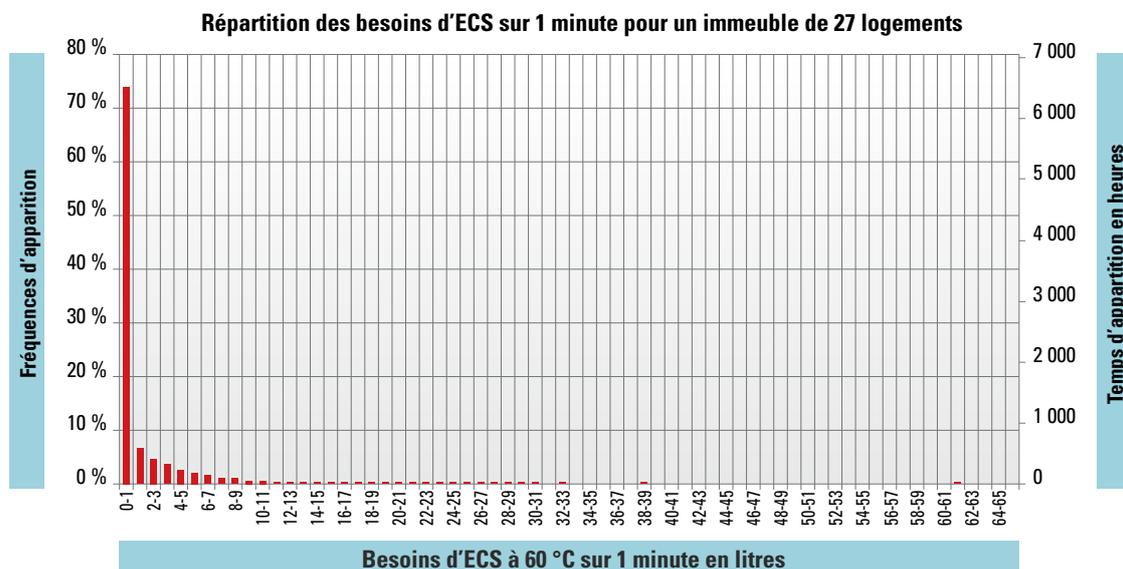
Cela conduit à un fonctionnement des générateurs à très faibles taux de charge, particulièrement en été, avec des cycles marche-arrêt préjudiciables en termes :

- de performances ;
- de maintien de la température de bouclage ;
- de pérennité des générateurs.

Ainsi, le télésuivi sur 1 an au pas de temps d'une minute des besoins d'ECS d'un immeuble de 27 logements (voir figure ci-après) montre que près de 75 % du temps, les besoins enregistrés sur 1 minute sont de moins de 1 litre à 60 °C (soit il n'y a pas de soutirage ou bien juste un très faible soutirage, un lavage de mains par exemple).

Cela signifie donc que pendant une très grande partie du temps, la puissance ECS appelée se rapproche de la puissance requise pour maintenir la boucle ECS en température de l'ordre de 4 kW pour cet immeuble de 27 logements, soit 2 % de la puissance maximale enregistrée sur 1 minute qui est de l'ordre de 190 kW.

Figure 40 Répartition des valeurs de besoins à 60 °C enregistrées au pas de temps de 1 minute dans un immeuble de 27 logements sur 1 an. Ainsi, environ 75 % du temps, soit environ 6 500 h, les besoins à 60 °C enregistrés sont inférieurs à 1 l



5.4.4.2 AJOUTER UN STOCKAGE D'ECS OU SUR LE PRIMAIRE

Il permet de réduire les puissances requises de plus de 2 à 4, selon le volume de stockage (pour l'exemple de l'immeuble de 27 logements).

Cela permet également de limiter les cycles marche-arrêt et de pouvoir fonctionner éventuellement en mode priorité ECS (notamment dans le cas des solutions avec ballon échangeur).

Par exemple, avec un ballon échangeur, la chaudière n'est pas contrainte de fonctionner en permanence pour réchauffer le bouclage comme dans le cas d'une production d'ECS instantanée. Elle peut fonctionner en mode priorité ECS pour réchauffer le ballon. La puissance appelée par le ballon échangeur est plus élevée que la puissance de pertes de bouclage, excepté en toute fin de réchauffage du ballon.

Il vaut mieux privilégier un primaire « tout ou rien » ou une action sur la pompe (figure 11). Cette conception repose sur l'usage de ballon avec échangeur intégré : lorsque la consigne de température est atteinte, la pompe primaire est coupée. Ce qui permet de glisser en température et condenser sur les chaudières hors période de relance. La capacité du système de production d'ECS à combattre les déperditions sans réenclencher tient au volume de stockage, au différentiel de la sonde ECS, aux déperditions du bouclage ECS... En dehors des périodes de soutirage, entre chaque relance (un délai qui pourra atteindre quelques heures), le système pourra condenser. Et lors de l'enclenchement, la remontée de température du ballon de quelques degrés demandera aux chaudières de fournir une eau à 80 °C durant quelques minutes seulement. Ce type de stockage secondaire avec action tout ou rien sur la pompe primaire est donc à privilégier. Ce principe de stockage d'énergie, non plus au secondaire mais sur le primaire (figure 11), est notamment un moyen de valoriser les chaudières à condensation sur des sites sensibles comme les locaux de santé, où l'utilisation d'une production ECS instantanée est souvent recommandée.

5.4.4.3 AUGMENTER LA TAILLE DU STOCKAGE POUR LA PRODUCTION D'ECS

Plus les puissances ECS requises sont faibles mais aussi plus les temps de reconstitution du stockage sont longs ce qui peut aller à l'encontre d'un fonctionnement en mode priorité ECS. D'autre part, cela conduit également à des pertes de stockage plus importantes.

5.4.4.3 ADOPTER UNE CONSIGNE DE TEMPÉRATURE PRIMAIRE POUR LA PRODUCTION D'ECS À 70 °C AU LIEU DE 80 °C LORS DE LA RÉNOVATION DU SYSTÈME DE PRODUCTION D'ECS

Cela permet de réduire les pertes thermiques sur le primaire et d'obtenir des températures de retour qui peuvent être plus favorables pour les chaudières à condensation. Cela implique toutefois des échangeurs de taille plus importante.

5.4.4.4 OPTER POUR DES ÉCHANGEURS DE PLUS GRANDE EFFICACITÉ

De manière générale, opter pour des échangeurs de plus grande efficacité avec une chute nominale sur le primaire d'au moins 25 K, de manière à avoir des températures de retour plus basses plus favorables vis-à-vis de la condensation. Cela nécessite toutefois, dans le cas d'un système de production par échangeur associé à un stockage d'ECS, d'avoir une chaudière qui ait un écart maximal de température supérieur ou égal à la chute nominale de température au primaire de l'échangeur. Presque toutes les chaudières présentent un écart maximal de température de plus de 25 K.

TABLE DES MATIÈRES

1	POURQUOI CE GUIDE ?	4
2	RÉFÉRENCES	5
	2.1 Références normatives	5
	2.2 Autres documents	5
3	QUEL DIMENSIONNEMENT POUR LES INSTALLATIONS DE PRODUCTION DE CHAUFFAGE	6
	3.1 Dimensionner une installation de production de chauffage, qu'est-ce que c'est ?	6
	3.2 Des règles à suivre ?	7
	3.2.1 Les règles utilisées en pratique	7
	3.2.2 Les règles de référence	8
	3.3 Les règles de référence, source de surdimensionnement ?	10
	3.3.1 Une puissance de chauffage calculée pour des conditions rarement observées ?	10
	3.3.2 Des températures extérieures de base qui ne correspondent plus à la réalité ?	12
	3.3.3 Des valeurs de surpuissance pour la relance trop impactantes ?	14
	3.3.4 Sélection du matériel, une surpuissance cachée ?	17
	3.4 Quelle puissance chauffage installer en chaufferie ?	18
	3.4.1 Cas des installations intégrant du gaz ?	18
	3.4.2 Cas des installations intégrant du bois ?	18
	3.4.3 Cas des installations intégrant une PAC ?	21
4	QUEL EST L'IMPACT DES CHOIX ADOPTÉS LORS DU CHANGEMENT DE GÉNÉRATEUR DE CHAUFFAGE ?	23
	4.1 Les performances des générateurs	23
	4.1.1 Cas des générateurs gaz à condensation	23
	4.1.2 Cas des générateurs bois	25
	4.2 Quelles sont les conséquences d'une surpuissance importante ?	27
	4.2.1 Cas de la chaudière gaz à condensation	27
	4.2.2 Cas de la chaudières bois	32
	4.3 Quel choix adopter vis-à-vis du nombre de générateurs ?	35
	4.3.1 Pour séparer les fonctions entre les générateurs	35
	4.3.2 Pour optimiser les performances des générateurs	35
	4.4 Quel choix adopter vis-à-vis de la répartition des puissances entre les générateurs ?	39
	4.4.1 Quelles règles existantes ?	39
	4.4.2 Cas des générateurs gaz condensation	41
	4.4.3 Cas des générateurs bois	42

TABLE DES MATIÈRES

4.5	Quel est l'impact de la régulation de la cascade adoptée ?	43
4.5.1	Cas d'une chaufferie avec uniquement des chaudières à condensation	43
4.5.2	Cas d'une chaufferie mixte avec chaudière à condensation et chaudière basse température	44
4.5.3	Cas d'une chaufferie avec production de chauffage et d'ECS	45
4.6	Quel est l'impact des régimes de température d'eau ?	46

5

	QUEL DIMENSIONNEMENT POUR LES INSTALLATIONS DE PRODUCTION D'ECS ?	51
5.1	Le constat	51
5.1.1	D'un point de vue énergétique	51
5.1.2	D'un point de vue sanitaire	51
5.1.3	D'un point de vue confort	52
5.2	Quelle est la répartition des besoins entre le chauffage et l'ECS	52
5.3	Les règles de dimensionnement existantes	54
5.3.1	Pour les installations assurant uniquement l'ECS	54
5.3.2	pour les installations assurant le chauffage et l'ECS	55
5.4	Quelles solutions techniques pour la production d'ECS ?	57
5.4.1	Installation indépendante ou combinée ?	57
5.4.2	Les solutions existantes	59
5.4.3	Les solutions techniques pour la production d'ECS et le bois	63
5.4.4	Les solutions techniques pour la production d'ECS et la condensation	64

RÉSUMÉ

Dans le cadre d'une opération de rénovation de chaufferie, un changement de chaudière (voire d'énergie) est réalisé. La généralisation des appareils de chauffage performants y est évidente, notamment du fait d'obligations réglementaires. Mais choisir un générateur performant ne suffit pas, d'autant plus en rénovation. Quel que soit le type de production adopté, les spécificités des nouvelles technologies mais aussi la réduction importante des besoins des bâtiments amènent en effet à revoir les pratiques de conception des installations de chauffage à eau chaude.

L'objectif de ce guide est d'indiquer, au travers d'un jeu de questions/réponses, les choix devant être faits au niveau de la chaufferie, au stade de la conception, dans le cadre d'une rénovation globale ou encore d'une rénovation limitée au périmètre de la chaufferie.

- Faut-il recalculer la puissance du nouveau générateur ou maintenir un générateur de même puissance que celui existant ?
- Quelle règle utiliser pour déterminer la puissance à installer pour le chauffage ? Pour l'eau chaude sanitaire ?
- Les règles de référence sont-elles source de surdimensionnement ? Si oui, quelles sont les conséquences d'une surpuissance importante ?
- Quel choix adopter vis-à-vis du nombre de générateurs ? Vis-à-vis de la répartition des puissances entre les générateurs ?
- Quel est l'impact du choix du système de production d'ECS sur le fonctionnement et les performances de la chaufferie ?

Voici des exemples de questions auxquels ce guide apporte des réponses.

Les générateurs de chauffage à eau chaude ciblés sont les chaudières gaz à condensation et pour certaines questions, les chaudières à bois déchiqueté ou les pompes à chaleur. Un guide à destination des professionnels : bureaux d'études, maîtres d'ouvrage, installateurs, exploitants, ...