

Chapitre N°02: Techniques de Surveillances

I. Surveillance des équipements

La surveillance des matériels permet de diminuer le niveau de maintenance systématique sans prendre de risque supplémentaire car on continue à s'assurer que le matériel ne présente pas d'anomalie. On peut donc diminuer les coûts, si toutefois le coût du matériel de surveillance reste limité.

Elle s'intègre dans la politique de maintenance prédictive et doit assurer :

- **la prévention** des risques majeurs (arrêt des machines) lorsque les conditions de sécurité (pour l'homme ou pour la machine) ne sont pas satisfaites ;
- **la détection** précoce des anomalies, pour éviter au maximum les avaries en remplaçant les composants défectueux si possible avant incident et au meilleur moment ;
- **l'analyse après incident**, pour remédier aux défauts constatés, et éviter de les retrouver à l'avenir, ou définir les modifications nécessaires. Le niveau de performance initial, quel que soit le paramètre surveillé, s'appelle aussi « **signature** » de l'équipement : c'est la référence de bon fonctionnement de celui-ci pour le point sensible surveillé. Les mesures peuvent être :
 - visuelles (examen de l'usure par la mesure d'une cote, observation d'un jeu mécanique, d'une courroie détendue, etc..),
 - réalisées à partir d'appareils de mesures (voltmètre, oscilloscope, analyseur de spectre, radiographie, comptage de particules, etc..),
 - visualisables grâce à des capteurs pré-réglés (témoin de plaquette de frein sur une voiture, témoin de température, etc..).

I.1. Méthodes de surveillance

I.1.1 La surveillance périodique (Systématique)

Le suivi périodique (offline) de l'évolution des paramètres, (vibration, analyse de lubrifiant, etc.), permet de détecter l'apparition de défauts à évolutions lente.

La périodicité des prélèvements des indicateurs est variable, elle varie entre deux semaines et six mois suivant la vitalité et le coût des machines en cause. La fréquence peut être accélérée si les symptômes précoces le justifient.

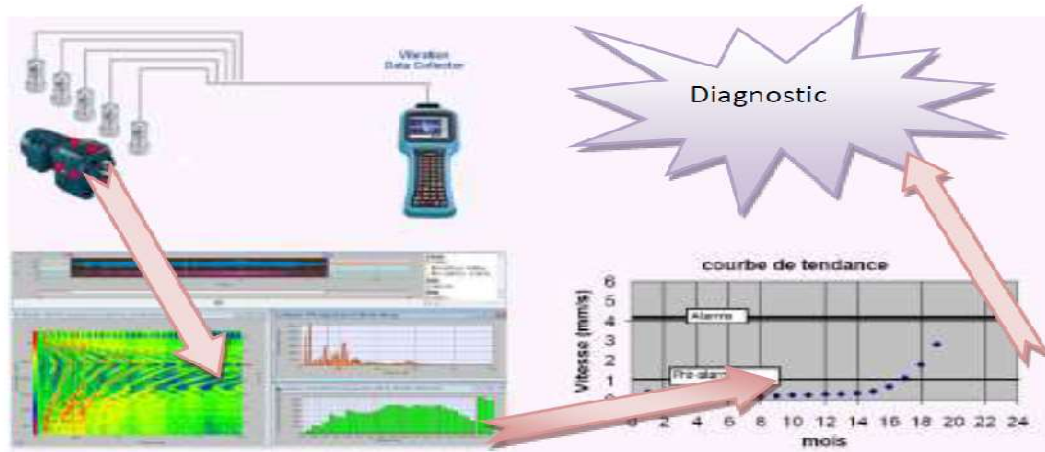


Figure II.1 : Surveillance offline

I.1.1 La surveillance continue

Le suivi continu (on-line), comme le précédent, permet de suivre l'évolution de l'ensemble des paramètres; il présente, en plus, l'avantage de détecter des défauts à évolution rapide et d'assurer la sécurité des installations par déclenchement de la machine à l'approche d'un seuil réputé dangereux.

Les capteurs délivrent de manière continue une information, donc dans ce cas l'intervalle de temps d'acquisition tend vers zéro. A la limite, on est capable de suivre sur écran ou sur traceur la loi de dégradation du matériel.

La surveillance continue permet donc de suivre des défauts à évolution rapide. L'intervention préventive est alors signalée par une alarme. Cette alarme peut interrompre l'équipement si nécessaire (pour cause de sécurité par exemple). C'est certainement la forme la plus moderne de la maintenance. On y retrouve bien sûr, l'aspect maintenance conditionnelle et aussi la notion de surveillance auxquels on va associer le pouvoir de décision et d'ordonnancement.

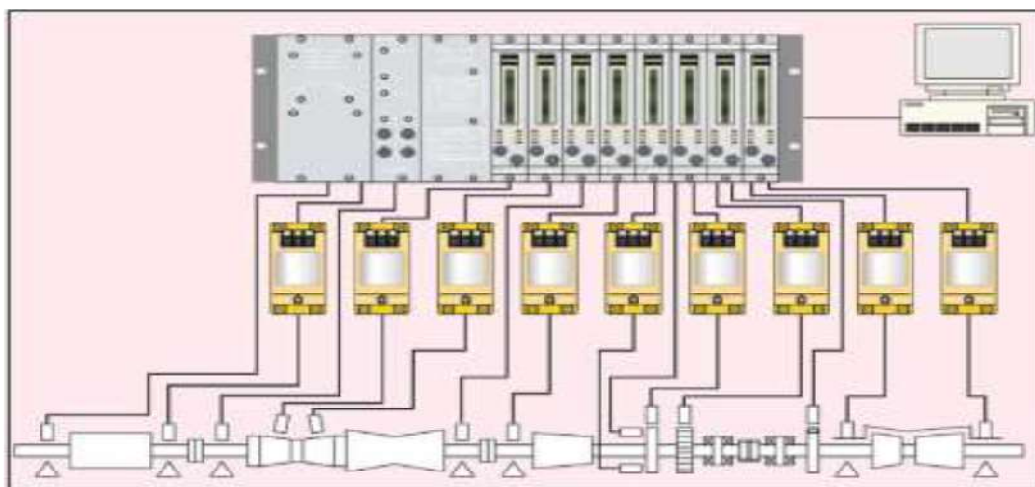


Figure II.2 : Surveillance on-line

Les défaillances de type explosif qui se manifeste soudain (perte brutale d'aubages de turbine, éclatement d'un flexible) ne sont pas détectables de manière précoce.

I.2. Indicateurs de surveillance

Les indicateurs de surveillance sont des quantificateurs plus ou moins élaborés, issus d'une grandeur physique. Leurs acquisitions sont souvent possibles en fonctionnement. Ils doivent caractériser un ou plusieurs aspects de l'état de l'équipement ou de sa performance. Leurs évolutions ou transformations dans le temps doivent être significatives de l'apparition ou de l'aggravation d'une dégradation ou d'un dysfonctionnement tel que :

- ☐ La température d'un palier.
- ☐ Le taux de concentration dans le lubrifiant de particules métalliques.
- ☐ Le bruit et les vibrations générées par son fonctionnement.
- ☐ Le rendement mécanique ou thermodynamique d'une machine.
- ☐ L'amplitude de variation de vitesse de rotation instantanée.
- ☐ Le taux de rebuts de fabrication...

I.3. Notion de seuils

A chaque indicateur est associé un seuil dont la valeur dépend :

- ☐ De la nature des défauts associés
- ☐ Du type de la machine surveillée
- ☐ Des conditions de fonctionnement

Tant que la valeur d'un indicateur n'excède pas une valeur prédéfinie ou un seuil, l'installation est considérée en bon état. Aucune investigation complémentaire, arrêt pour inspection ou intervention corrective n'est à envisager. Le choix de la valeur du seuil est donc un acte fondamental:

- Une valeur trop basse entraîne des alarmes non justifiées ; Surveillance et Maintenance prédictive
- Une valeur trop élevée rend la détection précoce d'un défaut impossible et une panne peut se produire sans la moindre alarme préalable.

Les systèmes de surveillance offrent souvent au moins deux seuils :

- Le seuil d'alarme dont le dépassement doit déclencher une procédure de diagnostic afin de localiser, voire déterminer l'origine exacte de l'anomalie.
- Le seuil de danger dont le dépassement nécessite un diagnostic immédiat et souvent l'arrêt immédiat de l'installation, il s'agit alors d'une action de mise en sécurité de l'installation.

II. Techniques de surveillance

II.1. Analyse vibratoire

L'analyse vibratoire permettra de mettre en évidence un grand nombre de problèmes entraînant une diminution de la durée de vie des éléments de la machine. Les défauts détectés par analyse vibratoire sont :

- ❖ résonance de structure,
- ❖ jeu de palier,
- ❖ balourd ou déséquilibre de masse,
- ❖ mauvaise fixation,
- ❖ défauts de roulements,
- ❖ distorsion ou tension trop élevée des courroies,
- ❖ mauvais alignement d'une ligne d'arbre,
- ❖ défauts d'engrenage....

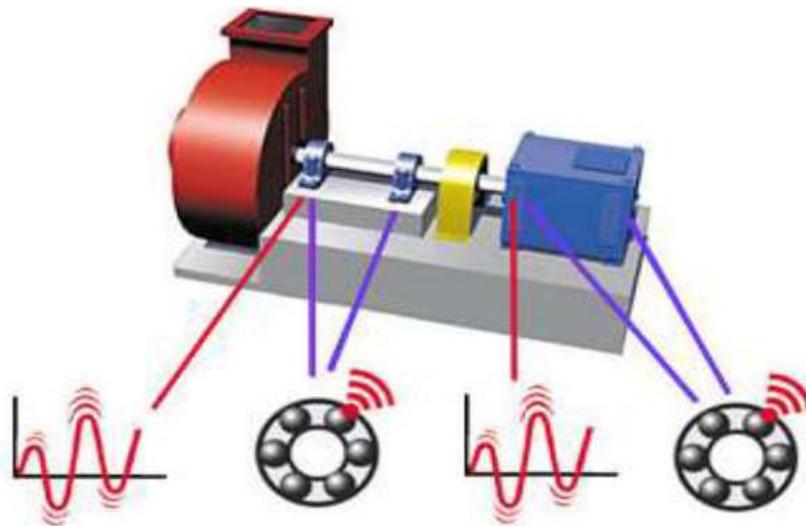


Figure II.3 : Sources de vibration

II.2 Thermographie infrarouge

On peut procéder à la mesure de la température grâce aux techniques de thermographie infrarouge. Ces techniques permettent de mesurer les luminances, d'établir une cartographie (zones isothermes) et de suivre son évolution dans le temps. En maintenance, il ne s'agit pas de connaître avec la plus grande précision la température absolue d'un point, mais plutôt d'identifier les zones thermiques anormales et de quantifier l'urgence d'intervention.

Exemples d'utilisation :

- ❑ détection des points chauds dans les équipements électriques (conducteurs sous-dimensionnés, cosses mal vissées, etc..) ou mécaniques (dégradation d'un palier),
- ❑ détection des ponts thermiques et donc d'absence d'isolation thermique pouvant être néfaste aux composants électroniques sensibles voisins,
- ❑ détection des fuites thermiques dans les fours, canalisations, etc...

La thermographie infrarouge est coûteuse, mais c'est un outil très polyvalent.

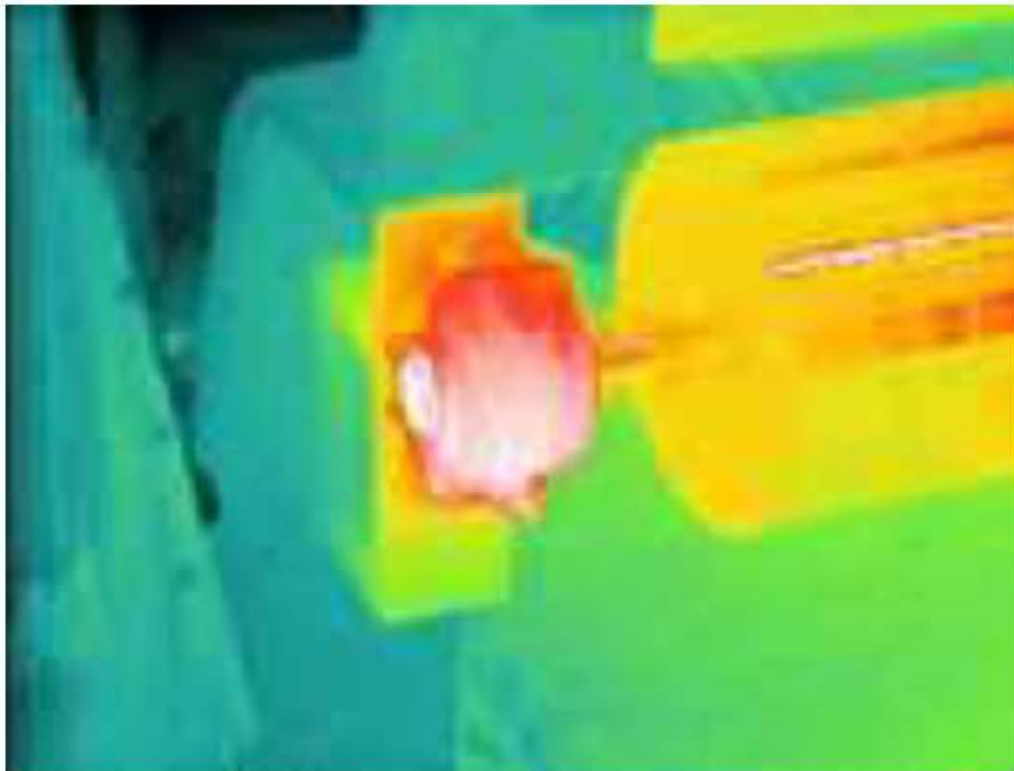


Figure II.4 : Défaut sur un palier

II.3 Mesure ultrasonore

Certains instruments ultrasonores sont sensibles à la détection d'émissions sonores de très hautes fréquences comprises entre 20 kHz et 100 kHz. Cette large bande de détection accroît la pertinence du diagnostic.

Les signaux sont alors transformés par hétérodynage en fréquences audibles.

La technique consiste à émettre une onde ultrasonore et à mesurer le temps de réception des échos de l'onde à l'aide d'un capteur piézoélectrique.

Les Ultrasons dit "classiques" permettant de détecter des indications au cœur de la matière en utilisant des traducteurs de type Ondes longitudinales ou à Ondes transversales.

Les mesures d'épaisseurs permettent de vérifier l'usure et l'épaisseur restante d'un matériel. (en établissant si besoin, une cartographie des zones examinées et d'étudier son évolution dans le temps).

II.4 Analyse des huiles

La surveillance des lubrifiants industriels consiste à mesurer l'état de dégradation et de contamination des lubrifiants pour connaître leur capacité à assurer correctement leur fonction. La mesure de la teneur en résidus des huiles et lubrifiants est utilisée comme un bon indicateur des défauts d'usure dans les systèmes mécaniques. Les facteurs responsables de dégradation d'un lubrifiant sont :

- la pollution par des liquides (eau, solvants),
- la pollution par des particules (poussières, matériaux plastiques, fibres, etc..) causée par le processus lui-même et son environnement,
- les particules métalliques dues à l'usure ou la corrosion provenant des composants parcourus par le lubrifiant,
- l'oxydation, en présence d'air ou d'atmosphère corrosive, surtout lorsque les variations de température sont importantes.

La quantité de particules est un indicateur précieux de l'état de dégradation d'une machine.

Le type de particules indique en effet la provenance de l'usure, donc la pièce défaillante. Ces analyses peuvent être réalisées en laboratoire grâce à des kits spécifiques d'analyse : centrifugation, gravimétrie, filtration, etc. Ce type d'analyse est parfaitement adapté au contrôle des circuits hydrauliques (presses, robots, etc..) et toutes les machines utilisant l'huile comme lubrifiant (groupe électrogène, compresseur d'air, etc..).

II.5. Analyse du bruit

Le changement de bruit est souvent un phénomène créé par une défaillance et la mesure du bruit des machines par mesure des vibrations [ISO 7849 (1987)] peut être un indice de défectuosité. Le stéthoscope, qui comprend un casque et une sonde, est un instrument qui permet par contact de détecter les composants défectueux par l'écoute des bruits de la machine, pour des fréquences variant entre 30 et 15 000 Hz.

La technique consiste à comparer subjectivement les bruits avec des bruits de référence déjà préenregistrés.

III. Analyse prévisionnelle des défaillances : (AMDEC)

(Analyse des Modes de Défaillances de leur effet et de leur Criticité)

III-1 Définition :

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement des produits et des équipements. Ce principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de réalisation d'un produit. C'est une méthode précieuse qui permet à l'entreprise de valider, tout au long de la construction du produit, sa qualité et sa fiabilité :

- Elle identifie les modes de défaillance des composants, en évalue les effets sur l'ensemble des fonctions et en analyse les causes.
- Elle évalue l'impact, ou criticité, de ces modes de défaillances sur la sûreté de fonctionnement.
- En phase de conception, elle est associée à l'Analyse Fonctionnelle, pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction ou contrainte des composants.
- Dans le cas d'analyse sur des procédures ou chaînes de fabrication, elle permet de localiser les opérations pouvant conduire à élaborer un produit ne respectant pas le cahier des charges, ce qui permettra par la suite de limiter les rebuts.
- Appliquée à un groupe de travail pluridisciplinaire, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets ; elle contribue donc à la construction et à l'amélioration de la qualité.

Il existe plusieurs types d'AMDEC dont les deux suivantes :

- **AMDEC machine** (ou moyen de production) : on identifie les défaillances du moyen de production dont les effets agissent directement sur la productivité de l'entreprise. Il s'agit donc de l'analyse des pannes et de l'optimisation de la maintenance.
- **AMDEC procédé** : on identifie les défaillances du procédé de fabrication dont les effets agissent directement sur la qualité du produit fabriqué (les pannes ne sont pas prises en compte).

III.2 Historique :

Elle trouve son origine dans les années 1950, sous le nom de FMEA (Failures Modes and Effects Analysis). Utilisée exclusivement aux USA et au Japon pour améliorer la fiabilité des produits de haute technicité (armement, avionique, spatial), elle fait son apparition en Europe en 1970 dans l'industrie nucléaire (du militaire vers le civil).

Le grand essor de l'AMDEC est dû à sa mise en œuvre généralisée dans l'industrie automobile (à partir de 1979 chez Ford et 1982 chez les constructeurs français) ; tous les sous traitants ont dû suivre. Conformément au QS 9000 (équivalent de l'ISO 9000 pour l'automobile), les fournisseurs automobiles devaient utiliser la planification qualité du procédé (APQP), incluant l'outil AMDEC et développant les plans de contrôle. Les industries électroniques, puis les industries mécaniques se sont inscrites ensuite dans cette démarche (apparition de la notion de sécurité des biens et des personnes).

III.3 Démarche de la méthode AMDEC :

L'AMDEC est une technique d'analyse exhaustive et rigoureuse de travail en groupe : chacun y met en commun son expérience et sa compétence. Mais, pour la réussir, il faut bien connaître le fonctionnement du système qui est analysé ou avoir les moyens de se procurer l'information auprès de ceux qui la détiennent. Elle comporte cinq étapes :

- Etape 1 : préparer l'étude.
- Etape 2 : réaliser l'analyse fonctionnelle.
- Etape 3 : réaliser l'analyse qualitative des défaillances.
- Etape 4 : évaluer la criticité.
- Etape 5 : définir et suivre un plan d'actions correctives et préventives.

a- Etape 1 : Préparation de l'étude

Lors de la première étape de préparation, il faudra d'abord valider l'objectif de l'étude : pourquoi effectue-t-on cette étude ? L'objectif va dépendre du contexte de l'étude :

- Amélioration de la fiabilité du produit,
- Amélioration de la disponibilité du moyen de production,
- Amélioration de la disponibilité du service.

On commence tout d'abord par constituer le groupe de travail. L'AMDEC fait appel à l'expérience, pour rassembler toutes les informations que détiennent les uns et les autres, mais aussi pour faire évoluer les conclusions que chacun en tire et éviter que tous restent sur leur a priori. Les méthodes de travail en groupe doivent être connues et pratiquées afin d'assurer une efficacité optimale en groupe. C'est un critère de réussite essentiel.

A – Les acteurs de la méthode

1. Le demandeur (ou pilote) : c'est la personne ou le service qui prend l'initiative de déclencher l'étude. Il est responsable de celle-ci jusqu'à son aboutissement. Il en définit le sujet, les critères et les objectifs. Il ne doit pas être le concepteur pour garantir l'indépendance des jugements.

2. Le décideur : c'est la personne responsable dans l'entreprise du sujet étudié, et qui, en dernier recours et à défaut de consensus, exerce le choix définitif. Il est responsable et décideur des coûts, de la qualité et des délais.

3. L'animateur : c'est le garant de la méthode, l'organisateur de la vie du groupe. Il précise l'ordre du jour des réunions, conduit les réunions, assure le secrétariat, assure le suivi de l'étude. Très souvent, c'est un intervenant extérieur, ou du moins extérieur au service de façon à pouvoir jouer les candides.

4. Le groupe de travail : 2 à 5 personnes en général, responsables et compétentes, ayant la connaissance du système à étudier et pouvant apporter les informations nécessaires à l'analyse (on ne peut bien parler que de ce que l'on connaît bien).

Selon l'étude (produit, procédé ou moyen de production), ce seront des représentants du design, du marketing, du bureau d'études, du service qualité, du service achat, de la production, de la maintenance ou des experts du domaine étudié.

B - Planification des réunions

Comme il est difficile de réunir 5 à 8 personnes d'un certain niveau (elles sont souvent peu disponibles), on planifie les cinq phases, de la « préparation » jusqu'aux « actions menées » en respectant une fréquence d'une demi-journée tous les 15 jours en général.

C – Limitations de l'étude

Il est nécessaire de limiter le champ et la durée de l'étude. Un champ d'étude trop important conduira à un exercice harassant pour un résultat médiocre. Une durée d'étude de 2 à 3 mois est tout à fait raisonnable.

D – Constitution du dossier AMDEC

Dans cette phase, on effectue la collecte des données nécessaires à l'étude :

- Cahier des charges ou spécifications du produit,
- Plans, nomenclature, gammes de fabrication, spécifications,
- Calculs et leur vérification (chaîne de cotes),
- Contraintes de fabrication,

- Défaillances observées (retours clients, rebut de production),
- Essais de fiabilité, résultats de test,
- Relevés statistiques d'exploitation, historiques des pannes,
- Probabilités de défaillances liées à la technologie,
- Objectifs qualité.

E - Fin de l'étape 1 : fiche de synthèse

Cette fiche (Figure II.5) accompagne l'étude tout au long de sa durée. On y retrouve toute la phase d'initialisation ainsi que le suivi de l'étude. Elle est à remplir par l'animateur lors d'un entretien avec le demandeur et complétée avec le décideur. Son but est de formaliser sur un document les points clés de l'étude AMDEC.

Synthèse d'étude AMDEC										Date :		Nom :	
Raison sociale du client :										Pilote :			
Objectifs :										Décideur :			
Type de fabrication :													
Objectifs de l'étude :										Limites de l'étude			
Causes de l'étude :													
Planning	Prévisionnel									Participants : (nom + téléphone)			
	Semaines												
	Réalisé												
	Légende	Début : I		Réunion : R		Fin : F		Suivi : S		Animateur :			
R I L A N	Initial		Evolution de la criticité								Observations :		
	Date :		C0	C1	C2								
	Nombre de causes	Total											
		Criticité > limite											
		%											

Figure II.5 : Fiche de synthèse AMDEC

b- Etape 2 : Analyse fonctionnelle

L'objectif final de l'étape 2 est la réalisation d'un dossier complet sur le système étudié. Ce dossier comprend :

- la feuille de synthèse de l'état actuel de l'étude AMDEC,
- ce que l'on connaît sur les fonctions à étudier,
- ce que l'on connaît sur l'environnement du système,
- les objectifs de qualité et de fiabilité (conception), le TRS (en production), etc..
- l'analyse fonctionnelle,
- les historiques (lien GMAO-AMDEC),
- le plan de maintenance préventive,
- le conditionnement du produit (marketing).

c- Etape 3 : Analyse qualitative des modes de défaillance

A partir de l'analyse fonctionnelle, la démarche consiste en :

- Une recherche des modes de défaillance (par exemple perte de fonction, dégradation d'une fonction, pas de fonction, fonction intempestive),
- Une recherche des causes (choix pouvant être guidé par la gravité des conséquences),
- Une étude des effets.

A – Recensement des modes de défaillance

Exemples : perte de fonction, dégradation d'une fonction, pas de fonction, fonction intempestive.

B – Recherche des causes de défaillances

Une cause est l'anomalie initiale pouvant entraîner le mode de défaillance. Dans cette phase, il faut chercher de manière exhaustive les causes pouvant déclencher l'apparition potentielle du mode de défaillance. Le diagramme d'Ishikawa est l'outil de recensement par excellence.

C – Etude des effets

Un effet est une conséquence défavorable que le client pourrait subir (mécontentement, défaut qualité, arrêt de production). Selon le type d'AMDEC réalisée, le client est l'utilisateur final ou toute opération postérieure à celle exécutée au moment de l'apparition de l'effet. Chaque mode de défaillance provoque un effet, c'est à dire qu'il y a une conséquence sur la fonction, le niveau supérieur, sur l'étape suivante ou sur le système environnant. En fait, il est souvent difficile de différencier mode, effet et cause de défaillance. Il vaut mieux raisonner par niveau d'analyse (figure II.6).

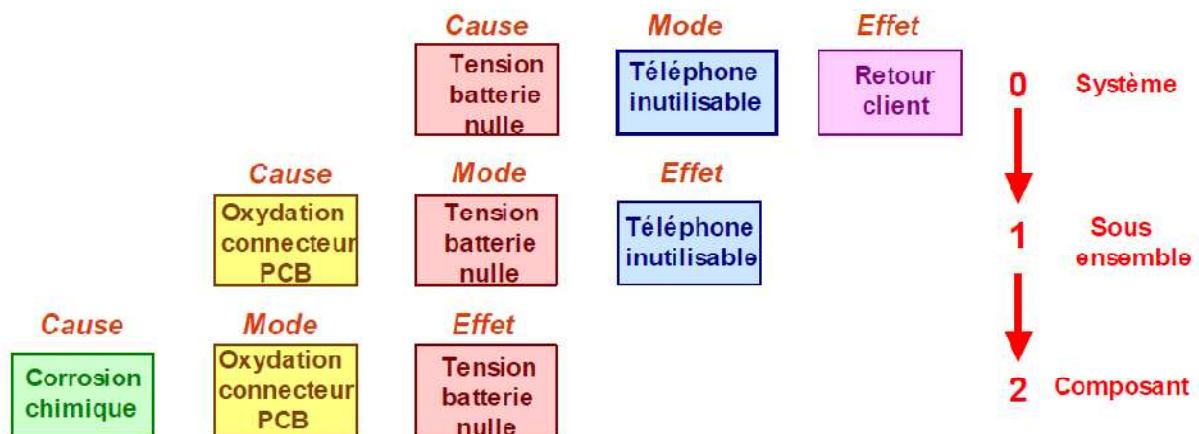


Figure II.6 : Niveaux d'analyse

D – Fin de l'étape 3 : la grille AMDEC

Un des moyens de rassembler les idées du groupe de travail est la grille AMDEC. Elle concrétise l'analyse sous la forme d'un tableau faisant apparaître, pour chaque élément traité, ses modes de défaillance, leurs causes, leurs effets et les moyens de les détecter.

La grille AMDEC typique (Figure II.7) comprend 7 colonnes : le nom de l'élément ou du composant, la fonction, le mode de défaillance, la cause de la défaillance, son effet, sa non-détection, la cotation de la criticité. Elle peut être complétée par une colonne indiquant les actions préventives pouvant être apportées.

On différencie souvent les modes, causes et effets par des couleurs afin de bien les mettre en évidence. L'ordre « mode, cause, effet » est volontaire. Les effets du mode ainsi que la non-détection seront ressentis directement par l'utilisateur. La cotation de la fréquence, de la gravité et de la non-détection va permettre une hiérarchisation des différentes défaillances.

Elément		Défaillances				Criticité				Décisions de maintenance
Désignation	Fonction	Mode de défaillance	Cause de la défaillance	Effet	Détection	F	G	N	I	

Figure II.7: Structure d'une grille AMDEC

d- Etape 4 : Evaluation de la criticité

A – Notion de criticité

La criticité permet de quantifier la notion de risque. Dans une étude AMDEC, elle est évaluée à partir de la fréquence de la défaillance, de sa gravité et de sa probabilité de non détection.

Elle détermine le choix des actions correctives et préventives à entreprendre et fixe la priorité entre ces actions. C'est un critère pour le suivi de la fiabilité prévisionnelle de l'équipement.

La cotation de la criticité permet une hiérarchisation des différentes défaillances et donc de planifier les recherches d'amélioration en commençant par celles qui ont la criticité la plus élevée. On prend alors les décisions qui s'imposent et on met en œuvre ces améliorations.

Un programme de suivi est ensuite nécessaire si l'on veut pouvoir évaluer l'efficacité des améliorations : nouvelle mesure de la criticité et comparaison avec la valeur antérieure.

B – Cotation de la criticité

La cotation s'effectue sur la base de trois critères : la fréquence F d'apparition de la cause de défaillance, la gravité G de ses effets et sa non-détection N.

- Fréquence F d'apparition de la cause de défaillance : La cause de défaillance peut apparaître à l'utilisation, à la fabrication ou à la conception d'un produit. C'est la probabilité P pour que la cause se produise et qu'elle entraîne le mode de défaillance concerné. On écrit que $P = P1 \times P2$ avec P1 = probabilité que la cause de défaillance survienne et P2 = probabilité que la défaillance survienne lorsque la cause est présente.

- Gravité G des effets de la défaillance : La gravité est une évaluation de l'importance des effets de la défaillance potentielle sur le client. La cause n'a pas d'incidence sur la gravité de la défaillance.

- Non-détection N de la défaillance : Ce critère rend compte de la probabilité qu'a la défaillance de ne pas être détectée par l'utilisateur lors de contrôles (lors de la conception d'un produit, de sa fabrication ou de son exploitation) alors que la cause et le mode sont apparus.

** Cotation des critères :*

Pour évaluer ces trois critères, on utilise des grilles de cotation qui peuvent être définies par l'entreprise ou alors reprises dans certains ouvrages spécialisés (Figure II.8).

** Expression de la criticité*

On obtient la criticité C par la formule :

$$C = G \times F \times N$$

Fréquence d'apparition F

F	Défaillance	Probabilité
1	Probabilité très faible : Défaillance inexistante sur équipement analogue Capabilité CP > 1,67	$\frac{1}{20000} < P < \frac{1}{10000}$
2	Probabilité faible : Très peu de défaillances sur équipement analogue ou sous contrôle statistique - Capabilité 1,33 < CP < 1,67	$\frac{1}{2000} < P < \frac{1}{1000}$
3	Probabilité modérée : Défaillances apparues occasionnellement sur équipement analogue - Capabilité 1 < CP < 1,33	$\frac{1}{500} < P < \frac{1}{200}$
4	Probabilité élevée : Défaillances fréquentes sur équipement analogue Capabilité 0,83 < CP < 1	$\frac{1}{100} < P < \frac{1}{50}$
5	Probabilité très élevée : Il est certain que la défaillance se produira fréquemment.	$\frac{1}{20} < P < \frac{1}{10}$

Gravité des effets

G	Client final ou atelier aval
1	Défaillance minimale – Le client ne s'en aperçoit pas – Aucune influence sur les opérations suivantes
2	Défaillance mineure que le client peut déceler, ne provoquant qu'une gêne légère et aucune dégradation ou perturbation notable des performances du produit ou du système
3	Défaillance avec signe avant-coureur qui mécontente le client ou le met mal à l'aise – Légère perturbation des flux de production
4	Défaillance sans signe avant-coureur provoquant un grand mécontentement du client et/ou des frais de réparation élevés – Perturbation importante du flux de production – Rebuts ou retouches importantes
5	Défaillance sans signe avant-coureur impliquant des problèmes de sécurité – Arrêt du processus de fabrication

Non détection des défaillances

F	Risque de laisser passer une défaillance	Probabilité
1	Probabilité très faible de ne pas détecter la défaillance avant que le produit ne quitte l'opération concernée – Contrôle automatique des pièces à 100%	$\frac{1}{20000} < P < \frac{1}{10000}$
2	Probabilité faible de ne pas détecter la défaillance – La défaillance est évidente, quelques défaillances échapperont à la détection (contrôle unitaire)	$\frac{1}{2000} < P < \frac{1}{1000}$
3	Probabilité modérée – Contrôle manuel difficile	$\frac{1}{500} < P < \frac{1}{200}$
4	Probabilité élevée Le contrôle est subjectif Echantillonnage mal adapté	$\frac{1}{100} < P < \frac{1}{50}$
5	Probabilité très élevée – La défaillance n'est pas apparente – Pas de contrôle possible	$\frac{1}{20} < P < \frac{1}{10}$

Figure II.8: Grille de cotation

e- Etape 5 : Définir et suivre un plan d'action préventive

Dans ce plan d'action vont figurer les actions préventives à mener pour diminuer le coefficient de criticité. Une diminution de la criticité pourra être obtenue en jouant sur un (ou plusieurs) terme(s) du produit (F x G x N).

Les actions seront d'ordre préventif ou correctif selon le cas. Elles visent à supprimer les causes de défaillance. L'essentiel de l'action doit porter sur la prévention d'une part et la diminution de la fréquence d'autre part. Pour suivre la mise en place des actions, on utilise un tableau AMDEC appelé aussi fiche de synthèse de l'AMDEC (Figure II.5). Après la mise en

place des actions, on évaluera la nouvelle criticité des défaillances. Si la criticité n'est toujours pas satisfaisante, on définira d'autres actions préventives.

3-4/ Apports et limites de l'AMDEC :

a- Apports :

A - Les apports indirects :

1. Augmentation du rendement.
2. Centralisation de la documentation technique.
3. Mise en place de fiches de suivi des visites de l'exploitant.

B - Impact sur la maintenance

1. Optimisation des couples Causes/Conséquences.
2. Amélioration de la surveillance et des tests.
3. Optimisation de la maintenance.

C - Impact sur la qualité

1. Meilleure adéquation matériel/fonctionnel.
2. Meilleure efficacité en développement/fabrication.
3. Meilleure efficacité en utilisation.

b- Quelques erreurs à éviter :

- Animateur du groupe de travail non compétent.
- Groupe de travail trop important.
- Se focaliser sur une défaillance externe à l'étude (sujet mal défini).
- Confondre AMDEC Moyen de production avec AMDEC Procédé.
- Oublier le client.

c- Les limites de la méthode AMDEC :

Bien que d'un usage généralisé, il serait inexact de prétendre que l'AMDEC est un outil universel. En fait l'AMDEC présente quelques limitations :

- Elle est tributaire d'une bonne analyse fonctionnelle ;
- Elle impose des travaux et une méthodologie demandant une préparation, une rigueur et parfois des moyens importants pour l'entreprise.
- Même si sa vocation est le traitement préventif des défaillances, elle doit s'appuyer sur un savoir-faire existant dans l'entreprise et à partir duquel le groupe de travail peut extrapoler ses recherches.

IV Surveillance par l'analyse vibratoire

IV.1. Principe

Cette méthode s'applique à tous les matériaux. Elle consiste à analyser en fonction du temps les oscillations mécaniques d'un système autour d'une position de référence au moyen d'un ou de plusieurs capteurs. Les oscillations ou vibrations mécaniques sont produites soit par le système en fonctionnement (un moteur par exemple) soit sont induites par des sollicitations externes (par impact ou en sollicitation forcée).

IV.2. Les vibrations

Le suivi des paramètres vibratoires est particulièrement bien adapté aux machines tournantes. L'analyse vibratoire fournit un nombre important de renseignements sur l'état de l'équipement.

Avantages de la méthode

- Détection de défauts à un stade précoce
- Possibilité de réaliser un diagnostic approfondi
- Autorise une surveillance continue
- Permet de surveiller l'équipement à distance

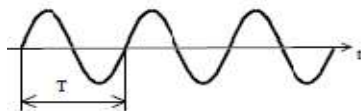
Inconvénients

- Spectres parfois difficiles à interpréter
- Dans le cas de surveillance continue, installations relativement coûteuses

Une vibration correspond à des variations périodiques d'un milieu matériel (gazeux, liquide ou solide) qui se transmettent de proche en proche. On parle souvent de son lorsque la vibration a lieu dans l'air alors que dans un milieu solide, on parle simplement de vibration.

Une onde sonore est caractérisée par une fréquence f (en Hz) et une période T (en s).

$$T = \frac{1}{f}$$



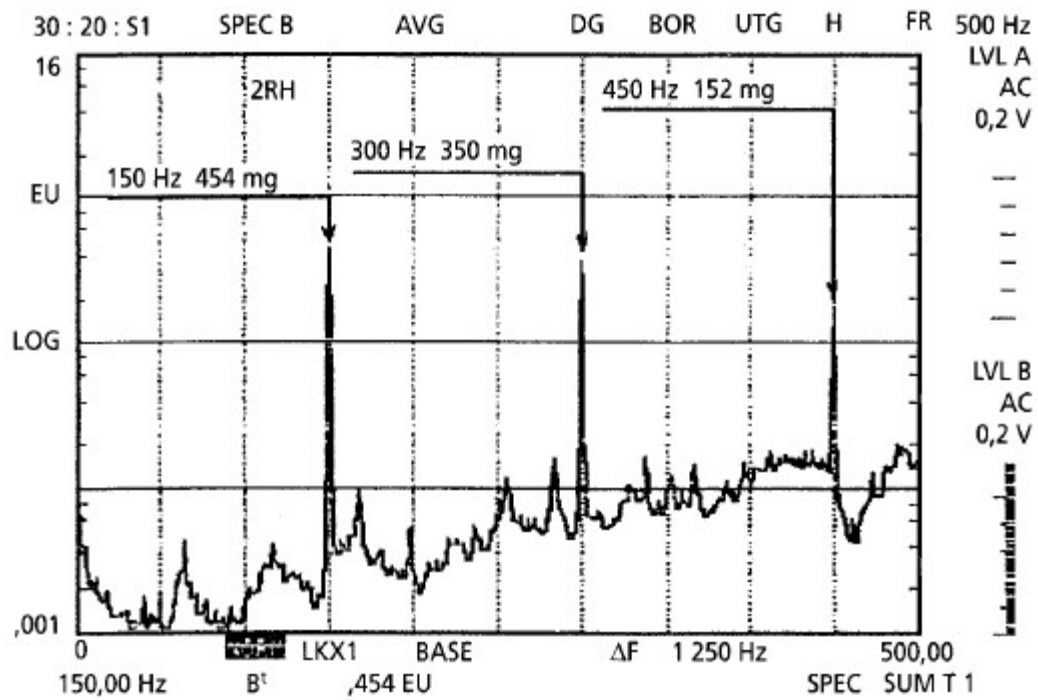


Figure II.9: Exemple de spectre obtenu par une mesure d'analyse vibratoire

IV.3.1 types de surveillances :

On distingue deux types de surveillance selon les collectes des données ou mesures :

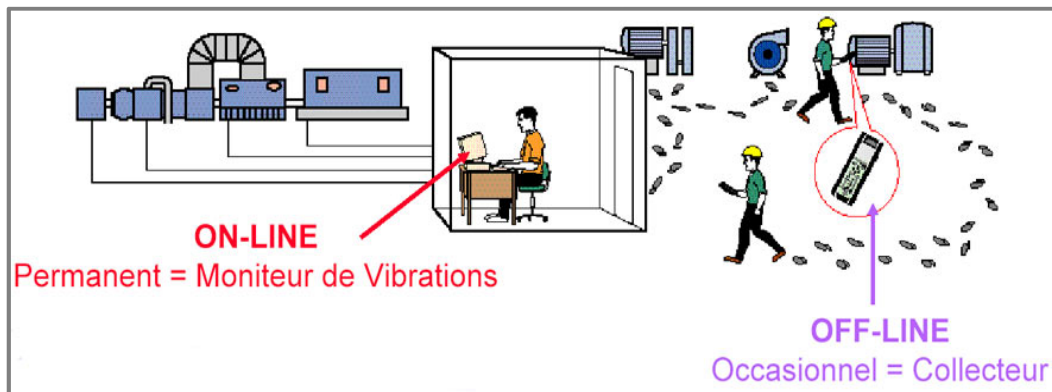


Figure II.10-a : les modes de Surveillance vibratoire

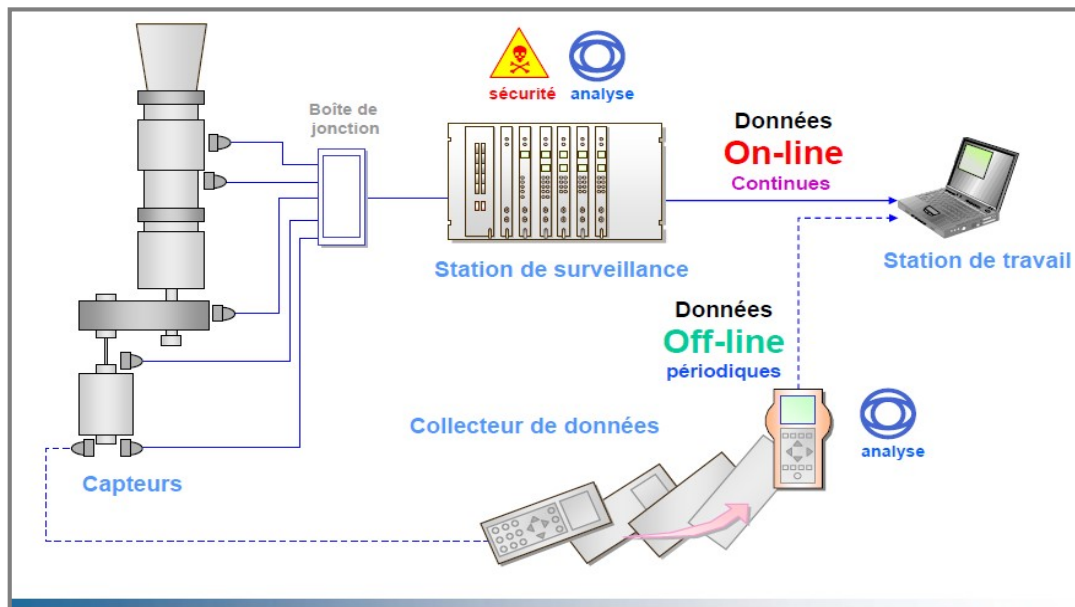


Figure II.10-b : les modes de Surveillance vibratoire

Surveillance ONLINE ou permanente :

Les machines sont surveillées d'une manière continue par un monitor de suivi ou une salle de control ou un tableau de télémaintenance, Les capteurs sont installés à demeure sur la machine. Initialement destinés à assurer la sécurité d'un équipement par son arrêt immédiat en cas de dépassement du seuil de danger par la valeur d'un indicateur, avec le progrès technologique l'utilisation des systèmes d'acquisition multivoies et la micro-informatique est plus souvent.

Surveillance OFFLINE ou périodique :

Les machines sont surveillées d'une manière périodique et en suivre l'évolution dans le temps a des intervalles réguliers à l'aide d'un appareil portable le plus souvent informatisé

appelé « collecteur de données », ce genre de surveillance est réservé pour les systèmes industrielle qui n'influe pas sur la sécurité des personnes ou l'environnement.

IV.3.2 Mise en place de la surveillance par analyse vibratoire

Il existe des techniques de surveillance fiables et économiquement intéressantes, pour mettre en place une stratégie de surveillance la mieux appropriée, fiable et faisable aussi avec des indicateurs prédéterminer adapter avec elle qui nous a permet de planifier les interventions, les travaux en phase opérationnel de la surveillance. La démarche d'implanté une stratégie de surveillance comporte deux parties :

- Mettre en place la stratégie
- Démarrer la surveillance

Premier Partie : Mettre en place la stratégie de surveillance

a- Sélection des machines sensibles :

Calcifications des machines par criticité en parc machine et ressortir les quelques machines, réellement « stratégiques » par l'analyse de méthode de :

- Diagramme de PARETO.
- Diagramme ABC.

b- Étude du contexte d'utilisation des machines à surveiller :

« **Surveiller = noter** » On ne peut surveiller que ce que l'on connaît bien, Alor pour chaque machine en doit noter :

- La cadence du travail du machine (volume horaire 24/24 ou 12/24 ou 16/24...).
- Ses particularités (l'état de marche).
- Les organes et les points les plus faible et leur mode défaillance (**AMDEC**).
- L'historique machine (détail des incidents ou des pannes).

c- Vérification de la faisabilité technique de la surveillance :

Bien aux machines sélectionnées et dans des conditions satisfaisantes Pour cela, on vérifie que peuvent être respectées les conditions suivantes :

- Vérifier L'aptitude d'accessibilité aux points de mesure.
- Vérifier la vitesse de rotation et de la charge durant la prise de la mesure.
- Choix de la durée de prise de mesure (selon fréquence de rotation et fréquence De manifestation des défauts).
- Établir une reproductibilité des conditions de mesure (définir plusieurs classes de fonctionnement avec des seuils d'alarme propres à chacune d'elles et d'archiver car les conditions de fonctionnement quasi-identiques.

- L'adéquation surveillance/chaîne de mesure (les fréquences auxquelles peuvent se manifester les défauts redoutés, se situent dans la bande passante de la chaîne de mesure (Du capteur à l'analyseur).

d- Évaluation du bousin avant du choix de la stratégie :

La surveillance d'une machine par suivi d'évolution d'indicateurs (surveillance par indicateurs scalaires énergétiques et dépassement de seuils, surveillance par dépassement de gabarits spectraux, surveillance par indicateurs typologiques) présentant un niveau de fiabilité et de précocité de détection mais aussi de difficulté de mise en œuvre très différents d'un mode à l'autre, pour l'apparition éventuelle d'un défaut insensible aux indicateurs définis.

Un autre mode de surveillance est envisageable, la surveillance par diagnostics périodiques beaucoup mieux adaptée à la détection exhaustive et précoce des défauts de toute nature.

La surveillance par suivi d'indicateurs et la surveillance par diagnostics périodiques sont deux stratégies très différentes, La première est bien adaptée au concept de la maintenance conditionnelle, la seconde à celui de son prolongement qu'est la maintenance prévisionnelle. Avant d'arrêter son choix sur L'une ou l'autre, il convient d'évaluer pour chaque équipement ce que peut apporter chacune de ces deux approches.

e- Critères de Choix des indicateurs pour la Surveillance par indicateurs

Pour les machines sous surveillance par suivi d'indicateurs le choix des indicateurs selon les critères suivants :

- Le type d'organes surveillés
- Le type de défauts redoutés
- Le niveau de fiabilité recherché
- La complexité cinématique de la machine
- Le coût du matériel de surveillance

f- Critères de Choix des indicateurs pour la Surveillance par diagnostics périodiques

L'étude approfondie de la cinématique de l'installation et l'établissement de sa fiche cinématique complète : cette étude permet de :

- **Connaître** les composantes cinématiques de base sur lesquelles de traitements spécifiques sera effectué.
- **Déterminer** les plages d'analyses et les résolutions nécessaires
- L'identification des anomalies

- La détermination des déphasages relatifs
- L'identification de l'origine cinématique des chocs et des phénomènes de modulation
- L'analyse de la sévérité des anomalies avec la démarche suivante :
 1. Suivre de collecte des données (mesures, spectres...).
 2. De localiser, voire d'identifier le défaut
 3. Estimer la gravité des défauts
 4. De prendre une décision

Elle est réalisée en fonction des niveaux vibratoires, l'évolution des mesures (l'image vibratoire) et les seuils préétablis pour le suivi des systèmes

g- Finalisation du choix de stratégie

Ce choix final dépendra :

- Les conductions général (sécurité des personnes et des biens,).
- Du rapport coût de la surveillance/coût réel de la panne redoutée.
- De la fiabilité recherchée.
- Établir le plan général de suivi et auscultation des systèmes.

h- La stratégie mixte

Suivant des bousions critique de certaines machines il est bien souvent pour les mêmes machines, on emploie une stratégie mixte de surveillance, c'est-à-dire qu'on emploie alternativement les deux stratégies de surveillance : la surveillance par indicateurs énergétiques simples et le diagnostic, selon l'un des deux modèles suivants :

Modèle 01 :

1. En premier lieu, on utilise un mode de surveillance par suivi d'indicateurs calculés dans des bandes fréquentielles plus ou moins étendues avec une périodicité donnée jusqu'à ce que les valeurs de ces indicateurs atteignent des seuils prédéfinis.
2. Puis, pour trouver l'origine et la gravité du défaut redouté un diagnostic est effectué et de nouveaux indicateurs sont éventuellement définis en fonction des anomalies identifiées afin de fiabiliser la surveillance jusqu'à ce qu'une action corrective soit décidée.

Modèle 02 :

1. Un diagnostic préalable de la machine avant sa mise sous surveillance est effectué si l'existence de défauts naissants est révélée, on définit des indicateurs de surveillance particuliers, sensibles aux manifestations dynamiques des défauts qui viennent d'être révélés

Deuxième partie : Démarrer la surveillance

a- Préparation et prise des mesures

- Préparation de plan de surveillance.
- Installation des données sur les caractéristiques de chaque machine.
- Installation des données caractéristiques des organes et éléments de chaque machine.
- Définir les Précautions à prendre lors de la prise des mesures.
- Installer tout le système en place (capteurs ; soft...).

b-Établissement de la signature initiale :

La première série de mesures effectuées sur la machine, Elle servira de référence pour les comparaisons ultérieures et, à ce titre, elle devra être la plus complète et la plus précise possible, Cette signature sera refaite dans des conditions opératoires identiques après chaque opération corrective.

c- Détermination des seuils d'intervention :

La détermination des seuils d'intervention est certainement l'une des opérations les plus délicates et les plus importantes puisque, tant que la valeur d'un (ou des) indicateur(s) choisis pour la surveillance n'excède pas une valeur prédéfinie, l'installation est considérée en bon état et aucune procédure d'investigation complémentaire ou d'intervention corrective n'est engagé, Il existe au moins deux seuils pour l'intervention :

- Les seuils d'alarme.
- Les seuils de danger ou de panne.

d- Traitement et analyse des rapport de mesure et historique des pannes

La réussite de la politique de surveillance est d'avoir continu toutes les opérations préliminaires telle l'inspection, control et études pour avoir le maximum de bénéfice de notre démarche de surveillance qui est représenter dans :

- Études et traitement de tout le document de surveillance (historique de pannes machine, fiche cinématique...etc.)
- Bien fit de routeur d'expériences pour les experts

L'analyse est effectuée selon des courbes d'évolution d'un indicateur, ce dernier permet de détecter de façon très visuelle l'apparition des défauts auxquels ils sont sensibles. L'évolution dans le temps d'un indicateur est souvent représentée par une courbe constituée d'une suite de points indiquant la valeur de l'indicateur à chaque date de mesure.