

GESTION DE LA CHALEUR FOURNIE  
PAR UNE CHEMINÉE OU UN INSERT

J.C. ESCUDIE, D. MAYER and R. GICQUEL  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES DE PARIS  
Centre d'Energétique  
Rue C. Daunesse, SOPHIA ANTIPOLIS  
F. 06565 VALBONNE CEDEX

1. Introduction

Les foyers fermés ont, depuis quelques années, tendance à prendre une part croissante du marché des générateurs de chauffe utilisant le bois comme carburant. Les performances thermiques de ces inserts sont actuellement incontestables mais leurs règles d'utilisation sont étroitement liées aux caractéristiques inertielles de l'habitat. L'importance des puissances générées par rayonnement mais surtout par convection nécessite donc une gestion fine de la chaleur fournie ainsi qu'une prise en compte des données élémentaires relatives au traitement et à la distribution de l'air.

2. Les foyers fermés : un marché en pleine expansion

L'évolution du marché des foyers et la conception de nouveaux produits sont fortement corrélées à la sensibilisation du grand public aux problèmes relativement récents d'économie d'énergie. Les mauvaises performances énergétiques des cheminées classiques à feu ouvert (rendement < 20%) ont conduit les différents constructeurs de cheminées à concevoir divers systèmes de récupération dans le but d'augmenter leur efficacité. Pour ce type de foyer, la quasi-totalité de la chaleur produite est perdue dans les fumées ; de plus, l'appel d'air créé induit une quantité considérable d'air froid dans le volume chauffé, ce qui peut donc conduire à des rendements de chauffage négatifs.

Dans un premier temps sont apparus des récupérateurs à plaques de fonte dans le coeur du foyer : de l'air neuf peut alors être réchauffé entre ces plaques par convection pour ensuite sortir dans la pièce par l'intermédiaire de bouches. Il s'est avéré que ce dispositif, encore de nos jours disponible sur le marché pour les inconditionnels du foyer ouvert, ne permettait pas d'optimiser la récupération des calories produites par combustion. Les rendements peuvent atteindre 40%, mais le problème de surconsommation dû à l'appel d'air reste le même que précédemment. La notion récente de foyer fermé est apparue du fait de la nécessité de pouvoir maîtriser au mieux l'air de combustion dans le but de réduire les pertes par chaleur sensible sur les fumées.

Ainsi la fin des années 70 a vu naître des foyers de cheminées pour les cheminées à construire et au début des années 80 sont apparus les inserts destinés aux cheminées existantes. Ces derniers permettent de transformer toute cheminée classique en un générateur de chaleur assez performant (rendements de 60 à 80%).

# 6601

Les innovations technologiques de l'insert permettent à présent aux constructeurs de répondre pleinement aux exigences de l'utilisateur. Par leur large face vitrée escamotable, ces foyers permettent de garder l'attrait visuel du feu tout en alliant la propreté et la sécurité. Il semble maintenant établi que ces inserts ne doivent plus être considérés comme des appareils de chauffage d'appoint mais comme des systèmes de chauffage de base dont la morphologie globale apparaît maintenant stabilisée.

La croissance du marché des foyers fermés est en pleine expansion depuis le début de cette décennie. En 1985, année exceptionnelle pour les fabricants, le marché a atteint 340 000 unités dont 60% pour les foyers de cheminées. Toutefois, cette évolution semble légèrement fléchir en ce qui concerne l'équipement des maisons individuelles existantes et les constructeurs d'inserts doivent se préparer à être plus performants dans le marché du neuf.

L'importance prise sur le marché par les divers constructeurs est indépendante de leur activité d'origine (poêles ou cheminées), mais dépend de leur moyen de distribution et de leur ancienneté.

Cependant, toutes les catégories de constructeurs ont trouvé, avec les foyers fermés, une activité prospère largement soutenue par le succès de ce produit.

### 3. Optimisation de l'utilisation des foyers fermés comme générateur de chauffe

#### 3.1 Présentation

De loin le plus prometteur, le foyer fermé connaît un très grand développement. Capable de générer des puissances de chauffe importantes, son utilisation comme moyen de chauffage pose des problèmes spécifiques dont la maîtrise est encore aujourd'hui loin d'être optimale. L'objet de la présente recherche effectuée en collaboration avec la S.A. Brisach, est précisément de progresser sur ce plan.

Dans un premier temps, nous nous sommes donc attachés à modéliser le comportement thermique de ces générateurs. Ce comportement est indissociable des phénomènes de combustion du bois dont l'approche retenue a nécessité une étude physico-chimique simplifiée du problème. L'établissement des différents flux pris en compte dans l'expression des échanges thermiques internes au foyer nous a conduit à mettre en place un modèle numérique capable d'évaluer les performances d'un insert. Ce modèle a ensuite été intégré à un logiciel simulant le comportement thermique d'un habitat bizona ce qui a mis en évidence les influences prépondérantes d'une part de la structure de l'enveloppe et d'autre part des modes de gestion des calories (répartition des puissances, contrôle de l'air de combustion) sur la température des pièces et sur la consommation.

L'élaboration des modèles simplifiés des différents types de foyers, à partir d'une analyse théorique des phénomènes de combustion et d'une étude des transferts thermiques dans ces foyers, a donné lieu à un article pour la Conférence Européenne d'Architecture /1/.

### 3.2 Intégration du modèle de l'insert dans un habitat bizona

#### 3.2.1 Description de la cellule

Cette étude a été réalisée sur un logiciel simulant le comportement thermique d'un habitat bizona. Nous avons envisagé quatre types de cellule de géométrie semblable, présentant des caractéristiques inertielles différentes mais de même coefficient de déperdition volumique :

$$G = 1 \text{ W/m}^3\text{C}$$

Le descriptif des cellules est présenté dans le tableau ci-dessous.

Epaisseur en cm	Cellule 1	Cellule 2	Cellule 3	Cellule 4	
Murs extérieurs	P 10 I 32 B 13	A 30 I 90 Bt 40 E 10	P 10 I 56 Pg 200 E 10	Bt 150 I 86	INT ↑ EXT
Murs intérieurs	P 13 I 80	P 13 I 160	B 160 I 150	B 160 I 150	
Plancher	B 7 I 35 B 7	L 10 H 200	L 10 H 200	L 10 H 200	
Plafond	P 10 N 50 P 10	P 10 N 50 P 10	E 10 Pg 150 E 10	E 10 Pg 150 E 10	

P plâtre  
I isolant  
Pg parpaing  
H hourdis  
Bt béton  
A aggro bois  
B bois  
E enduit  
L linoléum  
N nid abeille

#### 3.2.2 Résultats de simulation

Ces résultats font ressortir, lors du fonctionnement d'un insert, l'influence prépondérante de l'enveloppe sur le bilan énergétique d'un habitat. Dans le cas de cellules légères (1 et 2) la présence du foyer s'accompagne de surchauffes importantes (figures 1 et 2). Ces surchauffes sont atténuées dans le cas de cellules lourdes mais quelle que soit la structure de l'enveloppe, la réduction des besoins énergétiques reste assez importante.

Afin de quantifier l'influence de l'inertie de l'enveloppe sur les bilans énergétiques, nous avons comparé la consommation d'électricité au cours de deux journées, pour chacune des cellules, en la rapportant à celle de la plus légère.

Le tableau 2 rend compte de ces résultats. Les trois premières configurations correspondent à des excès d'air de 200% et à des cas différents suivant l'état d'ouverture et de fermeture de la porte de séparation. Nous avons de plus testé la configuration porte ouverte à 300 et 400% d'excès d'air. La porte étant fermée, nous avons envisagé la possibilité de répartir uniformément la puissance convectée dans les deux pièces de la cellule par l'intermédiaire de bouches.

Il faut noter que ces chiffres ne permettent en aucun cas de tirer des conclusions quant à l'économie annuelle due à l'utilisation du foyer comme appareil de chauffage. Pour cela, il serait nécessaire de définir une stratégie de chauffage, puis d'effectuer des simulations sur une année complète.

Config.	Référence Cellule 1	Cellule 2	Cellule 3	Cellule 4
Porte ferm.	kWh	%	%	%
Porte ferm.	214,96	4,5	10,1	11,6
Convect.1/2	209,84	4,3	9,1	11,5
Porte ouv.	210,07	4,5	8,2	10,9
EA = 200%	213,78	3,6	7,0	9,6
Porte ouv.	218,96	2,8	5,7	8,4
EA = 300%				
Porte ouv.				
EA = 400%				

REDUCTION DE LA CONSOMMATION ELECTRIQUE RAPPORTEE  
A CELLE DE LA CELLULE LA PLUS LEGERE

Un des principaux intérêts de l'insert réside dans le fonctionnement intermittent pour lequel la mise en température d'un local est relativement rapide. Nous avons comparé, pour les cellules 1 et 3, le temps nécessaire pour faire passer la température de 16 à 21°C, avec le foyer et avec les seuls convecteurs. Pour les deux enveloppes considérées, on atteint quasi instantanément la température de 21°C grâce à l'utilisation de l'insert alors qu'avec les convecteurs électriques dont la puissance maximale reste limitée, cette consigne est atteinte au bout de 10h pour la cellule légère et plus d'un jour pour la cellule lourde.

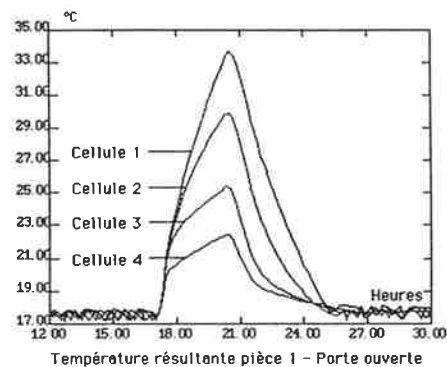


Figure 1

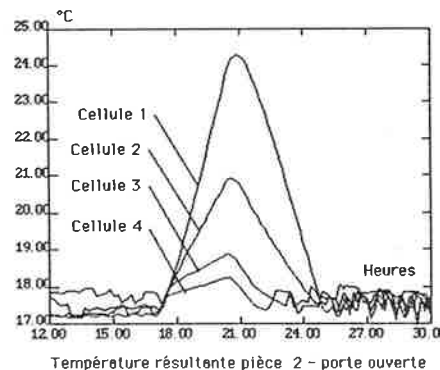


Figure 2

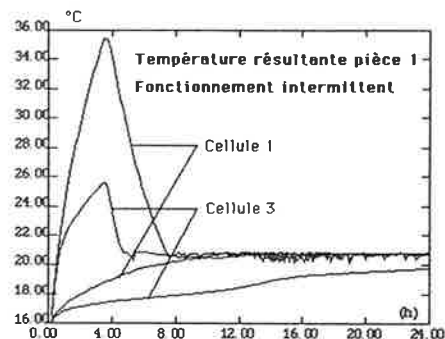


Figure 3

#### 4. Optimisation de la gestion des foyers fermés

Le chapitre précédent a mis en évidence les principales particularités de fonctionnement du foyer fermé :

- Le régime dynamique se caractérise par de fortes variations d'amplitudes directement corrélées à l'alimentation discontinue en combustible.
- L'insert est fortement couplé avec l'enveloppe du bâtiment, dont l'inertie joue un rôle clé.
- La répartition 1/3 - 2/3 environ des parts de puissances rayonnée et convectée ainsi que l'importance des valeurs maximales disponibles induisent des difficultés de modulation de puissance pouvant entraîner des surchauffes notables.
- Ce type de générateur peut atteindre de hauts rendements à condition de bien maîtriser l'excès d'air de combustion.

L'ensemble de ces caractéristiques proches de celles du poêle à bois, confère au foyer fermé une spécificité parmi les générateurs de chauffage pour le bâtiment, qui le distingue nettement des appareils classiques (chaudières gaz, mazout, charbon, convecteurs électriques, chauffage par le sol).

Sur le plan pratique de l'utilisation, elles imposent des contraintes de natures différentes, quelquefois plus favorables (possibilité de réchauffer très rapidement une pièce) mais dans l'ensemble plus difficiles à contourner. En particulier, la distribution de la chaleur produite et sa modulation peuvent poser de nombreux problèmes (surchauffes, mauvaise répartition, fonctionnement de nuit, ...)

Le couplage des foyers fermés à d'autres systèmes de chauffage n'apparaît pas à première vue évident. L'une des principales difficultés tient à ce que le foyer se situe dans le local habité et non dans une chaufferie, ce qui limite les possibilités d'introduire des batteries d'échange ou des stockages. Jusqu'à récemment, les solutions adoptées par les utilisateurs ont plus relevé d'un quasi-découplage avec les autres appareils de chauffage, mais des gains importants sur le rendement global de l'installation devraient pouvoir être obtenus si les problèmes cités plus haut trouvaient des solutions.

Quatre pistes nous semblent pour cela devoir être poursuivies :

- l'amélioration de la gestion de la chaleur convectée,
- la production simultanée d'air convecté, de puissance rayonnée et d'eau chaude,
- la marche à puissance réduite à feu continu,
- l'insertion éventuelle de stockages.

Compte tenu de l'importance actuelle de la part convectée sur l'air, il est dans tous les cas nécessaire, pour progresser, de s'intéresser de près à la gestion de l'air dans le bâtiment.

#### 5. Possibilités d'optimisation de la gestion de l'air

Afin d'envisager une gestion plus sophistiquée de la chaleur produite par un insert, comme des dispositifs de stockage ou des systèmes mécaniques de ventilation, il devient nécessaire de prendre en compte de manière plus précise les échanges aérauliques entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment mais aussi les échanges internes.

Dans le code de calcul utilisé jusqu'à présent, les infiltrations d'air parasite, provoquant les débits de renouvellement d'air, sont fixées à un taux constant dans chacune des deux zones de l'habitation et ne tiennent pas compte des conditions ambiantes.

Les transferts convectifs entre les deux pièces par l'intermédiaire d'une porte sont considérés comme un couplage direct entre les deux masses d'air correspondantes. Les contraintes convectives sur l'air qu'impose une ventilation mécanique contrôlée ne permettent pas l'utilisation d'un modèle trop simplifié.

Un remaniement du modèle existant devrait permettre de mieux prendre en compte les couplages entre l'enveloppe du bâtiment, les générateurs de chaleur et leur système de gestion. Les équations qui régissent les transferts aérauliques dans un habitat sont des équations non linéaires de débit dans chaque pièce, les inconnues étant les champs de pression.

Nous n'avons pas la prétention de résoudre ce système d'équations, problème sur lequel se penchent diverses équipes en France et dans le monde /2/, où se mêlent convection naturelle et ventilation mécanique. Nous nous proposons d'envisager certaines hypothèses simplificatrices sur la base des données complexes de ce problème couplé.

La prise en compte des phénomènes aérauliques au sein d'un logiciel, pouvant intégrer un module représentatif du fonctionnement d'un foyer fermé, doit pouvoir nous permettre d'envisager de nouveaux dispositifs liés à la gestion de la puissance convectée.

En particulier, des systèmes de récupération de chaleur internes ou externes à l'insert pourraient contribuer à résorber les surchauffes importantes occasionnées par son utilisation.

L'insertion de dispositifs de stockage ou la conception d'un insert hybride eau-air induisent bien évidemment des problèmes technologiques de tenue en pression et de dispositifs de sécurité, que nous nous proposons de prendre en compte lors d'une éventuelle modélisation. Il apparaît enfin nécessaire de pouvoir insérer un dispositif de ventilation mécanique dans le code de calcul à venir.

Ce système offre en effet la possibilité d'une gestion fine de l'air ainsi que de nombreux couplages avec l'insert et les dispositifs de stockage qui pourraient être considérés.

#### 6. Conclusion

Le modèle de l'insert mis au point en 1985 et 1986 semble satisfaisant sur le plan du "comportement physique" et assez bien en accord avec le peu de résultats expérimentaux dont nous avons pu disposer.

L'exploitation de ce modèle, lors de la simulation d'un habitat bizona, a mis en évidence les points suivants :

- Importance de la structure de l'enveloppe. En effet les cellules lourdes permettent, par le déphasage dans la restitution de la chaleur fournie par le foyer, de réduire la consommation et par le lissage des températures intérieures de procurer une ambiance plus confortable que les cellules légères.

- La gestion des calories effectuée soit par répartition de la puissance, soit par modification de l'excès d'air de combustion, permet de jouer sur la température des pièces et la consommation. Néanmoins, dans tous les cas les cellules légères restent inconfortables.

- Lors du fonctionnement intermittent du système de chauffage, l'utilisation d'un insert permet une mise en température rapide du local, accompagnée d'une économie d'énergie importante.

Il apparaît désormais nécessaire de valider plus finement ce modèle, en régime dynamique en prenant en compte l'importance du couplage avec l'enveloppe du bâtiment, et de proposer des solutions pour optimiser la gestion des calories fournies par ce générateur.

Nous envisageons donc maintenant de procéder à la validation in situ, d'une part du modèle de l'insert proprement dit, d'autre part des résultats sur les couplages envisageables entre le foyer, l'enveloppe du bâtiment et le système de chauffage.

Nous tenons à remercier la S.A. Brisach pour le concours qu'elle nous a apporté tout au long de cette étude, ainsi que le Service Habitat et Tertiaire de l'AFME, pour son appui financier.

#### 7. Références

(1) JC Escudié, D. Mayer, R. Gicquel  
"Management strategies of the heat provided by a fireplace or an insert", ECA Munich, 6-10 Avril 1987

(2) P. Valton  
"Analyse des modèles de simulation de la ventilation. Etat des connaissances". Journée technique AFME, Juin 86, Sophia Antipolis