

# EVALUATION DES ECONOMIES D'ENERGIE PAR LA METHODE DU PINCEMENT DANS UNE USINE DE FABRICATION DE PANNEAUX DE PLATRE

F. Staine F. et D. Favrat  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne  
Département de Mécanique  
Laboratoire d'Energétique Industrielle  
CH - 1015 Lausanne

## 1. INTRODUCTION

La fabrication de panneaux de plâtre nécessite en dernière étape, le séchage des panneaux humides après moulage. Sur l'installation analysée, cette opération implique actuellement une consommation énergétique importante (14760 MWh de gaz naturel et 1376 MWh d'électricité pour une production annuelle de 30000 tonnes de panneaux de plâtre). Les panneaux, disposés sur des chariots, passent dans des étuves dans lesquelles circule de l'air chaud. Pour conserver une bonne qualité au produit, les tunnels se composent de 3 zones échelonnées en température. L'air de séchage (air neuf et air de recirculation) est chauffé au contact de tubes alimentés par de l'eau chaude produite par une chaudière à gaz (figure 1).

Cette installation fait l'objet d'une analyse thermodynamique détaillée dans le but de minimiser les importantes consommations énergétiques par une récupération d'énergie optimale sur l'air humide sortant des étuves de séchage et de quantifier les économies d'énergie maximales qu'il serait possible de réaliser. L'approche utilisée est basée sur la méthode d'analyse et de synthèse énergétiques de procédés, dite du pincement optimal.

## 2. THEORIE DU PINCEMENT

Cette approche très puissante [1,2], inspirée par le Second Principe de la thermodynamique vise à favoriser les échanges de chaleur au sein du site lui-même et permet de fixer des buts cibles réalistes de consommations d'énergie. Elle propose de faire sous la forme d'un diagramme (Température, Puissance-chaleur mise en jeu) la synthèse des besoins énergétiques (composite froide) et des opportunités de récupération (composite chaude) d'un procédé. L'écart vertical minimum ( $\Delta T_{min}$ ) entre les 2 courbes composites détermine la température du point de pincement ( $T_{pinc}$ ) à savoir la zone la plus contrainte du procédé en matière de transfert de chaleur interne. La température de pincement met en évidence un sous-système caractérisé par un déficit en énergie ( $T > T_{pinc}$ ), un sous-système caractérisé

par un surplus d'énergie ( $T < T_{pinc}$ ), une zone d'échange de chaleur interne, ainsi que les puissances à apporter ou à retirer avec des sources externes au procédé. La valeur optimale du  $\Delta T_{min}$  correspond au meilleur compromis entre coûts opératoires et investissement. L'étape suivante consiste à concevoir un réseau d'échangeurs de chaleur réaliste tout en minimisant les consommations énergétiques.

L'application de la méthode du pincement est facilitée par l'utilisation du logiciel PinchLENI en cours de développement à l'EPFL, qui regroupe un logiciel de documentation de procédés (Optitherm) et un logiciel de synthèse et de conception de réseaux d'échangeurs (Pinchy) [3].

## 3. ETUDE DE L'INSTALLATION ACTUELLE

Le cahier des charges (tableau de flux) pour cette unité de séchage est déterminé en supprimant les solutions de récupération déjà existantes afin de ne considérer que les éléments vitaux pour le procédé. Le tracé des courbes composites montre une zone d'échange de chaleur interne limitée (zone noire figure 2) entre l'air extrait et l'air neuf. Cette solution correspond au récupérateur déjà existant. La forme des composites suggère la possibilité d'intégration d'une pompe à chaleur permettant de revaloriser partiellement l'énergie de l'air humide extrait pour chauffer l'air des étuves. Compte tenu de la consommation électrique

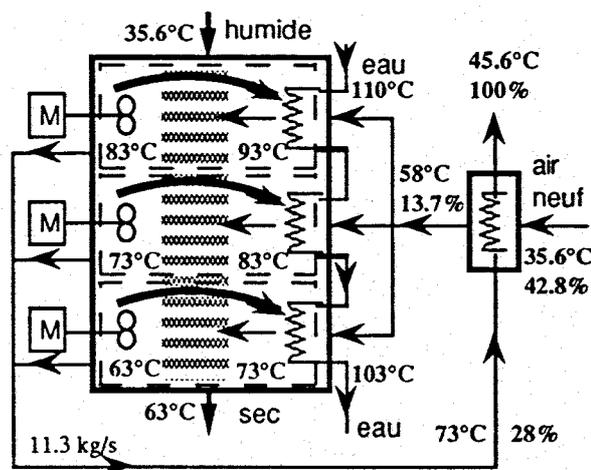


Fig. 1 Schéma de l'installation existante.

substantielle du site, et des ventilateurs des étuves en particulier (172 kWél), et afin de limiter le rapport de pression requis à la pompe à chaleur, il paraît également intéressant de considérer un concept de cogénération par moteur thermique.

## 4. CONCEPT AVEC POMPE A CHALEUR ET COGENERATION

Le concept proposé consiste à l'intégration d'une pompe à chaleur au R123 à cycle bi-étagé avec économiseur avec entraînement des compresseurs par un

moteur à gaz. Ce moteur, d'une puissance mécanique de 435 kW est également équipé d'une génératrice pour produire l'électricité nécessaire aux ventilateurs. Les puissances récupérables sur l'eau de refroidissement, l'huile et les gaz de combustion du moteur ainsi que les paliers d'évaporation et de condensation du R123 sont intégrés dans le nouveau tableau de flux. Les courbes composites de la figure 3 correspondent à une solution où les échangeurs de petite taille ont été supprimés lors de la simplification du réseau d'échangeurs internes dans le but de réduire la complexité de l'installation proposée. Ainsi l'énergie disponible au dessus du pincement dans les gaz d'échappement n'est pas totalement récupérée (16 kWth non utilisés). Les surfaces d'échange totales nécessaires au nouveau concept sont d'environ 1100 m<sup>2</sup> à comparer avec les 800 m<sup>2</sup> de surfaces existantes. Ajouter des tubes supplémentaires dans les étuves constitue la modification la plus simple, mais pour des raisons d'encombrement dans les tunnels et de rapprochement vers le moteur, les échangeurs pourraient être disposés à l'extérieur des étuves.

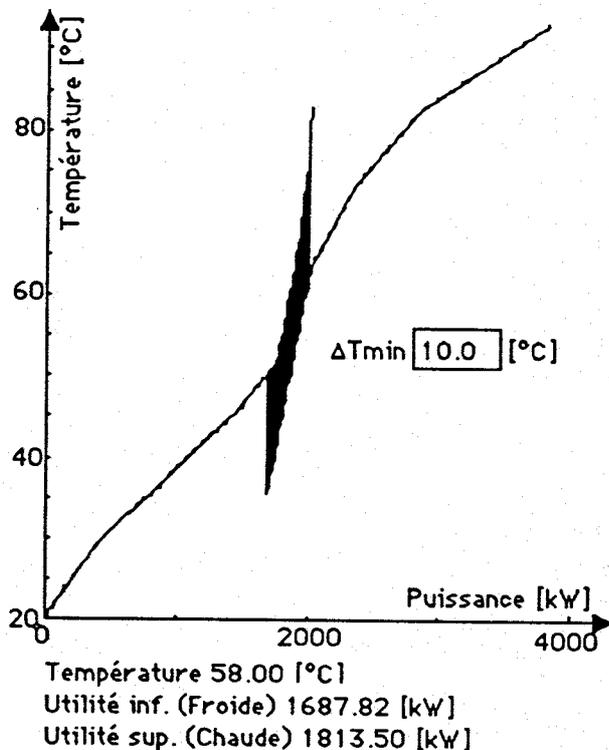


Fig. 2 Composites du procédé actuel.

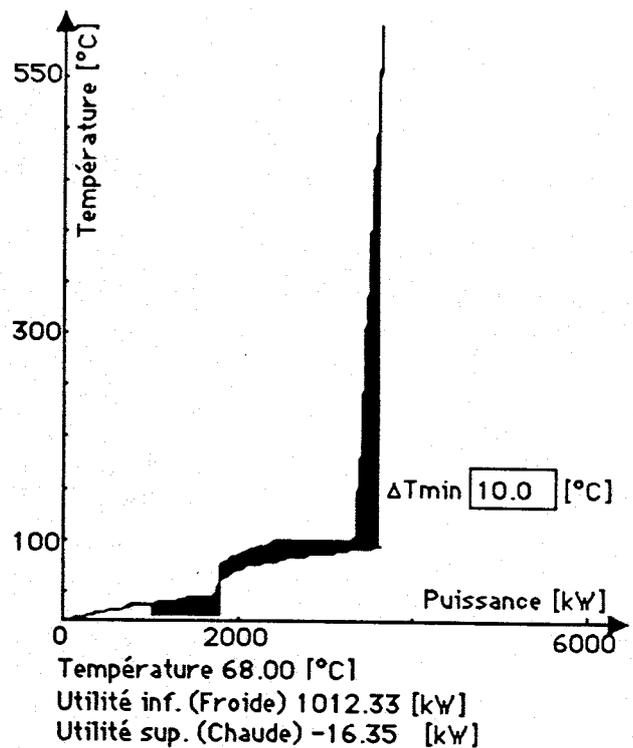


Fig. 3 Composites du concept proposé.

## 5. CONCLUSION

La méthode du pincement a permis de faire une intégration optimale d'un moteur à gaz et d'une pompe à chaleur (choix de la puissance du moteur, des températures d'évaporation et de condensation...). La valeur du  $\Delta T_{min}$  choisie est un bon compromis entre la taille du moteur et les surfaces d'échange. Les économies d'énergie réalisées sur les consommations de gaz naturel et d'électricité avec le nouveau concept sont de 47% en unités énergétiques. Cette étude confirme la clarté et l'intérêt de l'approche par la méthode du pincement pour l'analyse de procédés industriels.

## Bibliographie

- [1] Linnhoff et al., "User guide on process integration for the efficient use of energy", The Institution of Chemical Engineers (U K) (1982).
- [2] Gourelia J.P., "Présentation du logiciel Odette" JETC I, Entropie n°153/154, (1990).
- [3] Favrat D. et Staine F., "An Interactive Approach to the Energy Integration of Thermal Processes" Conférence CALISCE, EPFL, 9-11 sept. (1991).

## **RECUPERATION D'ENERGIE A LA PLATRIERE**

**F. Staine**

### **Résumé**

La solution proposée pour diminuer de façon significative les consommations énergétiques de gaz naturel et d'électricité (50%) consiste à l'installation d'un moteur à gaz qui fournirait d'une part la puissance mécanique nécessaire à l'entraînement des compresseurs d'une pompe à chaleur (pour chauffer l'air de séchage dans les étuves) et d'autre part l'électricité pour les ventilateurs de circulation d'air à l'intérieur des étuves.

### **Introduction**

Les résultats de la campagne de mesures effectuée à la Platrière en novembre 1989 ont permis de calculer les consommations énergétiques actuelles pour le séchage des plaques de plâtre.

Les coûts de l'énergie utilisés sont :

Gaz Naturel : 5.17 ct/kWh

électricité : 15 ct/kWh

la durée de fonctionnement étant de 8000 h/an

pour la chaudière alimentant en eau chaude les étuves :

1875 kW soit 0.041 kg/s de GN soit 14 760 000 kWh /an

soit 763 000 Frs/an

pour les ventilateurs de circulation d'air dans les étuves :

172 kW électricité soit 1 376 000 kWh/an soit 206 400 Frs/an

soit au total 969 400 Frs/an.

### **1) Etude de l'installation actuelle et solutions possibles**

Des récupérateurs de chaleur sont installés sur l'air humide sortant des étuves pour chauffer l'air neuf sec avant d'entrer dans les étuves.

Le bilan thermique de l'installation a été calculé à partir des mesures et à partir de quelques hypothèses concernant essentiellement l'échelonnement de températures le long des étuves (3 zones de température).

L'application de la méthode du pincement sur la base du strict cahier des charges de cette installation conduit principalement aux deux possibilités d'amélioration suivantes:

- Une solution proche de celle actuellement implémentée avec récupération par échange de chaleur interne (c'est - à - dire entre l'air sortant et l'air entrant ) qui idéalement devrait conduire à une puissance d'utilité nécessaire de 1813 kW seulement (figure 1).

Cette valeur est proche des 1875 kW actuellement consommés et peut être facilement atteignable en améliorant l'isolation thermique des récupérateurs actuels. Cependant, le gain potentiel de 62 kW ainsi mis en évidence n'est pas très important car il ne correspond qu'à 496 000 kWh/an, soit 25 000 Frs/an (3%).

Il n'est pas possible d'obtenir une économie plus importante par échangeurs de chaleur internes.

- l'autre solution consiste à installer une pompe à chaleur qui va récupérer une partie de l'énergie de l'air humide chaud sortant des étuves et la revaloriser à un niveau de température suffisant pour chauffer l'air à l'intérieur des étuves en remplacement de l'eau chaude actuelle qui est fournie par la chaudière à gaz.

## **2) Concept avec pompe à chaleur et cogénération**

Les compresseurs d'une pompe à chaleur biétagée seraient entraînés par un moteur à gaz qui entrainerait également une génératrice produisant l'électricité nécessaire aux ventilateurs. La taille de la pompe à chaleur (figure 2) tiendrait compte des puissances récupérables sur l'eau de refroidissement, l'huile et les gaz d'échappement du moteur.

Les résultats du calcul de la pompe à chaleur à installer donnent :

- puissance mécanique du compresseur : 224 kW.
- réfrigérant utilisé : R 123
- coefficient de performance max. : 4.68

La puissance mécanique du moteur serait de 410 kW.

Avec un tel dispositif, la consommation énergétique totale (minimale) se résumerait à la consommation de gaz naturel au niveau du moteur soit 0.026 kg/s

soit 9 396 000 kWh/an ou 485 800 Frs/an

L'économie annuelle maximale serait ainsi de 483 600 F/an, à savoir près de 50%.

## Conclusion

Un calcul de dimensionnement des composants à ajouter et à modifier au niveau de l'installation serait nécessaire pour faire un calcul économique complet et précis permettant de confirmer la rentabilité d'une telle opération. Les résultats obtenus au cours de cette étude laissent à penser qu'une telle solution serait envisageable. Toutefois les pincements requis dans les échangeurs sont très faibles et une inspection détaillée de la construction du réseau actuel de tubes de chauffe ainsi que des mesures complémentaires seraient nécessaires avant de poursuivre une telle analyse.

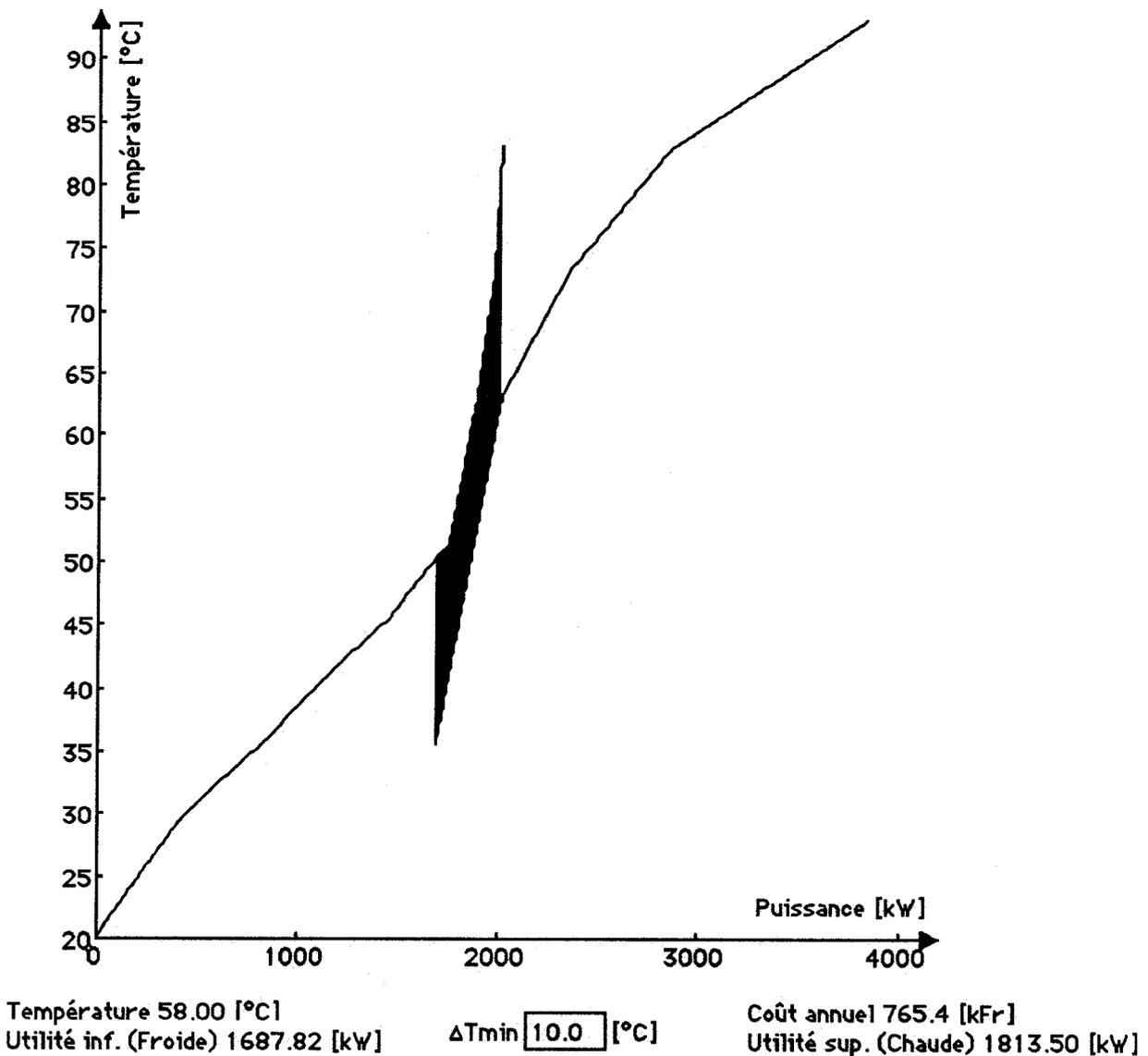
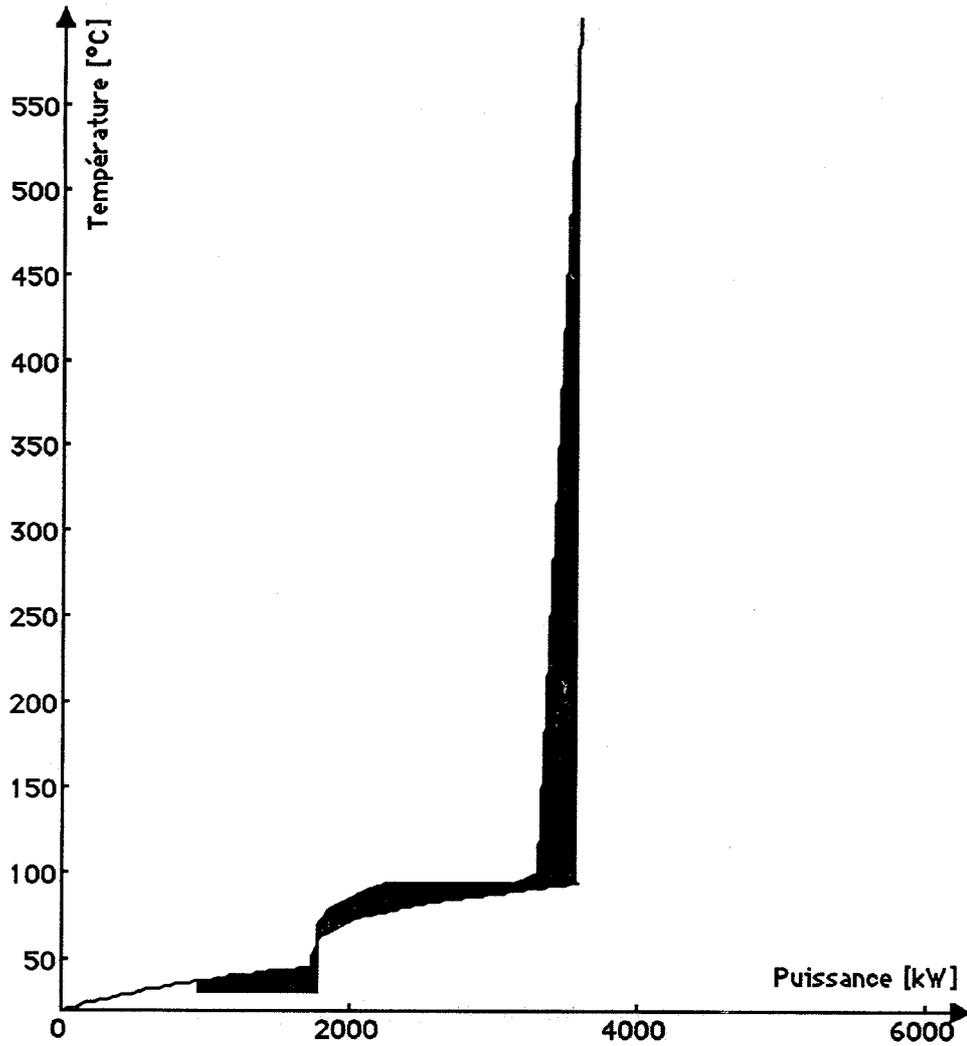


Figure 1 : Courbes composites de l'installation existante



Température 65.50 [°C]  
 Utilité inf. (Froide) 944.64 [kW]

$\Delta T_{min}$   [°C]

Coût annuel 527.0 [kFr]  
 Utilité sup. (Chaude) -0.99 [kW]