

> TPM

Optimiser la maintenance préventive

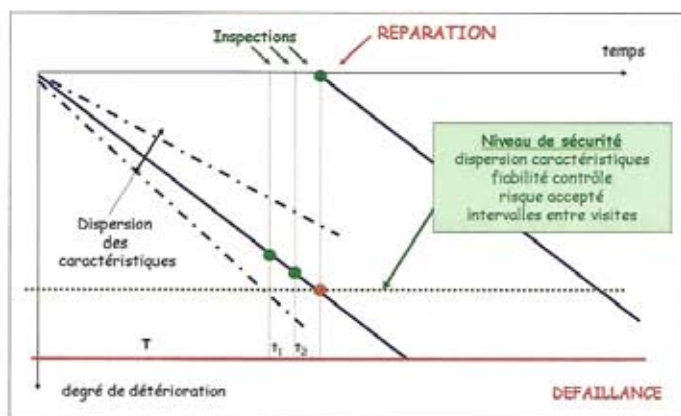
La Maintenance préventive a pour objectif de vérifier ou de surveiller, en adoptant un certain niveau de risque (risque de panne imprévue), qu'un composant a évolué conformément aux prévisions de fiabilité qui ont été faites. Elle n'a pas pour but de détecter, par une surveillance rapprochée, les dégradations forcées créées par le non respect des conditions de base d'exploitation.

La TPM nous rappelle que la maintenance préventive est onéreuse et peu efficace tant que les conditions normales d'exploitation (production & maintenance) des équipements ne sont pas respectées. Pour construire un plan de maintenance, le spécialiste s'appuie sur la connaissance des paramètres de fiabilité des composants à contrôler. Cette connaissance est soit mathématique, ce qui n'est pas toujours possible dans l'industrie, soit obtenue à partir de différentes estimations. Ces dernières sont souvent implicites. Mais il est impératif de connaître ou d'estimer les points suivants:

- quelle est la fiabilité du composant à contrôler? Sa loi de fiabilité définit à elle seule;
- le phénomène de détérioration (vieillessement, phénomène cataleptique ou accidentel),
- la durée de vie moyenne.
- quel est le risque accepté de panne imprévue entre 2 opérations de maintenance préventive? (celui-ci intégrant ou non la précision de la durée de vie moyenne).

Ces éléments sont nécessaires pour définir :

- la courbe d'évolution de la dégradation ou la probabilité de défaillance en fonction du temps,
- un seuil de défaillance (limite des caractéristiques entraînant la panne),



- un seuil de sécurité pour lequel le composant doit être changé pour éviter, avec le risque accepté, une possible panne.

Le JIPM prend l'exemple de la réalisation d'une maintenance conditionnelle (basée sur le temps). Pour simplifier, nous avons schématisé par une droite l'évolution des caractéristiques en fonction du temps.

Le seuil de sécurité tient compte :

- du niveau de risque acceptable,
- de la limite basse de l'intervalle de confiance de durée de vie,
- de la fiabilité des contrôles.

Des inspections sont alors programmées aux temps T , $(T+t_1)$, $(T+t_1+t_2)$. Lorsque les caractéristiques sont jugées égales au niveau de sécurité, une réparation est réalisée et le cycle de maintenance préventive est relancé.

On remarquera qu'il n'est pas nécessaire de programmer des visites dès la mise ou remise en service du composant. Nous reviendrons sur ce constat dans un prochain paragraphe.

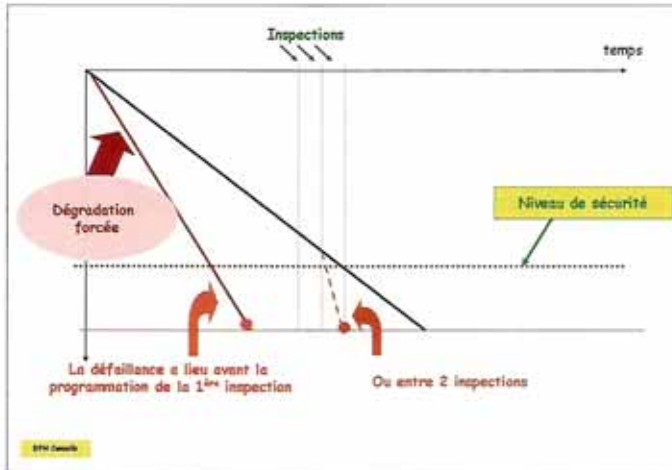
L'existence de dégradations forcées, nous place dans le cadre de la 2^e figure en haut à gauche de la page suivante.

Une dégradation forcée permanente entraîne une augmentation de la vitesse de dégradation. Le seuil de défaillance est donc atteint avant la réalisation de la première inspection programmée.

Pour éviter cela, le responsable peut décider de programmer beaucoup plus tôt la première inspection.

Mais cette décision est extérieure aux prévisions réalisées et occasionne des contrôles plus fréquents donc une maintenance préventive plus onéreuse.

Cette détérioration peut aussi avoir lieu de manière interpestive entre 2 visites ce qui signifie que le programme d'inspections a été inutile.



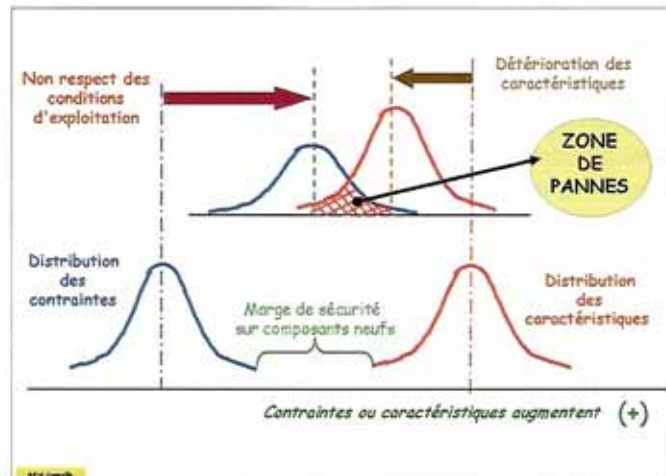
Le non respect des conditions de base ou les dégradations forcées ont donc pour conséquence une maintenance préventive coûteuse (visites précoces ou trop rapprochées) ou inefficace (pannes avant le contrôle ou entre deux inspections). Cette situation serait identique pour une maintenance systématique.

FIABILITÉ ET DÉGRADATIONS FORCÉES

La fiabilité s'exprime par la probabilité qu'un composant fonctionne sans défaillance, durant un temps donné, dans des conditions d'utilisation définies de manière précise. C'est sur celles-ci que se base l'ingénieur lorsqu'il prend en compte la fiabilité d'un composant. Elles concernent les contraintes que subit le composant (charge, vitesse, conditions d'environnement, etc.) et les conditions de maintenance de l'équipement (lubrification, qualité de montage et d'ajustement, état des autres composants, etc.).

En TPM® ces conditions spécifiques sont désignées sous le terme de conditions normales d'utilisation du composant. Leur non respect entraîne dans le vocabulaire TPM® des dégradations forcées.

La fiabilité intrinsèque d'un composant est définie en fonction de ces conditions. Il y aura panne lorsque les contraintes subies par le composant seront supérieures à ses caractéristiques.

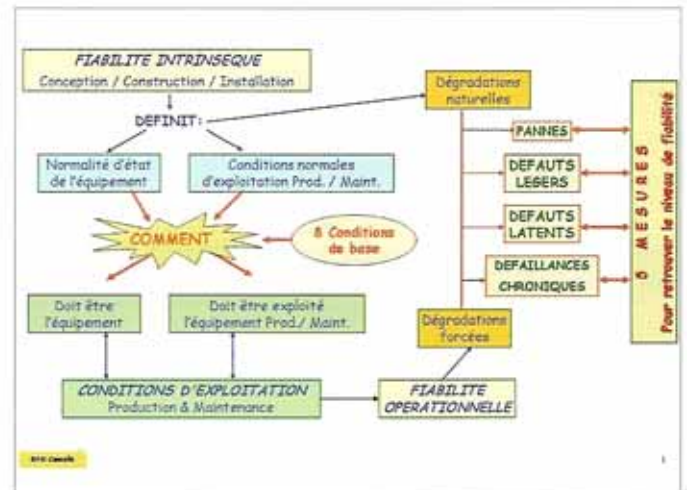


Fiabilité intrinsèque / fiabilité opérationnelle

Pour simplifier et en nous plaçant au niveau des utilisateurs, nous incluons dans la fiabilité intrinsèque les caractéristiques de fiabilité déterminées par :

- la conception (dimensionnement des organes, choix des technologies, des matériaux, des tolérances),
- la construction de l'équipement.

Suivant la figure ci-dessous, la fiabilité intrinsèque définit "2 Comment" :



- **Comment** est et doit rester l'équipement. Ce qui définit sa fiabilité donc ses probabilités de défaillances naturelles.
- **Comment** il doit être installé et exploité au niveau Production et Maintenance.

Fiabilité intrinsèque et fiabilité opérationnelle déterminent le comportement des équipements et donc l'activité de la fonction maintenance.

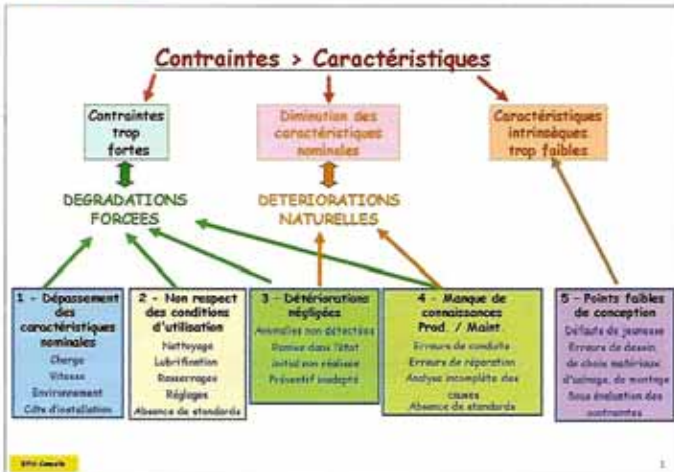
Les conditions de maintenance: lubrification, qualité des réparations, qualité des pièces de rechange, efficacité de la maintenance préventive, moyens dégagés pour réaliser les remises à niveau sont des paramètres importants de la fiabilité opérationnelle.

Les 2 **Comment** sont fixés à partir de 8 paramètres qui permettent d'évaluer l'état de l'équipement et de définir le niveau SOUHAITABLE ainsi que les limites de l'ACCEPTABLE. Ils concernent :

- 1 - l'apparence extérieure des organes de l'équipement : état des pièces, de leurs surfaces, de leur fixation - absence de salissures,
- 2 - la précision dimensionnelle : tolérances dimensionnelles et de forme,
- 3 - la précision d'assemblage: positions relatives - forces de serrage - rigidité,
- 4 - la nature des matériaux: adaptation aux contraintes mécaniques, chimiques, etc. - résistances aux sollicitations intempestives,
- 5 - les conditions opérationnelles : définition et respect des conditions normales d'utilisation, de réglage - accessibilité pour contrôles, nettoyages et interventions,

- 6 - la précision d'installation : fixation au sol – alignement – positionnement et protection des câbles et tuyauteries,
- 7 - les conditions fonctionnelles : respect des conditions opératoires – maîtrise des dégradations naturelles – absence de dégradations forcées – lubrification – nettoyages,
- 8 - les conditions d'environnement : absence de contraintes extérieures non prévues – accessibilité.

Comment éviter les dégradations forcées ?



La TPM® fixe 5 conditions à respecter pour supprimer les causes de dégradations forcées. Celles-ci sont représentées par le schéma ci-dessus.

- 1 - ne pas dépasser les caractéristiques nominales,
- 2 - respecter les conditions d'utilisation,
- 3 - ne négliger aucune détérioration,
- 4 - améliorer les connaissances et le savoir-faire du personnel de production et de maintenance,
- 5 - supprimer les points faibles de conception.

CRITÈRES DE CHOIX DE LA POLITIQUE DE MAINTENANCE

La courbe de fiabilité ou de durée de vie des composants souvent représentée par la courbe en baignoire (image d'Epinal de la fiabilité) nous permet de distinguer 3 périodes :

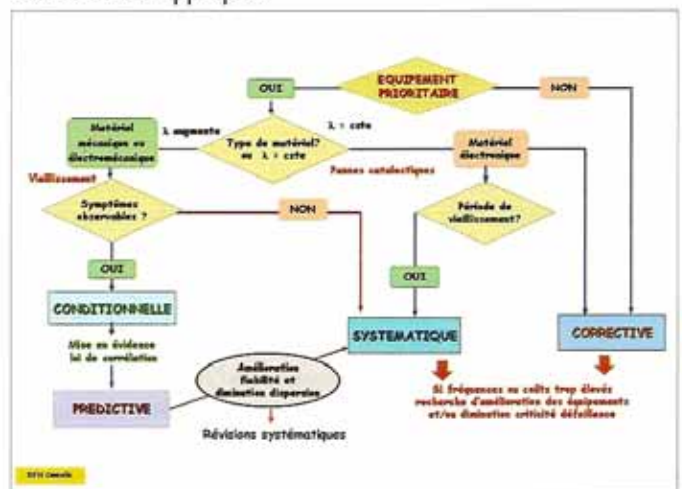
- **Infantile** due à une mauvaise qualité des composants ou une mauvaise qualité de montage. Cette période n'est pas concernée par la maintenance préventive. Mais il faut être conscient que chaque fois que l'on remplace un composant suite à une maintenance préventive ou corrective, on risque de se retrouver dans cette période.
- **Vie utile** ou de pannes dites cataleptiques. Le taux d'avarie est constant, les pannes surviennent de façon aléatoire, imprévisible, d'où leur nom. Elles sont franches et subites et ne sont précédées d'aucun signe précurseur. Ce qui signifie qu'il n'est pas possible de prévoir la défaillance donc de faire de la maintenance préventive. C'est le cas typique du matériel électronique et des phénomènes de rupture. Pour cette loi de fiabilité (loi exponentielle), la probabilité de défaillance durant une mission de durée déterminée est indépendante de l'âge du matériel mais seulement de la durée de

la mission. On peut exprimer cette caractéristique en disant que chaque fois que le composant est arrêté sa probabilité est réinitialisée à 1. Ce qui signifie que le remplacement systématique du composant n'apporterait aucune fiabilité supplémentaire et risquerait au contraire de nous faire revenir à la période infantile. Il n'y a donc pas de maintenance préventive possible.

Cette période peut être interrompue par un phénomène de vieillissement qui obligera à effectuer un remplacement systématique. La période de remplacement sera déterminée de telle manière que le taux d'avarie dû au vieillissement ne fasse pas augmenter de manière importante le taux d'avarie de la période de vie utile.

• **Vieillessement** (le taux d'avarie augmente avec la durée totale d'utilisation du matériel). Les phénomènes de vieillissement évoluent en général lentement et sont accompagnés de signes précurseurs. Cette période est caractéristique des phénomènes d'usure, de corrosion et de fatigue. Durant cette période la maintenance préventive peut être appliquée.

La figure ci-dessous indique comment choisir le type de maintenance approprié.



Une attention particulière doit être portée à la détermination de λ : taux d'avarie du composant.

Pour des composants soumis à un phénomène de vieillissement (usure, etc.) et remplacés au fur et à mesure de leurs défaillances, le taux de remplacement apparent tel que les consommations magasins de ces composants est constant alors que le taux d'avarie réel est fonction de l'âge du composant. Le fait qu'un taux de remplacement soit constant n'est pas un critère suffisant pour distinguer les pannes cataleptiques de celles dues au vieillissement.

On voit que la maintenance conditionnelle sera choisie pour un équipement prioritaire dont le taux d'avarie augmente dans le temps (période de vieillissement) et pour lequel les symptômes de dégradation sont observables.

Cette maintenance pourra être remplacée, si besoin est, par une maintenance prédictive lorsqu'on aura exploité la période précédente pour mettre en évidence une loi de corrélation entre mesure et niveau de dégradation.

La maintenance systématique (remplacement ou révision) sera utilisée en période d'usure dans les 2 cas suivants :

- on ne sait pas encore observer ou détecter les symptômes

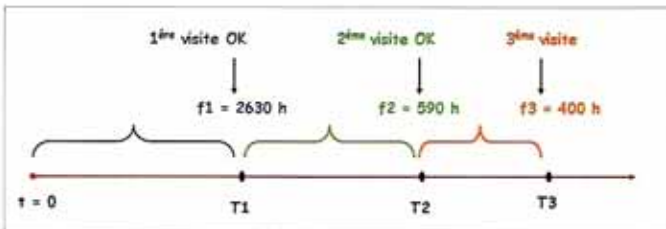
d'usure (équipements neufs). Mais elle est coûteuse. En acceptant un risque r % de panne on remplace $(1 - r)$ % de composants qui auraient pu fonctionner plus longtemps,

- la durée de vie moyenne est bien connue, a été améliorée et présente une dispersion faible.

PLANIFICATION DE LA MAINTENANCE CONDITIONNELLE

Nous avons vu que la maintenance préventive s'applique à des phénomènes de vieillissement. Pour ce type de phénomènes, la fiabilité $R(t)$ diminue avec l'âge du composant et donc d'une visite à l'autre.

Si les visites de maintenance conditionnelle sont programmées suivant une fréquence f , la probabilité d'arriver en T_1 à la 1^{ère} visite est égale à $R(T_1)$



L'application du théorème de Lusser (multiplication des fiabilités) relatif aux fiabilités composées nous permet d'écrire que la probabilité d'arriver sans panne en T_2 à la 2^e visite est égale à :

$$R(T_2) = R(T_1) \times R(T_1 + f_2 / T_1)$$

$R(T_1 + f_2 / T_1)$ est la probabilité que le composant accomplisse la mission de durée f_2 s'il a déjà fonctionné correctement jusqu'à T_1 .

Le composant présentera entre la 1^{ère} et la 2^e visite une fiabilité $R(T_1 + f_2 / T_1)$; c'est, pour un composant qui a déjà fonctionné jusqu'au temps T_1 , la fiabilité conditionnelle entre T_1 et $T_2 = T_1 + f_2$,

$$R(T_1 + f_2 / T_1) = R(T_2) / R(T_1)$$

Exemple:

Soit un composant dont la période d'usure est définie par : $b = 3.44$ $n = 10\ 000$ heures (phénomène d'usure, durée de vie moyenne de 8 900 heures - un peu plus d'un an en fonctionnement continu).

On souhaite programmer des visites de maintenance conditionnelle pour maintenir entre chaque visite une probabilité de bon fonctionnement de 99 %.

Si f_n est l'intervalle de temps entre la visite $n-1$ et n .

Pour la première visite $R(f_1) = 0.99$ fiabilité imposée

Pour la 2^e visite: $R(f_1 + f_2 / f_1) = R(f_1) \times R(f_2) = 0.99 \times 0.99 = 0.99^2$

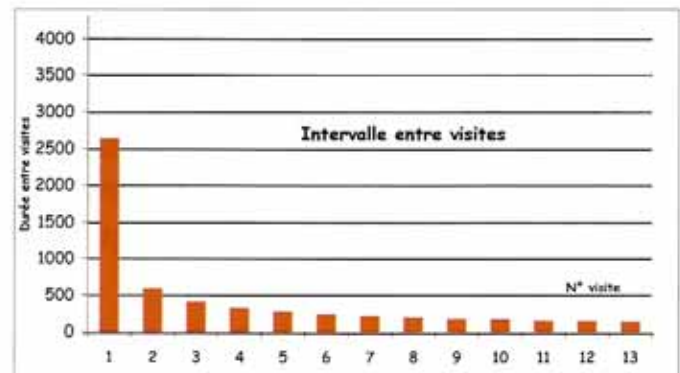
Pour la 3^e visite $R(f_1 + f_2 + f_3 / f_2) = R(f_1 + f_2 / f_1) \times R(f_3)$

$$= R(f_1) \times R(f_2) \times R(f_3)$$

$$= 0.99 \times 0.99 \times 0.99 = 0.99^3$$

On peut écrire que si l'équipement est en état de fonctionnement à la visite $n-1$ la visite d'ordre n devra être réalisée au temps $T_n = T + f_1 + f_2 + \dots + f_{n-1}$ tel que: $R(T_n) = R(f_1) \times R(f_2) \times \dots \times R(f_n) = 0.99^n$

Le graphique ci-dessous qui représente l'intervalle entre 2 visites en fonction de leur rang nous amène au constat suivant:

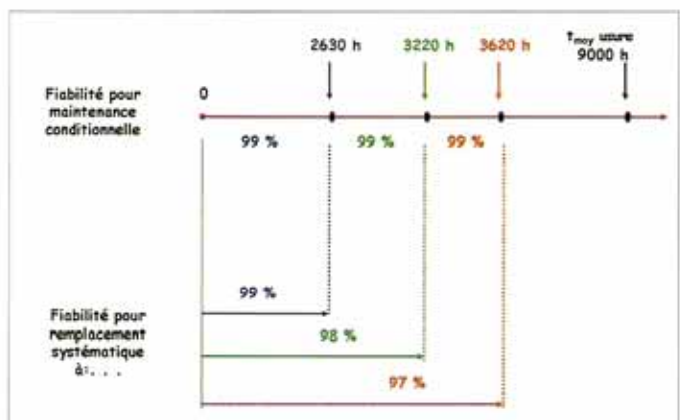


1 / La première visite peut être planifiée à un intervalle de temps assez long après le démarrage de l'installation. Ici 2 600 h soit environ 3,5 mois. Le service maintenance pourra profiter de ce répit pour planifier et réaliser d'autres actions.

2 / La durée entre les autres visites diminue rapidement: 0,8 - 0,5 - 0,4 mois. Ces visites très rapprochées représentent une charge inadmissible. Il semble préférable de remplacer le composant après 2 ou 3 visites plutôt que d'exécuter des visites très rapprochées.

Mise en œuvre pratique:

Dans le cas d'une politique de maintenance systématique avec un objectif de fiabilité de 99 %, il faudrait effectuer un remplacement systématique à $t = 2\ 600$ h (Fiabilité de 98,99 %). En tenant compte du constat précédent, en réalisant 2 visites de maintenance conditionnelle à $t = 2\ 600$ et $3\ 200$ h suivies d'un remplacement systématique à $3\ 600$ h on respecte l'objectif fixé de fiabilité en augmentant la durée d'utilisation de la pièce de 22 % par rapport à une maintenance systématique.



Jean Bufferne

Jean Bufferne est l'auteur du « Guide de la TPM - Total Productive Maintenance » (Editions d'Organisation Eyrolles), Jean Bufferne est instructeur TPM certifié JIPM