

# Étude technico-économique d'une installation de cogénération par moteur thermique au gaz appliquée à un hôpital

## Simulation par MECATHER-AA

par J. IRANI (\*)

### Introduction

L'étude consiste à simuler le comportement énergétique du site dans l'objectif d'optimiser un projet d'auto-production d'électricité par un système à cogénération.

L'installation simulée comporte deux turbines à combustion utilisant du gaz naturel, de 3 750 kW chacune, et de deux chaudières de récupération. La vapeur d'eau saturée est injectée dans le réseau interne de distribution.

La méthode d'analyse est celle mise au point par le Centre Technique des Industries Mécaniques (CETIM) <sup>(1)</sup>, assistée du logiciel MECATHER-AA (cf. annexe en fin d'article). Le principe consiste à créer un modèle numérique descriptif de la situation énergétique du moment, appelé *modèle de base*, et de le comparer à la réalité (consommations réelles) avant d'envisager les scénarios technico-économiques utilisant cette installation de cogénération.

### 1. Rappel des objectifs de l'étude

L'étude consiste à modéliser le comportement énergétique du site avec l'objectif de simuler une autoproduction d'électricité par une installation de cogénération.

Le projet étudié consiste en une production d'énergie électrique à partir de groupes turboalternateurs avec récupération de la chaleur sur les gaz d'échappement pour produire de la vapeur d'eau saturée afin d'alimenter le réseau interne de distribution.

Un complément d'étude socio-économique est fait, dans l'objectif de calculer le cash flow net actualisé pour plusieurs scénarios de financement. La compa-

(\*) BIE, BP 40015, 95911 Roissy CDG Cedex.

(1) CETIM, Mission Energie, Raymond BRUNET, 52, avenue Félix Louat, 60300 Senlis.

Article reçu le 30.09.1993, accepté le 25.10.1993.

raison des courbes de cash flow permet de déceler le choix le plus intéressant économiquement.

### 2. Description générale de l'hôpital

L'hôpital est situé dans le nord de la France. Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- nombre de lits : 4 500
- nombre de personnes sur le site : 11 600
- volume chauffé : 1 075 000 m<sup>3</sup>
- puissance souscrite EDF : 6 800 kW
- consommation annuelle électrique : 34 654 000 kWh
- consommation annuelle gaz (estimation) : 121 236 000 kWh
- facture énergétique approximative : 24 000 000 F

#### 2.1. Chauffage

Cette chaufferie comprend cinq chaudières. Deux d'entre elles ont une puissance thermique de 16 MW et les trois autres de 25 MW. Trois peuvent utiliser comme combustible du fuel ou du charbon tandis que la quatrième ne fonctionne qu'au charbon et la dernière au fuel. Leur année de construction s'étage entre 1970 et 1977.

A noter que la puissance installée à la chaufferie dépasse largement les besoins. Une chaudière de 30 t vapeur/h et une autre de 20 t vapeur/h suffisent pour couvrir les besoins en hiver.

#### 2.2. Centrale électrique

Deux arrivées EDF en double dérivation de 20 kV sont installées. Puis deux autotransformateurs 20/15 kV alimentent le réseau interne de l'hôpital.

Enfin, des postes de transformation MT/BT équipent chaque bâtiment ou groupe de bâtiments.

#### 2.3. Secours électrique

Le secours est assuré par six moteurs Diesel d'une puissance totale de 9 250 kVA. Des transfor-

mateurs élévateurs 380/15 000 V permettent de distribuer l'électricité ainsi produite sur le réseau interne.

## 2.4. Usage de l'énergie

- *Thermique*

L'usage de l'énergie thermique est essentiellement lié aux besoins de chauffage des locaux et à l'eau chaude sanitaire.

- *Electrique*

L'électricité est utilisée pour l'éclairage, la climatisation, l'énergie motrice et les autres usages liés aux appareils médicaux.

## 3. Principe de l'étude

Le principe consiste à créer un modèle numérique descriptif de la situation actuelle, appelé *modèle de base*, et de le comparer à la réalité (consommations réelles) avant d'envisager la simulation des scénarios d'améliorations énergétiques et économiques.

### 3.1. Eléments du modèle

Le modèle se compose de

- vingt-deux zones chauffées ;
- six consommateurs électriques ;
- sept consommateurs thermiques.

### 3.2. Schéma de branchement du modèle

Il est donné sur la *figure 1*.

## 4. Le projet de cogénération

Le principe de l'installation consiste à produire de l'énergie électrique à partir de groupes turboalternateurs et à récupérer la chaleur contenue dans les gaz d'échappement afin d'obtenir de la vapeur d'eau saturée.

L'installation comportera un ou deux ensembles (les deux scénarios sont étudiés). Chacun d'eux est constitué :

- d'une turbine à combustion utilisant du gaz naturel, de 3 750 kWe ;
- d'une chaudière de récupération de 10,3 t vapeur/h (avec économiseur), suivant le schéma de principe de la *figure 2*.

## 5. Synthèse des résultats des calculs technico-économiques

Deux scénarios principaux ont été envisagés suivant que l'hôpital utilise une turbine ou deux turbines.

Pour chacun de ces scénarios, une optimisation du contrat passé avec EDF est faite.

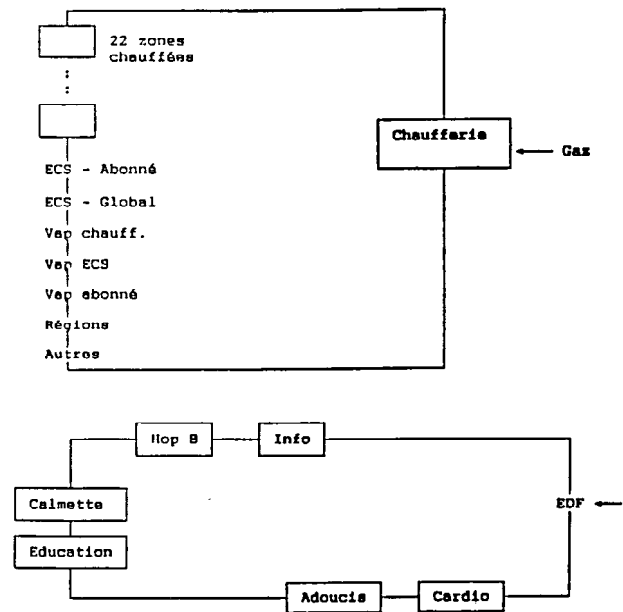


Fig. 1. — Schéma de branchement

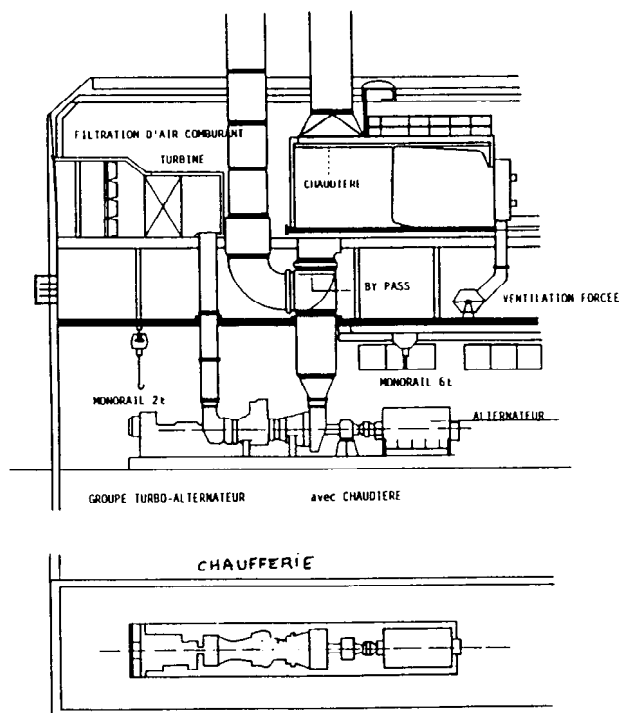
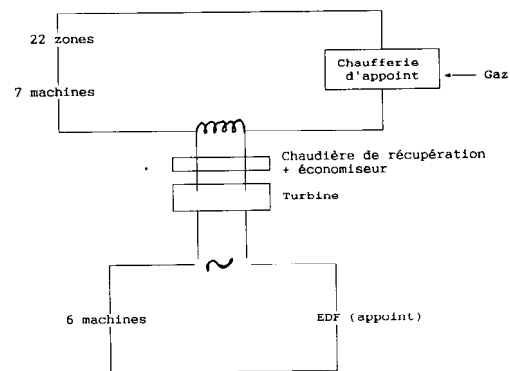


Fig. 2. — Schéma de l'installation

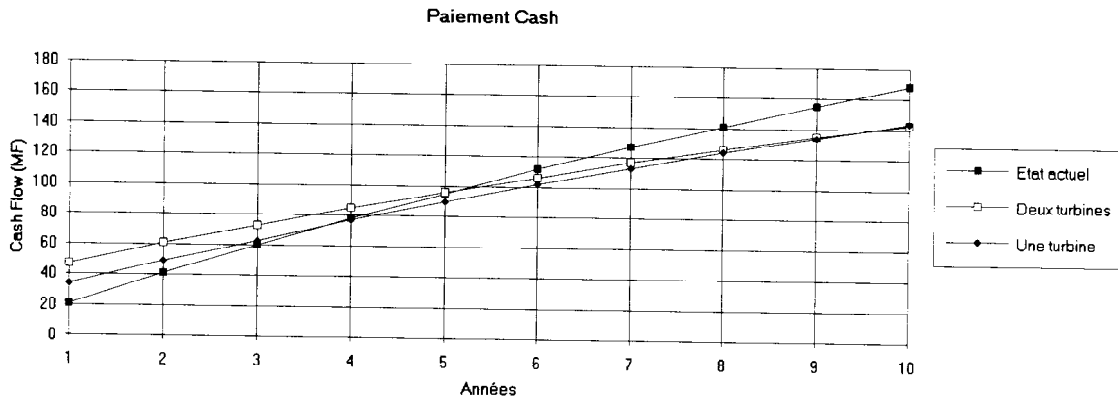


Fig. 3. — Evolution du cash flow net actualisé

### 5.1. Résultats avec le modèle de base (situation actuelle)

Les résultats annuels sont les suivants.

- Consommations électriques : 36 802 550 kWh
- Coût de l'électricité : 13 635 590 F
- Consommation de gaz : 135 480 491 kWh
- Coût du gaz : 9 725 151 F
- Coût total : 23 360 741 F

### 5.2. Résultats avec cogénération

Pour chaque scénario, on trouve les résultats suivants.

#### 5.2.1. Deux turbines cinq mois d'hiver

- Coût total énergie : 14 629 000 F
- Economie : 8 731 741 F
- Investissement : 33 510 000 F
- Temps de retour brut : 4 ans

#### 5.2.2. Une turbine cinq mois d'hiver

- Coût total énergie : 16 973 000 F
- Economie : 6 387 741 F
- Investissement : 18 075 000 F
- Temps de retour brut : 3 ans

## 6. Etude socio-économique

Nous présentons maintenant les résultats des calculs de cash flow conduisant aux temps de retour nets des diverses solutions envisagées.

Pour tous les cas, les principales données socio-économiques (conditions 1990) que nous avons choisies sont les suivantes :

- inflation : 3 % ;
- taux d'enchérissement des énergies : 0 % ;
- taux d'enchérissement de la main-d'œuvre : 2 % ;
- taux d'actualisation : 9 %.

L'emprunt est fait sur 8 ans à un taux annuel de 9 %.

Le remboursement annuel du crédit-bail repose sur un coût de l'argent de 17,848 % l'an sur 8 ans.

Pour chacun des cas, on tient compte des coûts des énergies et de la maintenance sur la durée de vie du matériel.

La durée de vie retenue pour l'étude est de 20 ans.

### 6.1. Les scénarios étudiés

Respectivement pour l'utilisation d'une ou de deux turbines, on a calculé le cash flow en fonction du temps pour les conditions suivantes :

- paiement cash,
- paiement par crédit-bail,
- paiement par emprunt.

### 6.2. Résultats et commentaires

Une comparaison entre l'état actuel (sans investissement) et chacune des deux solutions (une ou deux turbines) avec un paiement cash montre l'évolution du cash flow net actualisé pour les deux types d'installations de cogénération (figure 3).

Les conclusions sont peu différentes pour les deux autres scénarios.

#### Commentaires

— Les points d'intersection de la courbe correspondant à la situation actuelle (sans investissement) avec respectivement les courbes une turbine et deux turbines représentent le temps de retour net des investissements.

— Bien que l'investissement pour deux turbines soit plus élevé au départ, la tendance s'inverse au bout de dix ans. Nous présentons sur la figure 4 la projection sur 20 ans.

### 6.3. Synthèse des scénarios étudiés

Pour tous les scénarios décrits, les courbes de la figure 5 montrent l'évolution des économies actualisées sur une durée de 10 ans.

## 7. Conclusions

La comparaison des courbes montre l'intérêt du bon choix du financement d'un projet de cogénération.

En temps de retour brut, une turbine paraît la solution la plus intéressante. En intégrant la notion de durée de vie et de financement, l'investissement le plus intéressant devient la solution avec deux turbines comme le montre la figure 5.

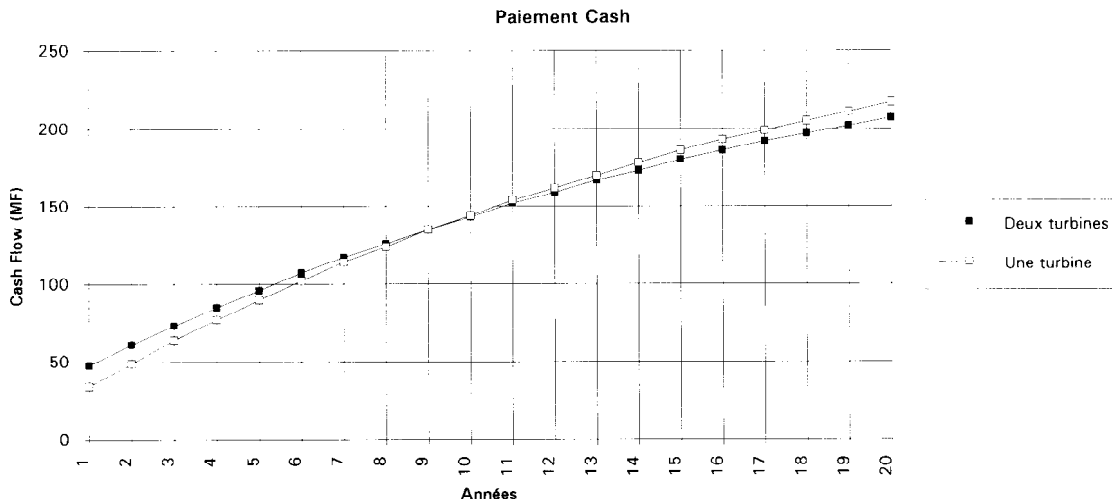


Fig. 4. — Economies actualisées (sans investissements supplémentaires)

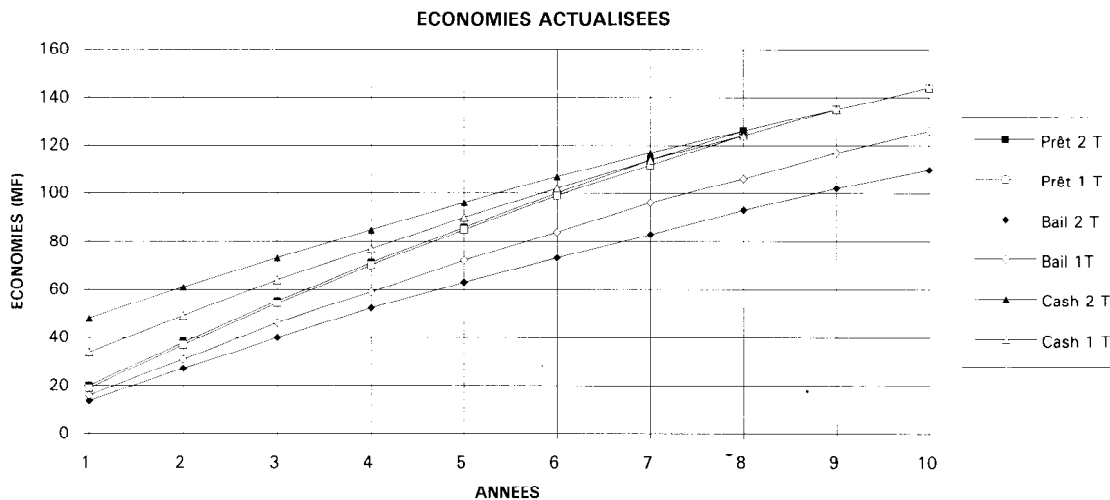


Fig. 5. — Economies actualisées suivant différents scénarios

NB. Les calculs socio-économiques sont faits au moyen du logiciel ECOFINA.

## Annexe

### Rappel succinct de la méthode d'optimisation d'une autoproduction d'électricité et de chaleur et de son logiciel CETIM-MECATHER

Cette méthode permet, avec l'aide du logiciel MECATHER-AA, d'établir un modèle mathématique reconstituant les factures et les consommations énergétiques d'une année-type. Une fois le modèle trouvé, le logiciel va permettre de simuler une installation chaleur/force comprenant un ou plusieurs groupes de production, l'objectif étant d'arriver au scénario technique permettant d'optimiser les coûts énergétiques.

Une étude technico-économique est rendue possible par le module ECOFINA, permettant de calculer les temps de retour nets en fonction des critères socio-économiques tels que les prêts, les subventions, l'inflation, etc. (méthode du cash flow net actualisé).

L'analyse d'un site passe par une description horaire des procédés de fabrication, des conditions

de chauffage dans les zones thermiquement homogènes, des prix des énergies. Des fichiers météorologiques sont utilisés afin de simuler d'une façon horaire la variation des conditions atmosphériques.

Des bilans énergétiques et financiers horaires sont effectués tout au long de l'année-type. En premier, sans les groupes, pour caler le modèle numérique sur les consommations réelles, et puis avec le (ou les) groupe(s) en fonction du scénario à étudier.

L'intérêt premier est de simuler au mieux les appels de puissances thermiques et électriques pour faire ressortir la simultanéité de l'utilisation de la chaleur et de l'électricité.

Les résultats sont donnés par mois, sur l'année et par période tarifaire pour chaque énergie, procédé, générateur, réseau et groupe de production chaleur/force.

Le cheminement de l'énergie à travers le site étudié est reconstitué. Le logiciel calcule la quantité d'électricité achetée au réseau EDF et celle qui est autoproduite par chaque groupe. Les besoins en chaleur sont calculés ainsi que l'énergie récupérée sur le groupe, réellement utilisée. Il permet de calculer le prix du kilowattheure électrique autoproduit.

La méthode utilisée, assistée par le logiciel, donne à une étude une fiabilité certaine du point de vue aussi bien technique qu'économique.