

Chapitre 03 : Principaux concept de défaillance

La maîtrise du matériel est le fruit de la parfaite connaissance intrinsèque de ce matériel et de l'observation attentive de son comportement.

Dans le cadre de la maintenance industrielle, l'analyse du comportement des systèmes a pour objet la prise en compte et l'étude des aléas de fonctionnement et de leur processus d'apparition. Ces dérives comportementales se nomment également modes de défaillance.

On ne peut prétendre à une disponibilité optimale des matériels sans une connaissance précise de la nature des défaillances.

1. Définitions relatives aux défaillances

Définition de la défaillance selon la norme NF X 60 – 011 :

Altération ou cessation d'un bien à accomplir sa fonction requise.

Cause de défaillance : circonstances liées à la conception, à la fabrication, à l'installation, à l'utilisation et à la maintenance qui ont conduit à la défaillance.

Mécanisme de défaillance : processus physiques, chimiques ou autres qui conduisent ou ont conduit à une défaillance.

Mode de défaillance : effet par lequel une défaillance se manifeste.

Panne : état d'un bien inapte à accomplir une fonction requise.

Dégradation : évolution irréversible des caractéristiques d'un bien liée au temps ou à la durée d'utilisation.

2. Types de défaillances :

Les défaillances ont des causes, des manifestations et des conséquences très diverses. Aussi, pour mieux les connaître et pouvoir efficacement intervenir, il est nécessaire de distinguer plusieurs catégories.

a. Suivant leur cause :

- **Défaillances de causes intrinsèques** : défaillances dues à une mauvaise conception du bien, à une fabrication non conforme du bien ou à une mauvaise installation du bien. Les défaillances par usure (liées à la durée de vie d'utilisation) et par vieillissement (liées au cours du temps) sont des défaillances intrinsèques.

Exemple :

Défaut de qualité-matière ou de dimensionnement, de construction ou d'assemblage.

Grippage d'un roulement à billes.

- **Défaillance de causes extrinsèques** : défaillances de mauvais emploi, par mauvais entretien.

On peut éviter que ce type de défaillance ne se reproduise par la formation des personnels de conduite et d'entretien ou par l'élaboration de procédures précises et détaillées.

b. Suivant leur degré d'importance :

On peut distinguer les défaillances complète, partielle, intermittente, etc

- **Défaillance partielle :** Défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées, mais telle quelle n'entraîne pas une disparition complète de la fonction.
- **Défaillance complète :** Défaillance résultant de déviations d'une ou des caractéristiques au-delà des limites spécifiées telle qu'elle entraîne une disparition complète de la fonction requise.
- **Défaillance intermittente :** Défaillance d'un dispositif pour une période de temps limitée, après laquelle le dispositif recouvre son aptitude à accomplir sa fonction requise sans avoir été soumis à une action corrective extérieure. »
Ex : défaut de connexion électrique.

c. Suivant leur vitesse d'apparition :

- **Défaillance progressive :** Défaillance due à une évolution progressive des caractéristiques d'un bien.
- **Défaillance soudaine :** Défaillance brutale due à une évolution quasi instantanée des caractéristiques d'un bien.

d. Par combinaison des concepts précédents :

- **Défaillance catalectique :** Défaillance à la fois soudaine et complète.
Ex. : claquage d'un composant électronique.
- **Défaillance par dégradation :** Défaillance à la fois progressive et partielle.
Ex. : corrosion, usure par frottement.

e. En fonction des conséquences :

On distingue les défaillances critique (ex : détérioration d'un four de moulage), défaillance majeur (ex : défaillance sur une chaîne de supervision d'un four de moulage) et défaillance mineur (ex : défaillance du système de refroidissement en sortie d'un four).

▪ **Les modes de défaillance :**

Un mode de défaillance est la façon par laquelle est constatée l'incapacité d'un bien à remplir une fonction requise. C'est donc le processus qui, à partir d'une cause intérieure ou extérieure au bien, entraîne la défaillance du bien considéré.

Le mode de défaillance est relatif à une fonction. De façon très générale, un mode de défaillance à un des 4 effets suivants sur un système :

1. Fonctionnement prématuré ;
2. Ne fonctionne pas au moment prévu ;
3. Ne s'arrête pas au moment prévu ;
4. Défaillance en fonctionnement.

Il est cependant impossible d'effectuer une analyse concluante en vue d'un diagnostic avec une liste aussi généraliste. Il est donc nécessaire de développer cette liste, et surtout le point N°4 relatif aux défaillances en fonctionnement.

Pour les six domaines technologiques (mécanique, électrotechnique, électromagnétisme, hydraulique, thermodynamique, chimie), on recense plus d'une centaine de modes de défaillance en fonctionnement spécifiques et propres à chacune des disciplines.

Un mode de défaillances s'exprimera donc par la manière dont un système viendra à ne plus remplir sa fonction. Il s'exprimera en termes physiques : rupture, desserrage, coincement, court-circuit, etc.

Exemples de modes de défaillance en fonctionnement :

- Mécanique : abrasion, cisaillement, corrosion, déformation permanente, écaillage, fatigue, grippage, etc.
- Electrotechnique : arc, claquage, collage, fuite, fusion, usure, rupture, etc.
- Electromagnétisme : aimantation, effet joule, électricité statique, etc.
- Hydraulique : cavitation, coup de bélier, onde de choc, turbulence, etc.
- Thermodynamique : choc thermique, dilatation, rayonnement thermique, etc.

4. Les mécanismes de défaillance

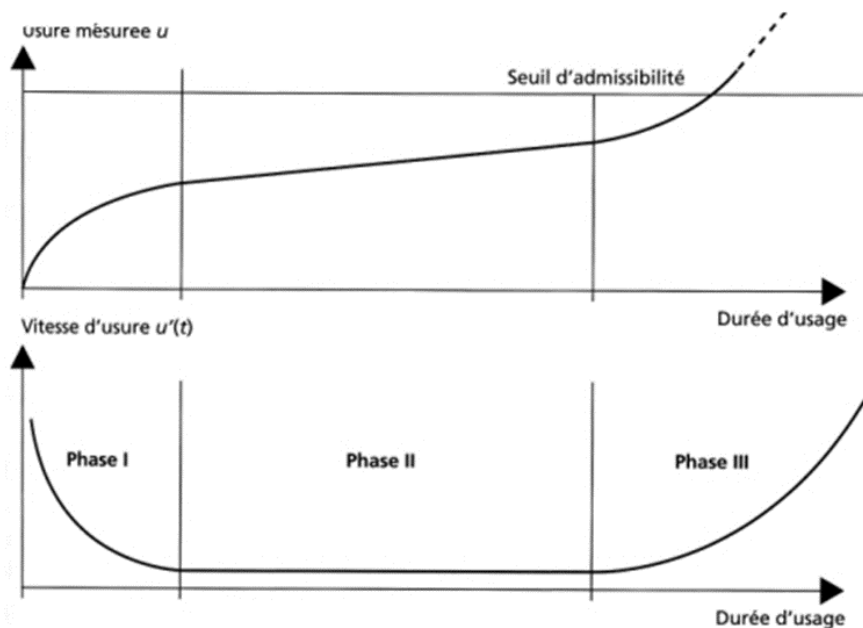
4.1. Défaillances mécaniques par détérioration de surface : fatigue et usure :

- **Usure** : enlèvement progressif de matière à la surface des pièces d'un couple cinématique en glissement relatif.
- **Fretting-corrosion** : usure particulière apparaissant au contact de 2 pièces statiques, mais soumises à de petits mouvements oscillants (vibrations). C'est le cas des pièces frettées ou des clavetages.
- **L'écaillage** : enlèvement de grosses écailles de matière.
- **Grippage** : soudure de larges zones de surface de contact, avec arrachement massif de matière
- **Abrasion** : action d'impuretés ou de déchets (poussières, sable, etc)

- **Cavitation** : implosion de micro bulle de gaz incondensables sous l'action d'une brutale chute de pression au sein d'un liquide. L'onde de choc génère des cratères dans la zone de cavitation (pompes, hélices, etc)
- **Erosion** : enlèvement de matière par l'impact d'un fluide ou de particules solides en suspension, ou de phénomènes électriques (arcs)
- **Faièncage** : réseau de craquelures superficielles dues à la fatigue thermique
- **Marquage** : enfoncement localisé dû à une charge ponctuelle
- **Rayage** : trace laissée par le passage d'un corps dur
- **Roulement et fatigue de contact** : roulements à billes et à aiguilles se détériorent intrinsèquement par fatigue de contact. La pression de Hertz au contact bille / chemin de roulement fait apparaître des contraintes de cisaillement sur les bagues entraînant des fissures en surface puis débouchantes (piqûres).
- **Frottement et usure** : Ce mode de défaillance est inexorable dès lors que 2 surfaces en contact ont un mouvement relatif. La tribologie est la science expérimentale qui étudie ces phénomènes.

Dynamique de l'usure des lois de dégradation :

L'usure se paramètre de deux façons : soit par l'épaisseur usée (u), soit par volume de matière enlevée (V_u).



A partir de 2 surfaces initiales :

- La phase I est constituée de l'abrasion des principales aspérités : c'est la période de rodage affectant les ondulations et la rugosité liées au mode d'obtention.
- La phase II est constituée d'une usure stable, linéaire dans le temps. L'usure est reportée principalement sur l'une des surfaces de contact.
- La phase III, dite usure catastrophique, consiste en émissions particulaires ; débris engendrant un labourage de la surface la plus tendre et une dégradation rapide.

L'analyse des lubrifiants met en évidence cette succession de phases en caractérisant le nombre et la taille croissante des particules métalliques libérées.

4.2. Défaillances mécaniques par déformations plastiques :

- **Déformations plastiques sous contrainte mécanique** : dues à un dépassement de la limite élastique du matériau. Une inspection des pièces vérifiant l'apparition d'une zone de striction peut prévenir le risque d'une rupture prochaine.
- **Déformation plastique sous contrainte thermique et dans le temps** : c'est le fluage qui est une déformation apparaissant sous contrainte mécanique associée à des températures de service supérieures à 40% de la température de fusion.

4.3. Défaillances mécaniques par rupture ductiles, fragiles ou de fatigue :

- **Rupture ductile** : elle provient après une phase de déformation plastique appréciable, allongement du matériau et striction au niveau de la rupture.
- **Rupture fragile** : elle survient après une très faible déformation plastique. Elle est souvent l'effet d'un choc et est favorisée par la fragilité intrinsèque du matériau.
- **Rupture par fatigue** : c'est quand une pièce a atteint sa limite d'endurance.

4.4. Les modes de défaillances électriques :

- **Rupture de liaison électrique** : c'est le plus souvent la conséquence d'une cause extrinsèque (choc, surchauffe, vibration).
- **Collage ou usure des contacts** : les contacts, par différents modes de défaillances, sont souvent les « maillons faibles » d'un circuit électrique.
- **Claquage** d'un composant, tels que des résistances, des transistors, etc

Ces modes de défaillances présentent un caractère catalectique qui les rend difficile à prévenir. Par contre, il est possible d'agir sur les phénomènes extérieurs qui les génèrent, tels que les actions thermiques et vibratoires.

Dans le domaine électronique, le « déverminage » a pour but d'éliminer les composants ayant un point faible qui risquerait d'apparaître en fonctionnement.

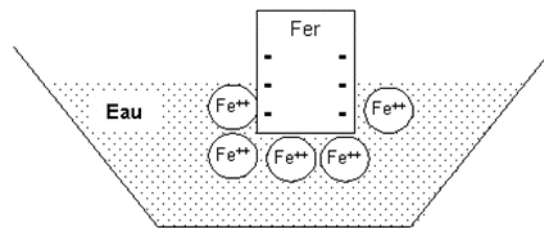
4.5. Modes de défaillance par corrosion

- **Corrosion électrochimique** : Elle affecte les métaux (souvent le fer) en milieu aqueux. La corrosion atmosphérique entre dans ce cadre (l'électrolyte étant apporté par l'eau contenu dans l'atmosphère).

Réaction anodique : $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{++} + 2e$

Réaction cathodique : $2\text{H} + 2e \rightarrow \text{H}_2$

Les ions ferreux étant en solution dans l'eau.



- **La corrosion chimique** : La mise en contact fortuite ou normale, temporaire ou permanente, d'équipements avec des produits agressifs entraîne une corrosion chimique : réaction chimique avec perte régulière de matière, formations piqûres, ou fissuration par corrosion inter granulaire. Les agents corrosifs peuvent être des acides, (sulfurique, nitrique, chlorhydrique, etc), des détergents voire même des lubrifiants (dont la mission est la protection des surfaces mais dont les additifs créent certaines incompatibilités et dont l'oxydation produit des acides organiques).
- **La corrosion électrique** : sous l'effet de « courants vagabonds », 2 surfaces métalliques voisines peuvent être soumises à une DDP suffisante pour créer un arc électrique, entraînant une abrasion. Les origines peuvent être une mauvaise mise à la terre, des courants induits sur les machines électriques, des charges électrostatiques provenant de frottements (courroies, textiles, etc.).
- **La corrosion bactérienne** : les huiles de coupe et les eaux industrielles contiennent souvent des « ferro-bactéries » se divisant toutes les 20 minutes (1 bactérie donne naissance à 1 milliard de bactéries en 12 heures).

- **La corrosion de contact** : elle survient lorsque 2 pièces sont en contact et soumises à des vibrations. Ex : bague extérieure d'un roulement dans son logement. Dans ce processus complexe, il se forme du Fe_2O_3 en poussière rougeâtre très abrasive.
- **La cavitation** : elle se manifeste sur des pièces en contact avec une zone de turbulence liquide. Des bulles se forment dans la masse du liquide en écoulement turbulent. Sous l'effet de la pression externe, ces bulles implosent, générant une onde de choc accompagnée d'une température ponctuelle élevée. Ainsi s'explique la dégradation des turbines, d'hélices, de chemises de moteurs, etc.