

# UNE NOUVELLE STRATEGIE DE DIAGNOSTIC EN MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE

A.LAKEHAL, E.HADJADJ-AOUL

Université 20 août 56 Skikda

Faculté des Sciences et sciences de l'ingéniorat

Département de Génie Mécanique

[Lakehal21@yahoo.fr](mailto:Lakehal21@yahoo.fr) [hadjadj\\_elias@yahoo.fr](mailto:hadjadj_elias@yahoo.fr)

**Résumé :** Une variété de technologies peuvent, et devraient être utilisées en tant qu'élément d'un programme de maintenance préventive complet. Puisque les systèmes mécaniques ou machines (turbocompresseur GHH) comptent la plupart des équipements stratégiques d'une usine, la surveillance vibratoire est généralement la composante clé de la plupart des programmes de maintenance préventive conditionnelle. Cependant, la surveillance vibratoire ne peut pas fournir toutes les informations exigées pour la réussite d'un programme de maintenance préventive.

Par conséquent, un programme de maintenance préventive complet doit inclure autres techniques de surveillances et diagnostics; tel que les analyses d'huile.

L'objectif donné pour cette communication était de fournir les éléments nécessaires au suivi du comportement d'un turbocompresseur dont le rôle dans le procédé de fabrication du produit est de comprimer l'air à une pression de service; et vu qu'il est stratégique et vitale. Les outils de maintenance présentés dans ce travail sont : les analyses vibratoires à travers les courbes de tendance du niveau vibratoire (ignorées dans la plupart des cas par les exploitants), et les analyses d'huile à travers les analyses physico-chimiques de quelques caractéristiques de l'huile lubrifiante.

Les études statistiques sont vivement recommandées dans le cadre d'une maintenance préventive puisque on travail avec des données (population et échantillon) qui peuvent être exploitées pour trouver une liaison stochastique. Dans cette communication on va donner un aperçu sur l'utilisation des statistiques comme outil d'aide au diagnostic et prise de décisions.

## 1. Introduction :

Dans plusieurs domaines de l'industrie et du transport, les machines tournantes ont un grand intérêt, elles sont le plus souvent stratégiques et vitales. Pour prévenir les défaillances et assurer une disponibilité optimale de ces machines il existe heureusement des outils de surveillances puissants tel que l'analyse vibratoire, l'analyse des lubrifiants, la thermographie et l'analyse acoustique, et d'autres tel que le CND qui entrent dans le cadre de la maintenance préventive conditionnelle.

Donc la surveillance dans notre étude en ce qui concerne les analyses vibratoires s'articule sur l'histogramme d'évolution ou courbes de tendance car il (elle) est riche en renseignement, mais n'est réellement exploitable en pratique que dans le cas d'une surveillance continue [1]. Et les analyses des échantillons du fluide qui permettent d'une part de déterminer les caractéristiques physico-chimiques de l'huile a fin de déterminer sa dégradation ou bien sa

contamination à un stade précoce. L'utilisation de quelques éléments de statistiques peut aider le technicien de maintenance a tracé un itinéraire de diagnostic par la confirmation ou bien l'infirmité d'un diagnostic préalablement fait. Dans ce qui suit nous allons donner un aperçu.

## 2. Objet de recherche :

Nous intéresserons dans notre communication à la maintenance préventive conditionnelle d'un turbocompresseur; vu son rôle important dans la production du nitrique qui sert par la suite comme matière première pour la production d'ammoniac, et en fin les engrais au niveau de l'entreprise ASMIDAL, et vu son coût important et sa puissance aussi importante. Parmi les outils de la maintenance préventive conditionnelle utilisés pour apprécier l'état du turbocompresseur, il existe deux parmi d'autres cités au par avant : L'analyse vibratoire et l'analyse des huiles.

L'objectif du travail présenté ici est d'appliquer quelques outils de surveillance sur le turbocompresseur composé de :

- ✓ Un compresseur axial divisé en deux groupes d'étages que le fluide parcourt dans le sens axial. Son rôle est de comprimer l'air à une pression de service de 7,95 bar;
- ✓ Une turbine à vapeur, dont la pression de la vapeur est de 42 bar à l'aspiration et 0.098 bar à l'échappement;

turbine à gaz résiduaire, dans laquelle les gaz résiduaire venant d'un processus chimique sont détendus et l'enthalpie de ces gaz est transformée en énergie cinétique.

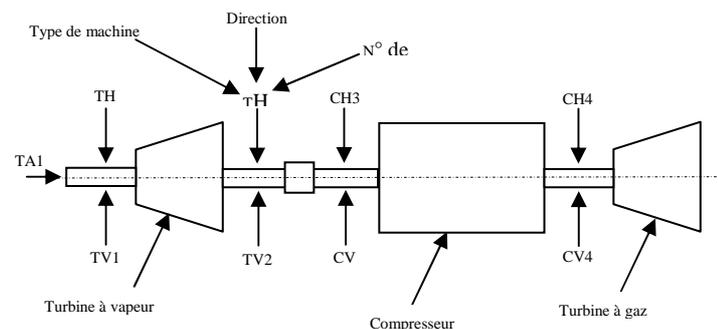


Fig. 1. Schéma turbo compresseur.

3. Méthodologie :

A. Analyse vibratoire :

Toute machine induit des forces internes qui se manifestent dans un environnement extérieur. Donc et par conséquent l'analyse des signaux issus des capteurs donne des informations sur l'état de la machine. Pour cela existe deux volets pour l'exploitation des résultats d'analyse vibratoire [2] :

- ✓ la mesure de niveau global permet de qualifier un état général par comparaison à des normes ou à des mesures précédentes;
- ✓ l'analyse spectrale permet de diagnostiquer l'origine des défauts et de suivre l'évolution en fonction du temps.

Les défauts susceptibles d'affecter le turbocompresseur se traduisent par une variation des efforts internes que subit ce dernier, et donc une modification de son comportement vibratoire. En plaçant des accéléromètres aux endroits où se transmettent ces efforts (**les paliers**), on peut alors suivre l'état de santé de l'équipement.

Notre étude consiste à suivre le niveau global vitesse efficace de la vibration de la machine et de l'utiliser pour l'élaboration des courbes de tendance du niveau vibratoire.

Les courbes de tendances du niveau vibratoire, ne sont réellement exploitables en pratique que dans le cas d'une surveillance continue, pour cela on va essayer de présenter leur intérêt dans une surveillance hors ligne, ainsi que la possibilité de faire un diagnostic à travers ces courbes.

B. Analyse d'huile :

L'analyse vibratoire est également très utilisée en complément des autres méthodes, lorsque celles-ci ne suffisent pas à réaliser un diagnostic et c'est notamment le cas de **l'analyse d'huile** qui détecte de manière précoce la dégradation d'un lubrifiant par exemple.

La lubrification est la première opération de maintenance, et elle est indispensable pour réduire le frottement, les pertes d'énergie, et l'usure des organes en contact.

Deux paramètres importants conditionnent la lubrification correcte des machines tournantes [3] : l'état du lubrifiant et l'état des surfaces lubrifiées. Les analyses présentées dans cette communication permettent de déterminer les caractéristiques physico-chimiques du lubrifiant à fin de contrôler soit sa dégradation, soit sa contamination.

4. Résultats :

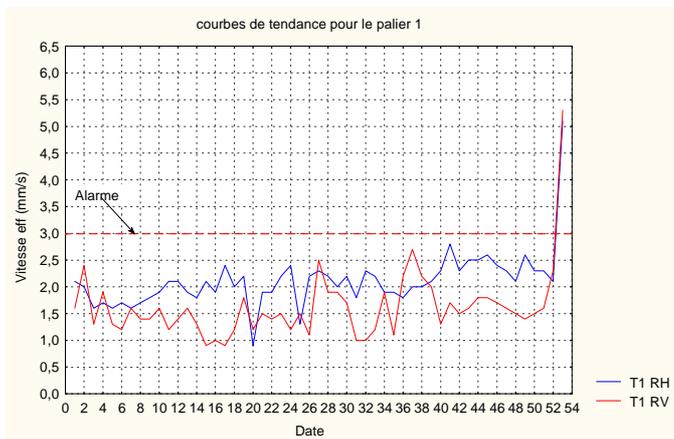


Fig. 2a. Courbes de tendance du niveau vibratoire palier 1 turbine lors de l'évolution.

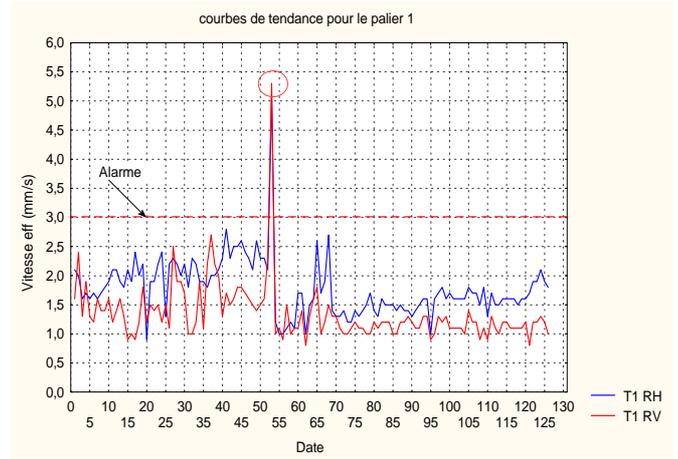


Fig. 2b. Courbes de tendance du niveau vibratoire palier 1 turbine avant et après l'évolution.

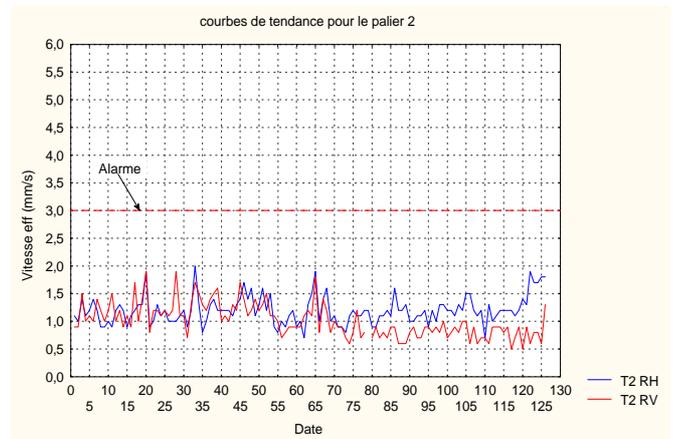


Fig. 3. Courbes de tendance du niveau vibratoire palier 2 turbine.

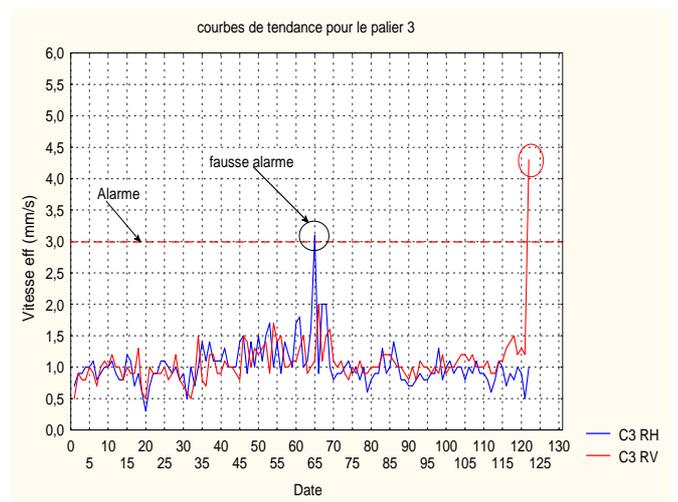


Fig. 4. Courbes de tendance du niveau vibratoire palier 3 compresseur.

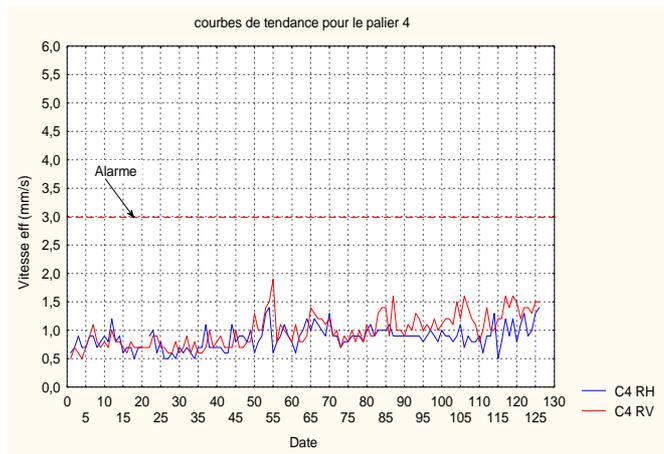


Fig. 5. Courbes de tendance du niveau vibratoire palier 4 compresseur.

TABLEAU I  
SEUILS POUR ANALYSES D'HUILE.

Mesures	Seuils
La viscosité (sct)	$46 < V > 93$
La masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	$855 < \rho > 895$
La teneur en eau (ppm)	< 200
Acidité (mg KOH/g d'huile)	< 0,18
Le point d'éclair (c°)	> 216

TABLEAU II  
RESULTATS DES ANALYSES SUR HUILE NEUVE.

Mesures	Résultats	Remarques
La viscosité (sct)	49,80 sct	Bon
La masse volumique (Kg/m <sup>3</sup> )	860 Kg/m <sup>3</sup>	Bon
La teneur en eau (ppm)	177 ppm	Bon
Acidité (mg KOH/g d'huile)	0,08 mg KOH/g d'huile	Bon
Le point d'éclair (c°)	220 c°	Bon

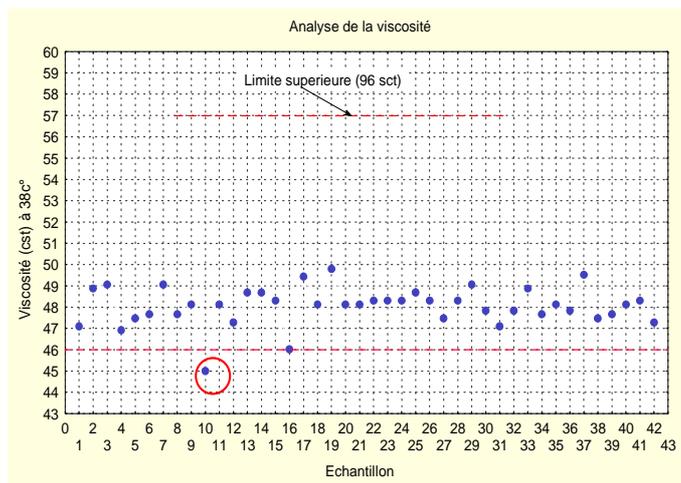


Fig. 6. Analyse de la viscosité (sct).

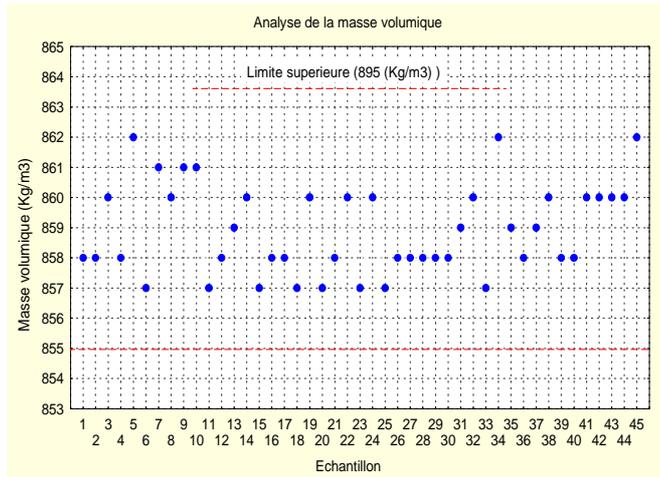


Fig. 7. Analyse de la masse volumique (Kg/m<sup>3</sup>).

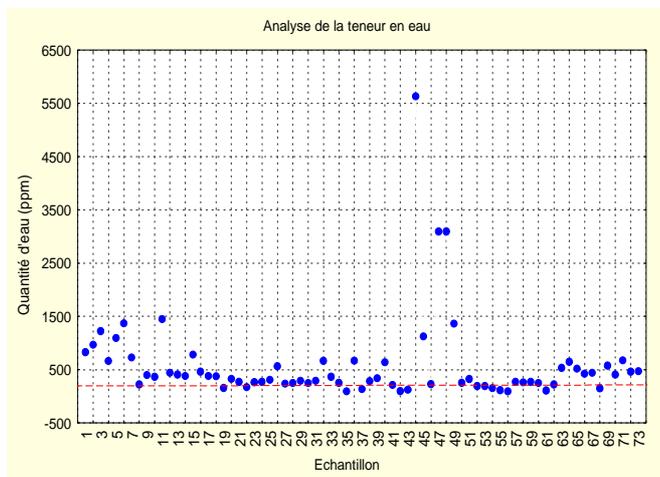


Fig. 8. Analyse de la teneur en eau (ppm).

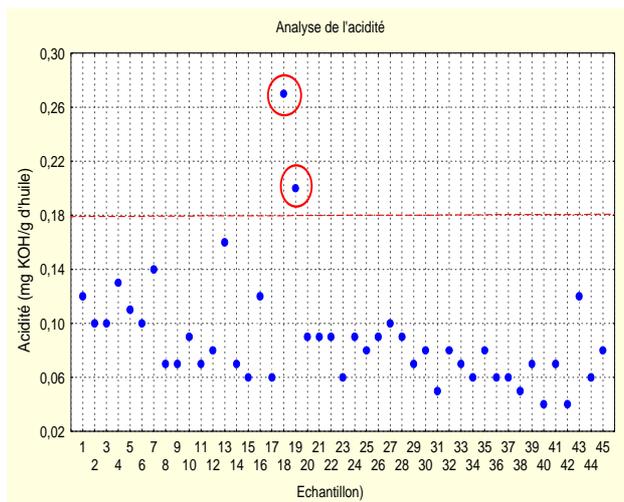


Fig. 9. Analyse de l'acidité (mg KOH/g d'huile).

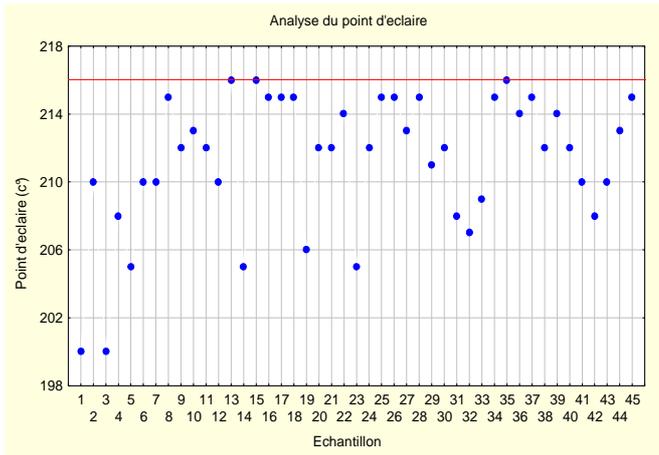


Fig. 10. Analyse du point d'éclair (c°).

5. Analyse des résultats :

Avant de commencer les analyses des résultats il faut y avoir quelques informations sur la machine qui sont : le type de la machine (compresseur), et la fiche de défauts susceptibles d'affecter cette dernière.

La figure (Fig. 2.a.) représente les courbes de tendance du niveau vibratoire pour le premier palier coté turbine. Sur cette figure on voit une brutale augmentation de la valeur de la vitesse efficace dans les directions radiale horizontale et radiale verticale et quelles sont respectivement de : 5,1 mm/s et 5,3 mm/s. En plus il y a un dépassement de seuil d'alarme qui est de 3 mm/s vitesse efficace ce qui traduit une anomalie sur la turbine.

Revenant maintenant à la cause de cette augmentation brutale des deux mesures radiales dans les deux sens orthogonaux. Au départ l'évolution à été dans les deux sens radiale horizontale et radiale verticale, dans la deuxième période de la journée il y a l'apparition d'une évolution de la vibration dans le sens axial de 3,4 mm/s.

L'existence de la vibration dans le sens axial élimine le tourbillon d'huile et le balourd, normalement le défaut n'est pas un défaut d'alignement vu qu'il n'est pas du coté de l'accouplement et vu que les mesures des vibrations pour le palier coté accouplement sont stable (voir Fig. 3.) ce qui confirme que le défaut est une excitation hydrodynamique.

La figure (Fig. 4.) représente les courbes de tendance du niveau vibratoire pour le palier (C3) n°3 du compresseur coté accouplement. Sur cette figure on remarque deux dépassements de seuil le premier pour une valeur de 3,1 mm/s dans la direction radiale horizontale, et le deuxième pour une valeur de 4,3 mm/s dans la direction radiale verticale.

Concernant le premier dépassement; la valeur de 3,1 mm/s passe à 2,2 mm/s pour la collecte suivante; valeur acceptable. Et là on fait le point sur l'intérêt d'associer une alarme type pourcentage d'évolution par rapport à la valeur précédente à une alarme de type seuil; puisque l'évolution pour la valeur de 3,1 mm/s et de 34,78% valeur encore acceptable.

Passant maintenant à la valeur de 4,3 mm/s, qui représente une augmentation marquée pour la mesure dans le sens radial vertical par rapport à la mesure radiale horizontale.

Cette mesure représente 258,33%, évolution très alarmante et très inquiétante. Cependant la faible évolution de l'indicateur en direction horizontale permet d'exclure le

déséquilibre comme cause de l'anomalie; en plus que la vibration est radiale et que le compresseur utilisé est de type axial, l'alarme est suivie d'un bruit au niveau du compresseur ce qui confirme un phénomène de pompage.

Revenant maintenant à l'analyse d'huile; en plus du suivi de la santé du lubrifiant (figure de Fig. 6. à Fig. 10.) on peut corréler un paramètre qui représente une caractéristique de l'huile avec l'évolution des vibration a l'aide de quelques outils statistiques, pour confirmer notre pré-diagnostic, et dire que la chute de viscosité n'est pas la cause de l'évolution de l'indicateur vibratoire (palier à huile).

Coefficient de corrélation :

On définit le coefficient de corrélation par l'expression :

$$\rho = \frac{C}{\sigma_x \sigma_y} \tag{1}$$

Avec C covariance,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  écarts-types.

Quelle que soit la loi de probabilité du couple de variables aléatoires viscosité et vibration,  $\rho$  est compris entre - 1 et + 1 et :

- ✓  $\rho = 0$  si X et Y sont indépendantes entre elles;
- ✓  $|\rho| = 1$  si X et Y sont liées par une relation fonctionnelle (modèle mathématique).

Pour les mesures en vibration nous nous sommes intéressés que par le cas de la direction où il y a une évolution significative d'un comportement anormal. Donc on va étudier les corrélations :

- ✓ viscosité - T1 RH : ( $\rho_1$ );
- ✓ viscosité - T1 RV : ( $\rho_2$ );
- ✓ viscosité - C3 RV : ( $\rho_3$ ).

Après analyse on trouve :

1. le coefficient de corrélation  $|\rho_1| = 0,357631$ .
2. le coefficient de corrélation  $|\rho_2| = 0,303363$ .
3. Le coefficient de corrélation  $|\rho_3| = 0,011602$ .

Ces résultats montrent que le coefficient de corrélation est petit ce qui nous permet de juger que les deux variables sont d'une dépendance minimale et de là on peut conclure que la cause de l'évolution n'est pas la viscosité de l'huile c-a-d; la diminution de la portance hydrodynamique (contact métal-métal)

6. Conclusion :

Les figures 2, 3, 4, et 5 illustrent la nécessité d'effectuer les mesures en vibration selon deux directions radiales orthogonales. En plus Sur la figure 4 notamment nous avons pris une conclusion sur l'utilisation des alarmes de types pourcentage d'évolution au lieu des alarmes de type seuil afin d'éviter les fausses alarmes.

Revenant maintenant à l'analyse d'huile; en plus du suivi de la santé du lubrifiant (de Fig. 6. a Fig. 10.), on peut corréler un paramètre qui représente une caractéristique de l'huile avec l'évolution des vibration a l'aide de quelques outils statistiques, comme le cas de la corrélation de la

viscosité et la vibration présentée en fin de cet article pour confirmer ou infirmer un diagnostic.

Les études statistiques sont vivement recommandées dans le cadre d'une maintenance préventive puisque on travail avec des données (population et échantillon) qui peuvent être exploitées pour la recherche des modèles mathématiques dans le cas ou une forte liaison stochastique est imposée; on outre nous marquons le point sur l'utilisation des systèmes experts qui facilite et qui aide au diagnostic.

#### Bibliographie :

- [1] : Alain Boulenger – Christian Pachaud. "Analyse vibratoire en maintenance - Surveillance et diagnostic des machines", Dunod 2003.
- [2] : Jean Héng. "Pratique de la maintenance préventive", Dunod 2002.
- [3] : Gilles Zwingelstein. "Diagnostic des défaillances – théorie et pratique pour les systèmes industriels", Hermès 1995.