

1 INTRODUCTION A LA MAINTENANCE

1.1 Conséquence de non maintenance

Exemple n°1 : dégradation progressive de fonction

Une ligne de production de biscuit a besoin de chocolat fondu comme ingrédient de fabrication. Pour chauffer le chocolat on utilise une résistance électrique. L'ouvrier a remarqué que le temps de chauffage est devenu plus long mais il n'a pas agi dans quelques jours la résistance lâche et le chocolat se solidifie dans la conduite, conséquence la ligne de production complète est arrêtée.

- ✓ Cet exemple nous montre que la présence d'un esprit prévisionnel dans l'entreprise permet de protéger des pertes énormes dû à l'arrêt de la production et les différentes pénalités qui peuvent en découler.

Exemple n°2 : dégradation du matériel

La chaîne de moteur d'une voiture atteint la fin de sa durée de vie. Elle se casse et provoque des dégâts importants dans le moteur.

- ✓ Cet exemple montre que si on attend l'apparition de la défaillance peut entraîner une dégradation importante du matériel

Exemple n°3 : accident grave et image de marque dégradée

Un des ouvriers a eu une grave blessure par l'une des machines de l'unité de production. Cette machine n'était pas entretenue et n'était pas munie des organes de sécurité imposés par la législation. En conséquence l'entreprise a subi des pertes de production importantes. Cet exemple montre que une maintenance mal effectuée ou qui ne tient pas compte de la sécurité des ouvriers peut entraîner des accidents graves.

Conclusion

La maintenance est un soutien de production qui a pour objectifs :

- ❖ Disponibilité du matériel pour assurer la production.
- ❖ Protège le parc matériel et augmenter sa durée de vie.
- ❖ Sécurité du personnel.

1.2 Définition de la maintenance (norme NF EN 13306)

La maintenance est l'ensemble des 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.

1.3 Types de maintenance

1.3.1 Maintenance corrective

Appelée parfois maintenance curative, c'est une maintenance effectuée après la détection d'une défaillance et destinée à remettre un bien dans un état lui permettant d'accomplir une fonction.

1.3.2 Maintenance préventive

Proverbe : « mieux vaut prévenir que guérir » ; ce proverbe résume parfaitement la situation.

La maintenance préventive est une « maintenance effectuée avant la détection d'une défaillance d'un bien, à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance d'une entité.

1.3.3 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.

1.4 Missions du service maintenance

Un patrimoine représente des investissements importants pour lesquels il faut assurer un retour rapide, ce qui passe par une bonne disponibilité avec un niveau de rendement optimal. Sa maintenance ne se limite plus à sa simple remise en état. Le service maintenance doit à travers cette mission satisfaire les besoins de la production :

- ❖ améliorer la disponibilité des équipements de production.
- ❖ améliorer l'interface production - maintenance, c'est-à-dire connaître et appliquer les méthodes et outils pour améliorer la communication (TPM, GMAO).
- ❖ Obtenir le coût global minimal pour les équipements.
- ❖ Se mettre en conformité avec la législation sur la sécurité.
- ❖ Se mettre en conformité avec la législation sur l'environnement.
- ❖ Participer à la qualité des produits fabriqués.
- ❖ Participer à l'amélioration des coûts de fabrication.
- ❖ Participer à l'image de marque de l'entreprise.

1.5 Structure du service maintenance

Un exemple d'organigramme est donné figure 3.4. Ce n'est qu'une possibilité, chaque directeur technique étant libre de l'organiser selon sa propre conviction. Il fait apparaître par contre des fonctions indispensables pour que la fonction Maintenance soit efficace.

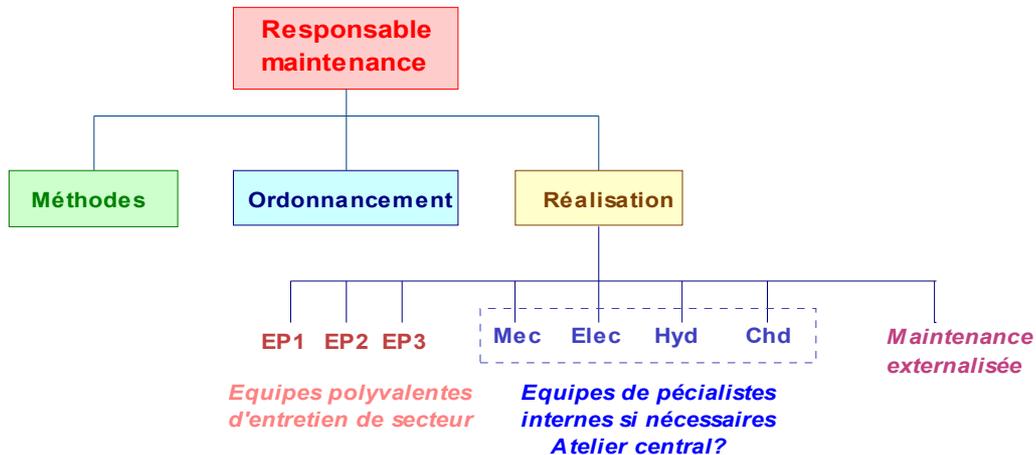


Figure 1.4 – Structure type avec sectorisation partielle

1.5.1 Fonction réalisation

L'équipe réalisation est pluriethniques et de composition adaptée au matériel. Par exemple, un chef d'équipe, un électricien, un mécanicien, un hydraulicien. Elle est chargée de l'exécution des tâches de maintenance planifiées par le service méthode.

1.5.2 Fonction Méthodes

C'est la fonction qui permet la préparation des travaux de maintenance. Elle comprend :

1. l'analyse et/ou les études des travaux à effectuer y compris les améliorations possibles (plans de graissage, de maintenance préventive, etc..),
2. la synthèse de cette analyse, c'est à dire la *préparation des interventions*,
3. l'ordonnancement,
4. le contrôle de la réalisation sachant que la réalisation est confiée à une équipe «terrain»,
5. la mise à jour des dossiers techniques et des normes,
6. la gestion économique de l'activité maintenance,
7. l'assistance technique.

2 LES METHODES DE LA MAINTENANCE

2.1 Notion de défaillance

2.1.1 Définitions

- ✓ **Fonction requise** : fonction d'un produit dont l'accomplissement est nécessaire pour la fourniture d'un service donné.
- ✓ **Dégradation** : état d'une entité présentant une perte de performances d'une des fonctions assurées par celle-ci.
- ✓ **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 :

2.2 Politique de maintenance

2.2.1 Les méthodes de la maintenance

- ❖ 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.

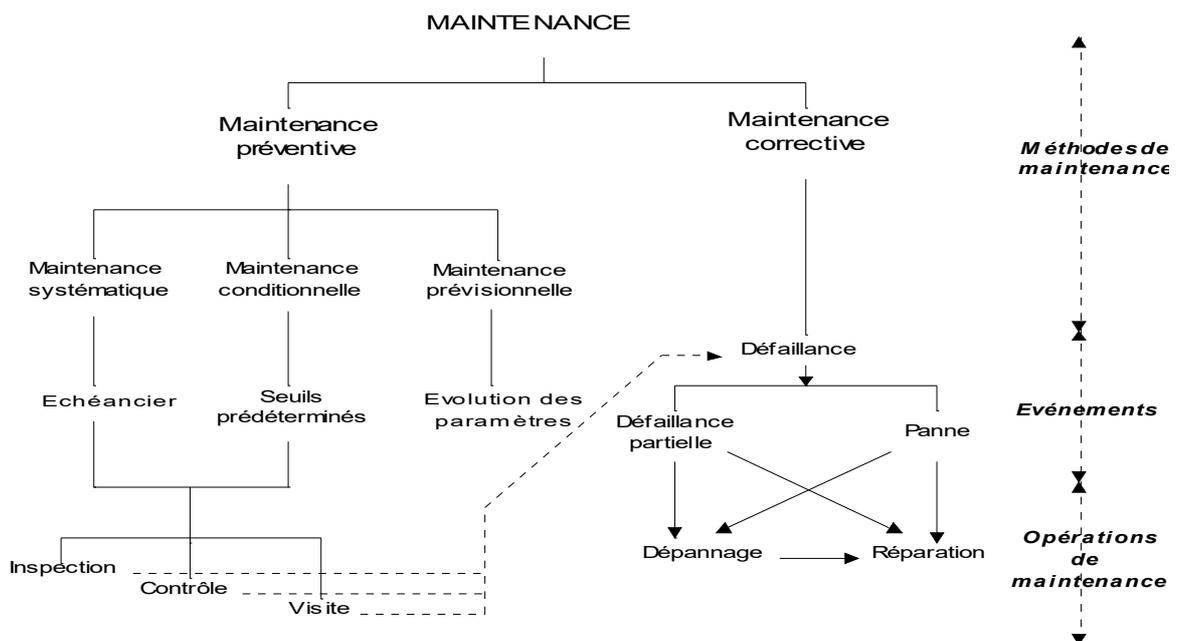


Figure 2.1. Méthodes de maintenance

2.2.2 Choix de la politique de la maintenance

Le choix parmi ces différentes méthodes entre dans la politique de maintenance et se décide donc au niveau de la direction du service maintenance. En règle générale, on tendra vers une diminution des actions de maintenance corrective au profit d'actions préventives. Mais il faut savoir qu'on ne peut pas tout prévoir cela signifie que correctif et préventif vont être complémentaire et que la part de préventif que l'on va adopter peut se déterminer à partir des considérations économiques.

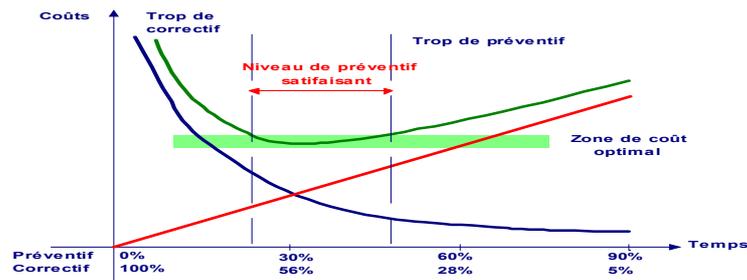


Figure 22. Répartition préventif-correctif : aspect économique

2.3 Maintenance corrective

Appelée parfois maintenance curative, c'est une maintenance effectuée après la détection d'une défaillance et destinée à remettre un bien dans un état lui permettant d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement (norme NF EN 13306). C'est donc une maintenance qui remet en état mais qui ne prévient pas la casse. Elle réagit à des événements aléatoires, mais cela ne veut pas dire qu'elle n'a pas été pensée. C'est un choix politique de l'entreprise.

2.3.1 Opérations de maintenance corrective

Après apparition d'une défaillance, le maintenancier doit mettre en œuvre un certain nombre d'opérations dont les définitions sont données ci-dessous. Ces opérations s'effectuent par étapes (dans l'ordre) :

1. **test**, c'est à dire la comparaison des mesures avec une référence,
2. **détection** ou action de déceler l'apparition d'une défaillance,
3. **localisation** ou action conduisant à rechercher précisément les éléments par lesquels la défaillance se manifeste,
4. **diagnostic** ou identification et analyse des causes de la défaillance,
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.

Nous allons voir plus en détail les opérations de dépannage et de réparation.

2.3.2 Optimisation de la maintenance corrective

Les actions de maintenance corrective étant très diverses, il est toujours difficile de prévoir la durée d'intervention : de quelques secondes (pour réarmer un disjoncteur) à plusieurs heures) dans le cas du changement de plusieurs organes simultanément (moteur noyé par une inondation). Le responsable maintenance doit donc tenir compte de ces distorsions et avoir à sa disposition une équipe « réactive » aux événements aléatoires. Pour réduire la durée des interventions, donc les coûts directs et indirects (coûts d'indisponibilité de l'équipement), on peut :

- ❖ mettre en place des méthodes d'interventions rationnelles et standardisées (outillages spécifiques, échanges standards, logistique adaptée, etc...),
- ❖ prendre en compte la maintenabilité des équipements dès la conception (trappe de visites accessibles, témoins d'usure visible, etc...).
- ❖ Amélioré le niveau de compétence des techniciens par des formations continus.

2.4 Maintenance préventive

Proverbe : « mieux vaut prévenir que guérir » ; ce proverbe résume parfaitement la situation.

La maintenance préventive est une « maintenance effectuée avant la détection d'une défaillance d'un bien, à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits (suite à l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs) et destinée à réduire la probabilité de défaillance d'une entité ou la dégradation du fonctionnement du bien. On constate que la maintenance préventive peut prendre différentes formes :

- ❖ maintenance systématique,
- ❖ maintenance conditionnelle,
- ❖ maintenance prévisionnelle.

2.4.1 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. **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.
3. **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.
4. **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.

2.4.2 Maintenance systématique

2.4.2.1 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.).

2.4.2.2 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 mais cela nécessite de bien connaître le comportement du matériel, l'historique des pannes et le MTBF (Mean Time Between Failures).

2.4.3 Maintenance conditionnelle

2.4.3.1 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 2.11). 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.

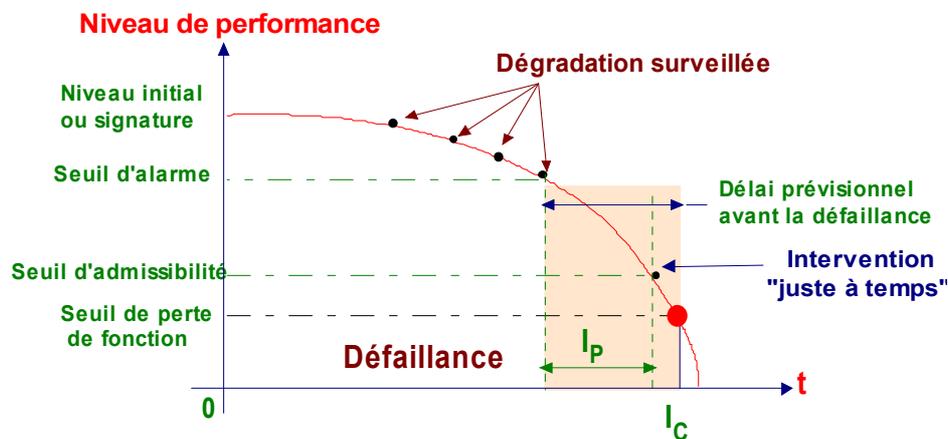


Figure 2.4. Principe de la maintenance conditionnelle

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.

2.4.3.2 Cas d'application

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 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.

2.5 Les outils des maintenances conditionnelle et prévisionnelle

Mesure de la température grâce aux techniques de thermographie infrarouge. Cette technique permet d'identifier les zones thermiques anormales.

- ❖ détection des points chauds dans les équipements électriques (conducteurs sous-dimensionnés, cosses mal vissées, etc..) ou mécaniques (dégradation d'un palier),
- ❖ détection des fuites thermiques dans les fours, canalisations, etc...

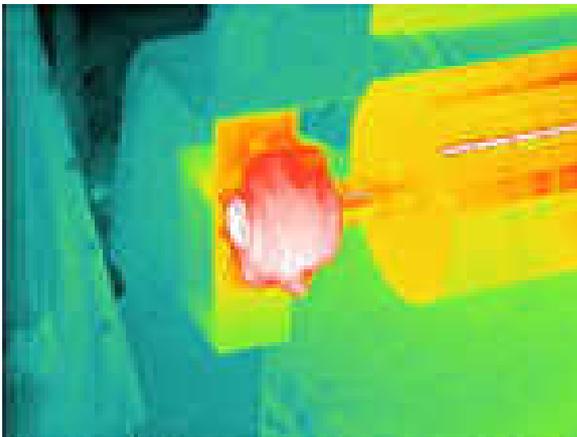


Figure 2.5. Défaut sur un palier

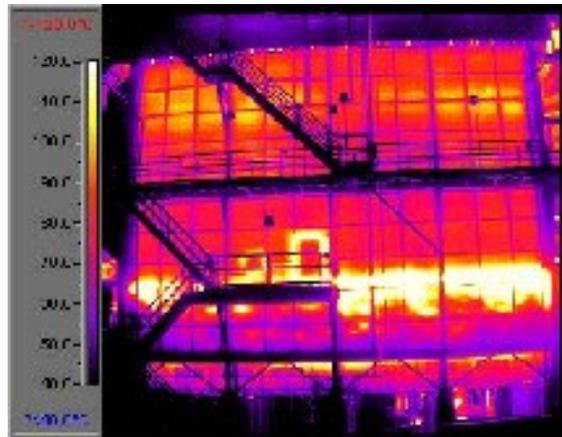


Figure 2.6. Cartographie thermique d'un bâtiment

1. **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. 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.

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

a) Ultrasons pour la détection et le suivi des fissures internes :



Figure 2.8. Mesure d'une fissure interne par ultrasons

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



a – Imprégnation du colorant



b – Rinçage



c – Application du révélateur



d – Apparition d'une fissure

Figure 2.9. Technique du ressuage

3 ETUDE DU COMPORTEMENT DU MATERIEL

3.1 Les analyses qualitatives de défaillances et leurs enjeux

La panne est source de richesse ! À condition de s'organiser pour assurer la valorisation d'un événement naturellement négatif en un événement positif : c'est la principale source de progrès en maintenance et en conception.

Cette démarche de progrès est parfois nommée la maintenance proactive. Elle est basée sur l'expertise des défaillances passées, sur la compréhension des mécanismes de défaillances pour enrichir les conceptions futures ou, plus modestement, pour éviter la réapparition de cette défaillance.

Pour qu'elles deviennent sources de profit, les défaillances peuvent être prises en compte à deux niveaux :

- Par les analyses post défaillances qui ont pour objectif l'amélioration de la disponibilité d'un équipement en service ;
- Par les analyses prévisionnelles qui ont pour objectif la construction d'un niveau de sûreté de fonctionnement suffisant, avant même leur fabrication et leur mise en service.

3.2 Cause, Mode et Effet de défaillance

3.2.1 Causes de défaillances

La cause de la défaillance est une anomalie initiale susceptible de conduire au mode de défaillance. Elle s'exprime en termes d'écart par rapport à la norme. Exemples : sous-dimensionnement, absence de joint d'écrou, manque de lubrifiant, etc... Elle se répartit dans les domaines que nous identifierons par 5M: milieu, méthodes, main d'œuvre, matière et matériel.

1. Le milieu : environnement température ambiante, degré hygrométrique, vibrations, champs magnétiques, éclairage, agrément du lieu, etc..
2. La matière : matière d'œuvre, composants, hétérogénéité des caractéristiques, etc..
3. La main-d'œuvre : personnel, action de la main, programmation, réglage, etc..
4. Le matériel : machines, outils et outillages, montages, etc..
5. Les méthodes : gammes, modes opératoires, procédures, etc..

Exemples de causes

Mécanique : fatigue, usure, sur charge mécanique, sous dimensionnement...

Electrique : Surcharge électrique, Vieillesse, décharge electrostatique(foudre)...

3.2.2 Modes de défaillance

Le mode de défaillance est relatif à une fonction. Il s'exprime par la manière dont un système vient à ne plus remplir sa fonction, mais il peut aussi s'exprimer en termes physiques : rupture, desserrage, coincement, court-circuit, etc.. Par exemple considérons la fonction pompage réalisée par un groupe motopompe. Les modes de défaillances généralement considérés pour un groupe motopompe sont :

- ❖ le refus de démarrer ou le refus de s'arrêter,
- ❖ un débit inférieur au débit requis,
- ❖ une pression de refoulement inférieure à la pression requise,
- ❖ un démarrage intempestif,
- ❖ une fuite externe.

Ces modes de défaillances devront être adaptés à chaque système. Pour faciliter la tâche des gens de maintenance, l'AFNOR propose une liste normalisée de 33 modes génériques de défaillance.

1	Défaillance structurelle (rupture)	19	Ne s'arrête pas
2	Blocage physique (coincement)	20	Ne démarre pas
3	Vibrations	21	Ne commute pas
4	Ne reste pas en position	22	Fonctionnement prématuré
5	Ne s'ouvre pas	23	Retard de fonctionnement
6	Ne se ferme pas	24	Entrée erronée (augmentation)
7	Défaillance en position ouverte	25	Entrée erronée (diminution)
8	Défaillance en position fermée	26	Sortie erronée (augmentation)
9	Fuite interne	27	Sortie erronée (diminution)
10	Fuite externe	28	Perte de l'entrée
11	Dépasse la limite supérieure tolérée	29	Perte de la sortie
12	Est en dessous de la limite supérieure	30	Court-circuit
13	Fonctionnement intempestif	31	Circuit ouvert
14	Fonctionnement intermittent	32	Fuite électrique
15	Fonctionnement irrégulier	33	Autres conditions de défaillances exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles
16	Indication erronée		
17	Ecoulement réduit		
18	Mise en marche erronée		

Tableau 3.1. Modes de défaillance génériques

3.2.3 Les effets de défaillance

Les symptômes peuvent être observés in situ, sans démontage, par les utilisateurs de l'équipement ou par le maintenancier : VTOAG, mesures, défauts de qualité. Le VTOAG est l'utilisation naturelle des cinq sens de l'individu. Il ne faut jamais les négliger, car ils sont capables de contribuer à l'établissement d'un diagnostic.

a) La vue (V) :

- ❖ détection de fissures, fuites, déconnexions,
 - ❖ détection de dégradations mécaniques.
- b) Le toucher (T) :
- ❖ sensation de chaleur, de vibration,
 - ❖ estimation d'un état de surface.
- c) L'odorat (O) :
- ❖ détection de la présence de produits particuliers,
 - ❖ «odeur de brûlé», embrayage chaud,...
- d) L'auditif (A) :
- ❖ détection de bruits caractéristiques (frottements, sifflements).
- e) Le goût (G) :
- ❖ identification d'un produit (fuite).

3.2.4 Analyse qualitative post défaillance

3.2.4.1 Les six éléments de connaissance d'une défaillance

Une analyse qualitative post défaillance doit comporter les six éléments de connaissance permettant de comprendre aussi bien l'environnement du système lors de sa perte de normalité que les mécanismes ayant engendré la défaillance. Cela afin d'apporter des remèdes durables et des mesures d'organisation pour éviter la réapparition de la défaillance, ou pour atténuer ses effets.

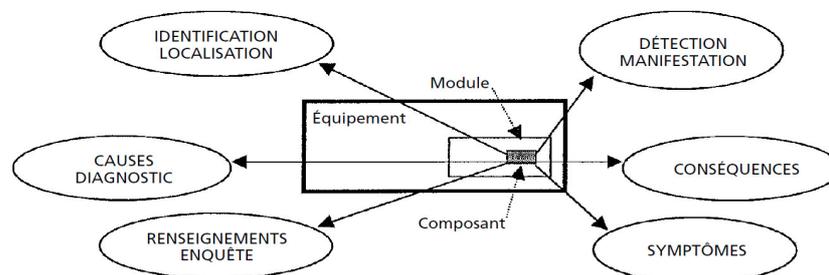


Figure 3.1. Les critères permettant l'analyse post défaillance

3.2.4.2 Les six pôles de l'analyse

1. L'identification et la localisation de la défaillance :

- Identification dans l'organisation (numéro d'ordre de travail, intervenant et nature de la panne) ;
- Situation dans le temps (relevé compteur et date + heure) ;
- Localisation dans l'espace à travers l'arborescence (localisation par code de l'équipement, puis du module ou du composant défaillant) ;
- identification fonctionnelle : quelle est la fonction perdue ?

2. La détection, la manifestation et l'alarme :

- par qui, quand et par quel moyen la défaillance a-t-elle été détectée ?
- dans quelles conditions de surveillance et/ou par quels capteurs en place ?

– manifestation de la défaillance : amplitude (partielle ou complète), vitesse (progressive ou soudaine), caractère (permanent, fugitif, intermittent).

3. *Les renseignements recueillis par une enquête préliminaire :*

- origine et référence du composant localisé ;
- état de l’environnement avant et au moment de la détection, conditions de service et circonstances ;
- fichier historique (quelles sont les interventions antérieures ?).

4. *Les symptômes :*

- observés *in situ* avant l’arrêt : relevé des « anormalités » (bruit et vibrations, couleur, odeur, chaleur, etc.), indications mesurées ou captées, caractérisation des contraintes, perturbations en sortie, défauts de qualité associés ;
- observés après dépose ou démontage : mesures statiques, mesures électriques en tension ou hors tension, examen morphologique en cas de rupture mécanique, examen de surface, photographie ou dessin – observés par examens complémentaires : microscopie, analyses chimiques, contrôles non destructifs ou destructifs, essais, etc.

5. *Les conséquences :*

- sur le plan de la sécurité, de l’indisponibilité, de la non-qualité-produit, des coûts directs, etc. ;
- mineures, majeures ou critiques.

6. *Les causes :*

- imputation extrinsèque : accident, choc, surcharge, mauvaise utilisation, erreur de conduite, non-respect de consigne, défaut d’entretien, manque de précaution, environnement non conforme, défaillance seconde, ou en cascade ;
- imputation intrinsèque : défaut de santé-matière, de conception, de fabrication, de montage, d’installation, mode de défaillance en fonctionnement : usure, abrasion, corrosion, fatigue, détérioration de surface, déformation, rupture, vieillissement, etc.

3.2.4.3 Maintenance proactive : expertise

Les défaillances sont des événements caractérisés par des phénomènes pathologiques qui débouchent, pour un équipement, sur un état de non fonctionnement : la panne.

La maintenance proactive consiste à identifier et à supprimer la cause première des défaillances et à empêcher la réapparition de ces dernières. La maintenance proactive se base sur une expertise.

Expertise L’expertise est une démarche approfondie qui permet de comprendre les mécanismes d’une défaillance intrinsèque, c’est-à-dire les processus chimiques, physiques, métallurgiques ou autres, qui sont en amont de l’arbre des causes. Avec pour enjeu la prévention

de ces processus, donc la suppression des défaillances. L'expertise suppose la mise en œuvre de moyens d'investigation qui peuvent être lourds, donc centralisés dans des laboratoires spécialisés, associée à des compétences approfondies sur le champ des «phénomènes pathologiques ».

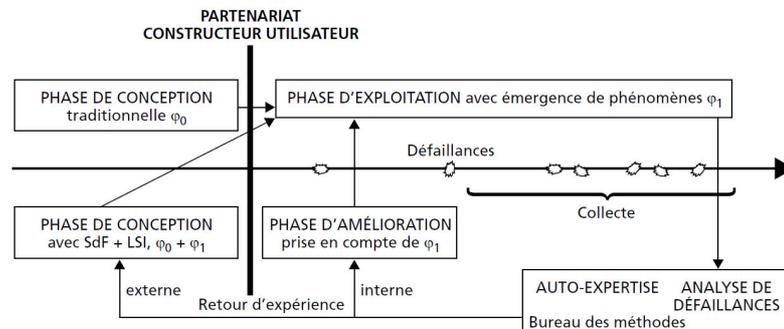


Figure 3.2. Organisation de retour d'expérience

3.3 Quelques mécanismes de défaillance

Dans le domaine mécanique :

- L'usure est l'enlèvement progressif de matière à la surface des pièces d'un couple cinématique en glissement relatif.
- La fatigue : Les roulements se détériorent intrinsèquement (sous conditions idéales de montage, d'utilisation et de lubrification) par fatigue de contact.
- La corrosion : détérioration de surface par des réactions électrochimiques.

Dans le domaine électrique :

- les surcharges en courant ou en tension,
- les décharges électrostatiques,
- les chocs thermiques dus aux successions de « marche-arrêt »,
- le rayonnement électromagnétique provoqué par des courants forts passant par les mêmes câble que les courants faibles, organes émetteurs (antennes radar, téléphone cellulaire, Rayonnement solaire etc.) ;

4 ANALYSE QUANTITATIVES DES DEFAILLANCES

4.1 Analyse quantitative des défaillances

L'analyse quantitative d'un historique va permettre de dégager des actions d'amélioration, donc identifiées les défaillances à approfondir afin de les corriger et les prévenir. Analyser quantitativement les résultats des diagnostics constitue ainsi un **axe de progrès**. Les données chiffrées à saisir doivent être les suivantes :

- a- dates des interventions correctives (jours, heures) et nombre N de défaillances ; ces éléments permettront de calculer les périodes de bon fonctionnement (UT = Up Time), les intervalles de temps entre deux défaillances consécutives (TBF = Time Between Failures) et leur moyenne (MTBF) ; ces données permettront de caractériser la **fiabilité** des équipements ;
- b- temps d'arrêt de production (DT = Down Time) consécutifs à des défaillances, y compris ceux des « microdéfaillances » ; tous les événements sont systématiquement consignés, même les plus anodins
- c- durées d'intervention maintenance (TTR = Time To Repair) et leur moyenne (MTTR) ; ces données permettront de caractériser la **maintenabilité** des équipements.

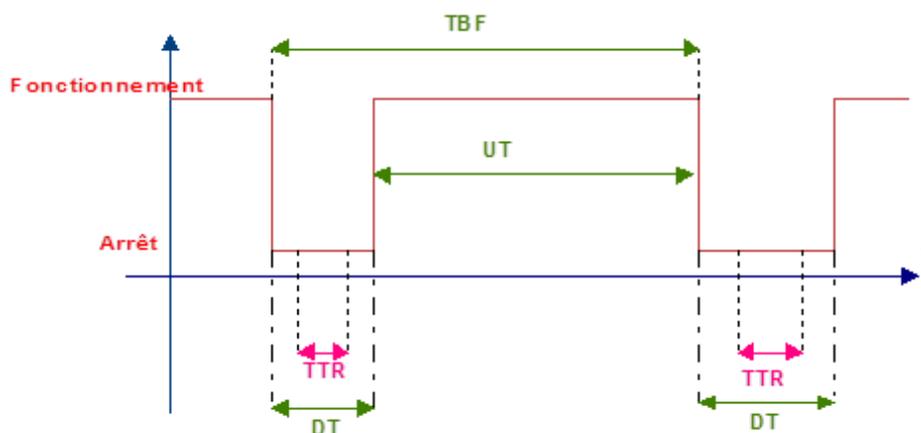


Figure 4.1. Analyse des temps

Chacune des données précédentes est ensuite associée aux familles de défaillance définies dans le chapitre précédent :

- d- localisation des éléments sensibles à partir de la décomposition structurelle,

e- modes de défaillances observés le plus fréquemment.

4.2 Méthode ABC

Parmi la multitude de préoccupations qui se posent à un responsable maintenance, il lui faut décider quelles défaillances doivent être étudiées et/ou améliorées en premier. Pour cela, il faut déceler celles qui sont les plus importantes et dont la résolution ou l'amélioration serait le plus rentable, en particulier en terme de coûts d'indisponibilité.

La méthode ABC apporte une réponse. Elle permet l'investigation qui met en évidence les éléments les plus importants d'un problème afin de faciliter les choix et les priorités. On classe les événements (pannes par exemple) par ordre décroissant de coûts (temps d'arrêts, coût financier, nombre, etc..), chaque événement se rapportant à une entité. On établit ensuite un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de pannes ou de défaillances cumulés. Sur le schéma figure 6.2, on observe trois zones.

1. **Zone A** : 20% des pannes occasionnent 80% des coûts ;
2. **Zone B** : les 30% de pannes supplémentaires ne coûtent que 15% supplémentaires ;
3. **Zone C** : les 50% de pannes restantes ne concernent que 5% du coût global.

Conclusion : il est évident que la préparation des travaux de maintenance doit porter sur les pannes de la zone A.

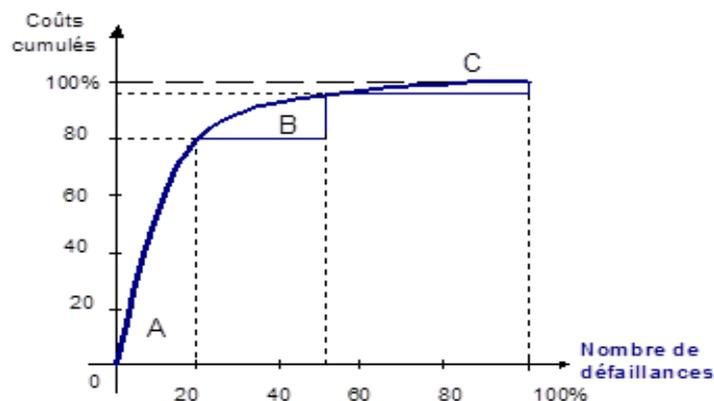


Figure 4.2. Diagramme de Pareto ou courbe ABC

En maintenance cette méthode est très utile pour déterminer les urgences ou les tâches les plus rentables, par exemple :

- a- s'attacher particulièrement à la préparation des interventions sur les défaillances les plus fréquentes et/ou les plus coûteuses (documentation, gammes opératoires, contrats, ordonnancement, etc..),
- b- rechercher les causes et les améliorations possibles pour ces mêmes défaillances,

- c- organiser un magasin en fonction des fréquences de sortie des pièces (nombre de pièces et emplacement),
- d- décider de la politique de maintenance à appliquer sur certains équipements en fonction des heures et des coûts de maintenance.

Attention toutefois : cette méthode ne résout pas les problèmes, mais elle attire l'attention du technicien sur les groupes d'éléments à étudier en priorité.

4.2.1 Diagramme ABC en N, Nt et \bar{t}

Le service maintenance peut exploiter cette méthode en allant beaucoup plus loin :

- a- on dresse un tableau regroupant les sous-ensembles, le nombre de défaillances N, les temps d'arrêt par sous-ensemble Nt et la moyenne des temps d'arrêt \bar{t} ;
- b- on élabore les diagrammes en bâtons N, Nt et \bar{t} ; ils permettront de déterminer la priorité de prise en charge des sous-ensembles par le service maintenance,
- c- le graphe en N oriente vers l'amélioration de la fiabilité ;
- d- le graphe en Nt est un indicateur de disponibilité, car Nt estime la perte de disponibilité de chaque sous-ensemble ;

le graphe en \bar{t} oriente vers la maintenabilité, c'est à dire l'amélioration de l'aptitude à la maintenance.

5 ANALYSE QUALITATIVE DES DEFAILLANCES ET AIDE DE DIAGNOSTIC

5.1 Tableau Causes – Effets

Dans ce paragraphe, on appellera recherche des causes la localisation des éléments dont l'état anormal a entraîné la défaillance. Pour aider l'homme de maintenance dans cette recherche, on dispose du Tableau Cause – Effets qui débouchent ensuite sur l'organigramme de diagnostic. Le Tableau Cause – Effets permet :

- ❖ de faire un bilan des défaillances,
- ❖ de rechercher des causes à partir d'un effet.

5.1.1 Structure du tableau Causes – Effets

On recense, de manière exhaustive dans l'historique d'un équipement, tous les événements relatifs à un sous-ensemble ou un composant d'un équipement posant problème (déterminé par exemple par une analyse de Pareto). On détermine :

- ❖ le nombre de fois où l'effet est apparu,
- ❖ la moyenne des temps d'intervention (MTI),

On va « croiser » les effets et les causes sur un tableau à double entrée (Tableau 6.1). Puis à l'intersection d'un effet et d'une cause, on indique le nombre de fois où l'effet est apparu.

	Cause					
	Cause					
	Cause			Cause		
	Cause		Cause	Cause		
	Cause	C1	C2	C3	C4	C5
Moyenne des temps d'intervention MTI		25	15	60	10	40
E1		12		23		
E2			4			6
E3					2	

Tableau 5.7. Tableau Causes – Effets

Conclusion

Le tableau causes – effets est un outil de synthèse d'historique qui met en évidence :

- ❖ les relations entre les causes connues et les effets constatés,
- ❖ la fréquence d'apparition des causes,
- ❖ les temps d'intervention.

Il va permettre de générer la fiche de diagnostic et l'organigramme de diagnostic.

5.1.2 Organigramme de diagnostic

C'est un outil graphique décrivant la marche à suivre pour atteindre la cause d'une défaillance à partir de l'effet constaté. La recherche s'effectue à partir d'une suite d'actions et de tests à réaliser. C'est donc le « mode opératoire » du diagnostic. La syntaxe utilisée pour tracer l'organigramme de diagnostic est donnée figure 5.1.

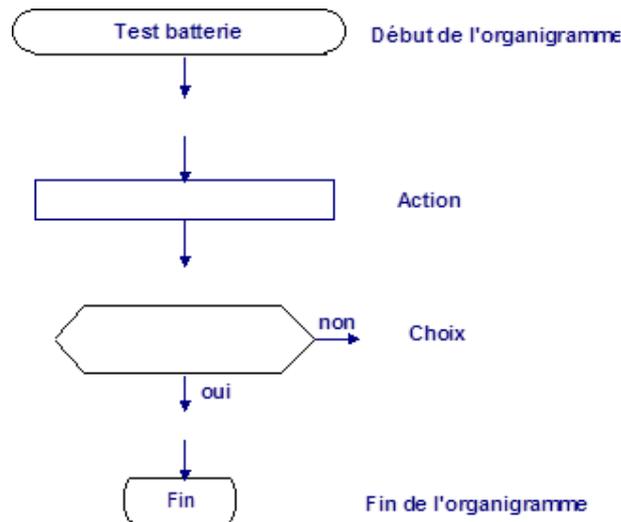


Figure 5.1. Syntaxe de l'organigramme de diagnostic

5.1.3 Fiche de diagnostic

Pour construire un organigramme de diagnostic ou une fiche de diagnostic, il faut :

- ❖ établir le mode opératoire du diagnostic,
- ❖ transposer ce mode opératoire sous la forme d'une suite logique de tests et d'actions.

Chaque test et chaque action doivent être décrits de manière simple. La réponse à un test sera purement binaire (oui ou non, bon ou mauvais). Une action peut éventuellement consister à faire appel à un autre moyen : nouvel organigramme, appel à mode opératoire, appel à un expert, etc...

Fiche du diagnostic		Système :		Data :
Intervenant :				
N°	Point du contrôle	Moyen du contrôle	Référence du contrôle	Résultat

5.2 Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leurs Criticités

5.2.1 Le but de l'AMDEC

La méthode AMDEC a pour objectif :

- D'identifier les causes et les effets de l'échec potentiel d'un procédé ou d'un moyen de production.
- D'identifier les actions pouvant éliminer (ou du moins réduire) l'échec potentiel

la méthode consiste à imaginer les dysfonctionnements menant à l'échec avant même que ceux-ci ne se produisent. C'est donc essentiellement une méthode prédictive.

5.2.2 La méthodologie

La réalisation d'une AMDEC suppose le déroulement de la méthode comme suit :

- La constitution d'un groupe de travail
- L'analyse fonctionnelle du procédé (ou de la machine)
- L'analyse des défaillances potentielles
- L'évaluation de ces défaillances et la détermination de leur criticité
- La définition et la planification des actions

5.2.3 L'évaluation

L'évaluation se fait selon 3 critères principaux :

- la gravité
- la fréquence
- la non-détection

Ces critères ne sont pas limitatifs, le groupe de travail peut en définir d'autres plus judicieux par rapport au problème traité.

Chaque critère est évalué dans une plage de notes. Cette plage est déterminée par le groupe de travail. Plus la note est élevée, plus sa sévérité est grande.

5.2.3.1 La gravité

Elle exprime l'importance de l'effet sur la qualité du produit (AMDEC procédé) ou sur la productivité (AMDEC machine) ou sur la sécurité (AMDEC sécurité).

Le groupe doit décider de la manière de mesurer l'effet.

Exemple :

Effet sur la dimension d'un produit : effet sur le temps d'arrêt de production

- note 1 : écart inférieur à 0,5% note 1 : inférieur à 4 heures

- note 2 : écart inférieur à 1% note 2 : inférieur à 24 heures
- note 3 : écart inférieur à 5% note 3 : inférieur à 1 semaine
- note 4 : écart supérieur à 5% note 4 : supérieur à une semaine

5.2.3.2 La fréquence

On estime la période à laquelle la défaillance est susceptible de se reproduire

Exemple :

- note 1 : moins d'une fois par an
- note 2 : moins d'une fois par mois
- note 3 : moins d'une fois par semaine
- note 4 : plus d'une fois par semaine

5.2.3.3 La non-détection

Elle exprime l'efficacité du système permettant de détecter le problème

Exemple :

- note 1 : détection efficace permettant une action préventive
- note 2 : système présentant des risques de non-détection dans certains cas
- note 3 : système de détection peu fiable
- note 4 : aucune détection

5.2.3.4 La criticité

Lorsque les 3 critères ont été évalués dans une ligne de la synthèse AMDEC, on fait le produit des 3 notes obtenues pour calculer la criticité.

$$C = G * F * N$$

Criticité gravité fréquence non-détection

Le groupe de travail doit alors décider **d'un seuil de criticité.**

Au delà de ce seuil, l'effet de la défaillance n'est pas supportable. Une action est nécessaire.

Un histogramme permet de visualiser les résultats.

5.2.4 Les actions

La finalité de l'analyse AMDEC, après la mise en évidence des défaillances critiques, est de définir des actions de nature à traiter le problème identifié.

Les actions sont de 3 types : Actions préventives, Actions correctives Actions amélioratives

6 SURETE DE FONCTIONNEMENT :ANALYSE

FMD (FIABILITE, MAINTENABILITE ET

DISPONIBILITE)

6.1 Les temps de maintenance

La distribution des temps jusqu'à défaillance ou des temps entre défaillances constitue la base des définitions des termes relatifs aux caractéristiques de fiabilité. Le temps s'exprime bien sûr en secondes, mais il peut aussi s'exprimer en « **unités d'usage** » (heures, distances, cycles ou toutes grandeurs appropriées : 1 heure, 3 mois, 1000 km, etc...).

Le temps t associé à chaque dispositif ou équipement, définit une variable aléatoire T que l'on traitera selon les méthodes usuelles du calcul des probabilités :

- a) pour les **dispositifs non réparables**, on relève le temps jusqu'à défaillance (figure 3.1) ;

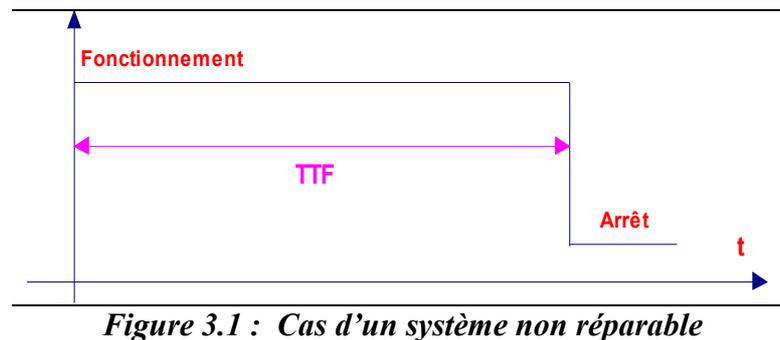


Figure 3.1 : Cas d'un système non réparable

Sur cette figure, TTF signifie **Time To Failure** (temps jusqu'à la défaillance irréversible).

- b) Pour les **dispositifs réparables**, on relève le temps entre deux défaillances successives (Figure3.2).

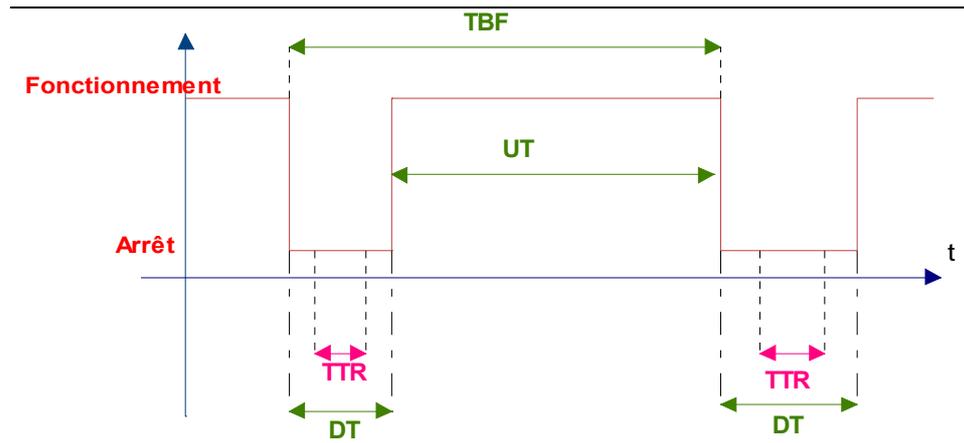


Figure 3.2 Mise en évidence des temps sur un système réparable

c) Les abréviations utilisées sont les suivantes :

- ❖ **TBF = Time Between Failures** (temps s'écoulant entre deux défaillances),
- ❖ **UT = Up Time** (temps de fonctionnement après réparation ou **temps de disponibilité**),
- ❖ **DT = Down Time** (temps d'arrêt sur défaillance, y compris le temps de diagnostic de la panne, la réparation et le temps de remise en service, donc **temps d'indisponibilité**),
- ❖ **TTR = Time To Restoration** (temps de réparation),

6.2 La fiabilité : définitions

C'est « la probabilité pour un équipement d'accomplir une fonction requise, dans des conditions déterminées, pendant une période donnée ». En d'autres termes, c'est la probabilité pour que l'équipement fonctionne dans des conditions données pendant un temps donné. La fonction fiabilité est notée R (R = Reliability).

6.3 Modélisation mathématique de la fiabilité

La fiabilité est donc une caractéristique d'un équipement qui s'exprime sous forme probabiliste. Son estimation peut s'effectuer de deux manières :

- ❖ à partir de résultats obtenus sur une période donnée, on l'extrapole sur une période intéressante pour l'utilisateur (notion de durée de vie) ;
- ❖ à partir de résultats obtenus sur un échantillon d'équipements identiques, on l'extrapole sur l'ensemble des équipements de même type dans lequel l'échantillon a été prélevé.

6.3.1 Expression mathématique

Soit T la durée de vie sans avarie d'un équipement (TTF) ou l'intervalle entre deux défaillances (TBF). T est donc une variable aléatoire continue. On appelle fiabilité ou fonction de survie la probabilité pour que la défaillance intervienne à $T > t$, ce que l'on note par l'expression :

$$R(t) = \Pr(T > t)$$

On appelle d'autre part fonction de défaillance à l'instant t , la probabilité pour que la défaillance intervienne à $T < t$, ce que l'on note par l'expression :

$$F(t) = \Pr(T < t)$$

« Probabilité pour qu'un événement se produise + probabilité pour que ce même événement ne se produise pas = 1 »

$$R(t) = 1 - F(t)$$

6.3.2 Estimation statistique de la fiabilité

Les valeurs vraies des paramètres précédents ne sont pas faciles à calculer directement. Il faut bien voir que le maintenancier n'aura à sa disposition qu'un historique des défaillances d'où il pourra extraire la distribution des temps (TTF et TBF). Pour estimer $R(t)$, $F(t)$ et $f(t)$, on va passer par une étude statistique des historiques.

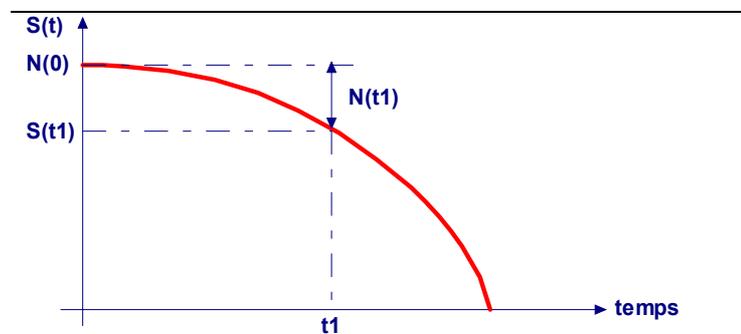


Figure 3.3 : Courbe de survie

Considérons N_0 équipements identiques, en bon état de marche, mis ensemble en service à l'instant $t = 0$ et travaillant dans les mêmes conditions. On étudie statistiquement les défaillances de ces matériels. A l'instant t , en fonction du nombre total des défaillances $D(t)$ survenues, le nombre d'éléments survivants sera $S(t) = N_0 - D(t)$. La représentation graphique de $S(t)$ en fonction du temps est appelée « courbe de survie » (Figure 3.3).

Dans ce cas de figure on estime la fiabilité par :

$$R(t) = \frac{S(t)}{N(0)}$$

6.3.3 Taux de défaillance

Le taux de défaillance est une caractéristique de fiabilité couramment utilisée dans l'industrie, car il caractérise la vitesse de variation de la fiabilité au cours du temps.

i. Expression théorique

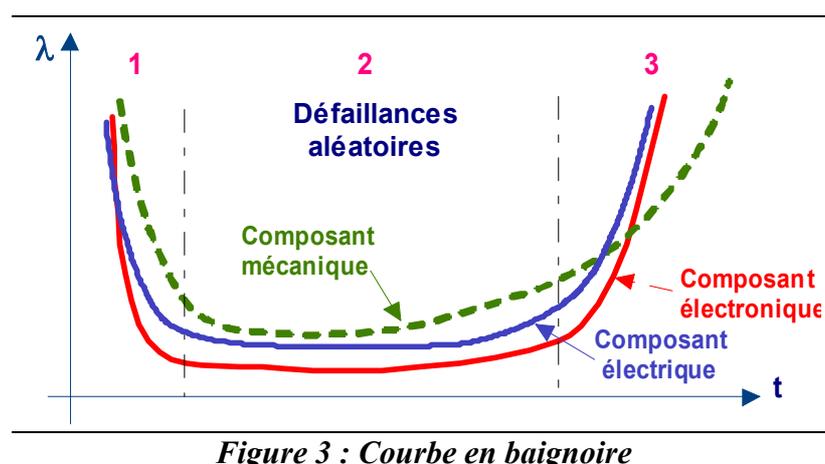
Considérons maintenant $N(0)$ équipements identiques à l'instant $t = 0$. A chaque instant t , on peut relever le nombre d'équipements survivants $S(t)$. Dans ces conditions, le taux de défaillance moyen pendant un intervalle de temps dt , rapporté au nombre de survivants à l'instant t , s'écrit :

$$\lambda = \frac{\frac{S(t) - S(t + \Delta t)}{\Delta t}}{S(t)}$$

ii. Evolution du taux de défaillance dans le temps

De nombreuses observations ont montré que les matériels présentaient un taux de défaillance dont l'allure, en fonction du temps, est « une courbe en baignoire » (figure 4). Sur cette courbe, on repère trois zones.

- ✓ Zone 1 : c'est la période de jeunesse ou de défaillance précoce, période initiale d'un matériel pendant laquelle le taux instantané de défaillance décroît rapidement, jusqu'à un minimum. Les défaillances sont le plus souvent catalectiques. Cette période devrait, pour des matériels corrects, être éliminée par un rodage pour la mécanique ou par un pré-vieillissement (« déverminage ») pour des composants électroniques ; à noter que cette phase est plus lente pour un composant mécanique.



- ✓ Zone 2 : c'est la période, dans la vie d'un matériel, pendant laquelle le taux instantané de défaillance est pratiquement constant pour le composant électronique, moins pour le composant mécanique ; elle peut être de durée plus ou moins importante (plus pour

l'électronique que pour la mécanique). Les défaillances sont aléatoires et liées le plus souvent à la dérive des composants. On appelle aussi cette période « période de maturité » ; en maintenance, c'est la période où l'on met en place du préventif, même si le correctif reste nécessaire.

- ✓ **Zone 3** : c'est la période de défaillance par vieillissement (ou période d'usure ou « fin de vie ») ; pendant cette période, le taux de défaillance croît rapidement. On peut éliminer cette période par des politiques appropriées de déclassement ou de remplacement systématique. La tendance est toutefois d'effectuer une maintenance conditionnelle, ce qui permet de prévoir les défaillances et d'exploiter le matériel au maximum de ses possibilités.

6.3.4 Paramètres fiabilistes de type « moyenne »

Il existe d'autres indicateurs de fiabilité qui s'expriment par des moyennes de temps définis au paragraphe 3.2 :

- TBF, TTF et UT pour des matériels en état de fonctionnement,
- TTR et DT pour des matériels hors état de fonctionnement.

Si l'on moyenne ces temps sur la durée de vie du matériel, on va obtenir, avec **M = Mean** (moyenne), les MTBF, MTTR, MUT, MDT et MTTF.

Parmi ces indicateurs, le MTBF a un très grand intérêt : c'est *l'espérance mathématique du temps de bon fonctionnement entre deux défaillances* ; son expression est donc :

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt$$

6.3.5 Cas typiques de calcul de fiabilité

6.3.5.1 Modèle exponentiel

Nous nous intéressons ici à la période où le taux de défaillance est constant (hors défauts de jeunesse et vieillissement). C'est le cas des composants électroniques. Le taux utilisé est souvent le taux moyen donné le plus souvent **en nombre de défaillances par heure**. Dans ces conditions, la loi de fiabilité qui en découle s'écrit :

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$$

Le calcul pratique du MTBF s'effectue grâce à la formule : $MTBF = \frac{1}{\lambda}$

6.3.5.2 Modèle de Weibull

Contrairement à un composant électronique, un composant mécanique ne peut pas avoir un taux de défaillance constant, car le phénomène d'usure commence dès la mise en service

Dans le cas de taux de défaillance croissant, ce qui est la réalité, on peut utiliser la lois. la loi de WEIBULL, modèle plus général avec :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta} \text{ si } t > \gamma$$

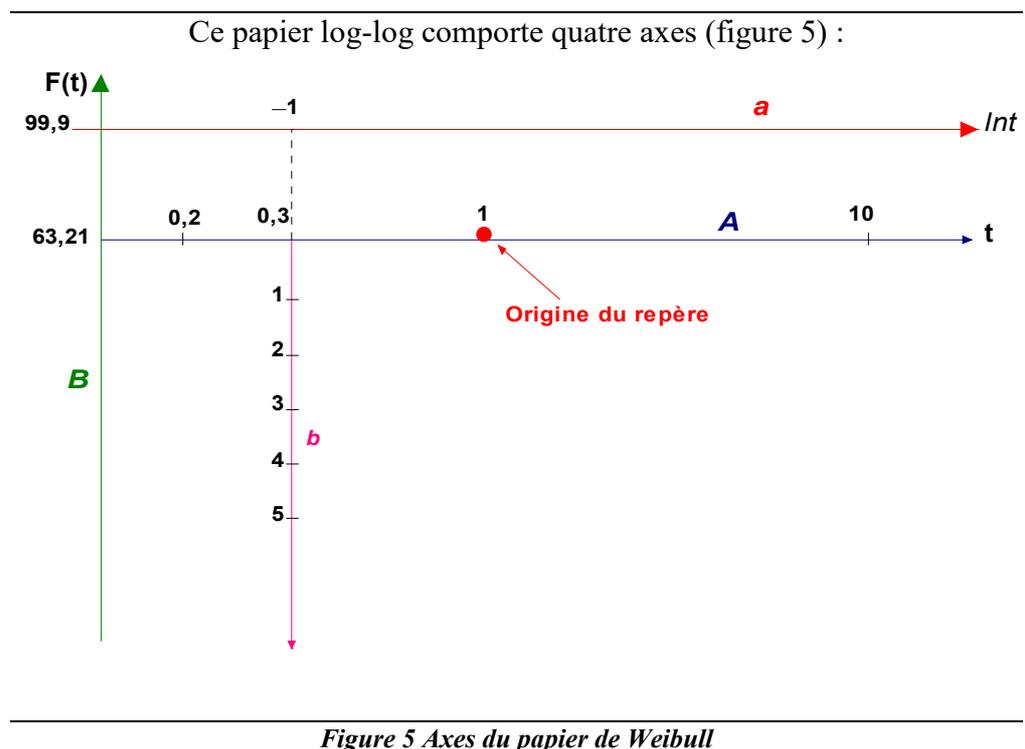
$$R(t) = 1 \quad \text{si } t \leq \gamma$$

Le calcul pratique du MTBF s'effectue grâce à la formule $MTBF = \eta \cdot A + B$

6.3.6 Détermination graphique des paramètres de la loi de Weibull

L'étude d'un historique d'équipement permet d'obtenir une estimation de la fonction de défaillance $F(t)$ pour un certain nombre de valeurs de t . Le problème est donc de déterminer les paramètres ajustant cette fonction. Cette détermination est facilitée par l'emploi d'un papier à échelle « log-log », imaginé par Allen PLAIT et appelé encore « papier de Weibull ».

6.3.6.1 Description du papier de Weibull



- ❖ l'axe A en abscisse est l'axe des temps sur lequel on portera les valeurs t (TBF si le système est réparable, TTF si le système est non réparable) ;
- ❖ l'axe B en ordonnée est l'axe sur lequel on porte les valeurs de $F(t)$ qu'on aura calculé en utilisant les formules d'approximation des rangs bruts moyens ou médians

selon le nombre de valeurs de t (voir rappel plus bas) ; il est déjà gradué en pourcentage.

6.3.6.2 Méthodologie de l'ajustement graphique

1) Préparation des données : recueillir d'après les historiques les TBF ou TTF de l'équipement étudié et classer ces temps par ordre croissant. Soit N leur nombre.

2) Attribuer à chaque temps un ordre i de 1 à N (s'il y a plusieurs temps égaux, on leur attribuera des rangs successifs $i, i+1, i+2, \dots$).

3) Calculer la fonction relative cumulée de défaillance $F(t)$ pour chaque temps t_i considéré.

Rappel - Si N représente le nombre de données, on estime $F(t)$ à l'instant de la $i^{\text{ème}}$ défaillance par :

$$F(t) = \frac{i}{N} \text{ si } 50 \leq N \text{ (méthode des rangs bruts)}$$

$$F(t) = \frac{i}{N+1} \text{ si } 20 \leq N < 50 \text{ (méthode des rangs moyens)}$$

$$F(t) = \frac{i-0.3}{N+0.4} \text{ si } 20 < N \text{ (méthode des rangs médians)}$$

4) Tracer le nuage de points $[t_i, F(t_i)]$.

3) Tracé de la droite D dite « de Weibull »

On trace tout d'abord la droite d'ajustement D , puis la droite D' , parallèle à D passant par le point d'abscisse 1, origine du repère.

4) Détermination des valeurs des paramètres β, η et γ

❖ le paramètre β est la pente de la droite D , c'est à dire l'intersection de D' avec l'axe b ;

❖ le paramètre η est l'intersection de D avec l'axe des temps X ,

❖ le paramètre γ est lié à la forme du nuage.

5) Détermination de l'expression de la loi de Weibull

6) Détermination du MTBF

7) Exploitation des résultats

6.4 Maintenabilité des équipements

6.4.1 Modélisation mathématique de la maintenabilité

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.

Si on note $M(t)$ la fonction maintenabilité on a :

$$M(t) = \Pr(TTR < t)$$

Les calculs prévisionnels de maintenabilité reposent sur l'hypothèse exponentielle, la répartition des temps de réparation est alors exponentiel, selon la formule

$$M(t) = 1 - e^{-\mu.t}$$

Par analogie au taux de défaillance μ est le taux de réparation.

Le MTTR est calculer par $MTTR = \frac{1}{\mu}$

6.4.2 Amélioration de la maintenabilité

La maintenabilité d'un équipement est une qualité fondamentale, qui n'est malheureusement pas toujours prise en compte par les constructeurs et à laquelle les clients (souvent des services différents de la maintenance) n'attachent pas l'attention désirable. L'amélioration de la maintenabilité passe par la diminution des temps explicités au début de ce paragraphe, à savoir :

- le temps de vérification de la réalité de la défaillance et de localisation,
- le temps de diagnostic,
- le temps de réparation puis le temps de contrôle et d'essais.

Les propositions fournies dans le tableau 7.16 permettent de diminuer notablement ces pannes.

Temps	Améliorations possibles
Vérification, localisation	❖ voyants, capteurs ❖ appareils de mesure ❖ supervision
Diagnostic	❖ documentation opérationnelle complète (plans mis à jour, notices d'entretien, etc..) ❖ repérage et accessibilité des points de mesure

	<ul style="list-style-type: none"> ❖ facilité de diagnostic : diagramme causes-effets, arbre de diagnostic, logigramme de dépannage, système expert
Réparation	<ul style="list-style-type: none"> ❖ accessibilité meilleure, facilité de démontage ❖ gammes de démontage-remontage ❖ interchangeabilité des composants
Contrôles et essais	<ul style="list-style-type: none"> ❖ dispositifs de contrôle incorporés dès la conception ❖ procédures d'essais simplifiées ❖ connaissance des limites de tolérance admissible des caractéristiques à mesurer
Gestion	<ul style="list-style-type: none"> ❖ équipements homogènes et/ou standards ❖ personnel bien formé ❖ procédures d'intervention précises ❖ outillage spécialisé et adapté
Fournisseurs	<ul style="list-style-type: none"> ❖ choix du fournisseur d'après la qualité de son matériel et de son SAV ❖ stabilité des fabrications ❖ existence de stocks et/ou délais très courts pour obtenir une pièce de rechange

Tableau 6.1. Amélioration de la maintenabilité

6.5 Disponibilité des systèmes réparables

6.5.1 Différentes formes de disponibilité

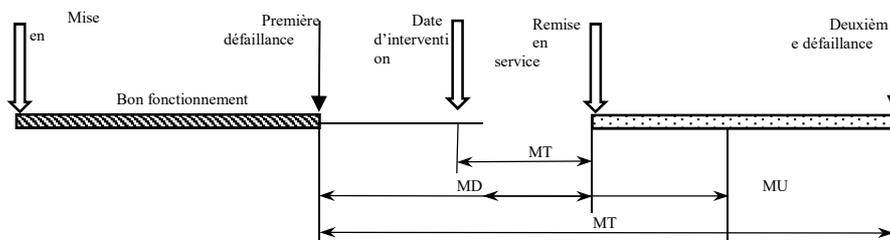


Figure 6.6.

Disponibilité opérationnelle de l'unité

On appelle disponibilité opérationnelle noté D_{op} l'évaluation de la disponibilité obtenu à partir de mesures de temps saisis à partir des états d'un équipement. Elle est évaluée à partir des relevés de temps relatif :

- A une période de temps (1 jour, une semaine, des mois, 1An) ;
- A un équipement, ou à une partie d'une ligne de production ;
- Aux temps d'indisponibilité propre de moyenne MDT et des durées de bon fonctionnement de moyenne MTBF suivant le modèle :

$$D_{op} = \frac{MUT}{MUT + MDT} = \frac{MUT}{MTBF}$$

6.5.1.1 Disponibilité opérationnelle globale

C'est la disponibilité de ligne de production complète elle s'obtient par décomposition des D_{op} des unités, suivant la présence de stock intermédiaire dits stock tampon.

L'objectif de maintenance est d'améliorer la disponibilité global cela passe inexorablement par l'amélioration des D_{op} les plus faible.

6.5.1.2 Disponibilité asymptotique

Pour un équipement donné il existe une limite de disponibilité D_{∞} elle représente la disponibilité maximal qu'on puisse souhaiter avoir de l'équipement.

6.5.2 Composition de disponibilité opérationnelle

6.5.2.1 Modèle série des lignes à unité liées ou dépendant



Figure 6.7.

La disponibilité opérationnelle de la ligne sera dans ce cas :

$$D_g = \frac{1}{\left[\sum_1^n \frac{1}{D_{opi}} \right] - (N - 1)}$$

Exemple

Soit une ligne de 10 unité, dont chacune a une disponibilité $D_{opi}=0.99$. Alors $D_g = 0.908$. Supposons maintenant que 9 unité aient une disponibilité $D_{opi}=0.99$ et que l'une d'eux ait une disponibilité d 0.8 alors $D_g=0.75$.

Conclusion la méthode d'amélioration de performance d'un ensemble lié passe par l'amélioration du maillon faible.

6.5.3 Amélioration de la disponibilité opérationnelle

La disponibilité opérationnelle tient compte des problèmes d'indisponibilité dus aussi bien à la maintenance qu'à la production et les caractéristiques intrinsèques des équipements, caractéristiques du matériel satisfaisant.

6.5.3.1 Améliorer l'organisation du service de production

- gestion de la production
- qualité
- gestion du personnel

- résoudre les problèmes externes (grèves, coupure d'énergie, ..)

6.5.3.2 Améliorer l'organisation du service maintenance

- revoir la politique de maintenance (choix de la maintenance corrective ou de la maintenance préventive)
- préparation du travail
- ordonnancement
- temps logistiques (gestion du personnel, outillage de rechange, etc...)

6.5.3.3 Améliorer les caractéristiques intrinsèques du matériel

- fiabilité (choix de composants plus fiables)
- maintenabilité
- temps de diagnostic (logigramme, arbre de défaillance, système expert)
- temps de réparation (accessibilité, outillage adapté)
- améliorer l'entretien préventif (regroupement de certaines opérations)
- réduire les temps de changement d'outillages et de fabrication (SMED)