



## Etude de la disponibilité de la chaufferie au niveau de l'entreprise CO.G.B (Complexe des Corps Gras de Béjaïa)

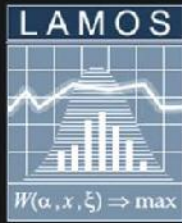
Nassim TOUCHE, Aïcha ANZI, Mouhamed BOURAINE, Djamil AISSANI

Laboratoire de Modélisation et Optimisation des Systèmes,  
Université de Béjaïa, Targa Ouzemmour, Béjaïa, 06000 (Algérie).

**Résumé**—L'objectif de notre travail est l'étude de la disponibilité des équipements de la chaufferie du complexe COGB Béjaïa à partir des données du retour d'expérience. Pour cela, nous avons dans un premier temps modélisé les lois de fiabilité ainsi que les lois de maintenabilité des équipements par des modèles paramétriques. Dans un deuxième temps, nous avons pu modéliser le fonctionnement des différentes variantes des réseaux de fabrication de la vapeur et de l'air comprimé, afin de déterminer leurs disponibilités.

**Mots clés** *fiabilité; maintenabilité; disponibilité; chaîne de Markov*





# Actes du Workshop International



## Evaluation de Performance et Qualité de Service

Béjaïa, 05 - 06 Mai 2013

Organisé par

Département de Recherche Opérationnelle  
Faculté des Sciences Exactes, Université de Béjaïa  
Laboratoire de Modélisation et d'Optimisation des Systèmes (LAMOS)



Bir-Stem



LAMOS Editions, 2013



# Etude de la disponibilité de la chaufferie au niveau de l'entreprise CO.G.B (Complexe des Corps Gras de Béjaïa)

Nassim TOUCHIE, Aïcha ANZI, Mouhamed BOURAINE, Djamil AISSANI

Laboratoire de Modélisation et Optimisation des Systèmes,  
Université de Béjaïa, l'arga Ouzemmour, Béjaïa, 06000 (Algérie).

**Résumé**—L'objectif de notre travail est l'étude de la disponibilité des équipements de la chaufferie du complexe COGB Béjaïa à partir des données du retour d'expérience. Pour cela, nous avons dans un premier temps modélisé les lois de fiabilité ainsi que les lois de maintenabilité des équipements par des modèles paramétriques. Dans un deuxième temps, nous avons pu modéliser le fonctionnement des différentes variantes des réseaux de fabrication de la vapeur et de l'air comprimé, afin de déterminer leurs disponibilités.

**Mots clés** *fiabilité; maintenabilité; disponibilité; chaîne de Markov*

## I. INTRODUCTION

La consommation de l'huile occupe une place privilégiée dans notre pays. En effet, il est placé à la tête à l'échelle mondiale, avoisinant 14 Kg/an en moyenne par habitant, alors qu'en Europe la consommation ne dépasse pas les 12Kg/an.

La production continue et la satisfaction de la demande sur le marché se concrétisent par l'automatisation et la modernisation des équipements. Toutefois, ces équipements surexploités et utilisés continuellement sont sujets à des pannes de toutes sortes. Ainsi, les arrêts fréquents, l'inadéquation et la lenteur des réparations freinent la production, prolonge les durées de défaillance et produisent un manque à gagner. D'où la nécessité de la mise en place d'une politique de maintenance rationnelle basée sur les concepts de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité et de sécurité.

La théorie de fiabilité a pour objectif d'étudier l'aptitude des dispositifs techniques à accomplir une fonction requise, dans des conditions données, durant un temps donné. La maintenance, de son côté a pour objectif essentiel d'assurer continuellement le bon état de marche des installations dans les meilleures conditions de qualité et de prix de revient.

Ces dernières années, une prise de conscience ferme a été constatée à l'entreprise ENCG relativement aux problèmes de maintenance.

En particulier, les gestionnaires se demandent si la politique actuelle de maintenance est suffisante pour faire face aux objectifs d'exploitation de la chaufferie?

Dans le cas contraire, quelles sont les mesures à entreprendre pour atteindre ces objectifs?

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés à l'atelier chaufferie du service utilités, qui est considéré comme le poumon du complexe. Son rôle fondamental consiste à alimenter le complexe en vapeur, en eau traitée et en air comprimé.

Notre travail consiste à calculer en premier lieu la fiabilité, puis la maintenabilité afin de déterminer la disponibilité des équipements de la chaufferie. Un traitement statistique des données du retour d'expérience des équipements, issus de l'étude de Pareto, permet d'évaluer la fiabilité et la maintenabilité de ces derniers. Il s'agit de choisir les modèles d'ajustements, puis de les valider en appliquant les tests adéquats.

Dans un deuxième temps nous avons évalué la fiabilité des différents équipements ainsi que les sous équipements correspondants afin de dégager le type de maintenance le plus adéquat. Par ailleurs, un modèle d'évaluation de la disponibilité de la chaufferie a été proposé. Afin de maximiser cette disponibilité, on a présenté les différentes variantes de fonctionnement du système, en utilisant les capacités de marche du mode minimum, normale jusqu'au mode maximum.

## II. ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

### A. Collectes des données

Pour pouvoir effectuer un calcul de fiabilité et de maintenabilité, il est nécessaire de disposer de données historiques d'exploitations. La collecte des données a été faite au niveau du département technique.

Nous avons considéré les données pour la période du 09/01/1999 au 16/05/2004, vu la difficulté d'aller plus loin dans le passé de l'entreprise. Par ailleurs, les données que nous avons eu à traiter peuvent être considérées comme complètes car les instants de défaillance et la date de mise en service des équipements sont connus.

L'écart de temps, entre deux défaillances consécutives moins le temps de réparation constitue le TBF (Temps de bon fonctionnement). Il représente la variable aléatoire qui constitue nos échantillons pour déterminer la fiabilité. Le temps de réparation entre deux défaillances constitue l'TTR (time to repair) temps de réparation. Il représente la variable aléatoire qui constitue les échantillons de maintenabilité.

### B. Choix des équipements à étudier

La chaufferie comprend un grand nombre d'équipements. L'étude statistique de chacun d'entre eux se révélerait très longue. De ce fait, nous avons décidé de ne considérer que les équipements qui ont la plus grande part de responsabilité dans les immobilisations de la chaufferie. Pour cela, on a réalisé une analyse de Pareto qui nous a permis de retenir les équipements donnés dans le tableau 1.

$X_1$	6651001	Compresseur N° 01
$X_2$	6651002	Compresseur N° 02
$X_3$	4502001	Chaudière Babcock
$X_4$	4501001	Chaudière Bono
$X_5$	4500001	Chaudière EMK
$X_6$	5842001	Pompe N° 01
$X_7$	58F4001	Pompe N° 02
$X_8$	58F2001	Pompe N° 03
$X_9$	58F3001	Pompe N° 04
$X_{10}$	58F4002	Pompe N° 05
$X_{11}$	5842002	Pompe N° 06

Tableau 1. Equipements à étudier

### C. Modélisation paramétrique de lois de fiabilité des équipements

La détermination des modèles paramétriques pouvant modéliser les lois de fiabilité des équipements choisis a été faite en utilisant le logiciel Statistica, qui permet d'appliquer les techniques d'ajustements avec toutes les lois paramétriques, estimer les paramètres en utilisant l'estimateur du maximum de vraisemblance et de valider les modèles obtenus avec les tests d'ajustements, tels que le test de Khi deux et le test de Kolmogorov-Smirnov.

Les résultats obtenus nous ont permis de constater que le modèle de Weibull à deux paramètres est accepté pour la plupart des équipements (le paramètre de position  $\gamma$  est pris égal à zéro)

et dans le paramètre de forme  $\beta$  est inférieur à 1, sauf pour la chaudière Babcock où  $\beta=1.001$  et la pompe N°04 qui a un  $\beta=1.525$ .

### D. Modélisation non paramétrique de lois de fiabilité des équipements : test graphique

Afin de confirmer l'ajustement par les lois paramétriques, et de pouvoir partager entre la loi exponentielle et la loi de Weibull dans le cas de la variable  $X_i$ ,  $i=1..11$ , nous avons jugé nécessaire de tester l'appartenance des variables étudiées à certaines classes de lois non paramétriques, notamment IFR, DFR et Exponentielle.

Pour cela, nous avons utilisé le test graphique qui nous a permis de distinguer trois catégories d'équipements suivant leurs comportements. La première catégorie est la plus répandue, elle est composée des paramètres de forme supérieur à 1. Son taux de défaillance est donc croissant dans le temps. Ceci signifie que l'équipement est en période de vieillesse et que les pannes sont dues essentiellement à l'usure. De ce fait, il est conseillé d'appliquer une maintenance rigoureuse afin de prévenir les pannes.

### E. Modélisation paramétrique et non paramétrique de lois de fiabilité des sous-équipements

Les résultats obtenus nous ont permis de classer les sous équipements en trois catégories suivant leurs comportements. La première catégorie concerne les sous équipements qui possèdent un paramètre de forme proche de 1. Ils sont caractérisés par un taux de défaillance constant, ce qui signifie que les pannes sont aléatoires, ils ont entamé la période de vie utile. Le type de maintenance pour cette catégorie est la maintenance corrective. La deuxième catégorie est composée des sous équipements qui possèdent un paramètre de forme  $<1$ . Ils se caractérisent par un taux de défaillance décroissant, c'est à dire qu'ils sont dans la période de jeunesse, les pannes sont dues soit à la conception, soit à la fabrication soit à la mauvaise utilisation des équipements.

La troisième catégorie est composée des sous équipements dont le paramètre de forme est supérieur à 1, leurs taux de défaillance est croissant. Ce qui signifie qu'ils se trouvent dans la période de vieillesse. L'étude du renouvellement permettra de déterminer les périodes de renouvellement, le type de la maintenance.

### F. Modélisation de lois de maintenabilité des équipements

Pour la modélisation des lois de maintenabilité des équipements et des sous équipements, on a utilisé les durées d'interventions de chaque panne signalée, ce qui représente le TTR (time to

repair) qui est la variable aléatoire des échantillons de l'étude, avec laquelle on a pu ajuster les lois de fiabilité, validées par le test Kolmogorov-Smirnov.

Les résultats obtenus sont données comme suit : Pour les équipements, on peut les partager en deux groupes, le premier se compose des équipements dont les lois de maintenabilité s'ajustent par des lois exponentielles, qui sont caractérisées par un taux de réparation constant, le deuxième groupe se compose des équipements dont les lois de maintenabilité s'ajustent par la loi Gamma à deux paramètres (a,b) ; les résultats seront utilisés dans le calcul de la disponibilité.

Pour les sous équipements, on distingue trois types d'ajustement de loi de maintenabilité, à savoir l'ajustement par la loi Log-normale, la loi Gamma, et la loi exponentielle. On a remarqué que la plupart des lois ajustées sont des Log-normales avec une moyenne des temps de réparation très petite, en raison de la nature des pannes et des réparations de ces équipements.

III. DISPONIBILITÉ DE LA CHAUFFERIE

A. Modélisation et résolution

La chaufferie se compose essentiellement de trois systèmes: Réseau de fabrication de la vapeur, qui peut fonctionner en deux régimes:

- régime normal;
- régime minimal.

Réseau de fabrication de l'eau osmosée.

Réseau de fabrication de l'air comprimé qui peut fonctionner en deux régimes:

- régime normal;
- régime maximal.

Une partie des équipements ressortie de l'étude de Pareto appartient au réseau de fabrication de la vapeur, une autre partie appartient au réseau de fabrication de l'air comprimé, mais aucun équipement n'appartient au réseau de fabrication de l'eau osmosée.

Notre objectif c'est d'étudier la disponibilité des deux systèmes (production de vapeur et d'air comprimé). Pour cela, on pose la fiabilité des équipements autres que ceux qui appartiennent à la zone A de la courbe ABC et les pompes montées en stand-by avec les pompes de la zone A égale 1.

Le problème qui se pose est l'étude de cette disponibilité avec la loi de réparation Gamma. Pour cela, nous allons approximer cette loi par une loi exponentielle à l'aide du MTE potentielle. Concernant les lois de panne, les lois ajustées par Statistica et validés par le test Kolmogorov Smirnov sont des Weibull et exponentielle. On prend dans notre étude les lois exponentielles parce que les résultats analytiques sont applicables, dans ce cas.

B. Description des réseaux

Le réseau de fabrication de la vapeur est composé de six (6) pompes et trois (3) chaudières qui sont disposées comme suit:

Les pompes sont disposées deux à deux en redondance passive c'est à dire tant que la pompe de base fonctionne la pompe de réserve est à l'arrêt, cette pompe n'est mis en marche que lorsque le dispositif de base tombe en panne. Les pompes entre elles sont disposées en série deux à deux.

Les chaudières sont disposées en redondance passive c'est à dire tant que deux chaudières de base fonctionnent la chaudière de réserve est à l'arrêt, cette chaudière n'est mise en marche que lorsque une chaudière du dispositif de base tombe en panne. Un autre branchement en redondance passive peut être réalisé d'une autre manière c'est à dire que tant qu'une chaudière dite de base fonctionne les deux chaudières de réserves sont à l'arrêt, ces chaudières ne sont mises en marche que lorsque la chaudière du dispositif de base tombe en panne.

Le réseau de fabrication de l'air comprimé est composé de deux (2) compresseurs qui sont disposés comme suit:

Les compresseurs sont disposés en redondance passive c'est à dire tant que le compresseur de base fonctionne le compresseur de réserve est à l'arrêt, ce compresseur n'est mis en marche que lorsque le dispositif de base tombe en panne. Un autre branchement en parallèle peut être réalisé c'est à dire tant que les deux compresseurs de base fonctionnent, le système ne tombe pas en panne que lorsque les deux compresseurs de base tombent en panne.

III.1 Réseau de fabrication de la vapeur

III.1.1 Fonctionnement en régime Normal

A. Le réseau associé

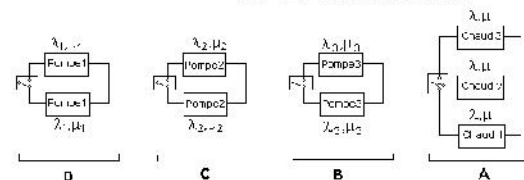


Fig 1. Réseau de fabrication de la vapeur (régime normal)

Modélisation

Pour déterminer la Disponibilité du réseau en étudiant d'abord les trois (3) parties composées de deux (2) pompes en redondance passive, puis la partie composée de trois (3) chaudières en redondance passive. Pour cela on distingue quatre (04) phases qui sont:

Phase A:

Cette phase comporte trois chaudières en redondance passive. Les durées des interventions (respectivement des pannes) suivent des lois exponentielles de paramètre  $\mu$  (respectivement  $\lambda$ ).

Soit  $X_t$  le nombre de chaudières en panne à la date  $t$ . Les états du système sont définis comme suit:

- (0) : les trois chaudières en bon état, le système fonctionne.
- (1) : l'une des trois chaudières en panne, les autres sont en bon état. Le système fonctionne.
- (2) : deux chaudières en pannes, l'autre en bon état, le système ne fonctionne pas.
- (3) : les trois chaudières en pannes, le système ne fonctionne pas.

**Graphe de Transition:**

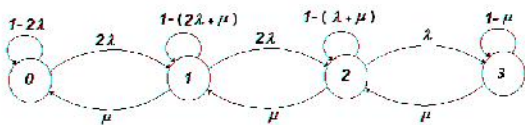


Fig 2 : graphe de transition associé au réseau

**Résolution :** le graphe est irréductible, le régime stationnaire existe.

**La matrice instantanée**

$$P' = \begin{pmatrix} -2\lambda & 2\lambda & 0 & 0 \\ \mu & -(2\lambda + \mu) & 2\lambda & 0 \\ 0 & \mu & -(\lambda + \mu) & \lambda \\ 0 & 0 & \mu & \mu \end{pmatrix}$$

$$P' \cdot \pi = 0, \pi = +[\pi_0, \pi_1, \pi_2, \pi_3]$$

D'où

$$\begin{aligned} 2\lambda\pi_0 &= \mu\pi_1 \\ (2\lambda + \mu)\pi_1 &= 2\lambda\pi_0 + \mu\pi_2 \\ (\lambda + \mu)\pi_2 &= 2\lambda\pi_1 + \mu\pi_3 \\ \mu\pi_3 &= \lambda\pi_2 \end{aligned}$$

avec la condition de normalisation

$$\pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1$$

La résolution du système nous donne

$$\begin{aligned} \pi_0 &= \frac{\mu^3}{\mu^3 + 2\mu^2\lambda + 4\lambda^2\mu + 4\lambda^3} \\ \pi_1 &= \frac{2\lambda\mu^2}{\mu^3 + 2\mu^2\lambda + 4\lambda^2\mu + 4\lambda^3} \\ \pi_2 &= \frac{4\lambda^2\mu}{\mu^3 + 2\mu^2\lambda + 4\lambda^2\mu + 4\lambda^3} \\ \pi_3 &= \frac{4\lambda^3}{\mu^3 + 2\mu^2\lambda + 4\lambda^2\mu + 4\lambda^3} \end{aligned}$$

Le sous système fonctionne si au moins deux chaudières sont en bon états. D'où la disponibilité du système :

$$D_s = \pi_0 + \pi_1$$

$$a) \quad D_s = \frac{\mu^3 + 2\lambda\mu^2}{\mu^3 + 2\mu^2\lambda + 4\lambda^2\mu + 4\lambda^3}$$

**b) Phase B**

Cette phase comporte deux pompes en redondance passive. Soit  $X_t$  le nombre de pompes en panne à la date  $t$ , c'est un processus à espace des états discret. Les états sont:  
 (0) : les deux pompes en bon état, le système fonctionne.  
 (1) : l'une des deux pompes en bon état, l'autre est en panne. Le sous système fonctionne.  
 (2) : les deux pompes en pannes, le système ne fonctionne pas.

**B. Graphe de Transition**

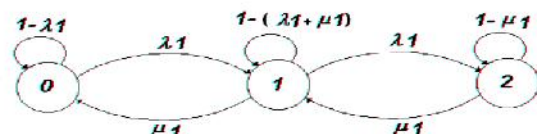


Fig 3 : graphe de transition associé au réseau

**Résolution :** le graphe est irréductible, le régime stationnaire existe.

**La matrice instantanée**

$$P' = \begin{pmatrix} -\lambda & \lambda & 0 \\ \mu & -(\lambda + \mu) & \lambda \\ 0 & \mu & -\mu \end{pmatrix}$$

$$P' \cdot \pi = 0, \pi = +[\pi_0, \pi_1, \pi_2]$$

D'où



$$\lambda_1 \pi_0 = \mu_1 \pi_1$$

$$(\lambda_1 + \mu_1) \pi_1 = \lambda_1 \pi_0 + \mu_1 \pi_2$$

$$\lambda_1 \pi_1 = \mu_1 \pi_2$$

avec la condition de normalisation

$$\pi_0 + \pi_1 + \pi_2 = 1$$

La résolution du système nous donne

$$\pi_0 = \frac{\mu_1^2}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

$$\pi_1 = \frac{\lambda_1 \mu_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

$$\pi_2 = \frac{\lambda_1^2}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

Le sous système fonctionne si au moins deux chaudières sont en bon états. D'où la disponibilité du système :

$$D_s = \pi_0 + \pi_1$$

$$D_s = \frac{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1}{\mu_1^2 + \mu_1 \lambda_1 + \lambda_1^2}$$

**Phase C :**

La modélisation du sous système C se fait de la même façon que le sous système B seules les valeurs des paramètres changent. La disponibilité de sous système C est

$$D_c = \frac{\mu_c^2 + \mu_c \lambda_c}{\mu_c^2 + \mu_c \lambda_c + \lambda_c^2}$$

**Phase D :**

La modélisation du sous système D se fait de la même façon que le sous système B seules les valeurs des paramètres changent. La disponibilité de sous système D est

$$D_d = \frac{\mu_d^2 + \mu_d \lambda_d}{\mu_d^2 + \mu_d \lambda_d + \lambda_d^2}$$

**La disponibilité du système (Fabrication de la vapeur régime Normal)**

La disponibilité du système est donnée par

$$D_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{D_i} - (4 - 1)}$$

**III.2 Réseau de Fabrication de l'air comprimé**

Pour la fabrication de l'air comprimé, le réseau peut fonctionner en deux régimes, normal et maximal. Les choix sont dictés par les besoins de l'entreprise.

**III.2.1. Fonctionnement en régime Normal**

**Le réseau associé**

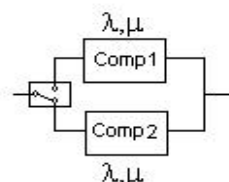


Fig 4. Réseau de fabrication de l'air comprimé (régime normal)

**La modélisation:**

Dans cette variante en considère le système fonctionne en régime normal, en redondance passive c'est-à-dire lorsque un des deux compresseurs fonctionne l'autre reste en stand-by.

Soit  $X_t$  le nombre des compresseurs en panne à la date  $t$ , c'est un processus à espace des états discret.

Les états du système sont définis comme suit :

- (0) : les deux compresseurs en bon état, le système fonctionne.
- (1) : l'un des deux compresseurs en bon état, l'autre est en panne. Le système fonctionne.
- (2) : les deux compresseurs en pannes, le système ne fonctionne pas.

**La disponibilité totale du système**

La même démarche que la phase B du réseau de la vapeur en régime normal a été suivie pour la modélisation et la résolution de ce système

$$D_s = \frac{\mu^2 + \mu \lambda}{\mu^2 + \mu \lambda + \lambda^2}$$

**Evaluation de la disponibilité des différentes variantes**

Pour l'approximation de la loi Gamma par une exponentielle nous avons utilisé le MTE potentiel [2].

**Calcul des disponibilités :**

Après avoir calculé les taux moyens des pannes et des réparations des équipements identiques, nous avons pu obtenir les différentes disponibilités.

-La disponibilité du réseau de production de vapeur en régime normal est :

$$D_S = 0,99986543$$

- La disponibilité du réseau de production de vapeur en régime minimal est :

$$D_S = 0,999998431$$

- La disponibilité du réseau de production d'air comprimé en régime normal est :

$$D_S = 0,999995282$$

La disponibilité du réseau de production d'air comprimé en régime maximal est :

$$D_S = 0,995660729$$

#### **Interprétation des résultats**

On remarque que la disponibilité des équipements est très grande pour toutes les variantes des réseaux. Cela est dû essentiellement :

- A la nature du fonctionnement des réseaux (Stand-by), qui offre une meilleure disponibilité;
- La qualité des équipements, qui sont conçus pour fonctionner 24h/24h.

On remarque aussi une légère différence entre les valeurs de la disponibilité des variantes production de vapeur en régime normal et en régime minimal, en raison de ressource supplémentaire que possède la variante de production de vapeur en régime minimal. Elle possède deux chaudières en stand-by. Par contre, l'autre variante possède seulement une chaudière en stand-by.

La disponibilité de la variante du réseau de fabrication d'air comprimé en régime normal est supérieure à la disponibilité de la variante du réseau de fabrication d'air comprimé en régime maximal, parce que la première variante possède un compresseur en stand-by. Si le compresseur principal tombe en panne, le deuxième se déclenche et le système fonctionne. Par contre, dans la deuxième variante, si l'un des deux compresseurs ne fonctionne pas, le réseau n'est pas disponible en régime maximal.

#### IV. CONCLUSION

Cette étude nous a permis de clarifier la relation existante entre la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité. Pour avoir une grande disponibilité des installations stratégiques, il faut soit augmenter la fiabilité ou diminuer les temps de réparation des équipements selon l'importance du système étudié et les coûts engendrés par l'augmentation de la fiabilité ou la diminution des temps de réparation, ou encore les deux en même temps.

#### REFERENCES

- [1] J-L. Bon : Fiabilité des systèmes méthodes mathématiques. Paris, Masson édition, 1995.
- [2] Br. Cobb, Pp. Shenoy, and R. Rumi : Approximating probability density functions with mixtures of truncated exponentials. University of Kansas school of business (USA), pages 1-29, March, 2004.
- [3] J-C. Legeron, A Delge, and M. Neff : La fiabilité en exploitation organisation et traitement des données. Techniques et Documentations, Lavoisier édition, 1984.
- [4] P. Lyonnet : La maintenance mathématiques et méthodes. Tec et doc édition, 2000.

# Etude de la disponibilité de la chaufferie au niveau de l'entreprise CO.G.B (Complexe des Corps Gras de Béjaïa)

Nassim TOUCHE, Aïcha ANZI, Mouhamed BOURAINE, Djamil AISSANI  
Laboratoire de Modélisation et Optimisation des Systèmes,  
Université de Béjaïa, l'arga Ouzemmour, Béjaïa, 06000 (Algérie).

*Résumé*—L'objectif de notre travail est l'étude de la disponibilité des équipements de la chaufferie du complexe COGB Béjaïa à partir des données du retour d'expérience. Pour cela, nous avons dans un premier temps modélisé les lois de fiabilité ainsi que les lois de maintenabilité des équipements par des modèles paramétriques. Dans un deuxième temps, nous avons pu modéliser le fonctionnement des différentes variantes des réseaux de fabrication de la vapeur et de l'air comprimé, afin de déterminer leurs disponibilités.

*Mots clés* *fiabilité; maintenabilité; disponibilité; chaîne de Markov*

