

# CONCEPTS ET METHODES DE MAINTENANCE

---

# GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

MAINTENANCE DE SYSTEMES MECANIQUES

TIEHI

PROFESSEUR DE MAINTENANCE INDUSTRIELLE | LYCEE TECHNIQUE ABIDJAN

## 1. DEFINITION DE LA MAINTENANCE (NF EN 13 306)

*La maintenance est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.*

Bien maintenir c'est assurer l'ensemble de ces actions au coût optimal.

La définition de la maintenance fait apparaître 4 notions :

- ✓ **Maintenir** qui suppose un suivi et une surveillance ;
- ✓ **Rétablir** qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut ;
- ✓ **Etat** qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance,
- ✓ **Coût optimal** qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité.

Le rôle de la fonction maintenance dans une entreprise (quel que soit son type et son secteur d'activité) est de **garantir la plus grande disponibilité des équipements au meilleur rendement tout en respectant le budget alloué.**

## 2. NOTIONS DE DEFAILLANCE : définitions

La notion de défaillance apparaît à partir des définitions qui vont suivre (norme X60-010)

- 2.1 **Fonction requise** : *fonction d'un produit dont l'accomplissement est nécessaire pour la fourniture d'un service donné. Une fonction requise pourra être une fonction seule ou un ensemble de fonctions. La notion de service pourra recouvrir une mission, c'est-à-dire une succession de phases par lesquelles doit passer le produit sur un intervalle de temps donné  $[(0, t)]$ .*
- 2.2 **Dégradation** : *Etat d'une entité présentant une perte de performance d'une des fonctions assurée par celle-ci ou alors un sous-ensemble lui-même dégradé, voire défaillant, sans conséquence fonctionnelle sur l'ensemble. On peut aussi parler de dérive.*
- 2.3 **Défaillance** : *C'est la **cessation d'aptitude** d'un bien à accomplir une fonction requise ; c'est donc la perte de disponibilité du bien. C'est le passage d'un état à un autre. Une défaillance peut être :*

- Partielle s'il y a **altération d'aptitude** du bien à accomplir une fonction requise,
- Complète s'il y a **cessation d'aptitude** du bien à accomplir sa fonction requise ;
- Intermittente si le bien retrouve son aptitude au bout d'un temps limité sans avoir subi d'action corrective externe.

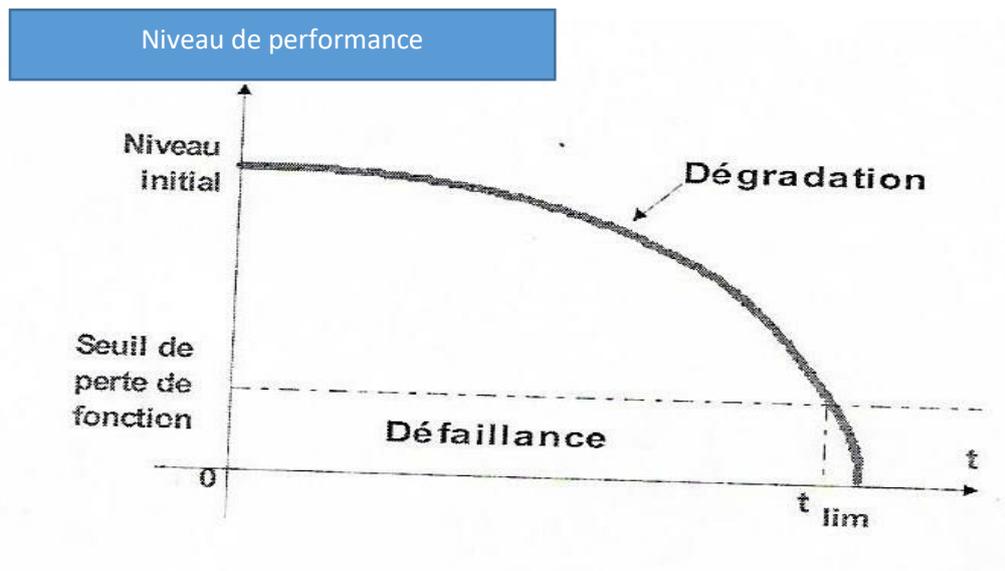


Figure 1 : Dégradation et défaillance

Sur la figure ci-dessus,  $t_{lim}$  indique le moment d'apparition de la défaillance.

2.4 Triptyque (faute-défaut-défaillance) : La défaillance est la conséquence d'un défaut dont la cause est une faute

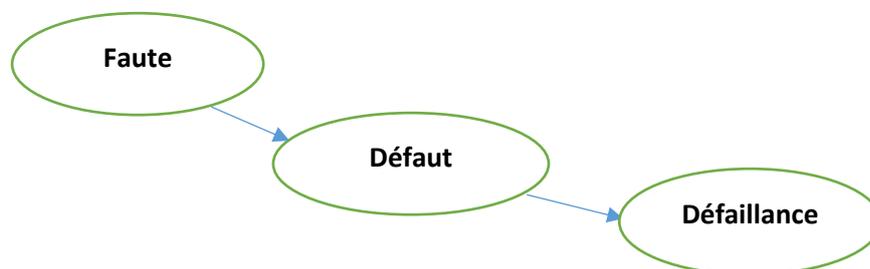


Figure 2 : Origine d'une défaillance

**Faute** : Elle peut être physique (interne ou externe) ou due à l'utilisateur. C'est la notion de **5M** : **Matières, Matériel, Milieu ; Moyens et Main d'œuvre**. Elle entraîne une erreur.

**Défaut** : Au départ, il est latent, car on ne s'en aperçoit pas tout de suite. Il devient ensuite effectif. Le défaut peut être :

- ✓ **Soudain** s'il est imprévisible ;
- ✓ **Catalectique** s'il est soudain et imprévisible ;
- ✓ **Progressif** s'il est prévisible et éventuellement réversible (exemple : organe qui rouille, fuite sur une soupape) ;
- ✓ **Précoce** s'il se manifeste en début de vie de l'équipement ;
- ✓ **d'Usure** s'il se manifeste en fin de vie de l'équipement.

2.5 **Panne** : état d'un produit le rendant **inapte à accomplir une fonction requise** dans des conditions données d'utilisation. C'est un état. Elle résulte toujours d'une défaillance.

### 3. APPROCHE NATURELLE DES METHODES DE MAINTENANCE

Essayons de résumer les définitions précédentes en une seule figure. Le défaut est au centre du débat : il provient d'une faute (ou cause) dont les dérives se font progressivement sentir. Il génère une défaillance(ou effet) plus ou moins importante sur le processus de fabrication (figure 3).

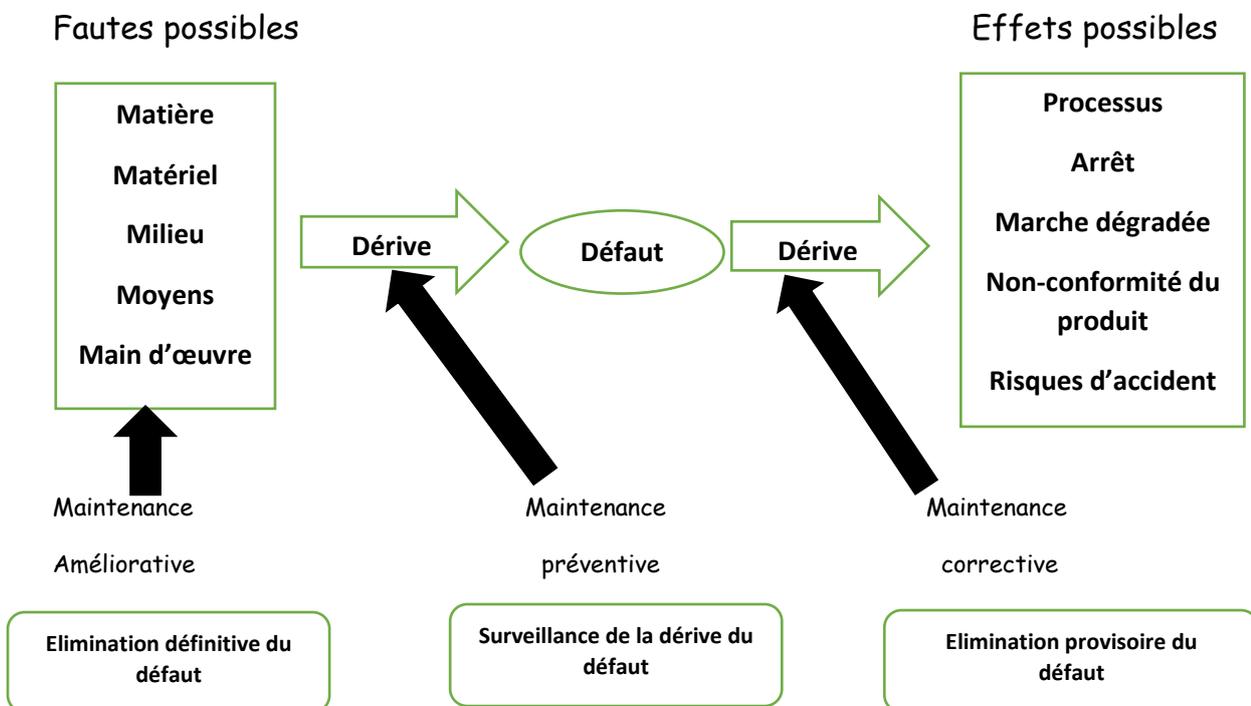


Figure 3 : Actions possibles en cas de défaut

La figure précédente est très parlante :

- On attend que le défaut produise une défaillance effective puis on agit ; c'est de la **maintenance corrective** ; le défaut est provisoirement éliminé, mais à terme il a des chances de réapparaître.
- On anticipe le défaut car on connaît les effets de certaines dérives (surveillance) ; c'est de la **maintenance préventive**.
- On s'attaque à la cause afin d'éviter les dérives ; c'est de la **maintenance Améliorative**. Celle-ci a un effet correctif.

## 4. LES FORMES DE MAINTENANCE

### 4.1 Les concepts

L'analyse des différentes formes de maintenance repose sur 4 concepts

- ✓ **Les évènements qui sont à l'origine de l'action :**

Référence à un échéancier, la subordination à un type d'évènement (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.), l'apparition d'une défaillance.

- ✓ **Les méthodes de maintenance qui leur seront respectivement associées :**

La maintenance préventive systématique, la maintenance préventive conditionnelle (capteur, mesure), maintenance corrective.

- ✓ **Les opérations de maintenance proprement dites :**

*Inspection, contrôle, dépannage, réparation*

- ✓ **Les activités connexes :** Maintenance Améliorative, travaux neufs, sécurité, rénovation, modernisation environnement, etc...

Cette réflexion terminologique et conceptuelle représente une base de référence pour :

- L'utilisation d'un langage commun pour toutes les parties (conception, production, prestataires de services, etc...
- La mise en place de systèmes informatisés de gestion de la maintenance.

## 4.2 Les méthodes

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, **il faut donc être informé des objectifs de la direction, des directions politiques de maintenance, mais il faut connaître le fonctionnement et les caractéristiques** des matériels en exploitation, les conditions d'application de chaque méthode, les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

Le diagramme suivant synthétise selon la norme NF EN 13 306 les méthodes de maintenance.

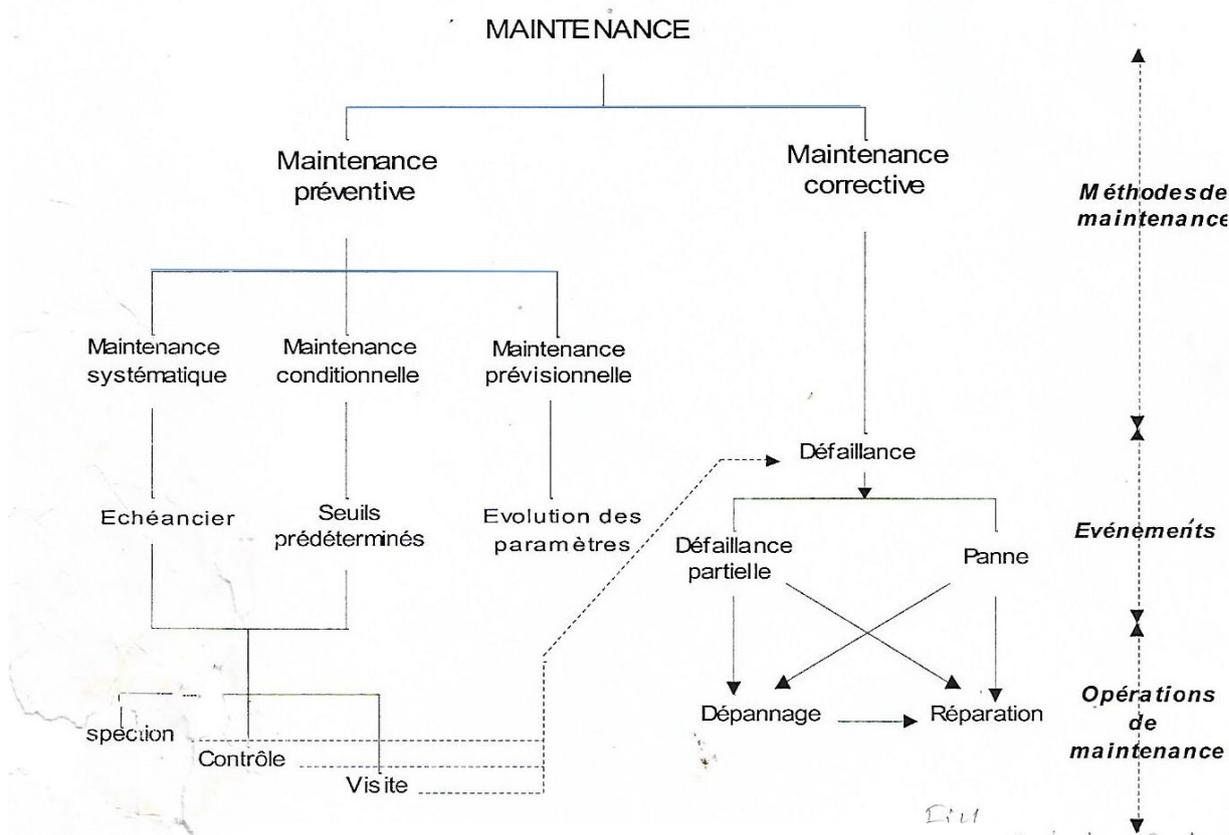


Figure 4 : Méthodes de maintenance

Les interventions de maintenance sont directement liées aux contraintes de fonctionnement de la production.

Les situations à prendre en compte par le service maintenance vont dépendre effectivement de la production. Quatre cas sont à envisager (tableau figure 1).

Matériel	Opérations possibles	Type de maintenance
En fonctionnement et production assurée	Observations visuelles, tactiles, olfactives, auditives et gustatives	Maintenance de veille
	Contrôle d'état à partir d'appareillage de contrôle (vibrations, etc.)	Maintenance préventive conditionnelle
En arrêt (attente) et production assurée	Opérations d'entretien courant (graissage, lubrification, etc.)	Maintenance préventive systématique
En arrêt sur panne, production non assurée	Dépannage, réparation	Maintenance corrective
Matériel et production en « arrêts programmés » : <ul style="list-style-type: none"> <li>• changement de série, de production</li> <li>• grands arrêts</li> </ul>	Opérations d'entretien courant (graissage, lubrification, etc..)	Maintenance préventive systématique
	Remise à niveau, modernisation	Maintenance améliorative

Tableau 1 : Maintenance possible face à la production

#### 4.2.1 LA MAINTENANCE CORRECTIVE

##### Définitions (extraits normes NF EN 13 306)

**Maintenance corrective** : maintenance exécutée après défaillance et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise.

**Défaillance** : altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

Il existe 2 formes de défaillance :

**Défaillance partielle** : altération de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

**Défaillance complète** : cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise.

La maintenance corrective appelée parfois curative (terme non normalisé) a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Selon la norme NF EN 13306, la maintenance corrective peut être :

- **Différée** : maintenance corrective qui n'est pas exécutée immédiatement après la détection d'une panne, mais est retardée en accord avec des règles de maintenance données.
- **D'urgence** : maintenance corrective exécutée sans délai après détection d'une panne afin d'éviter des conséquences inacceptables.

Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés et/ou une dépréciation en quantité et/ou qualité des services rendus.

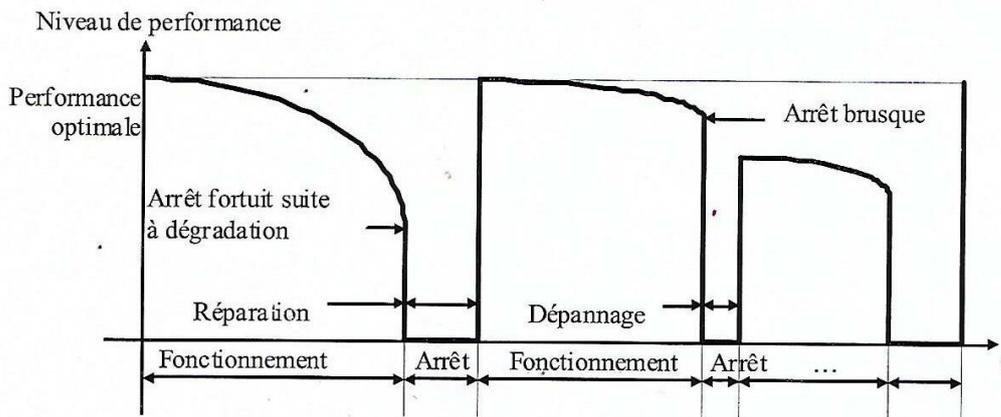


Figure 5: Modélisation de la maintenance corrective

Il existe deux formes possibles de maintenance corrective :

- **Elle existe seule, en tant que méthode :**

- Définition : « Ne rien faire tant qu'il n'y a pas de fumée »
- Justification : en tant que système de maintenance.
  - Lorsque les frais indirects de défaillance sont minimes et les contraintes de sécurité faibles.
  - Lorsque l'entreprise adopte une politique de renouvellement fréquent du matériel.
  - Lorsque le parc est constitué de machines « disparates » dont les éventuelles défaillances ne sont pas critiques pour la production.

- **Elle existe, de manière sélective, suivant la criticité du matériel :**

Le parc matériel ayant été analysé et évalué en fonction de la criticité des équipements. Il devient donc légitime de mettre en œuvre une politique de maintenance préventive pour les matériels critiques et alors de choisir une politique exclusivement corrective pour les seuls équipements dont la criticité est mineure voire nulle.

- **Elle existe en tant que complément résiduel de la maintenance préventive :** en effet, quels que soient la nature et le niveau de préventif, il subsistera inexorablement une part de défaillances résiduelles entraînant des actions correctives. Il faut alors minimiser le coût des actions correctives :

- Par la prise en compte de la maintenabilité (à la conception, à l'achat).
- Par des méthodes de préparation efficaces (prévision des défaillances, aide au diagnostic).
- Par des méthodes d'intervention rationnelles (échanges - standard, outillage spécifique).

Après défaillance, en entretien, on effectue une action rétablissant la fonction perdue. En maintenance, on effectuera :

- Une analyse des causes de la défaillance.

- Une remise en état.
- Une amélioration éventuelle visant à éviter la réapparition de la panne.
- Une mise en mémoire de l'intervention permettant une exploitation ultérieure.

Exemple : un roulement est défaillant.

- *Entretien* : On le remplace (échange - standard).
- *Maintenance* : On cherche à savoir la cause de sa défaillance, la fréquence et la criticité, de façon à éviter sa réapparition (remise en cause du montage, du lubrifiant, des surcharges) et à minimiser ses effets (surveillance par analyse des vibrations).

#### 4.2.1.1. La réparation

Actions physiques exécutées pour rétablir la fonction requise d'un bien en panne. (EN 13306 : avril 2001).

La réparation concerne tous les équipements : quelle que soit la méthode d'entretien qui leur est appliquée, tôt ou tard, leur état nécessitera une réparation. En effet, une réparation peut intervenir :

- à la suite d'un dépannage provisoire,
- après une visite ou une ronde, en maintenance préventive conditionnelle, ayant décelé un risque de défaillance à venir,
- après un arrêt programmé en maintenance préventive systématique,
- sur un équipement en panne ou présentant des signes de défaillance.

Dans les trois premiers cas, elle est prévisible et planifiable, ce qui autorise une préparation très poussée afin d'en rationaliser le déroulement. Dans le dernier cas, elle est imprévue, donc non programmée, et sa mise en œuvre revient à celle du dépannage.

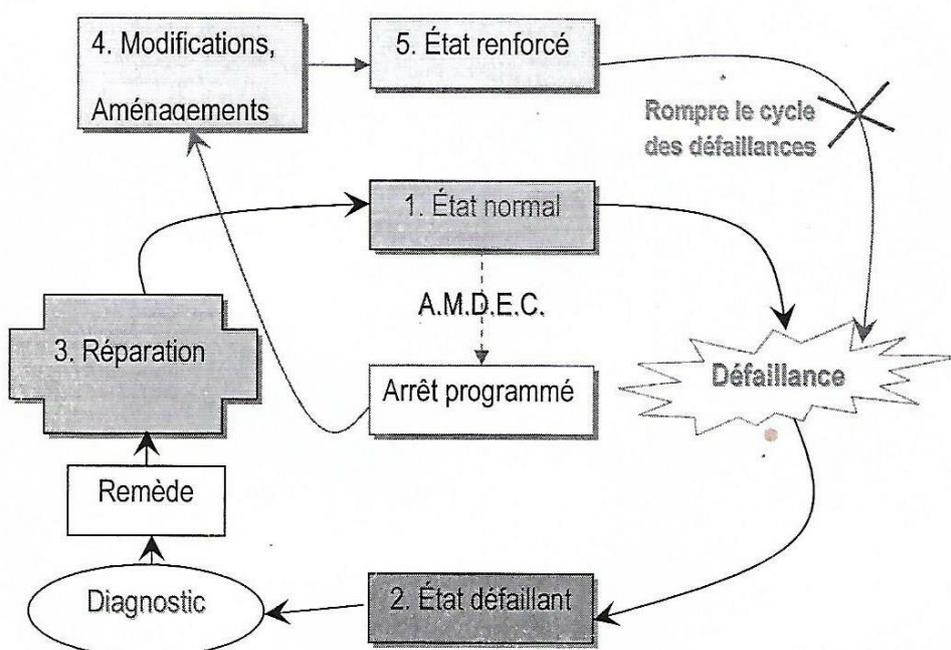


Figure 6: Démarche de réparation

#### 4.2.1.2. Le dépannage

Actions physiques exécutées pour permettre à un bien en panne d'accomplir sa fonction requise pendant une durée limitée jusqu'à ce que la réparation soit exécutée (EN 13306 : avril 2001).

En dehors des défaillances imprévisibles qui guettent tout l'équipement, le dépannage est la méthode d'entretien appropriée pour :

- les équipements secondaires au fonctionnement sporadique ou à faible coût de défaillance,
- les équipements pour lesquels une méthode d'entretien plus élaborée est inadéquate (difficultés de démontage ou de visite, marche en continu, matériel récent en cours de mise au point, matériel en fin de carrière, matériel bon marché produit en grande série).

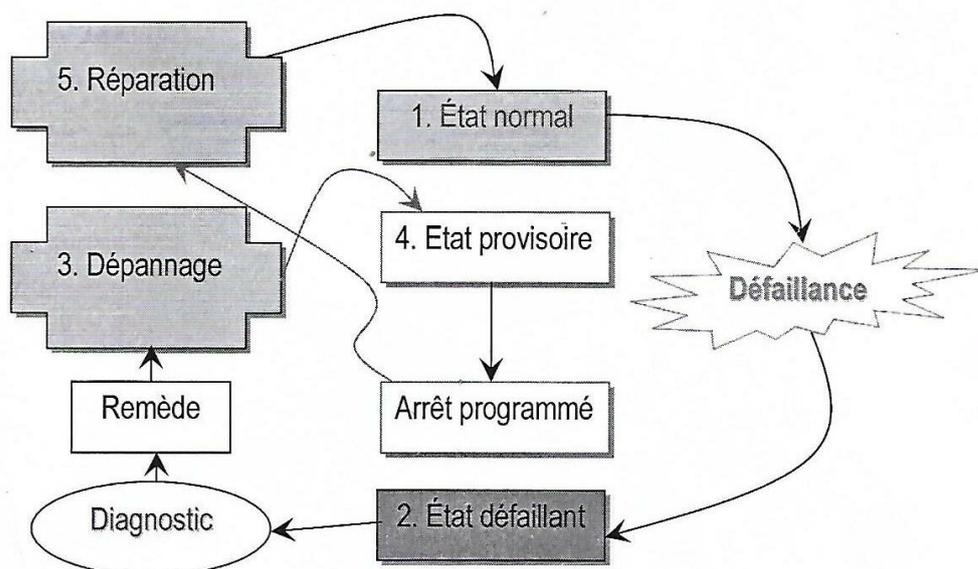


Figure 7: Démarche de dépannage

#### 4.2.1.3. Les opérations de maintenance correctives

Après apparition d'une défaillance, un certain nombre d'opérations dont les définitions (NF EN 130306) sont données ci-dessous doivent être mises en œuvre. Ces opérations s'effectuent par étapes (dans l'ordre) :

1. **Test** : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
2. **Détection** ou action de déceler l'apparition d'une défaillance,
3. **Localisation** : action menée en vue d'identifier à quel niveau d'arborescence du bien en panne se situe le fait générateur de la panne. C'est donc une action conduisant à rechercher la ou les pièces par la ou lesquelles les défaillances se manifestent.

**Localiser**, c'est répondre à la question : Quelle est l'entité défaillante ?

4. **Diagnostic** : action menée pour la détection d'une panne, sa localisation et l'identification de la cause. C'est une action conduisant à identifier la (ou les) cause(s) probable(s) de la (ou des) défaillance(s) ou de l'évolution d'un ou de plusieurs paramètres significatifs de dégradation à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations.

Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances, et de préciser les opérations de maintenance corrective.

**Diagnostiquer**, c'est trouver la ou les causes de défaillance d'une entité.

**Diagnostiquer**, c'est répondre à la question : pourquoi cette entité est défaillante ?

5. **Dépannage, réparation** ou remise en état (avec ou sans modification),
6. **Contrôle** du bon fonctionnement après intervention,
7. **Amélioration éventuelle**, c'est à dire éviter la réapparition de la panne,
8. **Historique** ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.

Mais généralement, l'action de maintenance se déroule en quatre grandes phases :

- localisation,
- diagnostic,
- correction de la panne,
- essais.

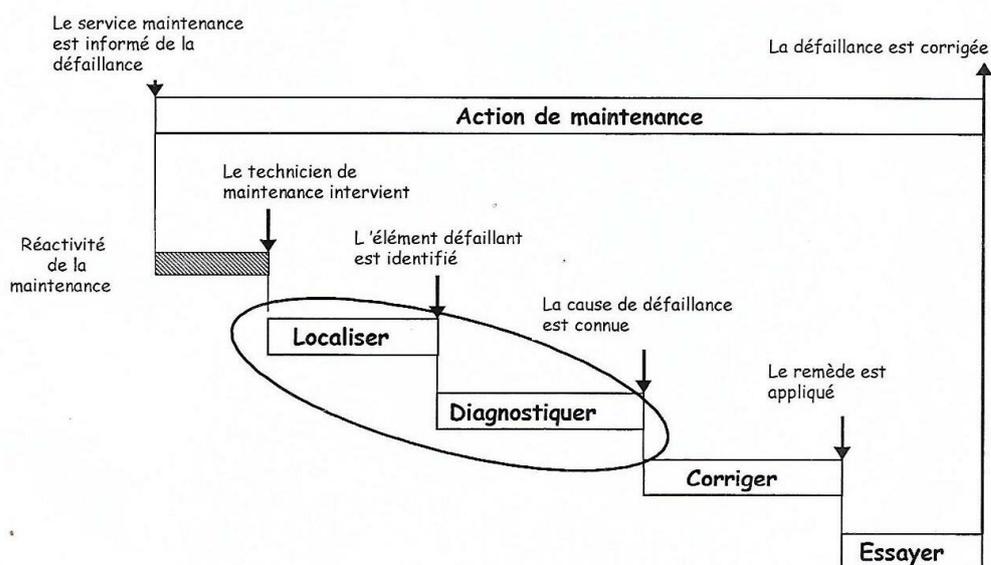


Figure 8: Les grandes étapes de la maintenance corrective

**Localiser**, c'est répondre à la question : Quelle est l'entité défaillante ?

4. **Diagnostic** : action menée pour la détection d'une panne, sa localisation et l'identification de la cause. C'est une action conduisant à identifier la (ou les) cause(s) probable(s) de la (ou des) défaillance(s) ou de l'évolution d'un ou de plusieurs paramètres significatifs de dégradation à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations.

Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances, et de préciser les opérations de maintenance corrective.

**Diagnostiquer**, c'est trouver la ou les causes de défaillance d'une entité.

**Diagnostiquer**, c'est répondre à la question : pourquoi cette entité est défaillante ?

5. **Dépannage, réparation** ou remise en état (avec ou sans modification),
6. **Contrôle** du bon fonctionnement après intervention,
7. **Amélioration éventuelle**, c'est à dire éviter la réapparition de la panne,
8. **Historique** ou mise en mémoire de l'intervention pour une exploitation ultérieure.

Mais généralement, l'action de maintenance se déroule en quatre grandes phases :

- localisation,
- diagnostic,
- correction de la panne,
- essais.

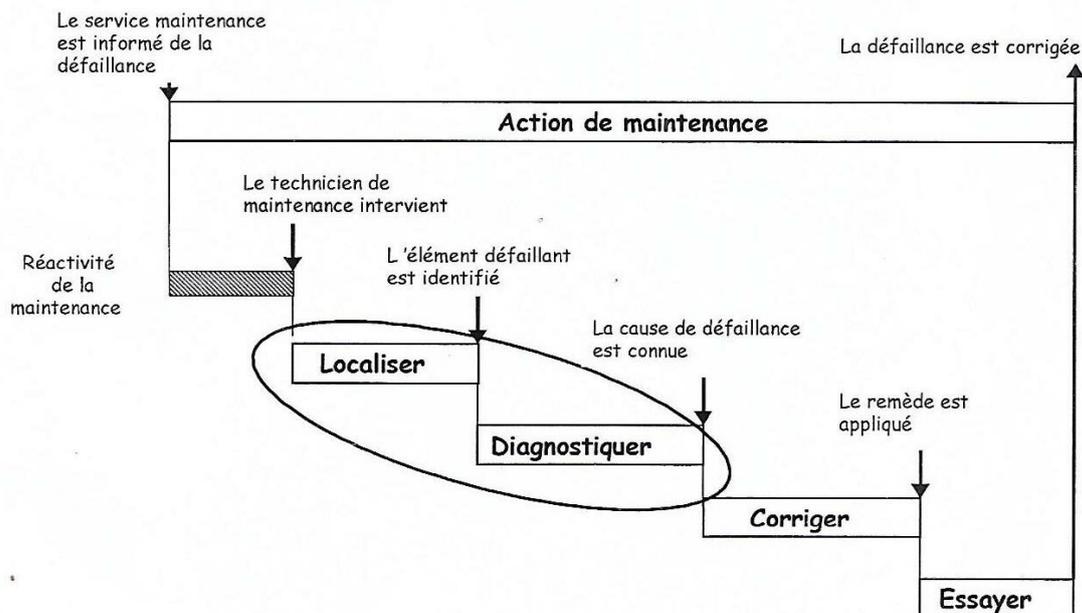


Figure 8: Les grandes étapes de la maintenance corrective

4.2.1.4. les différentes phases d'une action corrective

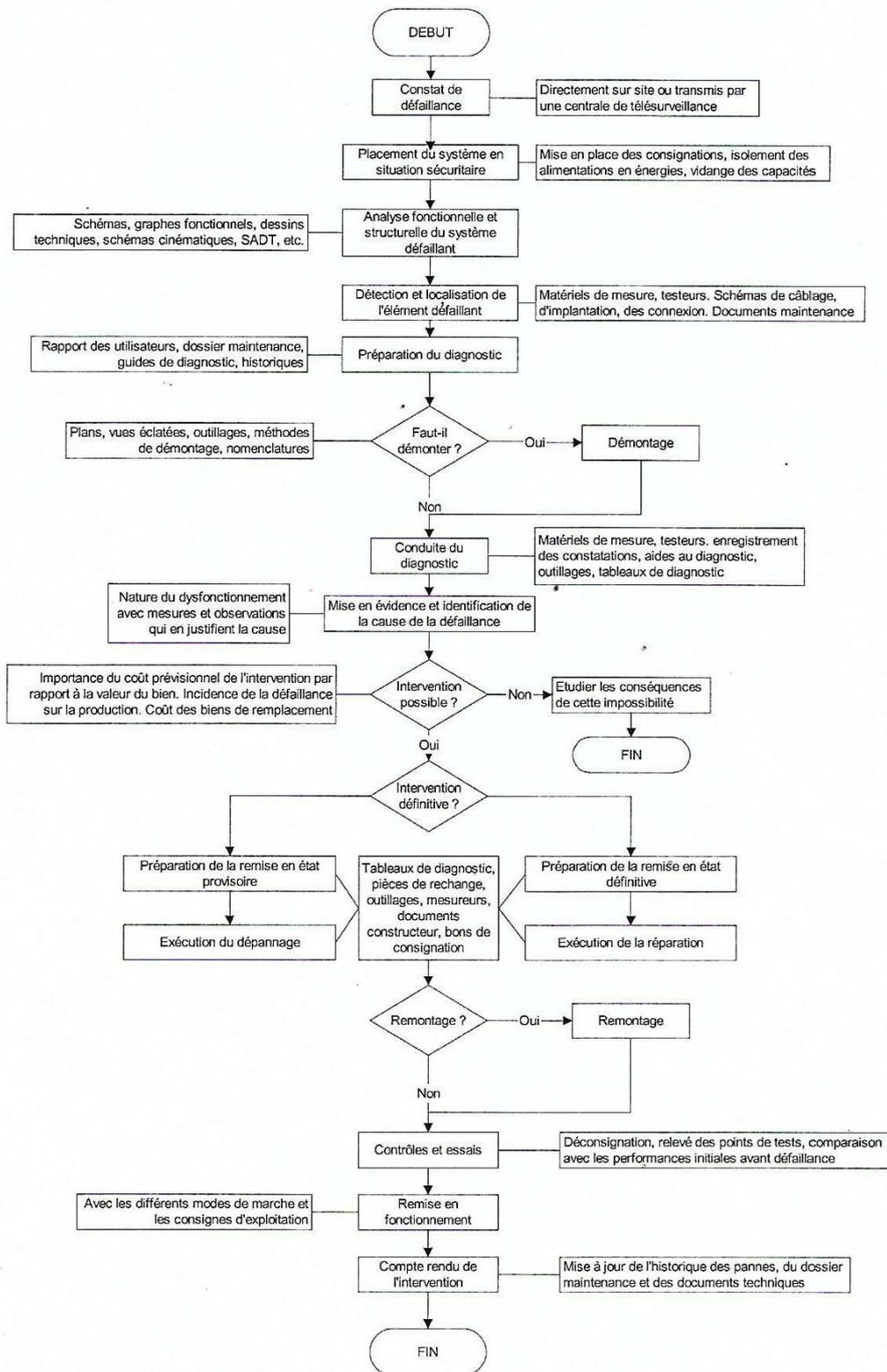


Figure 9 : les différentes phases d'une action corrective

## 4.2.2. la maintenance préventive

### 4.2.2.1. Généralités

Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien (EN 13306 : avril 2001).

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

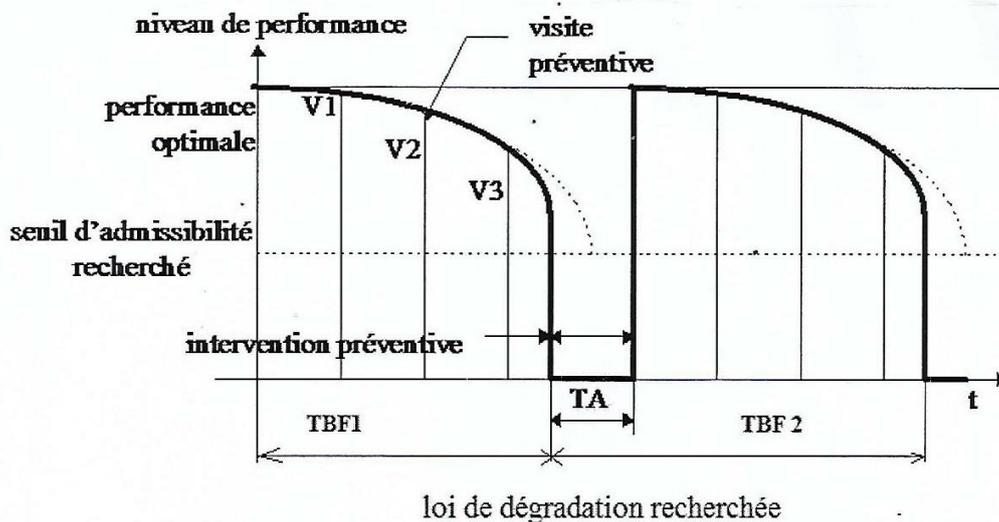


Figure 10: Modélisation de la maintenance préventive

La maintenance préventive peut prendre différentes formes :

- maintenance systématique,
- maintenance périodique,
- maintenance de ronde,
- auto maintenance,
- maintenance conditionnelle,
- maintenance prévisionnelle.

### 4.2.2.2. La maintenance préventive : un apprentissage progressif

Lorsque l'exploitant reçoit un nouvel équipement, il est clair qu'il n'a pas d'idées préconçues sur celui-ci, en particulier sur son comportement et ses pathologies possibles. La Maintenance doit donc suivre au départ les préconisations du constructeur, généralement données sous forme systématique et donc non optimisées en fonction des contraintes d'environnement.

Le service Méthodes Maintenance devra donc mettre en place un plan de préventif provisoire qu'il affinera progressivement. Cela signifie qu'au départ, la maintenance préventive est un « apprentissage du comportement » du nouvel équipement :

- visites systématiques,
- prise de signatures (mesures de référence),
- historiques des interventions,
- mémorisation des anomalies de comportement, etc..
- 

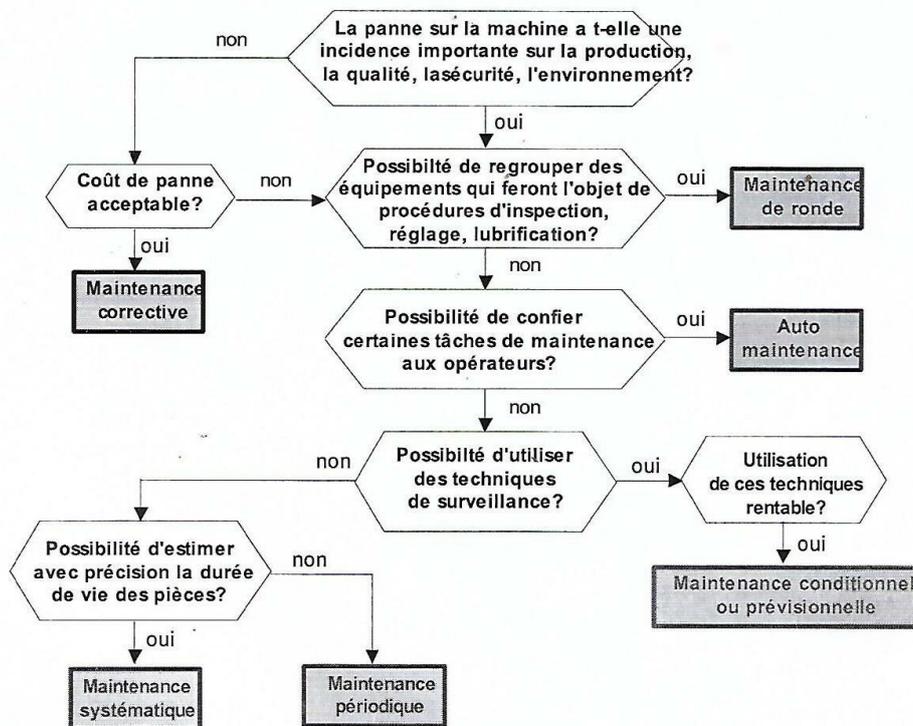


Figure 11 : Algorithme de choix de maintenance préventive

#### 4.2.2.3. Buts de la maintenance préventive :

- Augmenter la durée de vie des matériels
- Augmenter la fiabilité d'un équipement, donc diminuer la probabilité des défaillances en service → réduction des coûts de défaillance et amélioration de la disponibilité
- Améliorer l'ordonnancement des travaux, donc les relations avec la production.
- Réduire et régulariser la charge de travail.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions

- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc. et faciliter la gestion des stocks (consommations prévues)
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production
- Diminuer le budget de maintenance
- Supprimer les causes d'accidents graves par moins d'improvisations dangereuses

Les visites préventives permettent de cumuler des informations relatives au comportement du matériel.

- Si les résultats montrent une loi de dégradation, il sera aisé de connaître l'instant où une action systématique sera possible.
- S'ils montrent l'existence de pannes soudaines, répétitives, se rapportant à un sous-ensemble dit « fragile », une analyse statistique des résultats orientera sur une politique de maintenance.

#### 4.2.2.4. Opérations de maintenance préventive

Ces opérations trouvent leur définition dans la norme NF X 60-010 et NF EN 13306).

**1. Inspection** : contrôle de conformité réalisé en mesurant, observant, testant ou calibrant les caractéristiques significatives d'un bien ; elle permet de relever des anomalies et d'exécuter des réglages simples ne nécessitant pas d'outillage spécifique, ni d'arrêt de la production ou des équipements (pas de démontage).

**2. Contrôle** : vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Ce contrôle peut déboucher sur une action de maintenance corrective ou alors inclure une décision de refus, d'acceptation ou d'ajournement.

**3. Visite** : examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance de premier et deuxième niveau ; il peut également déboucher sur de la maintenance corrective.

**4. Test** : comparaison des réponses d'un système par rapport à un système de référence ou à un phénomène physique significatif d'une marche correcte.

**5. Echange standard** : remplacement d'une pièce ou d'un sous-ensemble défectueux par une pièce identique, neuve ou remise en état préalablement, conformément aux prescriptions du constructeur.

**6. Révision** : ensemble complet d'examen et d'actions réalisées afin de maintenir le niveau de disponibilité et de sécurité d'un bien. Une révision est souvent conduite à des intervalles prescrits de temps ou après un nombre déterminé d'opérations. Une révision demande un démontage total ou partiel du bien. Le terme révision ne doit donc pas être confondu avec surveillance. Une révision est une action de maintenance de niveau 4.

Les opérations 1, 2 et 3 sont encore appelées « opérations de surveillance ». Elles caractérisent parfaitement la phase d'apprentissage et sont absolument nécessaires si l'on veut maîtriser l'évolution de l'état réel d'un bien. On accepte donc de « payer pour savoir » puis pour prévenir. Elles sont effectuées de manière continue ou à intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou sur le nombre d'unités d'usage.



#### 4.2.2.5. Maintenance préventive systématique

##### A – Définition (norme NF EN 13306)

C'est la maintenance préventive effectuée sans contrôle préalable de l'état du bien conformément à un échéancier établi selon le temps, le nombre de cycles de fonctionnement, le nombre de pièces produites ou un nombre prédéterminé d'usages pour certains équipements (révisions périodiques) ou organes sensibles (graissage, étalonnage, etc..).

La maintenance systématique se traduit par l'exécution sur un équipement, à dates planifiées, d'interventions dont l'importance peut s'échelonner depuis le simple remplacement de quelques pièces jusqu'à la révision générale :

- remise à niveau d'une ligne de production par arrêt annuel,
- révision générale d'un équipement,
- échange standard d'un sous-ensemble ou d'un composant sensible (filtre, joint, durite, balais d'un moteur CC, etc..),
- lubrification.

Les travaux revêtent alors un caractère systématique (contrairement à ce qui se passe dans la maintenance conditionnelle), ce qui suppose une parfaite connaissance du comportement de l'équipement, de ses modes et de sa vitesse de dégradation.

**Remarque :** lorsque la maintenance systématique est imposée par le législateur (le plus souvent pour des raisons de sécurité), on parle alors de **maintenance réglementaire**.

##### B – Organisation de la maintenance systématique

L'organisation de la maintenance systématique propre à un équipement recouvre deux aspects : la détermination du contenu des interventions et le choix de leur périodicité. Ces éléments sont fréquemment fixés par :

- le constructeur, dans le «guide d'entretien» de l'équipement (aéronautique, matériel ferroviaire,...),
- le législateur, dans des normes homologuées éditées par l'AFNOR (ascenseurs, matériel sous pression, matériel électrique,...).

Mais ils peuvent aussi être le fait de l'utilisateur qui, ayant préalablement testé, en dépannage et/ou en maintenance conditionnelle, les réactions de l'équipement, estime posséder des historiques suffisamment documentés et précis pour en extraire des lois de dégradation fiables.

L'intérêt majeur de la maintenance systématique réside dans sa facilité de gestion. La GMAO y contribue fortement : ainsi le listing des interventions systématique d'une semaine peut être sorti le vendredi précédent : la charge de travail est connue et planifiable à l'avance.

En règle générale, on s'arrange pour que ces interventions aient lieu en dehors de la production ou pendant les temps de non-réquisition de la ligne de production (changement de production, changement d'outillage, etc..).

##### C – Périodicité des interventions systématiques

Les opérations de maintenance systématique étant de natures très variables, il est clair que la périodicité T des interventions peut prendre des valeurs allant de la demi-journée à plusieurs années. Le tableau 2 donne une idée de cette périodicité.

Périodicité T	Nature des opérations	Critères de choix de T
1/2j à 1 semaine	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Visites</li> <li>• Rondes</li> <li>• Surveillance</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Préconisation constructeur</li> <li>• Habitudes empiriques</li> <li>• Expérience</li> </ul>
1 semaine à un an	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Echange standard</li> <li>• Action ponctuelle sur composant critique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Préconisation constructeur</li> <li>• Réglementation</li> <li>• T optimisée par calculs, essais ou expérience</li> </ul>
1 an à 10 ans	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Révision partielle ou générale</li> <li>• Grand arrêt périodique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réglementation</li> <li>• Habitudes empiriques souvent liées aux contraintes sociales (congrés annuels, etc..)</li> </ul>

Tableau 2 : Périodicité des interventions systématiques

#### D – Avantages et limites de la maintenance systématique

La maintenance systématique se pratique quand on souhaite procurer à un équipement une sécurité de fonctionnement quasi absolue en remplaçant suffisamment tôt les pièces ou organes victimes d'usure ou de dégradation. Elle nécessite de bien connaître le comportement du matériel, l'historique des pannes et le MTBF (Mean Time Between Failures). On pourra alors déterminer, de manière fine, la période optimale T de cette maintenance préventive systématique. T sera calculée à partir de la connaissance des lois de fiabilité du matériel concerné : *loi exponentielle* ou de *Weibull*. L'exemple typique de maintenance systématique est celle d'une voiture.

La maintenance systématique est facile à gérer et diminue les arrêts fortuits. Elle régularise les activités de l'entreprise : moins de fortuit, c'est aussi plus de sécurité. Mais elle présente aussi des inconvénients.

1. Quel que soit le taux de systématique que l'on pratique, cela n'élimine pas de façon certaine « la casse ». Le correctif résiduel étant toujours difficile à évaluer, il conduit souvent à déterminer T par empirisme, sans annuler complètement le risque de défaillance.

2. Cette recherche de garantie de fonctionnement conduit donc à remplacer des pièces dont l'usure est incomplète. C'est donc un procédé qui coûte cher et que seule la nécessité d'une sécurité de haut niveau peut justifier.

**Exemple** : la probabilité des défaillances d'un roulement à billes à l'allure donnée figure 12. La périodicité de remplacement est déterminée normalement à partir d'informations statistiques. On s'aperçoit que pour limiter le risque de défaillances, on la choisit plus faible. De nombreux roulements (ou autres pièces), qui auraient pu tourner plus longtemps, sont donc gaspillés.

**Conclusion** : « pour minimiser le risque de panne, on jette du matériel en bon état !... ».

#### E - Conclusion

La maintenance systématique coûte cher puisque l'on jette des organes qui n'en sont qu'à la moitié, voire au tiers, de leur durée de vie potentielle. De plus, il se trouve que le taux de panne de

beaucoup de machines n'est pas toujours amélioré par le remplacement périodique de pièces usées. Parfois même au contraire (10 à 15% des cas), la fiabilité des machines après remontage se trouve réduite du fait d'erreurs humaines ou de fragilité de jeunesse des nouveaux appareils installés.

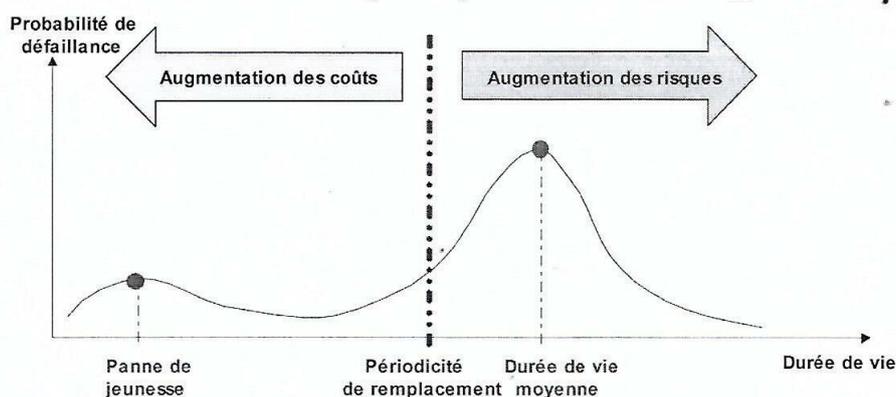


Figure 12 : Probabilité de défaillance de roulements

La répartition future des pannes de chaque machine étant inconnue, ce type de maintenance est souvent inefficace. Son intérêt probant par rapport à la maintenance corrective sur les coûts de production lui a valu de belles années, mais aujourd'hui :

- le remplacement systématique du matériel doit disparaître progressivement sauf pour du matériel peu coûteux (graissage, filtre, joints, petites pièces, etc..) ou pour des équipements pour lesquels la sécurité des biens et des personnes est mise en jeu ;
- l'auscultation périodique par démontage partiel ou complet, aujourd'hui encore très répandue, doit céder la place à des méthodes de maintenance conditionnelle.

#### 4.2.2.6. Maintenance préventive conditionnelle

##### A – Définition (norme NF EN 13306)

C'est la « maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto-diagnostic, information d'un capteur, mesure, etc.) ou à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation et de la baisse de performance d'une entité ».

Cette surveillance de la dégradation permet de fixer un seuil d'alarme avant un seuil d'admissibilité (figure 13). Le principal intérêt d'une telle stratégie est de pouvoir utiliser les entités au maximum de leur possibilité mais aussi de diminuer le nombre des opérations de maintenance corrective.

beaucoup de machines n'est pas toujours amélioré par le remplacement périodique de pièces usées. Parfois même au contraire (10 à 15% des cas), la fiabilité des machines après remontage se trouve réduite du fait d'erreurs humaines ou de fragilité de jeunesse des nouveaux appareils installés.

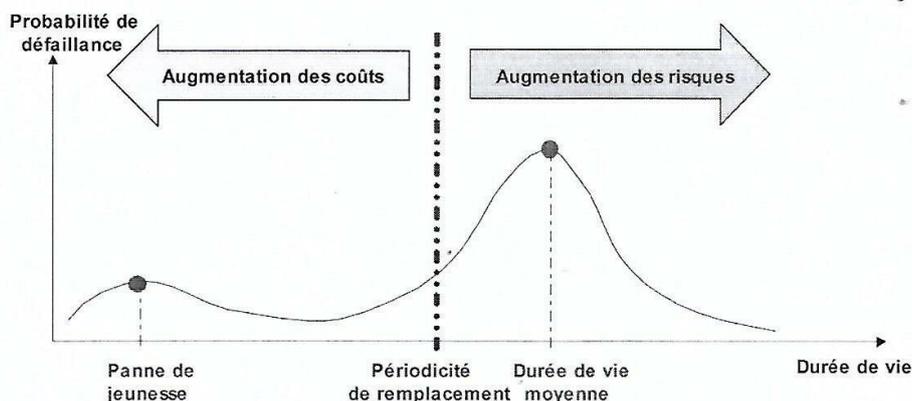


Figure 12 : Probabilité de défaillance de roulements

La répartition future des pannes de chaque machine étant inconnue, ce type de maintenance est souvent inefficace. Son intérêt probant par rapport à la maintenance corrective sur les coûts de production lui a valu de belles années, mais aujourd'hui :

- le *remplacement systématique du matériel doit disparaître* progressivement sauf pour du matériel peu coûteux (graissage, filtre, joints, petites pièces, etc..) ou pour des équipements pour lesquels la sécurité des biens et des personnes est mise en jeu ;
- l'auscultation périodique par démontage partiel ou complet, aujourd'hui encore très répandue, *doit céder la place à des méthodes de maintenance conditionnelle.*

#### 4.2.2.6. Maintenance préventive conditionnelle

##### A – Définition (norme NF EN 13306)

C'est la « maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto-diagnostic, information d'un capteur, mesure, etc.) ou à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation et de la baisse de performance d'une entité ».

Cette surveillance de la dégradation permet de fixer un seuil d'alarme avant un seuil d'admissibilité (figure 13). Le principal intérêt d'une telle stratégie est de pouvoir utiliser les entités au maximum de leur possibilité mais aussi de diminuer le nombre des opérations de maintenance corrective.

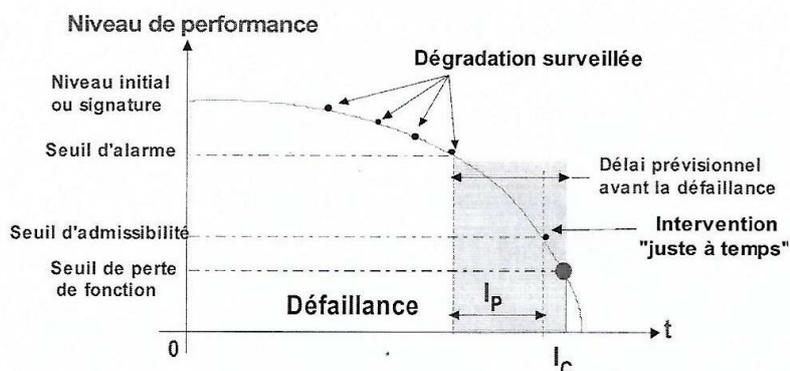


Figure 13 : Principe de la maintenance conditionnelle

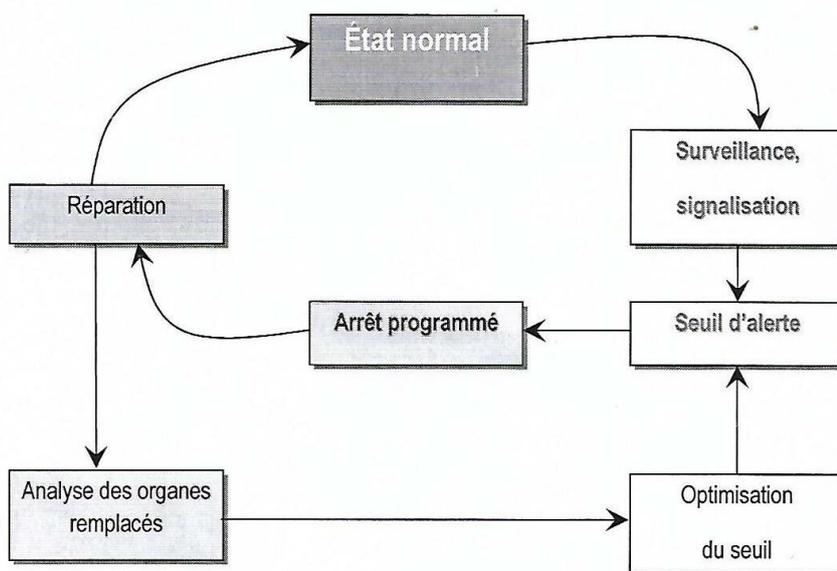


Figure 14 : Démarche de maintenance conditionnelle

Elle se traduit par une surveillance des points sensibles de l'équipement, cette surveillance étant exercée au cours de visites préventives. Ces visites soigneusement préparées, permettent d'enregistrer différents paramètres : degré d'usure, jeu mécanique, température, pression, débit, niveau vibratoire, pollution ou tout autre paramètre qui puisse refléter l'état de l'équipement.

Le niveau de performance initial, quelque 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 à l'aide d'une cote, observation d'un jeu mécanique, d'une courroie détendue, etc..),

- réalisées à partir d'appareil 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..).

On ne décide de travaux de remise en état (changement de pièces, réparation, réglages) que si les paramètres contrôlés mettent en évidence l'imminence d'une défaillance. La décision « volontaire » d'intervention est donc liée au résultat des visites préventives qui sont réalisées de façon systématique et en fonction d'un planning. La maintenance préventive conditionnelle permet donc de « retarder » et de planifier les interventions.

### **B – But de la maintenance conditionnelle**

Il s'agit pour un équipement donné :

- d'éliminer ou de limiter le risque de panne, l'intervention ayant lieu avant que la dégradation n'atteigne un caractère critique,
- de maintenir la production à un niveau acceptable, tant en quantités fabriquées qu'en qualité du produit,
- de diminuer les temps d'arrêt, par limitation du nombre de pannes, par une meilleure préparation des interventions (efficacité) et utilisation des créneaux horaires ne perturbant pas la production (ordonnancement),
- de réduire les dépenses d'entretien en intervenant à un stade précoce des dégradations, évitant ainsi des remises en état très coûteuses,
- d'intervenir dans les meilleures conditions possibles, sans urgence, au moment choisi, avec la préparation adéquate,
- de ralentir le vieillissement.

L'ensemble de ces mesures a souvent pour conséquence non négligeable d'améliorer l'état d'esprit du personnel de conduite de l'équipement, parfois associé au système de maintenance à travers les tâches de premier niveau (maintenance autonome).

La maintenance conditionnelle nécessite de connaître les points faibles des machines afin de les surveiller à bon escient. Elle devra aboutir à du « concret » si nécessaire (arrêt de la machine, échange d'une pièce parfois importante). Elle devra être prévue dès la conception de la machine, afin d'intégrer les capteurs nécessaires à la surveillance. L'exemple classique sur une automobile est le témoin de température ou le témoin de niveau d'huile. Mais, attention toutefois aux fausses informations, car un capteur peut lui aussi être soumis à une défaillance !

Tous les matériels sont concernés, encore faut-il qu'ils s'y prêtent (dégradation détectable et mesurable) et qu'ils le méritent (notion de criticité).

### **C – Formes de maintenance conditionnelle**

Selon la périodicité des mesures, on distinguera :

**la surveillance périodique** ou forme large (off-line) : l'intervalle de temps  $\Delta t$  est fixé en fonction de la vitesse estimée de dégradation ; elle permet de détecter l'apparition de défauts à évolution lente. La période peut aller de 2 semaines à six mois selon l'importance et le coût des équipements en cause ;

**la surveillance continue** ou forme stricte (on-line) : les capteurs délivrent de manière continue une information, donc dans ce cas  $\Delta t \rightarrow 0$ . A la limite, on est capable de suivre sur écran ou sur traceur la loi de dégradation du matériel. Elle 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'ordonnement.

### D – Cas d'application

La maintenance conditionnelle doit être mise en œuvre quand on désire éviter les défaillances sur un équipement sans pour autant procéder au remplacement systématique des pièces et organes sujets à dégradation.

Quand une entreprise ou un service prend la décision d'appliquer la maintenance conditionnelle à un équipement (ou à un ensemble d'équipements), il est indispensable que les moyens nécessaires soient mis en place pour avoir, en permanence, connaissance de l'état et de l'évolution de l'équipement concerné. Cela est rendu possible par la pratique de contrôles réguliers réalisés au cours de visites préventives dont la préparation et la planification feront l'objet de soins attentifs.

Cette méthode d'entretien ne doit pas être appliquée indistinctement à tous les équipements. Elle n'est rentable que sur du matériel en bon état, neuf ou récemment révisé, et occupant une place importante, voire stratégique, dans le processus de fabrication (c'est un équipement clé). Il est donc inutile de l'appliquer à du matériel robuste et présentant peu de risque, à des équipements secondaires, dont les pannes ont peu de répercussion sur la production ou alors à des machines en surnombre susceptibles d'être relevées en cas de défaillance.

La décision d'appliquer ou non la maintenance conditionnelle à un équipement doit toujours être dictée par un souci de rentabilité.

La méthodologie de mise en œuvre réside en neuf points :

1. sélection de la défaillance à anticiper ;
2. sélection d'un ou plusieurs paramètres significatifs de la défaillance sélectionnée ;
3. choix des capteurs ;
4. choix du mode de collecte des informations (manuellement au automatiquement) ; attention au snobisme de la télésurveillance, car rien ne remplace l'homme (« l'homme est un capteur » disent souvent les japonais !..) ;
5. détermination des seuils d'alarme et d'admissibilité ;
6. choix du mode de traitement de l'information, et donc de la génération des alarmes ;
7. définition des procédures après alarmes ;
8. organisation de l'intervention préventive ;
9. retour d'expérience, validation du processus de surveillance, optimisation des seuils.

#### 4.2.2.7. Maintenance préventive prévisionnelle

C'est la maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien (norme NF EN 13306).

En fait, on reprend les idées de la maintenance conditionnelle, et on attend les signes de vieillissement ou d'usures pouvant mettre en danger les performances du matériel. Ce mode de préventif s'appuie sur la connaissance exacte et rigoureuse des processus de dégradation. Le meilleur exemple qu'on puisse donner est le témoin de jauge du réservoir d'essence d'une voiture, témoin qu'on intègre dès la conception. En suivant son évolution, on se situe en permanence par rapport à l'échéance fatale. La maintenance prévisionnelle permet de prévoir, avec certitude et confiance, le moment ou la date exacte de la défaillance. La fabrication en étant avertie assez tôt, et la maintenance ayant le recul suffisant pour préparer son intervention, l'urgence disparaît. Chacune des parties, en accord avec l'autre, peut donc réaliser son programme sans perturbation.

**Remarque :** La maintenance prévisionnelle est appelée parfois improprement **maintenance prédictive**. Cette appellation, non reconnue par l'AFNOR, concerne plus particulièrement la surveillance d'équipements à partir de paramètres objectifs ne nécessitant ni arrêt de production ni démontage, tels que, par exemple, les vibrations émises par un ensemble tournant ou la composition des huiles utilisées. Il est clair que le mot « prédictif » est très mal choisi : le technicien de maintenance ne « prédit pas l'avenir » de la machine, il prévoit simplement un problème à terme sur celle-ci si on ne prend pas les décisions nécessaires. La prévision n'est qu'une règle de bon sens, la prédiction...

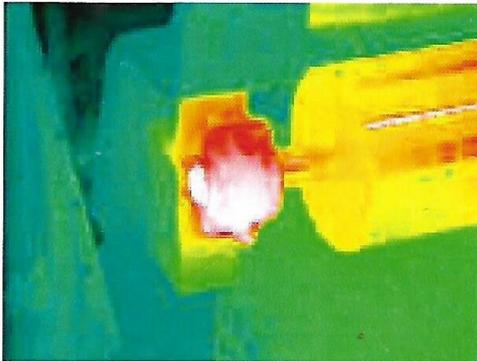
#### 4.2.2.8. Les outils des maintenances conditionnelle et prévisionnelle

Si une maintenance conditionnelle peut s'imaginer très simplement avec peu de matériel ou du matériel simple, voire sans matériel (VTOA), on dispose actuellement sur le marché, d'un certain nombre d'outils, certes onéreux, mais qu'il n'est pas inutile de connaître. Ce sont des techniques très évoluées dont certaines sont issues des progrès réalisés en médecine non invasive. On parle d'ailleurs souvent de **contrôles non destructifs**.

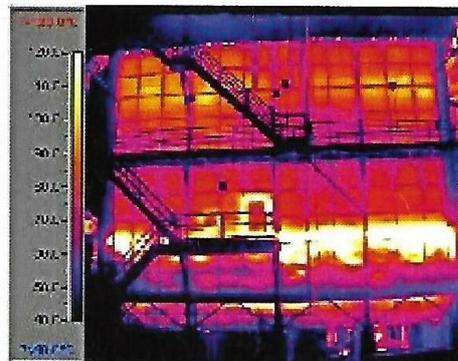
1. **Mesure de la température** grâce aux techniques de thermographie infrarouge ; ces techniques permettent de mesurer les luminances, d'établir une cartographie (zones isothermes) et de suivre son évolution dans le temps. En maintenance, il ne s'agit pas de connaître avec la plus grande précision la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

- 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 au composant électronique sensible voisin,
- détection des fuites thermiques dans les fours, canalisations, etc..

Par analogie avec la médecine, faire de la thermographie infrarouge, c'est comme prendre sa température.

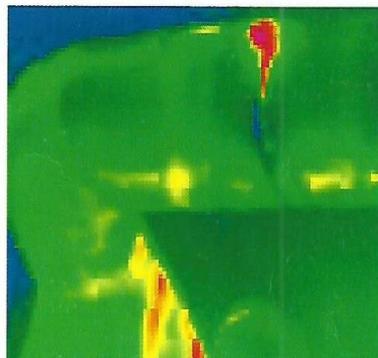


*Figure 15 : Défaut sur un palier*



*Figure 16 : Cartographie industrielle d'un bâtiment industriel*

La thermographie infrarouge est très coûteuse (20 k€ environ pour l'ensemble caméra + traitement d'images associé), mais c'est un outil très polyvalent.



*Figure 17 : Détection de fuite sur une canalisation*

2. **Mesure des vibrations** (niveau, fréquence), bruits et jeux mécaniques ; toutes les machines, et particulièrement les machines tournantes, vibrent et le spectre des fréquences de leurs vibrations a un profil très particulier lorsqu'elles sont en état de bon fonctionnement (figure 18).

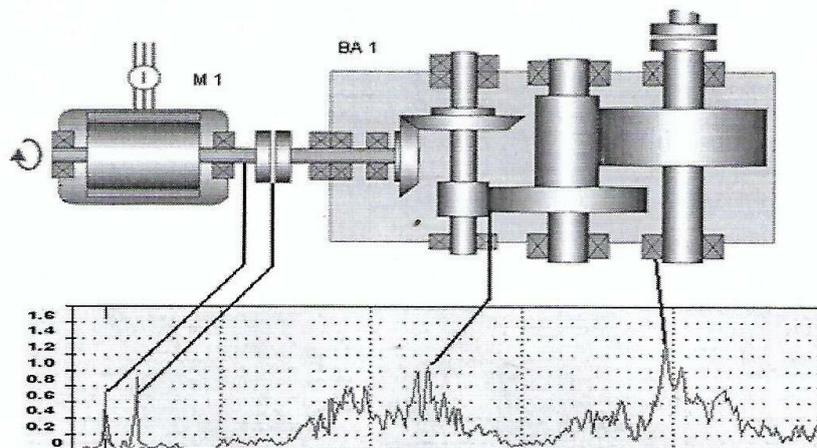


Figure 18 : Signature fréquentielle d'un train d'engrenages entraîné par un moteur

L'analyse vibratoire a pour but de déterminer les forces internes ou externes qui sont appliquées à une installation donnée et de statuer sur la gravité de leur présence et/ou de leur amplitude. Elle s'est aujourd'hui très fortement répandue dans l'industrie en y trouvant sa place (et à juste titre) au sein des stratégies de maintenance conditionnelle.

Dès que des phénomènes d'usure, de fatigue, de vieillissement, de désalignement, de balourd, etc., apparaissent, l'allure de ce spectre change, ce qui permet là encore, de quantifier l'intervention. Le tableau ci-dessous donne les principales anomalies rencontrées (tableau non exhaustif). FR représente la fréquence de rotation de l'arbre vibrant.

Par analogie avec la médecine, faire de l'analyse vibratoire c'est enregistrer puis dépouiller un électrocardiogramme.

L'investissement reste très coûteux. Il faut prévoir pour ce type de mesure va de 1,5 k€ (off-line) à 80 k€ (on-line).

Cause	Vibration		Remarques
	Fréquence	Direction	
Balourd	1 x FR	Radiale	Intensité proportionnelle à la vitesse de rotation
Défaut d'alignement	2 x FR	Axiale et radiale	Vibration axiale en général plus importante si le défaut d'alignement présente un écart angulaire
Défaut de fixation	1, 2, 3, 4 x FR	Radiale	
Courroie en mauvais état	1, 2, 3, 4 x FR	Radiale	
Engrenages endommagés	Fréquence d'engrènement $F = N \text{ dents} \times FR$	Radiale + axiale	Bande latérale autour de la fréquence d'engrènement

Détérioration de roulement	Hautes fréquences	Axiale et radiale	Ondes de chocs dues aux écaillages
----------------------------	-------------------	-------------------	------------------------------------

Tableau 3: différentes signatures vibratoires et leurs causes respectives

2. Mesure des détériorations surfaciques ou internes par contrôles non destructifs.

a) Ultrasons artificiels (produits par un générateur) pour la détection et le suivi des fissures internes : appareillage utilisant le principe des sonars, l'onde émise réfléchi sur le défaut interne donne un écho dont on peut analyser la profondeur et la forme.



Figure 19 : Mesure d'une fissure interne par ultrasons

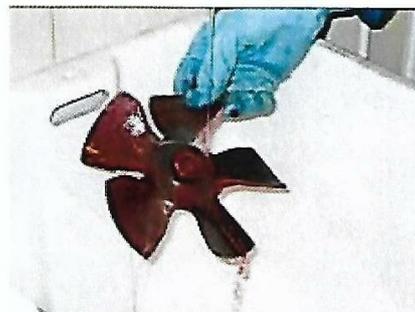
A noter que les ultrasons artificiels permettent de contrôler avec le même principe les défauts d'étanchéité. Cette méthode est très utilisée dès lors qu'on travaille dans un espace confiné :

- aéronautique,
- transports maritimes et ferroviaires,
- chambres blanches,
- réservoirs et citernes enterrés et leurs canalisations,
- autoclaves, etc.

b) Ressuage pour la mise en évidence des fissures débouchantes : il repose sur l'aptitude de certains liquides à pénétrer dans les discontinuités surfaciques puis à ressortir par capillarité de celles-ci.



a – Imprégnation du colorant



b – Rinçage



c – Application du révélateur



d – Apparition d'une fissure

Figure 20 : Technique du ressuage

c) Magnétoscopie et courant de Foucault pour la recherche de défauts externes sur les matériaux ferromagnétiques, etc..

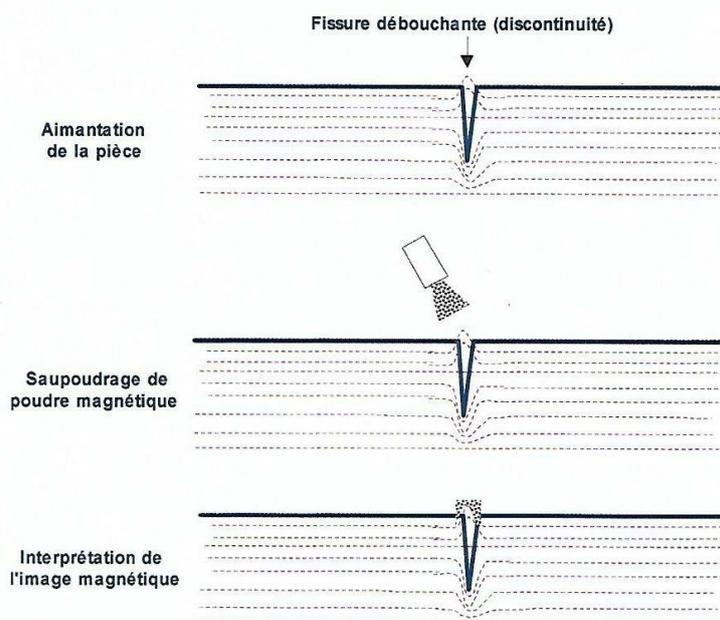


Figure 21 : Principe du contrôle par magnétoscopie



Figure 22 : Techniques de mesure par courant de Foucault

Les investissements à mettre en œuvre vont de quelques dizaines d'€ (ressuage) à 7,5 k€.

### 3. Mesure de la teneur en résidus des huiles et lubrifiants.

Les lubrifiants circulent dans toutes les machines et tous les moteurs. Leur rôle est très important :

- ils réduisent la consommation d'énergie,
- ils limitent l'usure,
- ils participent au refroidissement,
- ils assurent certaines étanchéités,
- ils protègent contre la corrosion.

De plus, les lubrifiants sont de remarquables vecteurs d'informations puisqu'ils vont recueillir, en passant à travers les circuits, toutes les contaminations et usures provoquées ou subies par les machines. De ce fait, ils vont se dégrader au cours du temps.

La surveillance des lubrifiants industriels consiste à mesurer l'état de dégradation et de contamination de ces derniers pour connaître leur capacité à assurer correctement leur fonction. Les facteurs responsables de l'évolution 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.

Les paramètres mesurés sont le plus souvent : la viscosité, l'indice d'acidité ou d'alcalinité (TAN – TBN), la teneur en eau, le point éclair, la teneur en carbone, les produits d'oxydation, la qualité et le taux éventuels d'additifs), la teneur en particules. 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. Par analogie avec la médecine, l'analyse d'huile, c'est donc un peu comme une analyse de sang.

Ces analyses de lubrifiants peuvent être réalisées en laboratoire grâce à des kits spécifiques d'analyse :

- mesure de la pollution gravimétrique qui permet de déterminer la teneur en impuretés solides par filtration de l'huile sur des membranes ayant un pouvoir d'arrêt absolu déterminé (0,8 micromètre en général) ;
- centrifugation, méthode intéressante pour chiffrer globalement le volume d'eau et de sédiments (métallique ou non) contenus dans un échantillon d'huile ;
- mesure de la dilution qui permet de connaître le pourcentage de dilution d'un contaminant (essence, etc..) par vaporisation à l'aide d'un solvant puis par condensation dans une éprouvette graduée.

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..). Des méthodes plus sophistiquées existent mais demandent des moyens lourds : chromatographie, photométrie, spectrographie et spectrométrie d'émission que l'on ne peut trouver que dans un laboratoire très spécialisé.

Le tableau ci-dessous donne le type et l'importance de l'usure en fonction de la forme et de la taille des particules. Le coût d'un kit d'analyse d'huile est de l'ordre de 7,5 k€.

Formes des particules	Type d'usure	Importance de l'usure
Petites plaquettes de 0,3 à 5 µm	Usure adhésive	Usure normale
Grosses plaquettes de 5 à 150 µm	Grippage	Usure dangereuse
Ecailles de 20 µm à 1 mm	Ecaillage	Usure dangereuse
Copeaux enroulés, bouclés	Abrasion	Usure grave surtout si les copeaux sont nombreux
Sphères métalliques de 1 à 5 µm	Fatigue des roulements	Incident grave
Sphères métalliques grosse > 10 µm	Cavitation – Erosion	Incident grave
Sphères plastiques	Dépôts d'additifs	
Magmas, agglomérations 2 à 150 µm	Corrosion – Oxydation	Incident grave

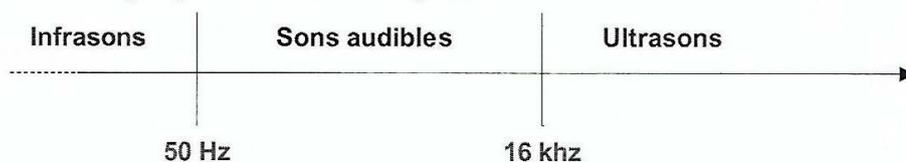
*Tableau 4 : Type et importance de l'usure en fonction de la forme et de la taille des particules*

4. **Endoscopie.** C'est une technique qui permet de visualiser à distance toute zone d'un équipement, a priori non accessible sans démontage, à l'aide d'un appareillage de vision (caméra mobile). C'est une technique très utilisée en médecine (visualisation des points critiques dans les artères, l'appareil digestif, etc..) mais aussi en chirurgie. En maintenance, elle permet la surveillance des cavités (ballons de pression, échangeurs thermiques, etc..), des machines tournantes (moteurs, turbines, etc..). Le coût d'un endoscope est lié à son diamètre et à sa longueur : il faut investir entre 7,5 et 75 k€.



Figure 23 : Endoscope d'exploration de canalisations et appareillage de contrôle

5. **Techniques de détection des ultrasons.** Les ultrasons sont des vibrations inaudibles par l'homme. Les fréquences des ultrasons sont comprises entre 15 kHz environ et quelques centaines de Mégahertz.



Les ultrasons ont une propriété intéressante : ils diffusent de manière directionnelle, ce qui n'est pas le cas des sons audibles (omnidirectionnels). Des ultrasons naturels sont produits pour les cas qui nous intéressent :

- par les frictions des machines tournantes (roulements, engrenages, paliers),
- par les turbulences dues aux problèmes pneumatiques ou hydrauliques (fuites de pression ou de vide, fuites d'huile, fuites de vapeur),
- par des problèmes électriques (arcs, cheminements, effets de couronne, interférence radio/TV).

Cette production naturelle d'ultrasons trouve bien sûr son application en maintenance conditionnelle et prévisionnelle :

- chasse aux fuites sur un réseau d'air comprimé (on estime que la production d'air comprimé absorbe 10% de la consommation d'électricité industrielle européenne. Même en marche à vide, un compresseur peut consommer de 15 à 95% de sa puissance nominale. Certains compresseurs sont donc très coûteux à charge partielle).
- au niveau les installations électriques HT, détection :
  - des effets couronne le long des câbles qui génèrent par ionisation de l'air des produits hautement agressifs ( $O_3$  - l'ozone est utilisé pour des traitements de surface, dérivés nitrés  $HNO_2$ ,  $HNO_3$  - Salpêtre, dérivés d'ammoniac  $NH_4NO_3$ , agression UV)

- des micro-amorçages le long des chemins de câble couverts de poussière pouvant provoquer des incendies.

*Souvent ces phénomènes, mal assimilés par les fabricants et les installateurs, ne sont pas identifiés comme la source des défauts !...*

- détection de l'état de santé d'une machine tournante, permettant de diagnostiquer certains défauts (ou de proposer un complément d'analyse) :
  - usure générale,
  - roulement défectueux,
  - mauvais graissage des roulements,
  - défaut d'alignement.

Coûts d'investissement : entre 1 et 3 k€ selon ce que l'on veut faire.

Il est clair que toutes ces techniques demandent un investissement important en matériel mais aussi en hommes qui doivent être bien formés à ces techniques. Elles demandent aussi de bien connaître les pathologies à prévenir : il faut d'abord savoir ce que l'on cherche ! Elles sont donc peu utilisées directement par le maintenancier généraliste, mais peuvent être externalisées.

#### 4.2.2.9. Autres aspects de la maintenance préventive

##### A – Maintenance de ronde

Une forme particulière de la maintenance préventive, à caractère systématique et conditionnel, est la **maintenance de surveillance ou de veille** (appellation non normalisée), que l'on appelle le plus souvent **maintenance de ronde**. Elle assure une surveillance constante de l'ensemble des équipements. Elle ne peut être réalisée que par des techniciens concernés, c'est à dire attentifs aux moindres problèmes. Elle permet de détecter très rapidement des défaillances mineures qui pourraient, à terme, avoir des conséquences majeures. Elle concerne :

- tous les problèmes de lubrification, de contrôles de pression, température,
- les examens sensoriels (détection de fuites, d'odeurs, de bruits anormaux),
- les réglages de certains organes (courroies, calages, etc..),
- les contrôles des équipements annexes (distribution d'énergie, épuration des eaux, évacuation des résidus, ...).

On trouvera sur le tableau 5 un exemple de fiche de maintenance de surveillance. La télésurveillance gérée par informatique a permis à cette forme de maintenance de se développer ces dernières années.

<b>Equipement</b> : tour parallèle	<b>Maintenance préventive</b>	
<b>Périodicité</b> : 24 heures	Référence : G2-01	Folio : 1/1
<b>Objet</b> : tests de bon fonctionnement	<b>Personnel</b> : 1 personne	

	Durée : 30 minutes
A - <u>Rechanges nécessaires</u> : Porte Outils : PCLNR 20 20 K12 Plaquettes : CNMG 12 04 08-49 TN 200	
B - <u>Moyens d'exécution</u> : Lubrifiant C - <u>Précautions à prendre</u> : néant	
D - <u>Dispositions préalables</u> : néant E - <u>Outillage à prévoir</u> : Clés pour vis 6 pans creux	
F - Procédure :	
F1 - Vérification de l'interrupteur de sécurité du capot supérieur <ul style="list-style-type: none"> <li>• mettre la machine en marche</li> <li>• lever le capot supérieur et vérifier que la machine s'arrête</li> </ul>	
F2 - Vérification de la pédale d'arrêt <ul style="list-style-type: none"> <li>• mettre la machine en marche</li> <li>• appuyer sur la pédale d'arrêt et vérifier que la machine s'arrête</li> </ul>	
F3 - Vérification du bouton-poussoir « coupure générale » <ul style="list-style-type: none"> <li>• mettre la machine en marche</li> <li>• actionner le BP " coupure générale " situé à gauche de la machine</li> <li>• vérifier que le disjoncteur général de la platine électrique est bien déclenché</li> <li>• déverrouiller le BP à l'aide de la clé et réenclencher le disjoncteur</li> </ul>	
F4 - Vérification du niveau d'huile <ul style="list-style-type: none"> <li>• les voyants sont situés sur le dessus du pupitre, vérifier que le niveau est suffisant</li> </ul>	
F5 - Vérification des voyants 1 et 2 correspondant à la vitesse moteur <ul style="list-style-type: none"> <li>• mettre la machine en marche et mettre le bouton sur la position 1 ; vérifier que le voyant est allumé</li> <li>• effectuer les mêmes opérations sur le voyant 2</li> </ul>	
F6 - Vérification des deux sens de déplacement de la tourelle porte-outils <ul style="list-style-type: none"> <li>• mettre la manette sur position haute et vérifier que la tourelle avance en direction des mors</li> <li>• mettre la manette sur position basse et vérifier que la tourelle avance dans le sens</li> </ul>	

opposé

*Tableau 5 : Exemple d'une fiche de maintenance de ronde*

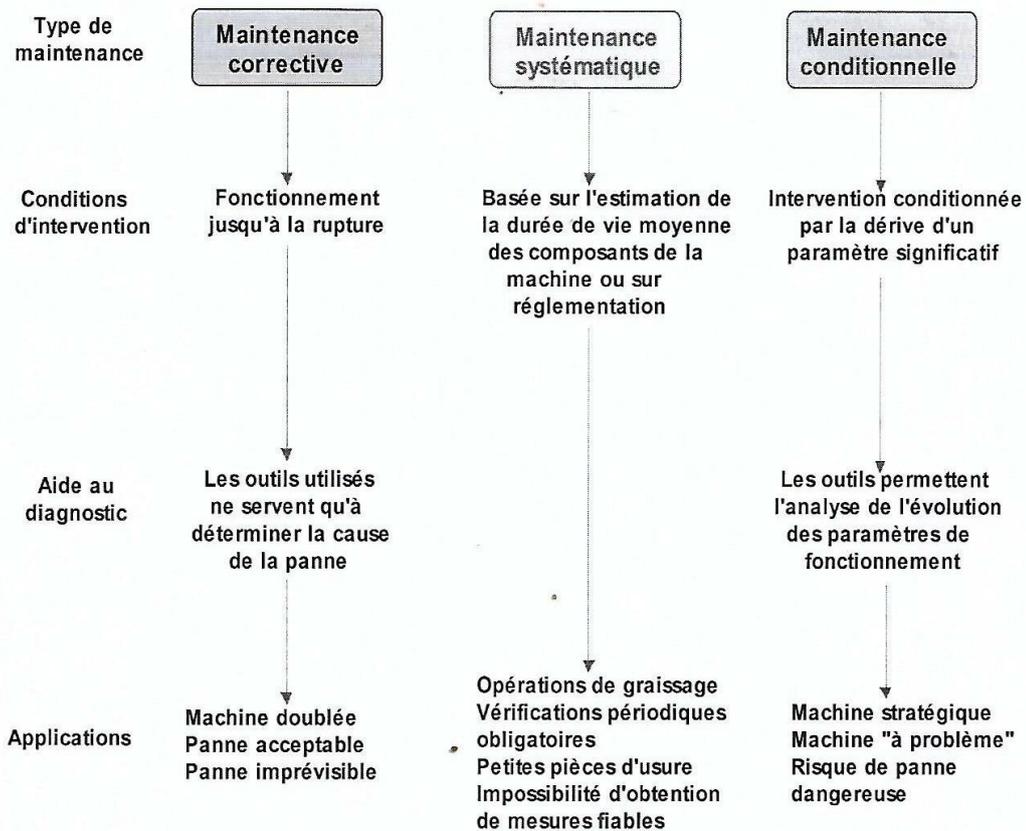
### **B – L'automaintenance**

Si les installations de télésurveillance font gagner du temps, donc de l'argent, elles ne remplacent pas, c'est évident, le « nez » du bon maintenicien. Les japonais l'ont d'ailleurs bien compris dans leur TPM (Total Productive Maintenance). Tout le monde est associé à la maintenance, même l'opérateur du bas de l'échelle et chacun est responsabilisé à son propre niveau (ce qui implique une formation) : c'est l'automaintenance.

L'automaintenance consiste à confier aux opérateurs, en plus de leurs tâches de production, une partie de la maintenance de leurs machines. Cette partie maintenance est souvent appelée « consignes de poste ». Celles-ci concernent :

1. la propreté du poste de travail (nettoyage, rangement),
2. la vérification visuelle des différentes zones du poste à l'arrêt et en fonctionnement,
3. la « surveillance active » en fonctionnement (VTOAG et relevés de normalités de certains paramètres comme la température ou la pression),
4. l'alerte éventuelle (appel maintenance).

**Conclusion :**



*Figure 24 : Récapitulatif des formes de maintenance*

**4.2.3. Maintenance améliorative**

L'amélioration des biens d'équipements est un « ensemble des mesures techniques, administratives et de gestion, destinées à améliorer la sûreté de fonctionnement d'un bien sans changer sa fonction requise » (norme NF EN 13306).

On apporte donc des modifications à la conception d'origine dans le but d'augmenter la durée de vie des composants, de les standardiser, de réduire la consommation d'énergie, d'améliorer la maintenabilité, etc. C'est une aide importante si l'on décide ensuite de construire un équipement effectuant le même travail mais à la technologie moderne : on n'y retrouvera plus les mêmes problèmes.

#### 4.2.3.1. Opérations de maintenance améliorative

1. **Rénovation** : c'est l'inspection complète de tous les organes, la reprise dimensionnelle complète ou le remplacement des pièces déformées, la vérification des caractéristiques et éventuellement, la réparation des pièces et sous-ensembles défectueux. C'est donc une suite possible à une révision générale. Une rénovation peut donner lieu à un échange standard.

2. **Reconstruction** : « action suivant le démontage du bien principal et remplacement des biens qui approchent de la fin de leur durée de vie et/ou devraient être systématiquement remplacés ». La reconstruction diffère de la révision en ce qu'elle peut inclure des modifications et/ou améliorations. L'objectif de la reconstruction est normalement de donner à un bien une vie utile qui peut être plus longue que celle du bien d'origine. La reconstruction impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications. Les modifications peuvent apporter un plus en terme de disponibilité (redondance), d'efficacité, de sécurité, etc. Attention toutefois à une forme particulière de reconstruction : c'est la « **cannibalisation** » qui consiste à récupérer, sur du matériel mis au rebut (« casse »), des éléments en bon état, de durée de vie espérée inconnue, et de les utiliser en rechanges ou en pièces de rénovation. Est-ce une bonne solution ?...

3. **Modernisation** : c'est le remplacement d'équipements, d'accessoires, de logiciels par des sous-ensembles apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien. Une modernisation peut intervenir dans les opérations de rénovation ou de reconstruction.

#### 4.2.3.2. Conditions d'application et objectifs

La maintenance améliorative est un état d'esprit nécessitant un pouvoir d'observation critique et une attitude créative. Un projet d'amélioration passe obligatoirement par une étude économique sérieuse : l'amélioration doit être rentable. Tous les matériels sont concernés, sauf bien sûr, les matériels obsolètes ou proches de la réforme. Les objectifs de la maintenance améliorative d'un bien sont :

- l'augmentation des performances de production,
- l'augmentation de la fiabilité,
- l'amélioration de la maintenabilité,
- la standardisation de certains éléments ou sous-ensemble,
- l'augmentation de la sécurité des utilisateurs.

### 5. Les niveaux d'intervention en maintenance

La maintenance et l'exploitation d'un bien s'exercent à travers de nombreuses opérations, parfois répétitives, parfois occasionnelles, communément définies jusqu'alors en 5 niveaux de maintenance.

Le classement de ces opérations permet de les hiérarchiser de multiples façons. Ce peut être en fonction des critères suivants :

- la compétence requise,
- le lieu où l'intervention doit se dérouler,
- les moyens matériels à mettre en œuvre,
- la complexité des instructions nécessaires à l'exécution,
- l'impact de l'intervention sur le stock de rechange,
- l'importance des contrôles et des essais à faire, en cours ou en soin d'intervention.

### 5.2. Niveau 1

Ce sont des actions simples nécessaires à l'exploitation et réalisées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité à l'aide d'équipements de soutien intégrés au bien. A titre d'exemple et pour fixer les grandeurs : compléments de carburant ou de fluides, graissage sur bornes externes, remplacement de consommables ou accessoires (lampe, pile, etc..), relevés d'indicateurs (pression, température, etc..). C'est le plus souvent l'opérateur ou l'exploitant du bien qui effectue la maintenance de niveau 1 : il est en effet inutile d'appeler un technicien de maintenance pour effectuer ce travail (cf automaintenance).

### 5.3. Niveau 2

Ce sont des actions qui nécessitent des procédures simples et des équipements de soutien (intégrés ou non au bien) d'utilisation et de mise en œuvre simple. On trouvera par exemple les contrôles de performance, certains réglages, les dépannages simples, les réparations par échange standard (à condition qu'il soit facile à réaliser). Ce type d'intervention doit être réalisé par du personnel habilité selon des procédures détaillées et des équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance. Exemples : nettoyage ou remplacement d'un filtre à air, vidange d'un carter d'huile, graissage de transmissions, réparation d'un système d'éclairage au néon, etc.

### 5.4. Niveau 3

Ce sont des actions qui nécessitent des procédures complexes et des équipements de soutien d'utilisation ou de mise en œuvre complexes. On trouve les opérations de réglages et de contrôles généraux (réétalonnage d'un pH-mètre sur un système de contrôle de l'acidité d'une cuve de traitement chimique par exemple), les réalignements d'arbres, les opérations de maintenance systématique délicates, les réparations par échanges de sous-ensembles ou de composants (électronique, mécanique, thermique, etc..).

Ces opérations délicates doivent être réalisées par des techniciens qualifiés, à l'aide de procédures détaillées et des équipements de soutien définis dans les instructions de maintenance.

### 5.5. Niveau 4

Ce sont des opérations dont les procédures impliquent la maîtrise d'une technique ou d'une technologie particulière et la mise en œuvre d'équipements de soutien spécialisés. Ce sont toutes les opérations de maintenance corrective et préventive à l'exception de la rénovation et de la reconstruction : réparations par échanges de sous-ensembles ou de composants (révision d'un compresseur d'air par exemple), réparations spécialisées (démontage, réparation,

remontage d'un treuil de levage, remplacement d'une armoire électrique, etc.), vérification des appareils de mesure, contrôle de la transmission de données sur un réseau, etc..

Ces interventions doivent être réalisées par un technicien ou une équipe spécialisée à l'aide de toutes les instructions de maintenance générales ou particulières.

### 5.6. Niveau 5

Ce sont des opérations dont les procédures impliquent un savoir-faire faisant appel à des techniques ou technologies particulières, des processus et des équipements de soutien industriels. Ce niveau recouvre donc toutes les opérations de réfection, rénovation ou reconstruction. Par exemple : remise en conformité électrique d'un immeuble, modernisation d'une ligne de production, remise en conformité électrique etc..

Elles sont en règle générale réalisées par le constructeur ou par une société spécialisée avec des équipements de soutien définis par le constructeur.

Le tableau 6 résume les caractéristiques de ces cinq niveaux de maintenance.

	Compétence	Lieu	Outils	Instructions	Pièces de rechange	Essais Contrôles
1	Non professionnelle	sur place	sans	Instructions d'utilisation	stock faible	visuels
2	Technicien habilité	sur place	portable défini par les instructions de maintenance	Instructions de maintenance	disponibles et à proximité	visuels
3	Technicien spécialisé	sur place ou atelier maintenance	spécifique prévu dans les instructions de maintenance. Appareils de mesure et de réglage.	Instructions de maintenance	approvisionnées par le magasin	bancs équipés
4	Equipe très spécialisée	atelier spécialisé	Général Bancs d'essais et de contrôle des équipements	Instructions générales et spécifiques	approvisionnées par le magasin	bancs de mesures, étalon de travail
5	Constructeur	extérieur ou atelier central	défini par le constructeur	Instructions du constructeur	approvisionnées par l'extérieur	protocole à établir entre constructeur et utilisateur

Tableau 6 : Les cinq niveaux de maintenance





