

I- Introduction

Aujourd'hui, la performance d'une entreprise (en termes de qualité, de flexibilité, de délai et de coût) est le fait de l'agrégation des activités ; le passage d'une efficacité locale à une efficacité globale s'effectue grâce à une mise en séquence des opérations et grâce à l'additivité des performances locales. Elle dépend de l'organisation considérée d'un point de vue global et de la qualité des interactions entre les différents composants. Cette démarche est basée sur l'élimination systématique des gaspillages et l'amélioration continue de la productivité. La lutte active contre toutes les formes de gaspillage est souvent résumée par le principe des 5 zéros (ou zéros olympiques). Aux olympiades de la qualité, les cinq anneaux symbolisent cinq zéros :

Zéro panne et le zéro défaut font référence à la Fiabilité des installations et à la qualité des produits, la réduction des stocks se traduit par le zéro stock, l'élimination du papier et des lourdeurs administratives par le zéro papier, et le respect des délais afin de limiter les retards par le zéro délai.

La mauvaise illustration du processus productif de l'entreprise s'illustre à travers le temps passé à gérer et à corriger les défaillances des équipements et à travers le coût de cette prise en charge ; il n'est pas possible de limiter la maintenance à une maintenance de nature accidentelle ou curative visant uniquement à réparer les équipements défaillants.

Entretien ou Maintenance ?

Au delà du vocabulaire à la mode, c'est en fait une réelle et profonde mutation que recouvrent ces deux termes.

En schématisant :

-entretenir, c'est dépanner et réparer un parc matériel, afin d'assurer la continuité de la production.

Entretenir, c'est subir le matériel ;

-maintenir, c'est choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'usage du matériel, suivant sa criticité économique, afin d'optimiser le coût global de possession :

Maintenir, c'est maîtrisé.

L'esprit Maintenance se résume en deux mots-clés :

Maîtriser au lieu de subir

II- Fonction Maintenance

La maintenance regroupe toutes les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels (machines, véhicules, objets manufacturés, etc.) ou même immatériels (logiciels).

Le service de la maintenance peut être amené à participer à des études d'amélioration du process, et doit comme de nombreux services de l'entreprise, prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité et l'environnement, etc.

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

2.1 Définitions normatives de maintenance :

-a) D'après Larousse :

« Ensemble de tout ce permet de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

-b) D'après l'AFNOR (NF X 60- 010) (1994)

« Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien Dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ».

- "maintenir" contient la notion de "prévention" sur un système en fonctionnement ;
- "rétablir" contient la notion de "correction" consécutive à une perte de fonction ;
- "état spécifié" ou "service déterminé" implique la prédétermination d'objectifs à atteindre, avec quantification des niveaux caractéristiques.

La définition AFNOR " oublie" l'aspect économique, lacune comblée dans le document d'introduction **X 60 - 000** :

« bien maintenir, c'est assurer ces opérations au coût global optimal »

Depuis 2001, la norme AFNOR **NF X 60 – 010** a été remplacée par une nouvelle définition, désormais européenne (**NF EN 13 306 X 60 – 319**) ;

« ensemble de toutes action 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 ».

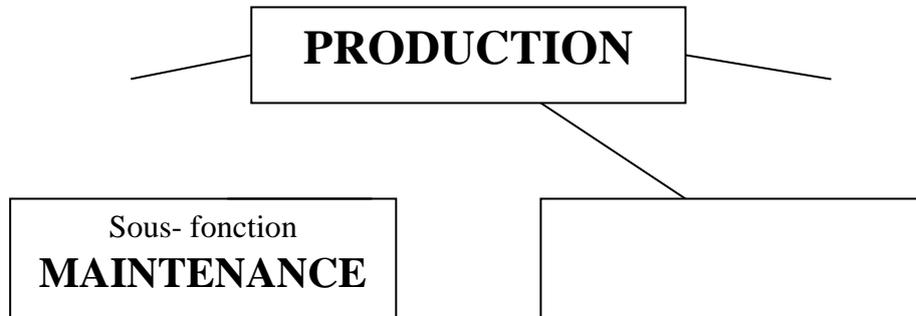
2.2 Maintenance, « médecine des machines »

Il existe une analogie entre la « santé humaine » et la « santé machine

ANALOGIE			
SANTE DE L'HOMME			SANTE-MACHINE
	Naissance	Mise en service	
Connaissance de l'homme			Connaissance technologique
Connaissance des maladies	Longévité	Durabilité	Connaissance des modes de défaillances
Carnet de santé			Historique
Dossier médical			Dossier machine
Diagnostic, examen, visite	Bonne santé	Fiabilité	diagnostic, expertise inspection
Connaissance Des traitements			Connaissances des actions curatives
Traitement curatif			Dépannage, réparation
Opération			Rénovation, modernisation, échange- st.
	Mort	Rebut	
MEDECINE			MAINTENANCE INDUSTRIELLE

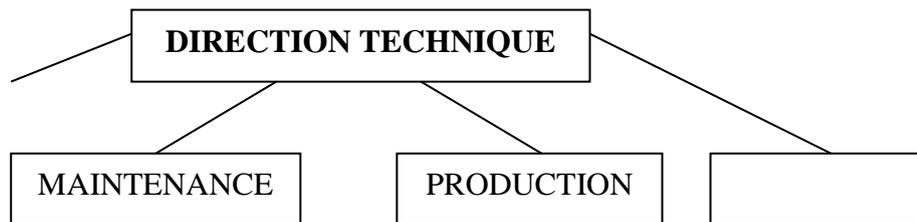
2-3 La maintenance et la vie d'une entreprise

L'image traditionnelle de l'entretien à travers l'évolution des relations de la production avec la maintenance peut être illustrée ainsi :



Dans ce schéma, le responsable de la production impose ses critères à court terme, tolérant la lubrification, supportant les arrêts fortuits, mais refusant toute programmation d'arrêts préventifs.

La « promotion » de l'entretien en maintenance passe par « l'horizontalité » des deux fonctions, suivant le modèle :



Une concertation quasi-permanente est obligatoire, ainsi qu'une bonne connaissance réciproque des contraintes, missions et problèmes.

La maintenance commence bien avant le jour de la première panne d'une machine. En fait, elle commence dès la conception ; la maintenabilité (aptitude à être entretenue), la fiabilité et la disponibilité (aptitude à être « opérationnel ») ainsi que la durabilité (durée de vie prévisionnelle) sont pré-déterminées dès sa conception.

Le rôle de la maintenance, au sein de la structure utilisatrice, commence par la prise en compte de ces critères sous la forme d'un conseil à l'achat. La maintenance doit ensuite participer à l'installation et à la mise en route de la machine et connaître le dossier et le programme de la maintenance dès le premier jour de production, donc de panne potentielle. Sa mission est triple :

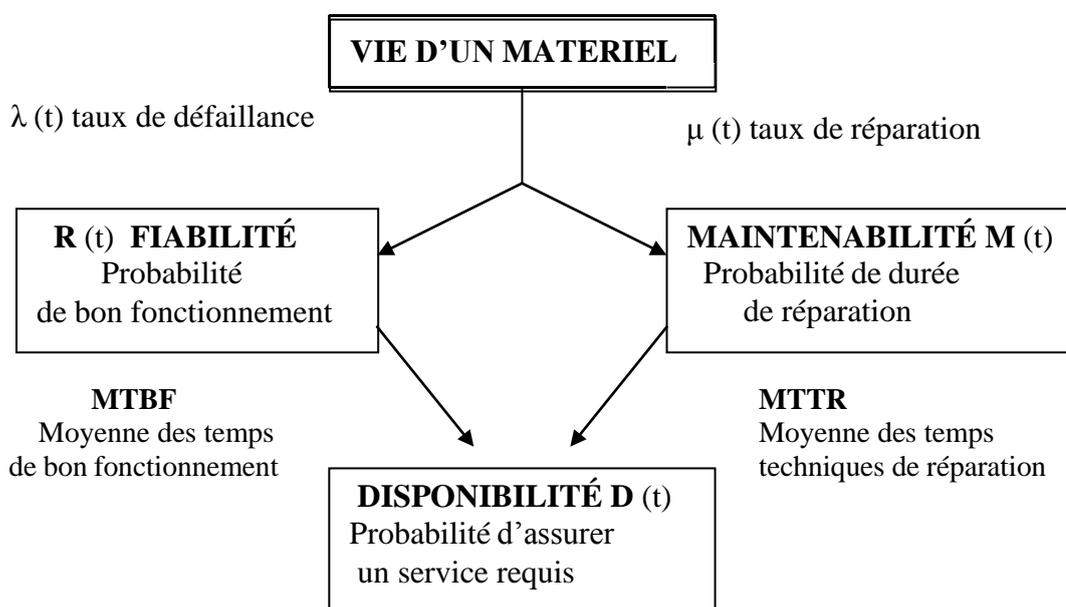
- Surveillance permanente ou périodique
- dépannages et réparations
- actions préventives

Avec saisie, mise en mémoire, puis traitement des informations opérationnelles recueillies

La connaissance du matériel, de ses faiblesses, dégradations et dérives, complétées jour après jour, permet des corrections, des améliorations et, sur le plan économique, des optimisations ayant pour objet de rendre minimal le ratio :

$$\frac{\text{Dépenses de maintenance + coûts d'arrêts fortuits}}{\text{Service rendu}}$$

Le dernier rôle à jouer par la maintenance est de déterminer le moment économique de cessation du soin à apporter à cette machine, et de participer au choix de son remplacement ; car une machine « meurt » inexorablement, et l'acharnement thérapeutique, même technique, coûte cher.



$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Ces trois concepts son envisagés soit de façon prévisionnelle (avant usage) soit de façon opérationnelle (pendant ou après usage)

III-FIABILITÉ

3.1 Définition et généralités

3.1.1 Définition (Norme AFNOR X60-010)

D'après la **Norme AFNOR X60-010**, la fiabilité est l'aptitude d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour un intervalle de temps donnés.

3.1.2 Commentaire sur les 4 concepts de la définition

a- Probabilité : c'est le rapport

$$\frac{\text{Nombre de cas favorable}}{\text{Nombre de cas possibles}} < 1$$

associé à une date t

on notera $R(t) = P(\text{accomplir une mission}) = P(\text{de bon fonctionnement})$

symbole R = traduction de l'anglais « Reliability »

b- « Fonction requise » : ou « accomplir une mission » ou « rendre le service attendu ». La définition de la fonction requise implique un seuil d'admissibilité en deçà duquel la fonction n'est plus remplie.

c- condition d'utilisation :

- Définition des conditions d'usage, c'est-à-dire l'environnement et ses variations, les contraintes mécaniques, chimiques, physiques...

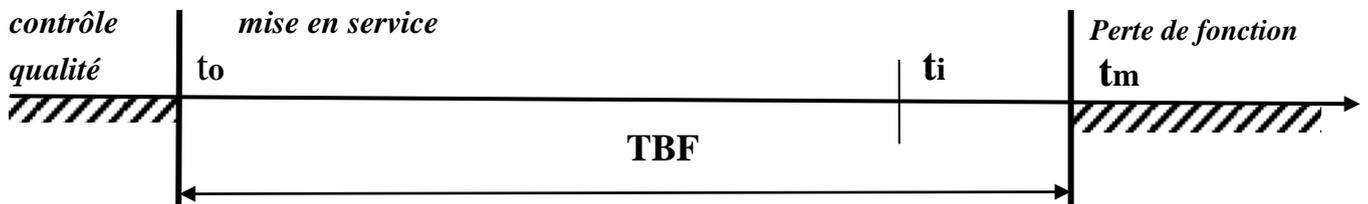
- Il est évident que le même matériel placé dans deux contextes de fonctionnement différents n'aura pas la même fiabilité.

d- période de temps : définition de la durée de mission en unités d'usage. On se fixe un Minimum $R(T_m) = 0,9$ pour une durée de mission $T_m = 8000$ h par exemple; à tout

Instant T_i de la mission est associée une fiabilité $R(T_i)$.

Exemple : moteur de voiture préparée pour courir les 24 h du Mans.

- probabilité de terminer
- à 200 km/ de moyenne (seuil minimal)
- de jour, de nuit, avec de la pluie, du vent, n ravitaillements...
- au bout de 24 heures (durée de mission)



e) Qualité et fiabilité

Ces notions sont indissociables.

Nous appelons **qualité**, la conformité d'un produit à sa spécification à sa sortie d'usine (t=0) et **fiabilité** son aptitude à y demeurer conforme pendant sa durée de vie.

Notons deux réflexions importantes :

- il n'y a pas de bonne fiabilité sans qualité initiale,
- la fiabilité est une extension de la qualité dans le temps.

Tout effort de qualité d'un produit passe par un gain sur la maintenance. Et réduire les coûts de maintenance, c'est faire porter l'effort sur la qualité : qualité des hommes, des méthodes, des outils, des interventions.

Le diagramme d'Ishikawa ou diagramme causes-effets ou en arête de poisson constitue un outil de gestion simple susceptible de définir les facteurs qui affectent la qualité des produits. Le recensement des causes s'effectue des causes majeures aux causes mineures : l'objectif est d'obtenir un diagramme très complet, très précis, afin de ne rien négliger. Il est possible d'organiser la construction du diagramme autour de la méthode des 5 M, chaque M illustrant respectivement les notions de Matière, Matériel (Machine et outil), Méthode de travail, Main d'œuvre et Milieu (conditions de travail).

Diagramme d'Ishikawa des 5 M : recherche des causes potentielles d'une défaillance

e) Fiabilité et disponibilité

Une caractéristique de la fiabilité est la MTBF, traduction de « Mean Time Between Failure », ou « Temps Moyen de Bons Fonctionnement ».

La MTBF correspond à l'espérance mathématique de la variable aléatoire T, date d'apparition d'une panne.

De la même manière, la maintenabilité, qui est « la probabilité que le dispositif après défaillance, soit remis en état de fonctionnement donné dans un temps donné », est caractérisée par la MTTR.

La MTTR est la traduction de « Mean Time To Repair », soit la « Moyenne des Temps Techniques de Réparation ».

Notion de disponibilité

Par définition, c'est la « probabilité que le dispositif soit en état de fonctionner », c'est-à-dire qu'il ne soit ni en panne, ni en révision. La disponibilité dépend de la fiabilité et de la maintenance, suivant la relation :

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

D'après la norme AFNOR X60-010, la disponibilité est « ***l'aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs soit assurée*** ».

Augmenter la disponibilité est un objectif classique des services maintenance. Ceci implique l'accroissement de la fiabilité des équipements et la diminution des durées d'intervention.

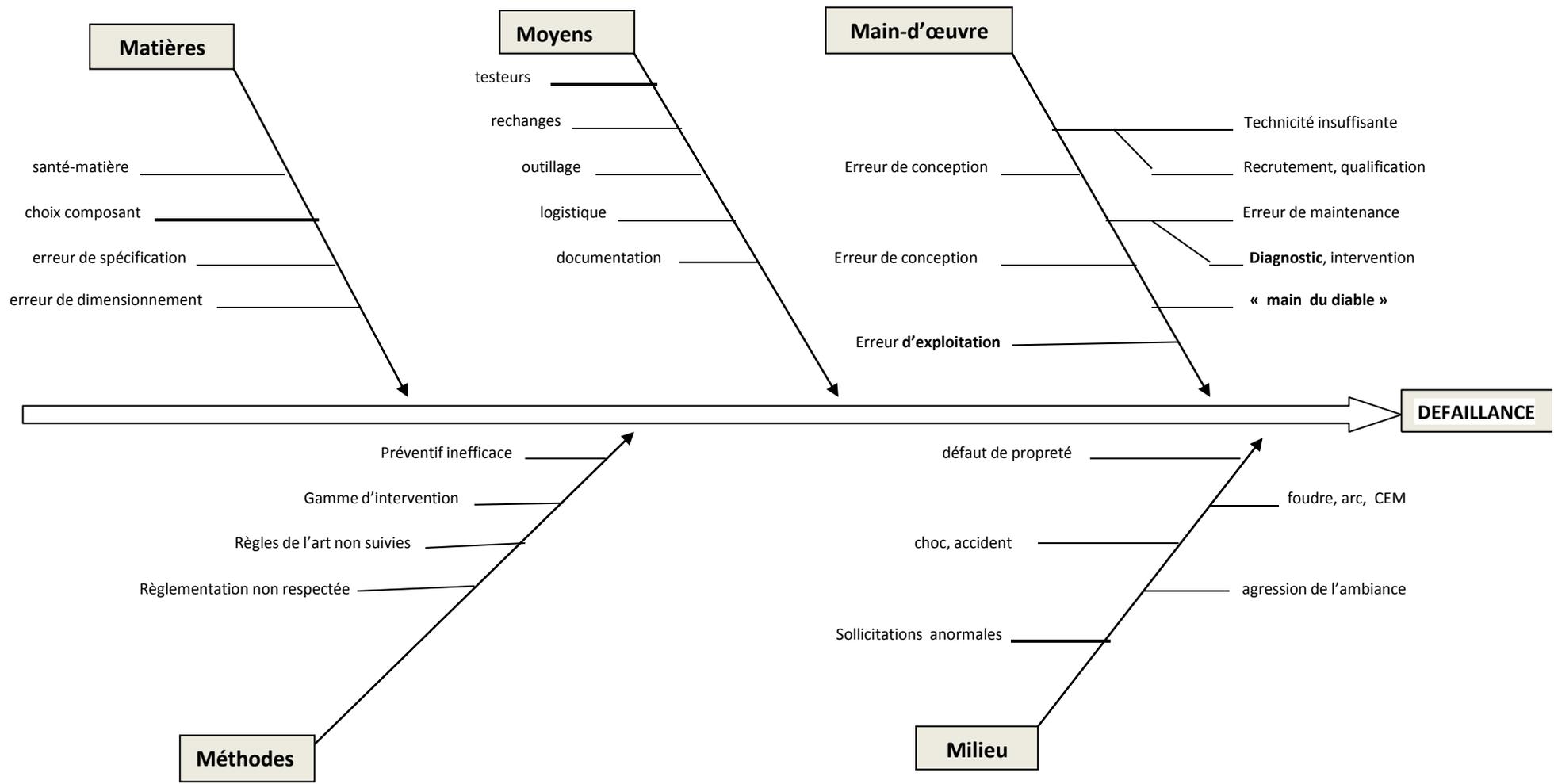
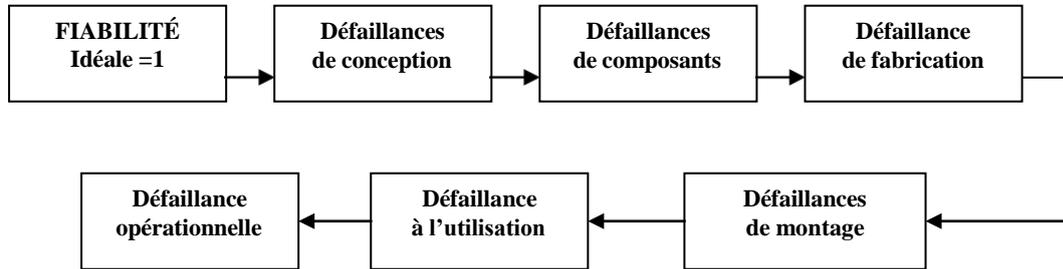


Diagramme d'Ishikawa des 5 M : recherche des causes potentielles d'une défaillance

g) La fiabilité opérationnelle et fiabilité prévisionnelle

La fiabilité opérationnelle est obtenue après une suite de défaillances potentielles :



Mais il est également possible d'estimer la fiabilité « prévisionnelle » (avant fonctionnement en situation) de façon théorique (banque de données, calcul de durée de vie) ou de façon expérimentale (essais).

2.2 Les essais de fiabilité :

a) objectifs des essais

Lorsque l'on veut évaluer la fiabilité d'un équipement, on est freiné par deux facteurs liés : le temps et l'argent

D'où la sélection d'un certain nombre d'essais, destinés à connaître $R(t)$ ou $L(n)$

$L(n)$ est la durée de vie atteinte par $(100-n)$ % des éléments étudiés.

Exemple : L_{10} est la durée de vie atteinte par 90% des composants essayés.

b) Critères d'essais

Un essai de fiabilité est caractérisé par trois critères dont dépend le coût de l'essai :

- la durée de l'essai
- la taille de l'échantillon (N pièces)
- Le niveau de confiance, ou risque α

c) exploitation des résultats d'essais

Toutes les exploitations d'essais reposent sur la reconnaissance des tests et des modèles probabilistiques. C'est plus une affaire de statisticiens-fiabilistes que de techniciens de maintenance.

Mais il semble utile de connaître les principales techniques d'essais.

d) Les différents types d'essais de fiabilité

➤ Essai épuisé (ou complet)

N dispositifs sont essayés

On attend la défaillance du dernier
cet essai est souvent long, donc onéreux

➤ Essai tronqué

Avec ou sans remplacement des défectueux, l'essai est arrêté à un instant T fixé à l'avance.

Remarque : nous sommes dans un cas semblable à un équipement opérationnel, avec un historique de défaillances exploité à une date T

➤ Essai censuré

Idem ; l'essai est arrêté à la $r^{\text{ième}}$ défaillances fixé à priori.

➤ Essai séquentiel

Aucune limite à priori de la durée T ou du nombre R de défaillances. On cumule les résultats, on les examine au fur et à mesure, et la décision d'arrêter l'essai est prise suivant les résultats cumulés.

➤ **Essai accéléré**

Particulièrement intéressant (gain de temps), nous allons développer les essais « par mort soudaine ».

➤ **Essais par mort soudaine**

- on forme m groupes de p pièces (taille = N = mp)
- on enregistre la 1^{ière} défaillance dans chaque groupe
- on arrête l'essai quand tous les groupes ont eu une défaillance

Exemple :

- 80 pièces à essayer
- On forme 10 groupes de 8
- On obtient 10 temps « de première défaillance ».

IV- MAINTENABILITÉ

4-1 Introduction à la maintenabilité

4.1.1 Définition de l'AFNOR (norme x 60-010)

« dans des conditions données d'utilisation, aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits ».

Par analogie avec la fiabilité, il est possible de lui donner une définition probabiliste :

« C'est la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions et avec des moyens prescrits ».

4.1.2 Commentaires

Cette définition, comme celle de la fiabilité, contient quatre conceptions :

a)- Notion de probabilité :

$$T(t) = \text{Prob}(TTR < t)$$

= Prob (pour qu'un système arrêté au temps t=0, soit en service au temps t

b)- « condition de fonctionnement » : ceci implique la quantification d'un niveau de

c)- performances initiales et d'un seuil d'admissibilité.

d)- « Limites des temps » : ceci implique la définition d'un « temps alloué » pour chaque intervention et d'un délai t.

e)- « Maintenance définie » : la durée d'intervention n'a de sens que par référence à la définition des moyens mis en œuvre, tels que procédures, logistique, personnel...

La prise en compte, au niveau de la conception, de la maintenabilité a pour but de faciliter la maintenance ultérieure, aux plans de la « testabilité » (facilité de diagnostic), de l'accessibilité (déposes et démontages), et de la maintenabilité intrinsèque (simplicité des moyens nécessaires).

L'idée de « facilité de maintenance » sera paramétrée par les temps opératifs, la qualité de la maintenabilité étant jugée par des coûts de maintenance.

4.1.3 Maintenance et maintenabilité

Nous avons vu que la maintenabilité est la caractéristique d'un projet relative à la capacité d'un dispositif à être remis à niveau lorsqu'un besoin de maintenance se fait jour.

La maintenance est l'action physique accomplie par des techniciens pour cette remise à niveau.

Le gestionnaire de la maintenance doit être « averti » des caractéristiques de maintenabilité, puisqu'elle conditionne la maintenance.

C'est un des aspects du « dossier machine »

4.2 TTR : Temps Techniques de Réparation

Le TTR d'une intervention se compose en général de la somme Des temps suivants :

- temps de vérification de la réalité de la défaillance (les fausses alarmes sont fréquentes sur les circuits électroniques),
- temps de diagnostic,
- temps d'accès à l'organe défaillant (déposes et démontages),
- temps de remplacement ou de réparation,
- temps de réassemblage, temps de contrôle et d'essais.

Les temps suivants sont à éliminer de la « maintenance active »

- temps d'attente pour indisponibilité des techniciens, des outils, ou des rechanges,
- temps morts des causes variées : arrêts de travail, « paperasserie », etc.

Remarque : si les temps « morts » sont supérieurs ou égaux aux temps « actifs », une remise en cause du support logistique s'impose :

- ordonnancement,
- gestion des stocks,
- moyens mis en œuvre.

4.3 Critères de maintenabilité

Liste de critères à considérer avant achat d'un équipement industriel :

4.3.1 critères liés à la conception du bien

- interchangeabilité; normalisation des composants, standardisation des matériels et de leurs éléments.
- Indicateurs de dégradations, de défaillances et définitions de leurs seuils
- Modularité de l'architecture, des parties « commande » et « opératives »
- Compteurs d'unités d'usage
- Technologies classiques et en nombre limité
- Temps de localisation, de diagnostic, de dépannage
- Aptitude au dépannage (accès, outillages non spéciaux...)
- Pas de réglages complexes après démontage.

4.3.2 critères liés aux informations

- valeurs des fiches techniques
- existences de notices d'installation, d'entretien

4.3.3 critères liés au suivi d'un bien par le SAV

- évolution des fabrications
- efficacité et sérieux et du service après-vente du fournisseur
- facilité d'obtention des rechanges

4.3.4 critères liés à la gestion de l'utilisateur

- homogénéité du parc (nature des technologies)
- conception de l'installation (accès, reconfigurations possibles...)
- moyens à disposition (logistique)
- dossier-machine à jour

4.4 Analogies de la fiabilité et de la maintenabilité

4.4.1 La fonction « maintenabilité »

Il y a analogie entre l'étude statistique de la fiabilité et de la maintenabilité.

- La variable aléatoire est le temps : « la durée d'intervention »
- La densité de probabilité est notée $M(t) = \int g(t) dt$. C'est la probabilité de réparation d'une durée $TTR < t$

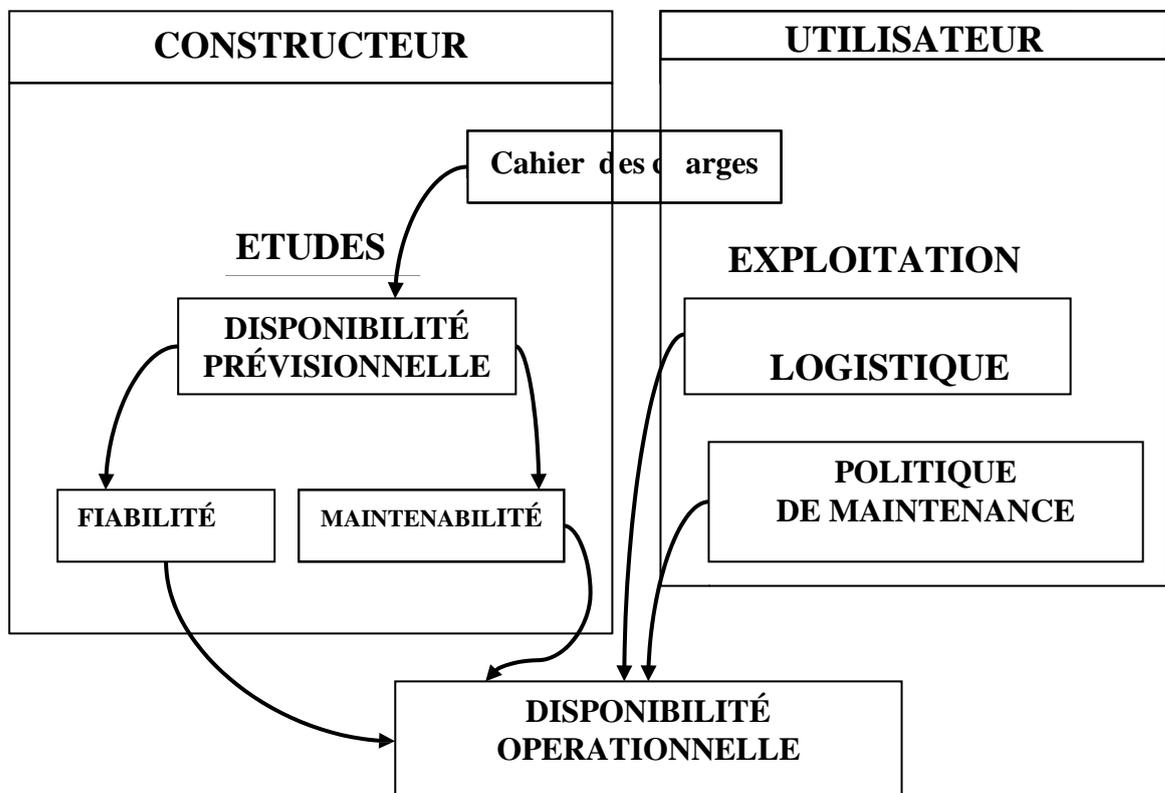
$$M(t) = \text{Prob}(TTR < t)$$

Le taux de réparation :
Il est noté μ et vaut
$$\mu = \frac{g(t)}{1 - M(t)}$$

5-DISPONIBILITÉ

5.1 Introduction et définition

Un cahier des charges de projet, parmi de multiples critères, fixera le niveau de disponibilité que le système étudié doit présenter.



Un matériel « disponible » est un matériel dont on peut se servir.
A partir de cette évidence, il apparaît que la disponibilité dépend à la fois :

- du nombre de défaillances → Fiabilité
 - de la rapidité à laquelle elles sont réparées →
Maintenabilité
 - des procédures définies pour la maintenance →
Maintenance
 - de la qualité des moyens mis en œuvre →
Logistique
- Et de la compatibilité de ces facteurs entre eux (inter-dépendance).