

PREVISION RAPIDE ET
PRECISE DES CONSOMMATIONS ENERGETIQUES

D. Marchal
Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques
F - 69604 Villeurbanne

1. Introduction

Le travail présenté concerne la prévision de la consommation énergétique des logements due au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire au moyen d'appareils à combustion. Ce problème a été traité par la simulation numérique. L'étude a consisté à analyser et modéliser le fonctionnement des éléments mis en jeu (bâtiment, régulation, réseau d'émission, chaudière), à les caractériser par des grandeurs mesurables, et enfin à exploiter de manière systématique les outils de simulation obtenus, de manière à répertorier la plupart des cas pratiques.

La synthèse des résultats, que l'on a classés selon le procédé de régulation utilisé, montre que les variables réduites qui jouent sur la consommation énergétique annuelle sont peu nombreuses, et que les simulations effectuées sont suffisantes pour effectuer une prévision dans la majorité des cas usuels.

2. Modélisation

Lorsque le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire sont assurés par le même générateur, on a montré que les interactions entre ces deux fonctions sont suffisamment faibles pour que l'on puisse les étudier séparément.

2.1. Chauffage

L'hypothèse admise pour base est l'uniformité, à un instant donné, de la température θ de l'eau dans tout le réseau, qui évolue au cours du temps. Elle revient à supposer que les moyennes habituellement utilisées pour caractériser l'effet de cette température sur le rendement de la chaudière, l'émission, l'énergie stockée ou la régulation ont des valeurs identiques.

2.1.1. Chaudière

Le rendement instantané est fonction de la température θ de l'eau et du régime de fonctionnement du brûleur (veilleuse, petite ou grande allure, modulation). Lorsque le brûleur est éteint, les pertes thermiques de la chaudière sont décrites par une fonction de θ , qu'un essai normalisé permet de définir. Par une méthode semblable, on détermine la capacité

calorifique de la chaudière qui caractérise son comportement en régime dynamique.

2.1.2. Réseau d'émission de chaleur

Le fonctionnement de l'ensemble des émetteurs du réseau est décrit par une loi globale, exprimant la puissance émise en fonction de l'écart entre la température θ et l'ambiance. En régime transitoire, le réseau est, comme la chaudière, caractérisé par une capacité calorifique globale, qui dépend de la puissance installée et la nature des émetteurs utilisés (convecteurs, radiateurs d'acier, de fonte ou d'aluminium).

2.1.3. Régulation par l'aquastat de la chaudière

On considère le différentiel de l'aquastat comme suffisamment étroit pour négliger les phénomènes transitoires dus à la capacité de la chaudière et du réseau, lorsque la consigne est atteinte. Le bilan thermique sur une période de fonctionnement peut dans ce cas être effectué de façon simple, le besoin thermique déterminant les durées relatives des différents régimes de fonctionnement du brûleur.

2.1.4. Régulation par thermostat d'ambiance

L'aquastat de la chaudière joue simplement le rôle de limiteur de la température θ . On a alors un fonctionnement périodique, chaque période étant la succession d'une phase de pleine puissance, éventuellement d'une phase de régulation sur l'aquastat, et d'une phase d'extinction du brûleur.

Une description satisfaisante du régime transitoire du thermostat d'ambiance est obtenue par une loi du premier ordre, définie par une constante de temps caractéristique du thermostat et de sa position par rapport aux émetteurs [1] ; sa température limite résulte de l'équilibre entre l'émission du système de chauffage et la déperdition du bâtiment.

Le cas du thermostat à résistance anticipatrice est traité par l'introduction de deux constantes supplémentaires : l'échauffement limite dû à cette résistance, et une seconde constante de temps propre au régime transitoire de cet échauffement.

2.1.5. Climat et bâtiment

Le modèle utilisé est une méthode performante du point de vue du temps de calcul, initialement mise au point pour l'étude des systèmes bi-énergie [2] , qui permet de tenir compte des régimes transitoires et de variations bi-quotidiennes de la température de consigne intérieure.

2.1.6. Organisation générale du calcul

Le calcul s'effectue en trois étapes qui, sous certaines conditions peuvent être traitées de manière indépendantes :

- la simulation du bâtiment, qui fournit les caractéristiques de charge du système de chauffage ;

- la simulation de la régulation et du réseau d'émission, qui détermine les caractéristiques de charge de la chaudière ;
- la simulation de la chaudière qui aboutit à la consommation annuelle du chauffage.

Cette décomposition modulaire offre l'avantage d'une plus grande rapidité d'exécution ; dans une exploitation, elle permet en outre de ne pas ré-exécuter les modules amont à chaque modification de donnée des modules aval.

2.2. Eau chaude sanitaire

Les deux procédés les plus couramment employés sont la préparation instantanée et l'accumulation.

2.2.1. Préparation instantanée

La production quotidienne s'effectue en une série de puisages discontinus, prioritaires par rapport au chauffage, dont chacun peut être considéré comme la succession de trois phases :

- a) Montée en température de l'eau produite jusqu'à sa valeur de consigne ; le débit thermique du brûleur est alors maximal, et l'évolution de la température de l'eau obéit à une loi du premier ordre caractérisé par la capacité calorifique de l'échangeur.
- b) Régulation sur l'aquastat jusqu'à ce que l'énergie demandée ait été fournie ; on a alors un fonctionnement périodique du brûleur analogue à ce qui se passe pour le chauffage.
- c) Refroidissement du système jusqu'au début du puisage suivant ; comme celui de la phase a), ce régime transitoire peut être décrit par une équation du premier ordre, caractérisé par une constante de temps et une valeur limite de la température.

Les grandeurs caractéristiques de chaque appareil peuvent être mesurées par des moyens simples.

2.2.2. Procédé avec accumulation

L'eau est chauffée dans un ballon de stockage pourvu d'un échangeur alimenté par une dérivation sur le circuit de chauffage, prioritaire sur celui-ci lorsque le stock n'est pas à sa température de consigne. On peut considérer le fonctionnement du système comme l'alternance de deux phases :

- a) Une phase d'entretien du stock maintenue à sa température de consigne. L'énergie consommée ne servant qu'à compenser les déperditions, elle dépend d'un coefficient de déperdition du ballon et d'un rendement de chauffage de l'eau.
- b) Une phase de reconstitution du stock à la suite d'un puisage, dont la consommation est fonction de l'énergie puisée et d'un rendement de

reconstitution qui dépend de la température initiale du stock, et que l'on mesure par une procédure appropriée.

3. Exploitation des modèles

3.1. Consommation du chauffage

L'examen des résultats montre qu'ils peuvent être présentés sous la forme de relations entre trois grandeurs sans dimension :

- le rapport η/p du rendement annuel de chauffage au rendement nominal de la chaudière ;
- le coefficient de dimensionnement d de la chaudière, rapport de sa puissance utile nominale au besoin thermique moyen saisonnier ;
- le coefficient $\bar{\omega}$, rapport des pertes à l'arrêt de la chaudière à sa puissance utile nominale.

Réduits de cette manière, les résultats sont indépendants de tout paramètre dimensionnel, du climat (dans les limites des régions tempérées) et de la température de consigne. Par contre, ils dépendent essentiellement du mode régulation de l'installation, ce qui conduit à une classification des systèmes.

3.1.1. Première catégorie

Installation dans lesquelles la chaudière est maintenue à température constante. C'est le cas traditionnel d'utilisation des chaudières à fioul, la régulation de puissance étant effectuée soit par bi-passage à la chaudière, soit par des robinets thermostatiques. Les résultats sont représentés graphiquement à la figure 1, en fonction des paramètres dimensionnels définis précédemment.

3.1.2. Seconde catégorie

Installations complètement régulées par l'aquastat de la chaudière, dont la consigne est à tout instant adaptée au besoin.

Ce sont les régulations les plus perfectionnées, applicables aux chaudières pouvant fonctionner à basse température.

Les résultats, présentés à la figure 2 dans la forme déjà décrite, montrent que le rendement annuel de chauffage dépend aussi, dans ce cas, du dimensionnement des émetteurs, que l'on caractérise par la température θ_w à laquelle ils transmettent la puissance nominale de la chaudière, ainsi que de la sensibilité du rendement de la chaudière à la température de l'eau (cas des chaudières à condensation). Par rapport à la première catégorie d'installations, l'augmentation du rendement est sensible.

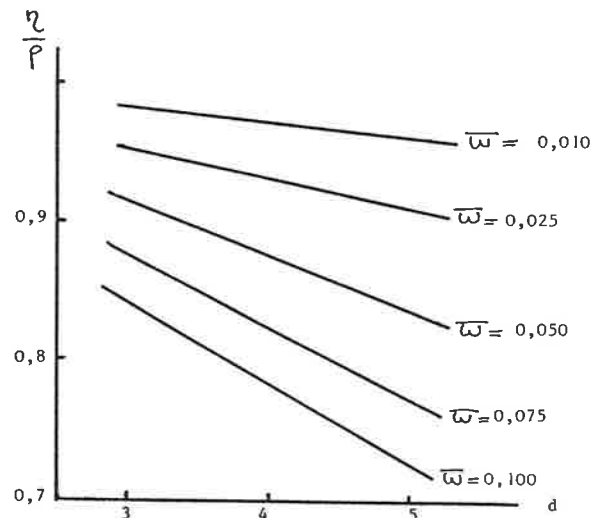


Figure 1 : Rendement annuel des chaudières maintenues à température constante

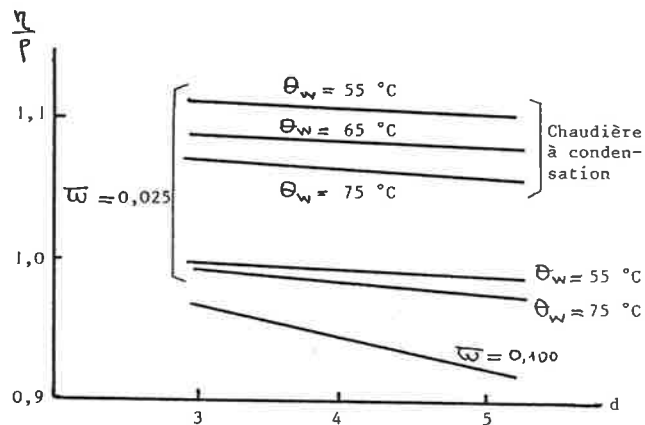


Figure 2 : Rendement annuel des chaudières régulées par l'aquastat

3.1.3. Troisième catégorie

Installations utilisant un thermostat d'ambiance intérieure, éventuellement à résistance anticipatrice, qui fait fonctionner la chaudière par tout ou rien, l'aquastat ne servant que de limiteur de la température d'eau. La plupart des chaudières à gaz sont réglées de cette façon. Les résultats (figure 3) montrent des tendances semblables à celles de la catégorie précédente, avec des rendements légèrement inférieurs par suite de la moins bonne adaptation du fonctionnement de la chaudière au besoin instantané ; pour les chaudières à condensation, la différence est atténuée lorsque le thermostat est équipé d'une résistance anticipatrice.

3.2. Consommation due à la production d'eau chaude sanitaire

Les besoins, utilisés comme données pour l'exploitation des modèles, ont été déduits des résultats d'une enquête statistique [3], qui montre que la consommation quotidienne moyenne conventionnel de d'un logement peut être décrite par un enchaînement de puisages.

3.2.1. Préparation instantanée

Si le rendement en production continue (ρ) est en général élevé, une fraction importante de l'énergie est perdue par suite du fonctionnement intermittent. Cet effet est illustré à la figure 4, qui montre comment la capacité calorifique de l'échangeur (MC) contribue à la dégradation du rendement moyen (η).

3.2.2. Procédé à accumulation

Le rendement avant stockage est généralement élevé (80 %) mais les déperditions du stock l'abaissent sensiblement (jusqu'à environ 50 %). Un certain volume de stockage est cependant nécessaire pour garantir un niveau de température. Les résultats des simulations permettent d'optimiser ce compromis.

4. Conclusion

Les modèles de simulation décrits permettent le calcul prévisionnel rapide (quelques minutes de micro-ordinateur) des consommations du chauffage et de la production d'eau chaude sanitaire des logements.

Bien qu'aucune validation globale de la méthode de calcul n'ait été entreprise, deux types d'assurance ont été pris contre les risques d'erreur : d'abord au stade de la vérification des hypothèses admises pour la modélisation, qui a été faite au cours de la phase expérimentale au moyen des dispositifs mis au point pour caractériser les appareils. D'autre part, les risques d'erreurs matérielles de calcul ou de programmation sont largement réduits après l'exploitation systématique des programmes qui a été faite, à l'issue de laquelle on ne relève dans les résultats ni invraisemblance, ni contradiction avec ce qui a été publié sur le sujet [4] [5].

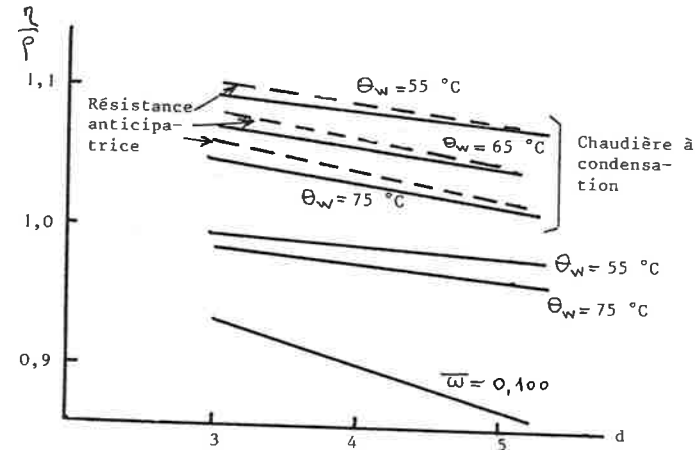


Figure 3 : Régulation par thermostat d'ambiance

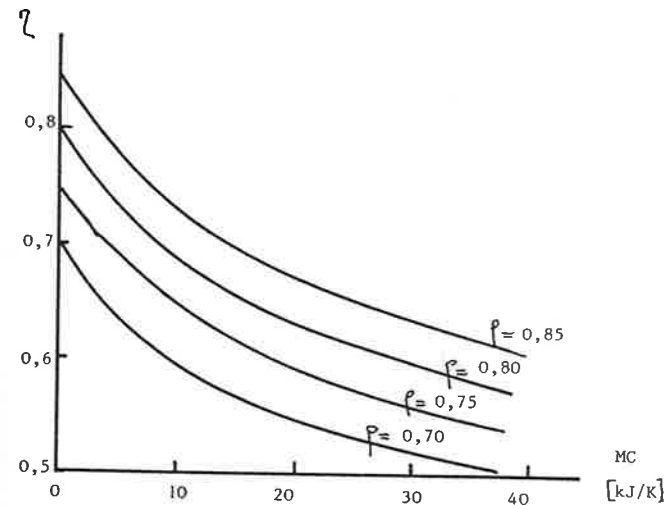


Figure 4 : Préparation instantanée d'eau chaude sanitaire

L'exploitation de ces modèles a fourni des résultats dont la synthèse, généralisée sous forme de relations entre les grandeurs sans dimension, peut être utilisée pour une évaluation des consommations dans la plupart des situations pratiques. Ces résultats montrent également, de façon quantitative, l'influence sur le rendement d'exploitation des caractéristiques qui ne sont pas intrinsèques à la chaudière : son dimensionnement par rapport au besoin, la taille des émetteurs et le processus de régulation employé.

5. Références

- [1] B. DORE. Etude en régime dynamique de la régulation par thermostat d'ambiance en chauffage individuel au gaz.
Revue générale de thermique. Vol 21 n° 245 pp 405-413 (1982).

- [2] D. MARCHAL - P. LE VAGUERESE. Model for the rapid simulation of the thermal behaviour of a building equipped with a dual fuel heating system.
ASHRAE Transactions, Vol 89, part 1 (1983).

- [3] BERTOLO, FRANCOIS, CHAMPOLION. L'eau chaude sanitaire dans les logements.
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. Rapport TASE N° 86/34 (Septembre 1986).

- [4] B. GUERPILLON. Bilans d'exploitation de chaudières individuelles traditionnelles et à condensation dans les pavillons expérimentaux.
Congrès A.T.G. France (1984)

- [5] M.L.D. Van RIJ - P. Th J. OVERMAN. Efficiency of boilers under laboratory and practical conditions.
International Gas Research Conference TORONTO (1986).