



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Université de Tissemsilt

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département des Sciences et de la Technologie



Polycopié de cours

Maintenance - Cours et exercices corrigés

Filière : Génie mécanique

Spécialité : Construction mécanique

Préparé par : Dr. Merghache Sidi Mohammed

Maître de conférences classe « A »

Tissemsilt - 2022/2023

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	1
AVANT-PROPOS.....	5

CHAPITRE1: GENERALITES DE LA MAINTENANCE

1.1 Introduction à la fonction maintenance.....	6
1.2. Historique de la maintenance	7
1.3. Définition de la maintenance	7
1.4. Objectifs de la maintenance	7
1.5. Place de la maintenance dans l'entreprise	8
1.5.1. Introduction	8
1.5.2. Interface de la fonction maintenance dans la structure de l'entreprise	9
1.5.3. Organisation interne du département de la maintenance	10
1.5.3.1. La fonction réalisation	10
1.5.3.2. La fonction méthode.....	11
1.5.3.3. La fonction Ordonnancement	12
1.5.3.4. La fonction gestion	13
1.5.4. Déroulement chronologique d'une intervention dans un service maintenance	14
1.6. Les outils de la maintenance.....	15
1.7. Niveaux de maintenance	16
1.8. Terminologies de la maintenance	17
1.9. Exercices d'applications.....	18

CHAPITRE2: DIFFERENTES FORMES DE LA MAINTENANCE

2.1. Politiques de maintenance	22
2.2. Différentes formes de maintenance	22
2.2.1. Maintenance corrective	23
2.2.2. Maintenance préventive.....	24
2.2.3. Objectifs visés par le préventif.....	27

2.3. Actions de maintenance.....	28
2.3.1. Actions de maintenance préventive.....	28
2.3.2. Actions de maintenance corrective.....	29
2.4. Exercices d'applications.....	30

CHAPITRE3: CLASSIFICATION ET NATURE DU MATERIELS

3.1. Connaissance des Matériels.....	33
3.1.1. Introduction.....	33
3.1.2. Classification.....	33
3.1.3. Nature des matériels.....	34
3.1.3.1. Le matériel de production.....	34
3.1.3.2. Le matériel préphirique.....	34
3.1.3.3. Les installations.....	36
3.2. L'inventaire parc matériels :.....	36
3.2.1 But et intérêt.....	37
3.2.2. Construction et architecture.....	37
3.2.3. Codification.....	38
3.3. Dossiers machines.....	38
3.3.1. Constitution d'un dossier machine.....	38
3.3.2. Forme matérielle du dossier machine.....	39
3.4. Fichier historique d'une machine.....	40
3.5. Exercice d'application.....	42

CHAPITRE4: COMPORTEMENT DU MATERIEL EN SERVICE : ETUDE DE LA DEFAILLANCE

4.1. Définition de la défaillance.....	45
4.2. Classification des défaillances.....	45
4.3. Les caractéristiques d'une défaillance.....	47
4.4. Analyse de l'origine de la défaillance.....	48
4.5. Les lois de dégradation.....	49
4.5.1. Les lois et limites d'usure.....	49
4.5.1.1. Mécanisme d'usure.....	49

4.5.1.2. Allure de la dégradation	49
4.5.1.3. Les lois d'usure.....	50
4.5.1.4. Les usures et la maintenance associée.....	51
4.5.2. Les corrosions et leurs origines.....	51
4.5.2.1. Mécanisme de la corrosion.....	51
4.5.2.2. Lois de la corrosion.....	51
4.5.2.3. Remèdes anticorrosion	52
4.6. Les lois de fiabilité, maintenabilité et disponibilité.....	52
4.6.1. Les lois de fiabilité.....	52
4.6.1.1. Définition de la fiabilité (R)	52
4.6.1.2. Indicateurs de fiabilité ou taux d'avaries (λ)	52
4.6.1.3. Moyen temps de bon fonctionnement (MTBF).....	53
4.6.1.4. Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants montés en série	53
4.6.1.5. Taux défaillances d'un système constitué de plusieurs composants montés en série.....	54
4.6.1.6. Fiabilité d'un système de constitué de composants monté en parallèle .	55
4.6.1.7. Taux défaillances d'un système constitué de plusieurs composants montés en parallèle	56
4.6.2. Les lois de maintenabilité	56
4.6.2.1. Définition de Maintenabilité	56
4.6.2.2. Taux de réparation μ	56
4.6.3. Les lois de disponibilité.....	57
4.6.3.1. Définition.....	57
4.6.3.2. Taux de disponibilité (D).....	58
4.6.3.3. Disponibilité de dispositifs connectés en série et en parallèle	58
4.7. Durée de vie de materiel	58
4.7.1. Les temps relatifs à la maintenance.....	58
4.7.2. La vie d'un matériel	59
4.7.3. Durée de vie des matériels.....	60
4.7.3.1. Courbe en baignoire	61
3.7.3.2. La détermination expérimentale de la courbe en baignoire.....	62
4.8. Exercices d'applications.....	63

CHAPITRE5: ORGANISATION DES OPERATIONS DE MAINTENANCE

5.1. Introduction	68
5.2. L'estimation du temps alloué à une intervention (méthodes)	68
5.2.1. Estimation « Au jugé ».....	68
5.2.2. Estimation « Historique ».....	68
5.2.3. Estimation « Analytique »	68
5.3. Méthode ABC de PARETO.....	69
5.3.1. Origine de la méthode	69
5.3.2. Définition et intérêt de la méthode.....	69
5.3.3. Méthodologie.....	70
5.4. Méthode PERT.....	71
5.4.1. Origine de la méthode	71
5.4.2. Définitions	71
5.4.3. Règles de représentattion graphique.....	73
5.4.4. La détermination du chemin critique (CPM)	75
5.4.5. Diagramme de GANTT	75
5.4.6. Étude d'un exemple	75
5.5. Exercices d'applications.....	77
 SUJET D'EXAMEN « 01 ».....	 83
SUJET D'EXAMEN « 02 ».....	88
SUJET D'EXAMEN « 03 ».....	93
SUJET D'EXAMEN « 04 ».....	101
 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	 106

AVANT-PROPOS

Tout secteur d'activité ayant besoin de maintenir un niveau d'activité en production ou un service en continue. Aujourd'hui les entreprises ne peuvent plus négliger l'entretien de leurs outils de production, elles prennent conscience des enjeux économiques en prévoyant la maintenance dans leur choix d'investissement. La maintenance est considérée comme une source d'optimisation de l'outil de production voire un facteur de profits. C'est avec plaisir que je présente ce cours de maintenance qui est destiné aux étudiants de la 3ème de génie mécanique « option : Construction mécanique ». Il est réalisé et conçu selon le programme pédagogique de la tutelle.

L'objectif principal a travers ce cours l'étudiant aura une connaissance sur le rôle de maintenance dans l'entreprise ; son organisation, ainsi que ses différentes fonctions, il sera aussi en mesure de faire les calculs liés à la fiabilité. Notre cours est divisé en cinq chapitres : Le premier chapitre « *généralités de la maintenance* » présente la définition, historique et objective de la maintenance, la place de la maintenance dans l'entreprise, les outils, les niveaux et Terminologies de la maintenance. Le deuxième chapitre « *différentes formes de la maintenance* » présente les politiques et les différentes formes de maintenance, ainsi ces actions. Cependant, le troisième chapitre « *classification et nature du matériels* » décrit la connaissance des matériels, l'inventaire parc matériels, dossiers et fichier historique d'une machine. Ensuite, le quatrième chapitre « *comportement du matériel en service : étude de la défaillance* » décrit la définition de la défaillance, ainsi que sa classification, ces caractéristiques et l'analyse de son origine. Ensuite, il présente les trois éléments essentiels qui doivent être disponibles dans la sûreté de fonctionnement (fiabilité, maintenabilité et disponibilité). Enfin, le dernière chapitre « *organisation des opérations de maintenance* » présente les quatre méthodes d'organisation de maintenance : l'estimation de temps faite par le bureau de méthodes, une méthode de choix des priorités appelée ABC. Enfin, deux méthodes de planification des interventions nommées PERT et GANNT.

CHAPITRE 1 : GENERALITES DE LA MAINTENANCE

1.1 Introduction à la fonction maintenance

L'évolution et la complexité des systèmes de production ainsi que le besoin de produire vite et bien, ont obligé les industriels à structurer et à organiser les « ateliers d'entretien »; ils ont surtout créé de nouveaux concepts d'organisation et de nouvelles manières d'intervenir.

Aujourd'hui, **l'entretien** a laissé la place à **la maintenance**. Ce changement ne réside pas uniquement dans un changement de dénomination, mais aussi dans un bouleversement complet de la manière de faire et de concevoir ce qui s'appelait « entretien » et que l'on appelle aujourd'hui « maintenance ». Le terme « Entretien » désigne les opérations ou les interventions à effectuer sur un matériel de production afin de le conserver en parfait état de produire. Les opérations correspondantes, souvent ordonné par le constructeur. Peuvent prendre la forme : Vidange, graissage etc. et le terme « Maintenance » permet d'organiser, prévoir, planifier et gérer les opérations d'entretiens.

La fonction maintenance assure donc un rôle primordial dans l'entreprise, elle accompagne ainsi la machine dès sa conception jusqu'à la fin de son service, elle doit par conséquent :

- Participer dès la conception à prédéterminer la maintenabilité, la fiabilité, la disponibilité et la durabilité de la machine ;
- Participer à l'achat de la machine au sein de la structure utilisatrice par des conseils techniques et opérationnels (prise en compte des critères) ;
- Participer à l'installation et à la mise en route de la machine, ainsi aux premiers jours de production, donc de pannes potentielles, le service connaît déjà la machine ;
- Prévention des pannes, surveillance permanente, dépannage et réparation, ...etc.
- L'approvisionnement et la gestion des pièces de rechange ;

- Prendre des décisions en termes d'améliorations ou de modifications afin de minimiser la dégradation du matériel ;
- Prendre la décision du moment économique des cessations du soin à apporter à la machine, et participer au choix de son remplacement.

1.2. Historique de la maintenance

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines manus et tenere, est apparu dans la langue française au XII^{ème} siècle. L'etymologiste Wace a trouvé la forme mainteneor (celui qui soutient), utilisé en 1169 : c'est une forme archaïque de mainteneur. L'usage du mot « maintenance » dans la littérature française trouve trace depuis le seizième siècle, et pour les anglo-saxons l'utilisation de ce terme est plus moderne surtout dans le vocabulaire militaire : « le maintien dans des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant » [1]. Au cours du dernier demi-siècle, la maintenance a connu une évolution très profonde. Cette évolution a touché les stratégies, les attitudes, les habitudes, les moyens et les méthodes. La maintenance a évolué du concept d'entretien suite à la défaillance d'un système, à celui d'une politique de maintenance basée sur des stratégies préventives, correctives, proactives et même amélioratives.

1.3. Définition de la maintenance

D'après l'Afnor (NFX 60-010) : « La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé ». Maintenir, c'est intervenir dans de meilleures conditions ou appliquer les différentes méthodes afin d'optimiser le coût global de possession: maintenir, c'est maîtriser.

1.4. Objectifs de la maintenance

C'est la nature de l'entreprise qui dicte les objectifs du service de maintenance clairement définis par une politique bien déterminée à partir de la prise en compte de facteur technique, facteur économique et facteur humain et écologique.

Objectifs techniques (opérationnels)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions possibles et dans un état acceptable. ▪ Assurer la disponibilité maximale des installations et de l'équipement à un prix rationnel ▪ Fournir un service qui élimine les pannes à tout moment et à tout prix ; ▪ Pousser à la dernière limite la durée de vie de l'installation (notion de durabilité) ; ▪ Assurer une performance de haute qualité ; ▪ Maintenir une installation d'une propreté absolue à toute moment.
Objectifs économiques (financiers)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réduire au minimum les dépenses de maintenance et maximiser les profits ; ▪ Assurer le service de maintenance dans les limites d'un budget ; ▪ Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par les installations et l'appareillage en fonction de son âge et de son taux d'utilisation.
Objectifs humains et écologiques
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réduire les accidents de fonctionnement (Notion de sécurité) et améliorer les conditions de travail ▪ Etudier toute modification, protection à effectuer sur les matériels pour diminuer les risques d'accidents ; ▪ Lutter contre la nuisance et préserver l'environnement (échappement de gaz, bruits inhérents, fuites d'huile, ...etc.).

Tableau. 1.1 Les objectifs de la maintenance.

1.5. Place de la maintenance dans l'entreprise

1.5.1. Introduction

L'image traditionnelle de l'entretien est celle d'une subordination illustrée par la [Fig. 1.1](#)

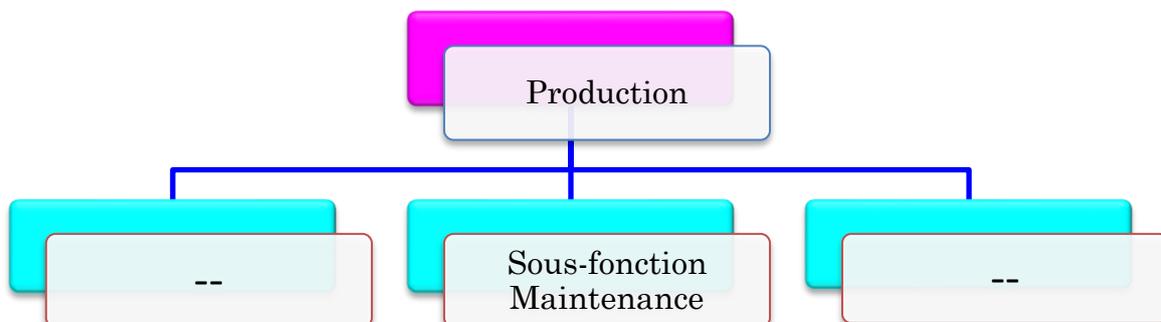


Fig.1.1 La position traditionnel de la maintenance dans l'entreprise.

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. Dans ce cas la maintenance ne peut ressembler qu'à un service parmi tant d'autres, et ses exigences passent après celles de la production. La « promotion » de l'entretien en maintenance passe par « l'horizontalité » des deux fonctions, suivant le modèle de la Fig.1.2

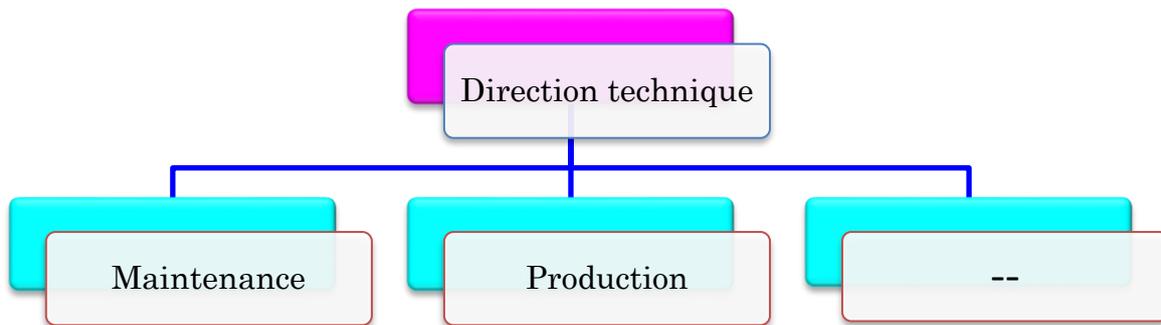


Fig.1.2 Image actuel de la maintenance dans l'entreprise.

Dans ce contexte, la maintenance assure :

- la maîtrise de la « possession » d'un équipement :
- Participer au choix avec la production ;
- Participer aux négociations d'acquisition à l'installation ;
- Maîtriser dans l'optique d'une durabilité prédéterminée ;
- Rechercher l'amélioration et l'optimisation.

1.5.2. Interface de la fonction maintenance dans la structure de l'entreprise

La Fig.1.3 montre l'interface d'un service maintenance, il illustre clairement que la maintenance est une fonction intégrée à la vie de l'entreprise et que le technicien de maintenance est un homme de « contact ».

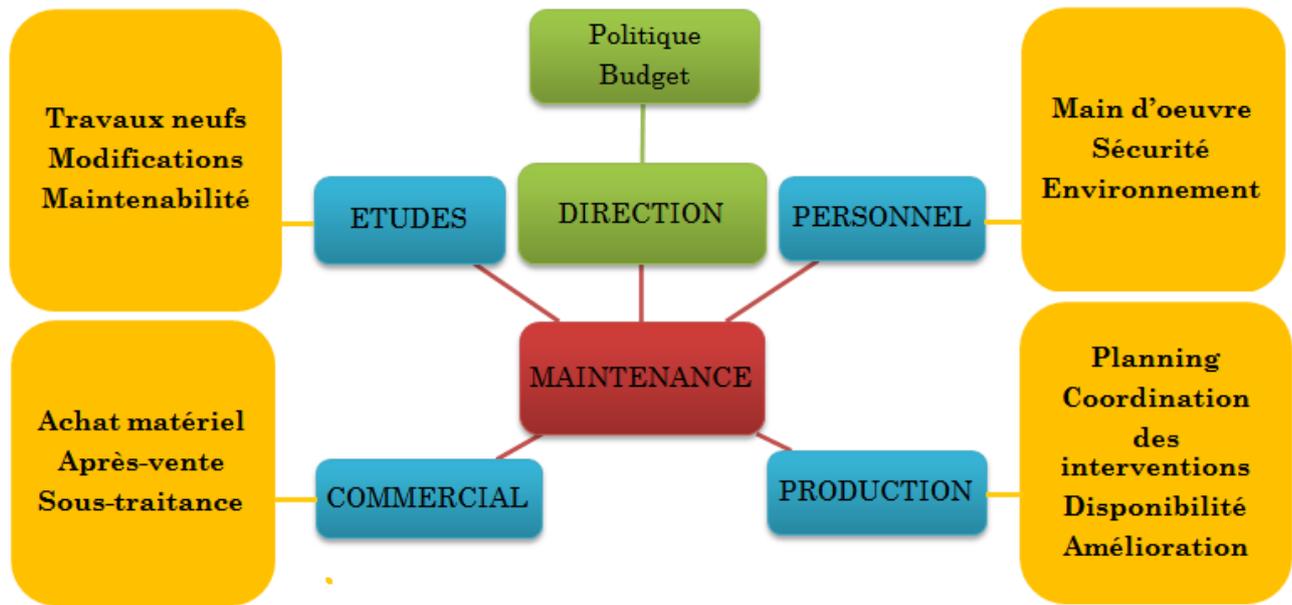


Fig.1.3 L'interface de la maintenance.

1.5.3. Organisation interne du département de la maintenance

L'organisation interne du département maintenance exerce aussi un effet sur son fonctionnement, la variété dans ce cas est illimitée selon la taille, la nature et les objectifs de l'entreprise. D'une manière générale, pour bien assurer ses activités diverses, le service maintenance doit regrouper les fonctions suivantes :

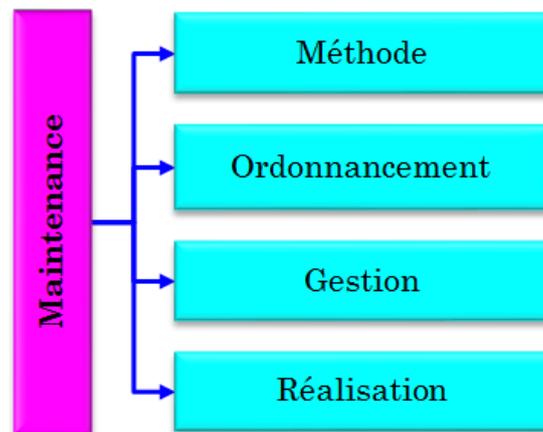


Fig.1.4 Les différentes fonctions dans un service maintenance.

1.5.3.1. La fonction réalisation

L'équipe réalisation est pluriethnique et de composition adaptée au matériel. Par exemple, un chef d'équipe, un électricien, un mécanicien et un hydraulicien. Elle est chargée de l'exécution des tâches de maintenance planifier par le service méthode. Les principales tâches pour remplir cette fonction sont les suivantes :

- Installer les machines et le matériel (réception, contrôle, etc.);
- Informer le personnel sur la façon d'utiliser les équipements et faire la mise à niveau ;
- Appliquer les consignes d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail ;
- Gérer l'ordonnancement et l'intervention de la maintenance et établir le diagnostic de défaillance du matériel ;
- Coordonner les interventions de la maintenance et remettre en marche le matériel après intervention ;
- Gérer les ressources matérielles (les pièces de rechange, l'outillage, etc.).

1.5.3.2. La fonction méthode

La fonction méthodes consiste à optimiser toutes les tâches en fonction des critères retenus dans le cadre de la formulation de la politique de maintenance. Cette partie regroupe quatre tâches principales :

- La première tâche, relative à l'étude technique, consiste à :
 - ✚ Rechercher des améliorations dans le système de production susceptibles d'apporter la valeur ajoutée recherchée ;
 - ✚ Participer à la conception des travaux neufs tout en tenant compte de l'aspect maintenance de l'appareil de production ;
 - ✚ Participer à l'analyse des accidents de travail pour essayer d'y remédier en apportant des consignes de sécurité dans un premier lieu, et des actions de maintenance corrective et préventive dans un second lieu.
- La deuxième tâche, relative à la préparation et l'ordonnancement, consiste à :
 - ✚ Établir les fiches d'instructions nécessaires pour effectuer les interventions ;
 - ✚ Constituer la documentation pour tous les genres d'intervention ;
 - ✚ Établir les plannings des interventions préventives et d'approvisionnement (la politique de gestion du stock étant dépendante de celle de l'entreprise) ;
 - ✚ Recevoir et classer les documents relatifs à l'intervention.

- La troisième tâche, relative à l'étude économique et financière, comporte plusieurs étapes telles que :
 - ✚ Gérer les approvisionnements pour optimiser la gestion des matières premières nécessaires au processus de production ;
 - ✚ Analyser les coûts de maintenance, de défaillance et de fonctionnement, ce qui aura un impact direct sur la politique de maintenance choisie par l'entreprise manufacturière et aussi sur le coût de production ;
 - ✚ Participer à la rédaction des cahiers de charges pour tenir compte de la maintenabilité et de la fiabilité des systèmes à commander ;
 - ✚ Gérer le suivi et la réalisation des travaux pour ainsi mettre à jour la partie historique du dossier technique des machines.
- Pour remplir la fonction étude et méthode avec toutes ses composantes telles que citées ci-dessus, le personnel doit disposer des dossiers techniques résumant les caractéristiques techniques des machines et des pièces d'usure ; des fiches d'historique résumant les opérations déjà effectuées, en d'autres termes, le comportement de la machine ; de la documentation du fournisseur constamment mise à jour et résumant l'évolution des techniques et des banques de données (éventuellement).

1.5.3.3. La fonction Ordonnancement

La fonction Ordonnancement permet l'intervention optimale, à l'heure H et avec tous les moyens nécessaires : personnel, outillage, préparation, dossier technique, consignes de sécurité, moyens spéciaux (appareils de levage, échafaudage, etc..), pièces de rechange. Cette fonction de l'entreprise chargée de gérer les temps d'activités. Elle occupe une position chronologique dans le déroulement d'une intervention entre les méthodes et la réalisation. La fonction méthodes affecte une durée à un travail et La fonction ordonnancement planifie cette tâche, c'est à dire fixe l'heure H du jour J où elle doit débiter.

1.5.3.4. La fonction gestion

La fonction gestion du service se fait sous la responsabilité directe du chef de service maintenance. « Gérer », c'est prendre des décisions en connaissance de cause. Mais gérer quoi ? :

- Gestion des matériels (classement suivant l'état de la machine, relevé des unités d'usage, mesure de la dérive des performances, résultats des rondes de surveillance, historique des défaillances, fiches d'analyse de défaillances, liste des rechanges consommés, consommation de lubrifiants, d'énergie et mesures de nuisances industrielles.
- Gestion des stocks et approvisionnement (le gestionnaire peut disposer de la liste des pièces en stock, éventuellement, de leur valeur actualisée, des détails de consommation par machine et par secteur.
- Gestion économique (coût horaire d'arrêt/machine, coût horaire de main d'œuvre « par spécialisation et par niveau de qualification », les BT remplis avec les temps passés certifiés exacts, les BSM valorisés, l'archivage des coûts passés les années antérieures, et les facteurs « travaux sous-traités, outillage...etc. »).
- Ventilation des coûts (par machine, par type d'action de maintenance « coûts d'actions correctives, actions préventives systématiques et conditionnelles, lubrification, ...etc. », par service, par atelier et frais d'achat et d'installation.
- Gestion des moyens humains (structure de l'effectif, répartition : « par service, Par qualification, Par ancienneté », formation : « relevé des heures internes, externes », conditions de travail : « relevé des accidents, des maladies professionnelles et des absences, ...etc », relevés des salaires et des promotions passées).
- Indicateurs principaux (taux d'affectation « exemple : nombre de salariés maintenance/ nombre de salariés d'encadrement », taux d'encadrement, taux de fréquence et de gravité des accidents de travail, taux d'absentéisme, taux d'ancienneté).
- L'exploitation de ces indicateurs, par comparaison avec des références extérieures (entreprises semblables, enquêtes de revues professionnelles), peut

permettre une correction de la politique sociale (exemple, plan de formation, d'embauche, de réaffectation interne, ...etc.).

- La G.M.A.O (La Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur est un logiciel de management de la maintenance organisé autour d'une base de données permettant de programmer et de suivre toutes les activités d'un service maintenance à partir de terminaux disséminés dans les bureaux techniques, ateliers, magasins et bureaux d'approvisionnement). Son intérêt réside dans le fait que dans un service maintenance la quantité d'informations disponibles (notamment celles citées auparavant) nécessite un moyen de stockage et de traitement que seul l'outil informatique est capable de gérer.

1.5.4. Déroulement chronologique d'une intervention dans un service maintenance

La [Fig.1.5](#) propose une représentation de la fonction maintenance qui s'appuie d'une part sur une chronologie des actions à mener (méthode « études et préparation », ordonnancement, réalisation) et d'autre part sur les principales fonctions qui les soutiennent (approvisionnement, gestion...etc.). Au centre, les activités à caractère « opérationnel », à commencer par les études qui analysent l'historique pour élaborer les gammes de maintenance préventive et déterminer les ressources nécessaires en moyens logistiques (outillage, rechanges...).

La préparation et l'ordonnancement permettent ensuite de décrire et d'organiser les interventions en gérant les temps et en utilisant les moyens les mieux adaptés. La réalisation des interventions correctives et préventives, accompagnée de la collecte du retour d'expérience, constitue l'aboutissement de cette chaîne d'activités. En lien avec l'approvisionnement, les gestions technique et budgétaire permettent de fournir et de surveiller les ressources requises.

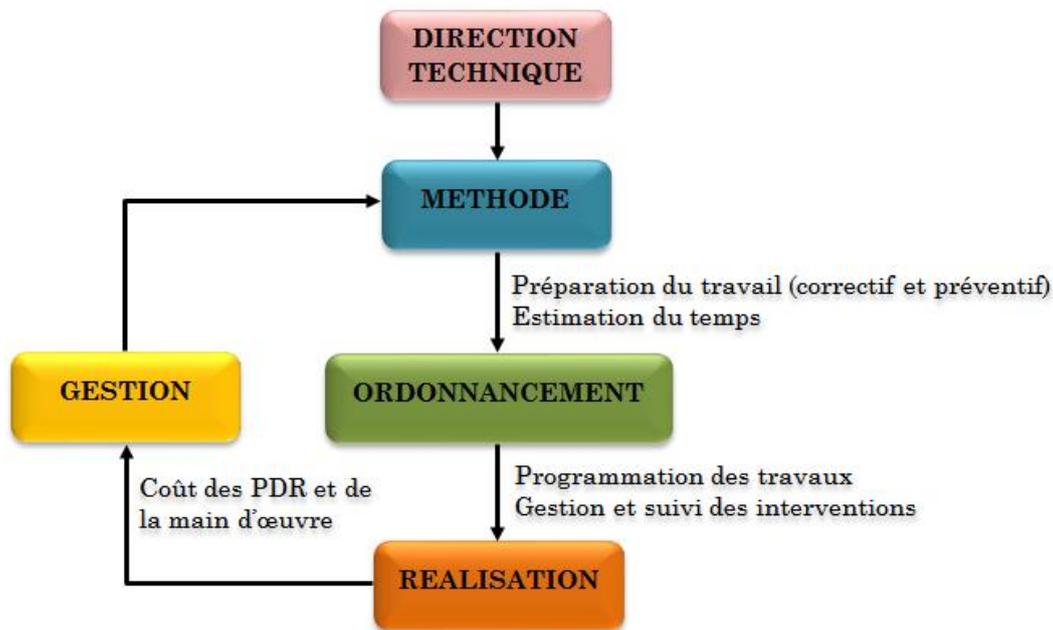


Fig.1.5 La décomposition fonctionnelle d'une intervention dans un service de maintenance.

1.6. Les outils de la maintenance

Tout comme l'intervention technique de maintenance, l'organisation et la gestion des activités de maintenance nécessitent l'emploi d'outils d'usages et de natures différentes :

- **Outils mathématiques** : pour choisir les politiques de maintenance les mieux adaptées à chaque type d'équipement, déterminer les périodes d'intervention, connaître la fiabilité, maintenabilité, disponibilité.... (Probabilités, lois statistiques, algèbre des événements, analyses markoviennes...).
- **Outils organisationnels** : pour faciliter la prise de décisions (AMDEC, Synoptiques, Logigrammes...), la mise en œuvre de la maintenance préventive (techniques de contrôle), ou l'organisation des interventions (procédures et modes opératoires).
- **Outils informatiques** : pour la gestion des éléments maintenus, des ressources utilisées et des budgets (GMAO, GTP, GTB), ou pour l'aide à la décision (Systèmes experts).

1.7. Niveaux de maintenance

Le degré du développement de la maintenance est classifié en 5 niveaux. Ces niveaux sont donnés par la norme à titre indicatif pour servir de guide et leur utilisation pratique n'est concevable qu'entre des parties qui sont convenues de leur définition précise selon le type de bien maintenir.

Niveau 1

- Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.
- Par l'exploitant sur place / Personnel de production.
- Avec de l'outillage léger défini dans des procédures.

Niveau 2

- Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet ou d'opérations mineures de maintenance préventives (rondes).
- Par un technicien habilité, sur place
- Avec de l'outillage léger défini dans des procédures, ainsi que des pièces de rechange
- trouvées à proximité, sans délai.

Niveau 3

- Identification et diagnostic de panne, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.
- Par un technicien spécialisé, sur place ou en local de maintenance.
- Avec l'outillage prévu plus appareil de mesure, banc d'essai, contrôle...

Niveau 4

- Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.
- Par une équipe encadrée par un technicien spécialisé, en atelier central.
- Avec de l'outillage général plus spécialisé, matériel d'essai, de contrôle...

Niveau 5

- Travaux de rénovation, de reconstruction ou réparations importantes confiées à un atelier central.
- Par une équipe complète, polyvalente, en atelier central.
- Avec des moyens proches de la fabrication par le constructeur.

Fig.1.6 Les niveaux de maintenance.

1.8. Terminologies de la maintenance

- **ALÉA** « Terme anglais : hazard » : Fonctionnement différent de celui qui est prévu.
- **ANOMALIE** « Terme anglais : Anomaly » : Déviation par rapport à ce qui est attendu. Une anomalie justifie une investigation qui peut déboucher sur la constatation d'une non-conformité ou d'un défaut.
- **DÉFAILLANCE** « Terme anglais : failure » : Altération ou cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. Après défaillance d'une entité, celle-ci est en état de panne. La défaillance est un passage d'une entité d'un état de fonctionnement normal à un état de fonctionnement anormal ou de panne.
- **DÉFAUT** « Terme anglais : defect » : Écart entre une caractéristique réelle d'une entité et la caractéristique voulue, cet écart dépassant des limites d'acceptabilité.
- **ERREUR** « Terme anglais : error » : Changement d'état d'une entité pouvant entraîner une défaillance. Une erreur est effective quand une procédure d'exploitation fait intervenir la faute qui en est la cause.
- **FAUTE** « Terme anglais : fault » : Action, volontaire ou non, dont le résultat est la non prise en compte correcte d'une directive, d'une contrainte exprimée par le cahier des charges.
- **PANNE** « Terme anglais : breakdown » : Inaptitude d'une entité à accomplir une fonction requise ou à assurer le service approprié à la suite d'une défaillance.
- **SYMPTÔME** « Terme anglais : symptom » : Événement ou ensemble de données au travers desquels le système de détection identifie le passage dans le fonctionnement anormal. C'est le seul élément dont a connaissance le système de surveillance au moment de la détection de la défaillance.
- **DISPONIBILITÉ** « Terme anglais : availability » : Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires sont assurés.

- **EFFICACITÉ** « Terme anglais : effectiveness performance » : Aptitude d'une entité à répondre à une demande de service de caractéristiques quantitatives données.
- **FIABILITÉ** « Terme anglais : reliability (performance) » : Aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise ou à satisfaire les besoins des utilisateurs, dans des conditions données, pendant une durée donnée.
- **MAINTENABILITÉ** « Terme anglais : maintainability » : Aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits.
- **TEST** « Terme anglais : test » : Comparaison des caractéristiques réelles d'une entité ou de valeurs réelles à une référence.

1.9. Exercices d'applications

Exercice 01

Cocher la fonction de chaque activité.

Les tâches	Fonction Ordonnancement	Fonction méthode	Fonction réalisation
Établir et mettre à jour l'inventaire du matériel et des installations.			
Gérer les ressources matérielles.			
Analyser les coûts de maintenance, de défaillance et de fonctionnement			
Constituer et compléter une documentation générale.			
Installer les machines et le matériel			
Établir les fiches d'instructions nécessaires pour effectuer les interventions.			
Recevoir et classer les documents relatifs à l'intervention.			

Solution

Les tâches	Fonction Ordonnancement	Fonction méthode	Fonction réalisation
Établir et mettre à jour l'inventaire du matériel et des installations.	⊗		
Gérer les ressources matérielles.		⊗	
Analyser les coûts de maintenance, de défaillance et de fonctionnement			⊗
Constituer et compléter une documentation générale.	⊗		
Installer les machines et le matériel		⊗	
Établir les fiches d'instructions nécessaires pour effectuer les interventions.			⊗
Recevoir et classer les documents relatifs à l'intervention.			⊗

Exercice 02

Indiqué chaque activité avec leur sous-ensemble

Le diagnostic

La gestion des interventions

Le dépannage

La prévention

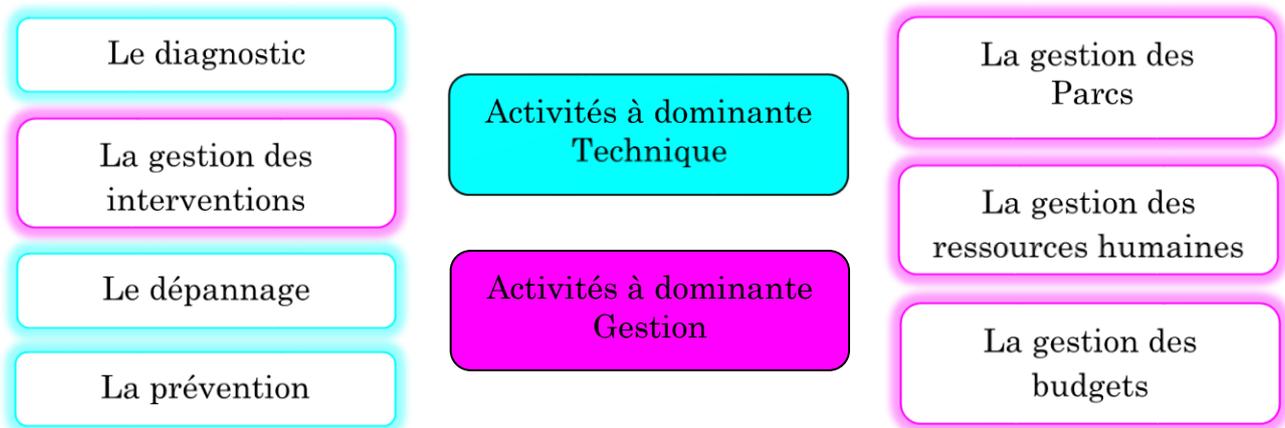
Activités à dominante Technique

Activités à dominante Gestion

La gestion des Parcs

La gestion des ressources humaines

La gestion des budgets

SolutionExercice 03

- Compléter la définition normalisée de la maintenance. D'après l'AFNOR (NF X 60-010) : « La maintenance est un ensemble des actions permettant de ou de un bien dans un ou en mesure d'assurer un Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au » .
- Donner la différence entre l'entretien et la maintenance.
- Donner la définition de la défaillance intermittente.
- Citer six tâches assurées par le service maintenance.
- Expliquer pourquoi les industriels ont besoin de maintenir leurs machines.

Solution

- Compléter la définition normalisée de la maintenance. D'après l'AFNOR (NF X 60-010) : « La maintenance est un ensemble des actions permettant de **maintenir** ou de **rétablir** un bien dans un **état spécifié** ou en mesure d'assurer un **service déterminé**. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au **coût optimal** ».
- Entretien, c'est subir le matériel tandis que maintenir c'est maîtriser le matériel.
- Une défaillance est intermittente lorsque le bien retrouve son aptitude au bout d'un temps limité sans avoir subi d'action corrective externe.
- Les six tâches assurées par le service maintenance :
 - ✚ La maintenance des équipements.
 - ✚ L'amélioration du matériel.

- ✚ Les travaux neufs.
- ✚ L'exécution et la réparation des pièces de rechanges.
- ✚ L'entretien général des bâtiments administratifs ou industriels, des espaces verts, des véhicules.
- ✚ Les travaux concernant l'hygiène, la sécurité, l'environnement et la pollution, les conditions de travail, la gestion de l'énergie.
- Les industriels ont besoin de maintenir leurs machines pour :
 - ✚ Augmenter la disponibilité des machines.
 - ✚ Augmenter la production.
 - ✚ Augmenter la durée de vie des machines.
 - ✚ Augmenter le bénéfice des industriels.
 - ✚ Assurer une production de bonne qualité.

CHAPITRE 2 : DIFFÉRENTES FORMES DE LA MAINTENANCE

2.1. Politiques de maintenance

Choisir entre un type ou un autre de maintenance est une question cruciale, ceci constitue la stratégie de maintenance le plus souvent appelée *politique de maintenance*. Une stratégie de maintenance doit être fondée sur :

- La connaissance technologique des biens concernés ;
- Leurs conditions d'exploitation dans le système productif ;
- Leur criticité dans le processus de production ;
- Les coûts directs et indirects engendrés.

2.2. Différentes formes de maintenance

En général, et ceci depuis les premières normes de maintenance, les politiques peuvent être classées en deux catégories ; la première est une maintenance exécutée après la détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise, appelée maintenance corrective. La deuxième est une maintenance destinée à réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation du fonctionnement d'un bien, appelée maintenance préventive. Le choix entre ces deux politiques est un mélange harmonieux entre *préventif* et *correctif* afin de minimiser le coût total de maintenance. La Fig.2.2 regroupe les types formes essentiels de la maintenance.

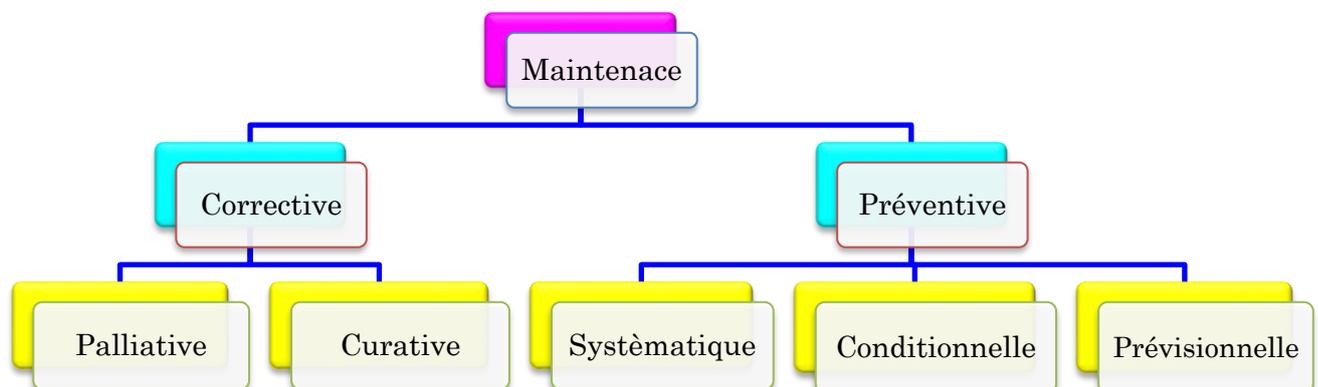


Fig. 2.2 Les différentes formes de maintenance.

En effet un manque d'entretien va provoquer beaucoup d'incidents et donc beaucoup de correctif, tandis que beaucoup de préventif va faire augmenter le coût total.

2.2.1. Maintenance corrective

Selon toujours la norme AFNOR « Ensemble des activités réalisées après la défaillance d’un bien ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d’accomplir une fonction requise, au moins provisoirement, ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement ». La Fig.2.3 représente la courbe de la maintenance corrective qui se subdivise en deux types :

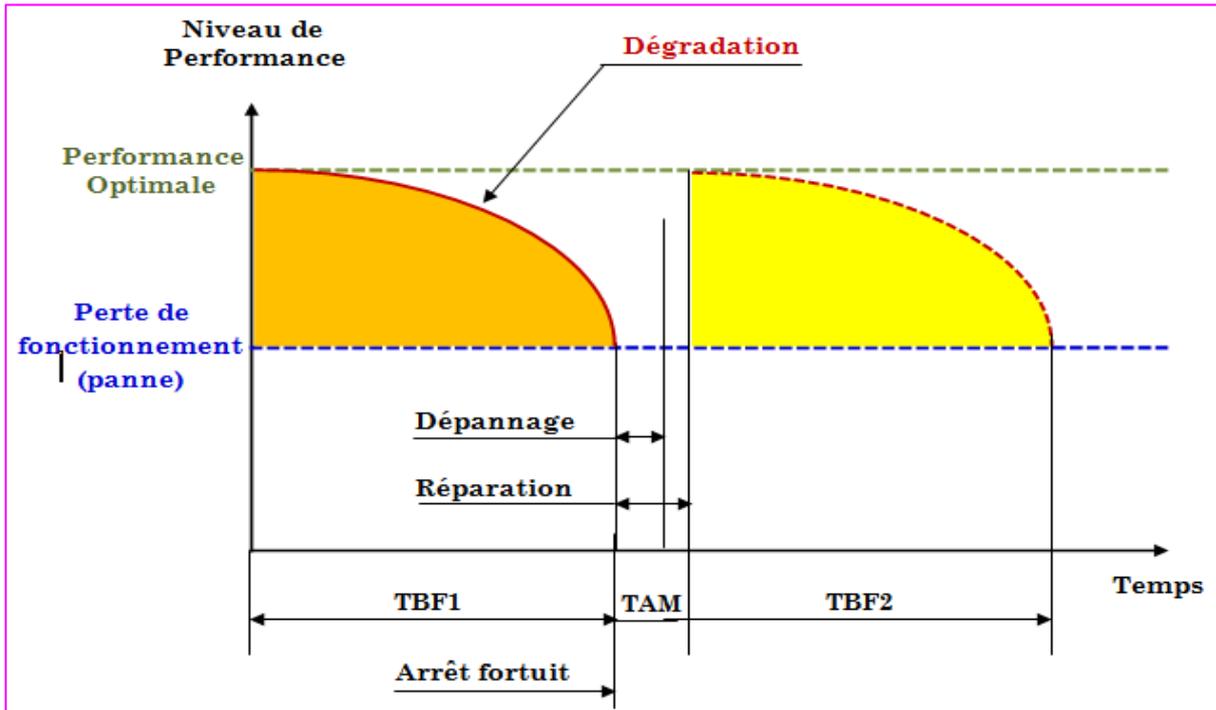


Fig. 2.3 La courbe de maintenance corrective.

- **Maintenance palliative (Dépannage) :** C’est une remise en état de fonctionnement effectuée in-situ parfois sans interruption du fonctionnement de l’ensemble concerné. Elle a un caractère « Provisoire » et doit être suivie par une action corrective durable. La nature palliative de ce type de maintenance peut être illustrée par l’exemple suivant : lorsqu’un tuyau d’arrosage est percé, une maintenance palliative consiste à réparer provisoirement la fuite avec du ruban adhésif.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rapide, ▪ Peu chère. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chute de performance.

Tableau.2.1 Les avantages et les inconvénients de la maintenance palliative.

- **Maintenance curative** : Il s'agit des réparations faites in-situ ou en atelier central parfois après dépannage, ce type de maintenance a un caractère « définitif ». La nature curative de ce type de maintenance peut être illustrée par l'exemple suivant : l'action de maintenance curative sera de changer le tuyau d'arrosage percé par un nouveau tuyau.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exploite les composants sur toute leur durée de vie, ▪ Économique si faibles coûts indirects. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disponibilité des rechanges (stocks ou délais réduits), ▪ Inadaptée si problème de sécurité.

Tableau.2.2 Les avantages et les inconvénients de la maintenance curative.

2.2.2. Maintenance préventive

Elle doit permettre d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. Selon l'AFNOR : « La maintenance préventive est une maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ». La Fig.2.4 représente la courbe de la maintenance préventive. La maintenance préventive se subdivise en trois types :

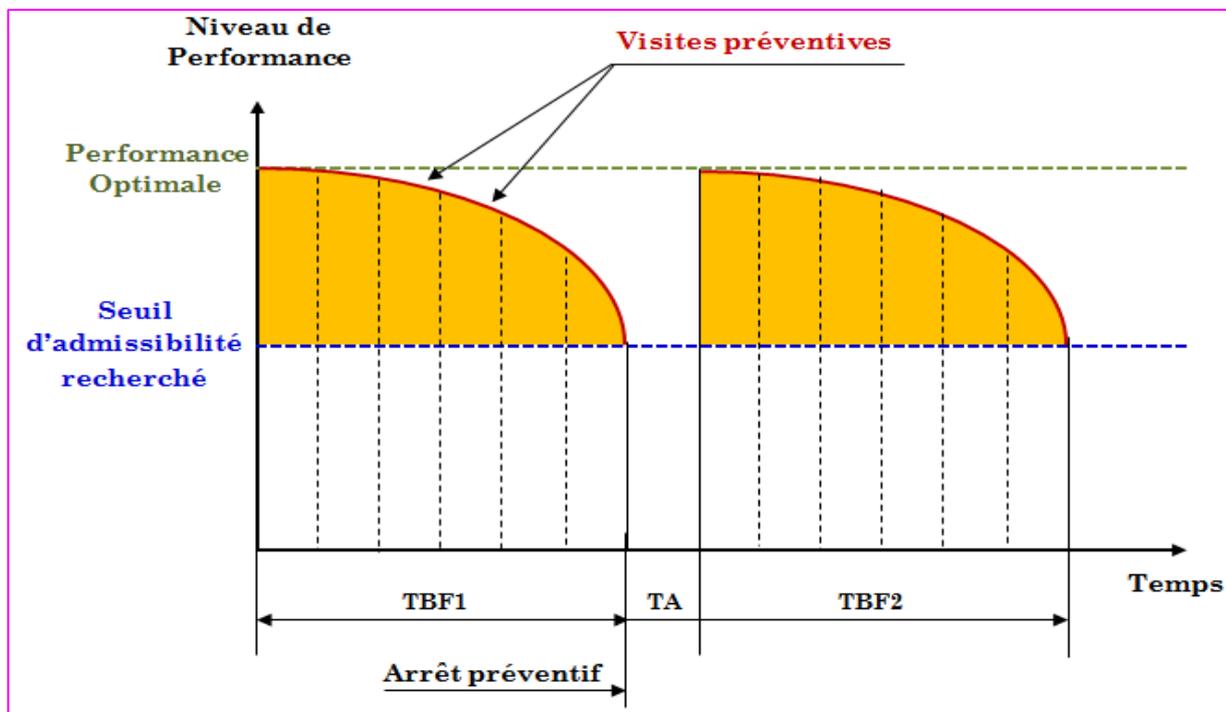


Fig.2.4 La courbe de maintenance préventive.

- **Maintenance préventive systématique :** Selon l'AFNOR « Maintenance effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou un nombre prédéterminé d'unités d'usage » voir la Fig.2.5. Elle s'applique surtout pour des composants et sous-ensembles dont les durées de vie sont bien connues, des équipements soumis à une législation impérative (le domaine du nucléaire, l'aéronautique, les appareils sous pression, les chaudières...etc.) et des équipements dont une défaillance met en cause la sécurité du personnel.

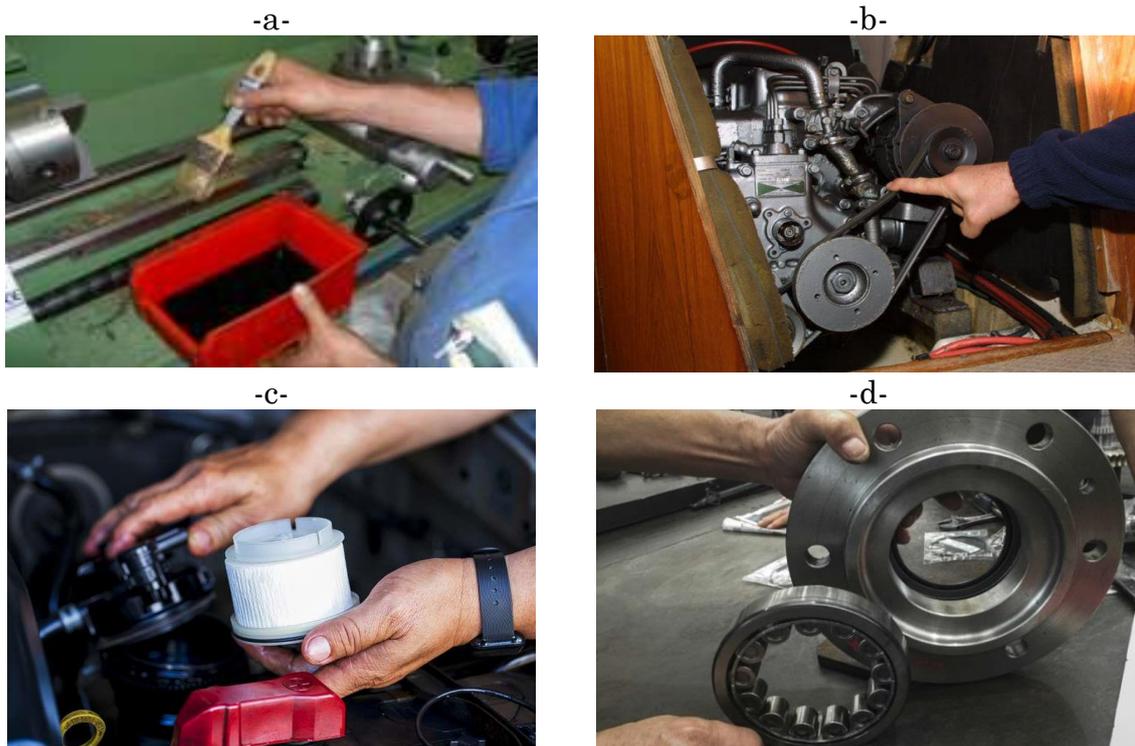


Fig.2.5 Exemples de la maintenance préventive systématique : a- Nettoyer les glissières des machines-outils chaque jour, b- Vérifier la tension des courroies chaque semaine, c- Changer les filtres des moteurs des chargeurs tous les 500 Km et d- Changer les roulements de guidage des broches des tours toutes les 5000 heures.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestion aisée de ressources humaines et matérielles. ▪ Prévision facile du budget. ▪ Facilite la gestion des rechanges. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consommation de rechange peut être accentuée. ▪ Chère si coûts directs et indirects importants. ▪ les pannes ne sont pas totalement évitées.

Tableau.2.3 Les avantages et les inconvénients de la maintenance préventive systématique.

- **Maintenance préventive conditionnelle** : Selon l'AFNOR : « Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé ». Ces indicateurs sont généralement les vibrations, pression, bruit, température, ...etc. Ce type de maintenance permet d'assurer le suivi du matériel pendant son fonctionnement dans le but de prévenir les défaillances attendues. L'intervention n'a lieu que si certains paramètres mesurables atteignent un seuil fixé au préalable et qui est révélateur l'approche certaine de la défaillance.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Élimination ou réduction importante du risque de défaillance donc pas de dégâts collatéraux, durabilité plus grande et bon fonctionnement. ▪ Réduction des temps d'arrêt donc coût d'indisponibilité limité. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chère (moyens de surveillance, capteurs...etc.). ▪ Nécessite de former les opérateurs de maintenance.

Tableau.2.4 Les avantages et les inconvénients de la maintenance préventive conditionnelle.

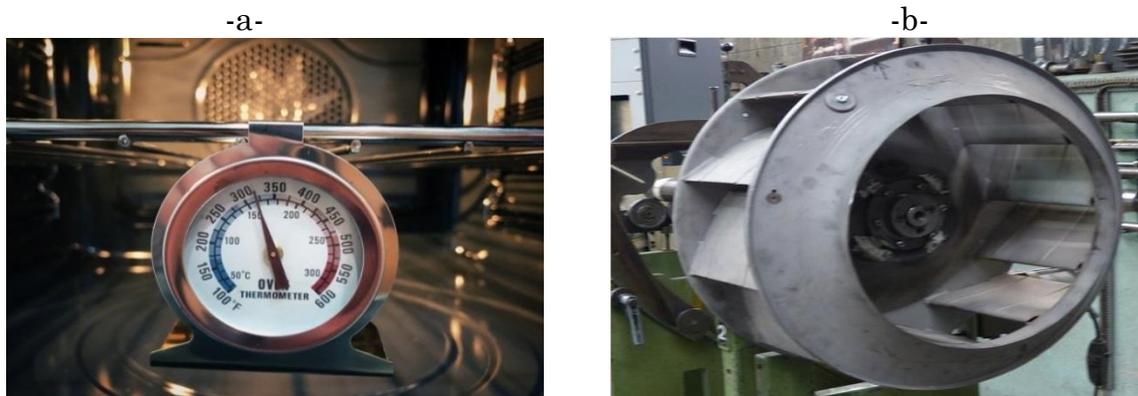


Fig.2.6 Exemples de la maintenance préventive conditionnelle : a- Vérifier les fours si les capteurs thermiques indiquent une chute de température dans la tuyauterie et b-Procéder à un équilibrage des ventilateurs si le niveau vibratoire atteint 60 µm (Seuil d'alarme)

- **Maintenance préventive prévisionnelle** : Parfois appelée « maintenance prédictive », la maintenance prévisionnelle est, selon l'AFNOR, « Maintenance exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien ». Elle est basée sur l'analyse de l'évolution des paramètres techniques qui permettent de quantifier l'état du bien et de déceler les dégradations potentielles dès leur apparition, elle permet

d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention devra être réalisée. Ci-dessous quelques exemples de techniques éprouvées et de maintenances connectées en informatique et dans l'industrie :

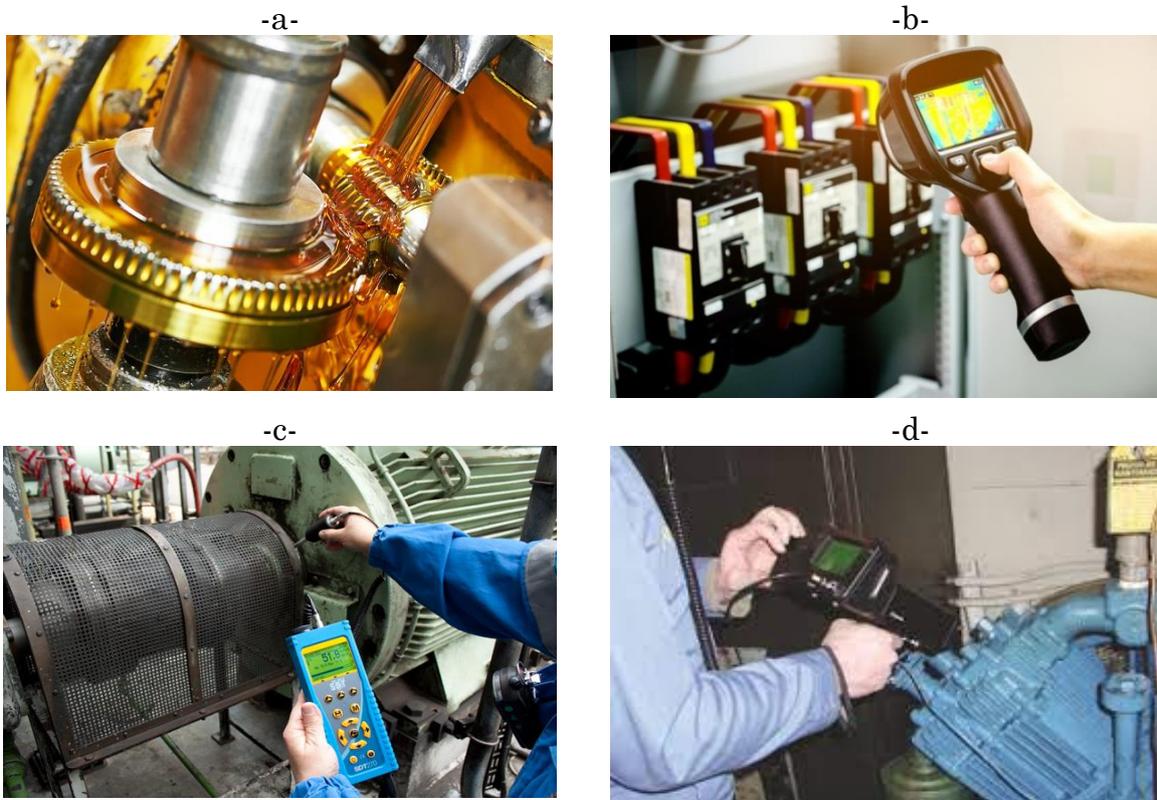


Fig.2.7 Exemples de la maintenance préventive prévisionnelle : -a- l'analyse de lubrifiants, b- la thermographie infrarouge, c- l'analyse vibratoire d'une machine et d- l'inspection par détection ultrasonore.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Exploite les composants sur leur durée de vie optimale, ▪ Evite les surcharges de travail. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chère (moyens de surveillance et analyses), ▪ Fait souvent appel à des compétences spécifiques.

Tableau.2.5 Les avantages et les inconvénients de la maintenance préventive prévisionnelle.

2.2.3. Objectifs visés par le préventif

Les objectifs d'une maintenance préventive sont multiples. En plus d'assurer la sécurité des utilisateurs en évitant les imprévus dangereux et en tenant compte des critères de sécurité, ce type de maintenance permet :

- Augmenter la fiabilité des équipements, donc réduire les défaillances, leurs coûts et améliorer la disponibilité ;
- Augmenter la durée de vie efficace des équipements ;
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de révisions ou de pannes ;
- Améliorer les conditions de travail ;
- Diminuer le budget de maintenance ;
- Faciliter la gestion des stocks (Consommation prévue) ;
- En générale, en réduisant la part du « fortuit », améliorer le climat des relations humaines (une panne imprévue est toujours génératrice de tension).

2.3. Actions de maintenance

2.3.1. Actions de maintenance préventive

- **Inspection** : Action de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies ;
- **Visite** : Action de maintenance préventive consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différentes pièces du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance de la première ^{niveau} ;
- **Contrôle** : Action de mesurer, examiner, passer au calibre, essayer, une ou plusieurs caractéristiques d'un bien et de la(les) comparer aux exigences spécifiées en vue d'établir leur conformité ;
- **Révision** : Ensemble des opérations de maintenance effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération, les révisions partielles des révisions générales ;
- **Les opérations de surveillance** : (contrôles, visites, inspections) sont nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien. Elles sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage ;

- **Les échanges standards** : Reprise d'une pièce ou d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce ou d'un organe ou d'un sous-ensemble identique, neuf ou remis en état conformément aux spécifications du constructeur, moyennant le paiement d'une soulte dont le montant est déterminé d'après le coût de remise en état. Soulte : somme d'argent qui, dans un échange ou dans un partage, compense l'inégalité de valeur des biens échangés.

2.3.2. Actions de maintenance corrective

- **Test** : Comparaison des réponses d'un dispositif à une sollicitation avec celle d'un dispositif de référence ;
- **Détection** : Action de déceler par une surveillance accrue, l'apparition d'une défaillance ;
- **Diagnostic** : Action consistant à identifier la(les) cause(s) probable(s) de la(les) défaillance(s) ou de l'évolution d'un ou plusieurs paramètres significatifs de dégradation à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations. Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine des défaillances, et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires ;
- **Dépannage** : Action consécutive à la défaillance du bien, en vue de le rendre apte à accomplir une fonction requise, au moins provisoirement ;
- **Réparation** : Action définitive et limitée de la maintenance à la suite d'une défaillance. La réparation représente un caractère permanent, elle peut inclure les actions suivantes : localisation, contrôle ; test...etc. Elle est donc une action de la maintenance curative ;
- **Modification** : Opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'en améliorer le fonctionnement, ou d'en changer les caractéristiques d'emploi ;

- **Rénovation** : Inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sous-ensembles défectueux, conservation des pièces bonnes. La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict de sa définition ;
- **Reconstruction** : Remise en état définie par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modification ;
- **Modernisation** : Remplacement d'équipement, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciels apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien.

2.4. Exercices d'applications

Exercice 01

1. Quelle est la différence entre entretien et maintenance ?
2. Quelle est la différence entre dépannage et réparation ?
3. Décrire les différentes opérations de maintenance ?
4. Combien y a-t-il de niveaux de maintenance ?

Solution

1. Dans la maintenance on ne s'arrête pas comme dans l'entretien à la remise de la fonction requise, mais on le dépasse en effectuant les analyses des causes de défaillance, l'amélioration visant à éviter la réapparition de la panne ou à minimiser ses conséquences sur le système, aussi l'enregistrement des interventions pour une exploitation ultérieure.
2. Le dépannage a un caractère provisoire alors que la réparation a un caractère définitif.

3. Les opérations de maintenance sont :
 - Les dépannages et les réparations,
 - Les inspections, les contrôles et les visites,
 - Les révisions et les échanges.
4. Il y a cinq niveaux de maintenance.

Exercice 02

Indiquer pour chaque intervention la méthode de maintenance correspondante.

Maintenance d'une automobile	Maintenance corrective		Maintenance Préventive		Maintenance D'amélioration
	Dépannage	Réparation	Systématique	Conditionnelle	
Faire le plein d'essence					
Vidanger tous les 10000 KM					
Changer les plaquettes de frein au témoin d'usure					
Echanger une roue crevée.					
Faire réparer cette roue crevée.					
Changer la courroie de distribution à 100000 km					
Vérifier le niveau d'huile tous les mois					
Changer un pot d'échappement HS					
Changer un cardan					
Poser un autoradio					
Changer de batterie d'accumulateurs					
Refaire le joint de culasse					
Changer les disques de frein					
Faire rénover des amortisseurs					
Donner un aspect « tuning ».					
Changer les bougies					
Changer le filtre à air et le filtre à huile					
La faire repeindre					

Solution

Maintenance d'une automobile	Maintenance corrective		Maintenance Préventive		Maintenance D'amélioration
	Dépannage	Réparation	Systématique	Conditionnelle	
Faire le plein d'essence				⊗	
Vidanger tous les 10000 KM			⊗		
Changer les plaquettes de frein au témoin d'usure				⊗	
Echanger une roue crevée.	⊗				
Faire réparer cette roue crevée.		⊗			
Changer la courroie de distribution à 100000 km			⊗		
Vérifier le niveau d'huile tous les mois			⊗		
Changer un pot d'échappement HS		⊗			
Changer un cardan		⊗			
Poser un autoradio					⊗
Changer de batterie d'accumulateurs		⊗			
Refaire le joint de culasse		⊗			
Changer les disques de frein		⊗			
Faire rénover des amortisseurs					
Donner un aspect « tuning ».					⊗
Changer les bougies		⊗			
Changer le filtre à air et le filtre à huile			⊗		
La faire repeindre					⊗

Exercice 03

Expliquer les abréviations suivantes et décrire leurs parcours (de quel service vers quel service) ? DA, OT, BSM, DT, BT.

Solution

Abréviation	Désignation	Parcours
DA	Demande d'Approvisionnement	Ordonnancement →→ Magasin
OT	Ordre de Travail	Ordonnancement → Réalisation et intervention
BSM	Bon de Sortie Magasin	Magasin → Réalisation et intervention
DT	Demande Travail	Production→Ordonnancement→Bureau des Méthode
BT	Bon de Travail	Bureau des Méthode → Ordonnancement

CHAPITRE 3 : CLASSIFICATION ET NATURE DU MATERIELS

3.1. Connaissance des Matériels

3.1.1. Introduction

Assurer le suivi du comportement des matériels et anticiper son évolution ne peut se faire sans une parfaite connaissance des matériels. Cette connaissance doit d'abord passer par une identification, une classification, un inventaire rigoureux et sans cesse réactualisé du parc à gérer. Une parfaite maîtrise de la documentation relevant de chacun des systèmes est également nécessaire.

3.1.2. Classification

Pour une entreprise, ou pour un prestataire de service, la connaissance des matériels passe d'abord et avant tout, par une classification logique et judicieuse qui permettra de tirer bénéfice de toutes les activités de la politique de maintenance. Donc une classification est nécessaire afin de : Connaître, Maîtriser, Organiser, Suivre, Gérer et bien exploiter le matériel. La classification [Fig.3.1](#) la plus prégnante consiste à établir une distinction entre les matériels directement liés à la production et les autres matériels.

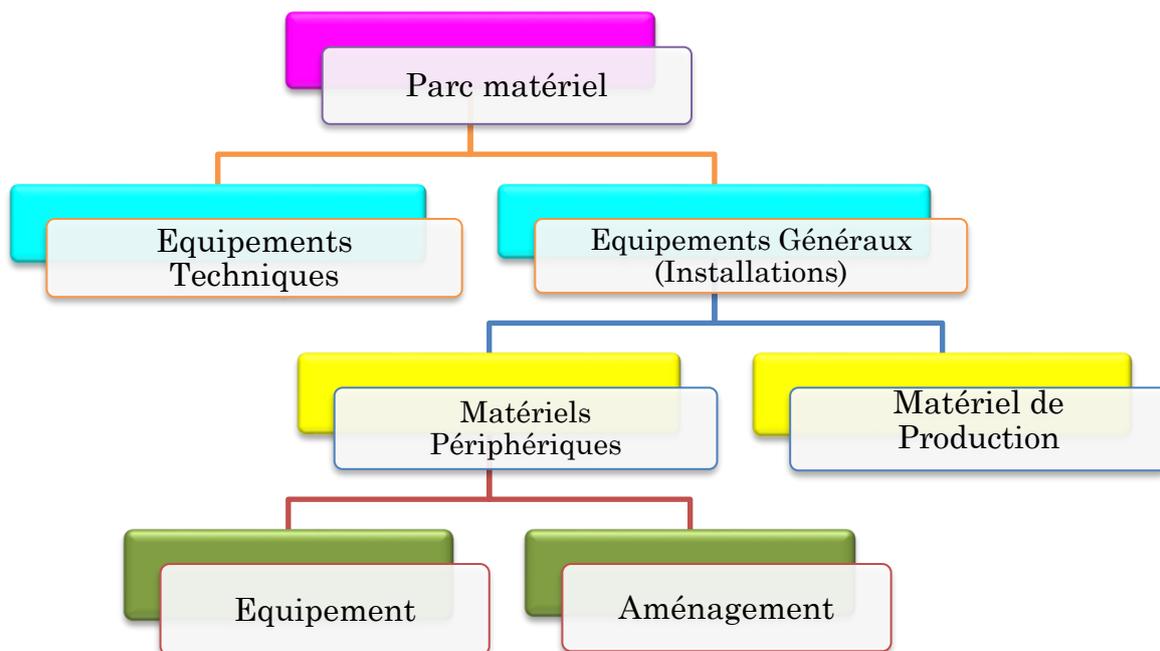


Fig.3.1 La classification arborescente des matériels.

- **Les matériels directement liés à la production** : « Ce sont les matériels tels que tout arrêt ou mauvais fonctionnement provoque un ralentissement ou une mauvaise qualité de la production »
- **Les matériels non liés à la production** : A l'inverse des précédents, une défaillance de leur part n'affecte pas la production.

3.1.3. Nature des matériels

Au sein du parc matériel, coexistant deux familles de biens : les installations et les équipements techniques. Ceux-ci comprennent les matériels affectés directement à la production et ceux qui y participent indirectement.

3.1.3.1. Le matériel de production

En général sous la responsabilité du chef de la production, le matériel de production est constitué des systèmes, manuels, semi-automatiques, automatiques, machines uniques ou lignes complètes participant par leur fonction à la réalisation de la mission de l'entreprise.



Fig.3.2 Le matériel de production : a- machines manuels, b- machines semi-automatiques et c- machines automatiques.

3.1.3.2. Le matériel périphérique

Le matériel périphérique regroupe tous les matériels dont la fonction participe à la production globale. Il constitue deux familles :

- Les équipements (Fig.3.3-a-b-c-d): Ils peuvent être mobiles ou non tels que : Les générateurs d'énergie : pompe, compresseurs, chaudières. Les outillages, Les équipements de stockage, L'informatique de gestion, Les véhicules et Les systèmes liés à l'environnement (conditionnement de l'air, traitement des déchets)

- Les aménagements (Fig.3.3-e-f) : Les matériels suivant sont considérés comme fixes : Réseaux d'alimentation en énergies (électricité, eau, air comprimé), Les systèmes d'éclairage, Les installations de chauffage et Les ascenseurs.



Fig.3.3 Le matériel périphérique : a- compresseurs, b- chaudières, c- pompes, d- Les équipements de stockage, e- Les installations de chauffage et f- Les systèmes d'éclairage.

3.1.3.3. Les installations

Les installations [Fig.3.4](#) regroupent principalement tout ce qui est lié à l'infrastructure en général comme par exemple : les bâtiments et tout le génie civil, les locaux et matériels de restauration, les locaux et matériels de bureaux, les espaces verts et clôtures, etc.



Fig.3.4 Les installations : a- les bâtiments et tout le génie civil, b- les matériels de bureaux, c- les espaces verts et d- Les clôtures.

3.2. L'inventaire parc matériels :

L'inventaire est une nomenclature codifiée du parc matériel à maintenir établit suivie d'une logique d'une mise en famille. C'est un document donc à établir et facile à tenir à jour. La codification permet la gestion technique et économique du service, par la possibilité d'imputation des défaillances et des coûts à des secteurs, à des types de machine, à des sous-ensembles fragiles ...etc.

3.2.1. But et intérêt

Sans ce document – que beaucoup d’entreprises ne possèdent pas encore de manière suffisamment précise et détaillée-, il est impossible de pratiquer une politique de maintenance sérieuse. L’affectation d’un code à chacun des matériels : ligne, machine, équipement périphérique et même outillage, permet leur désignation sans ambiguïté. Le code fournit des informations sur la localisation, ceci est indispensable pour des interventions promptes (la zone pour une machine, la machine pour un composant), mais aussi sur les caractéristiques, la fonction, le type, etc .

3.2.2. Construction et architecture

L’architecture de la nomenclature des équipements (Fig.3.5) doit être élaborée selon un raisonnement global. En effet, il est indispensable que cet inventaire et le dossier machine. (Prolongement de l’inventaire au niveau des matériels), aient une structure identique à la fois pour la commodité d’emploi et pour la logique de construction des codes. La structure de la nomenclature des équipements est, en quelque sorte. Une analyse descendante qui part de l’ensemble et peut aller jusqu’au détail.

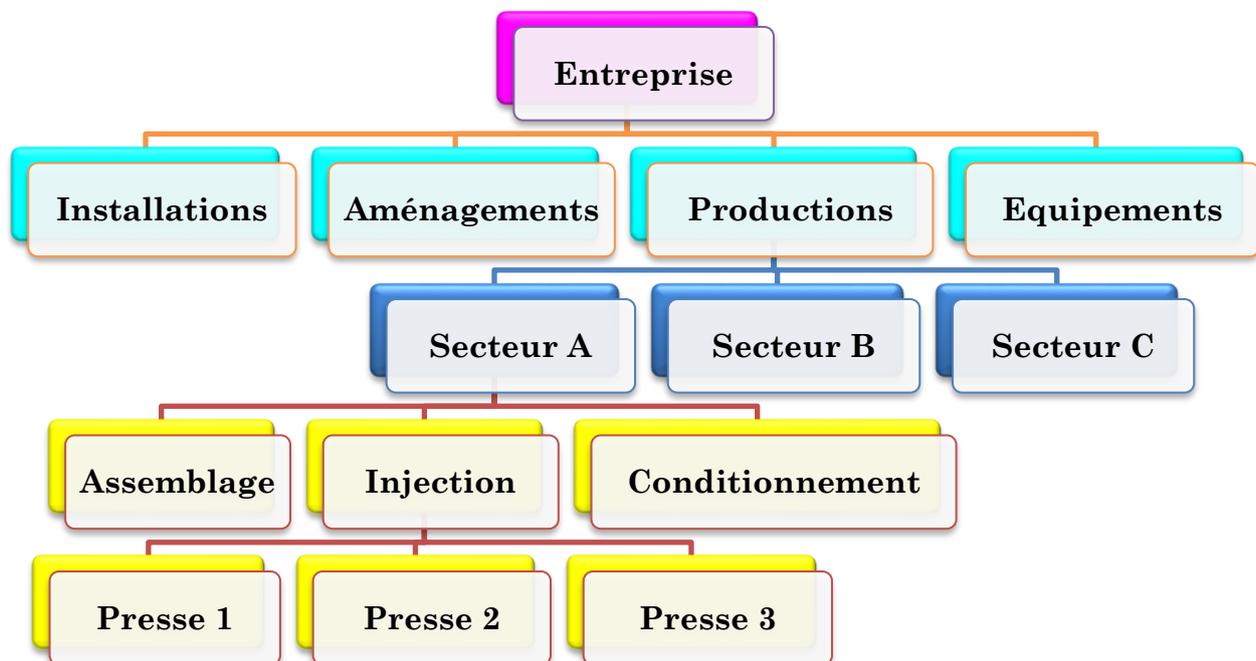


Fig.3.5 Arborescence d’inventaire.

3.2.3. Codification

Il est intéressant d'utiliser un code α numérique interne à la maintenance qui va caractériser par des chiffres ou des lettres chaque étage de découpage d'inventaire. Il faut distinguer la codification « idéologique » pour traitement manuel de la codification « aveugle » pour traitement informatique. L'inventaire est un outil indispensable à la gestion de la maintenance s'il est à jour et si la codification est logique, donc exploitable.

Remarque : attention à la confusion possible avec les codes de comptabilité analytique et avec les références propres constructrices (pièces de rechange (PDR)).

3.3. Dossiers machines

Le dossier machine est la référence permettant la connaissance intime d'un équipement, son origine, ses techniques et ses performances. Le dossier machine comprend deux parties :

- Le dossier constructeur avec tous les documents fournis, la correspondance échangée, les documents contractuels.
- Le fichier machine interne, standard, établi et tenu à jour par le BDM.

3.3.1. Constitution d'un dossier machine

Un dossier machine est constitué des éléments suivants :

- Logique de conception : Le dossier machine doit être conçu pour être opérationnel. Il doit adapter les détails descriptifs et les informations aux besoins des agents de maintenance, en préparation ou en intervention.
- Partie constructrice : Elle comprend à son tour deux parties :
 - ✚ Documents commerciaux relatifs à la vente telle qu'échange de correspondance, bon de commande et documents contractuels avec les conditions de garantie, le PV de réception, certificat de prise en charge avec les réserves du service après-vente. Ainsi que le Références du service après-vente, du réseau commercial, du représentant local.

- ✚ Documents techniques fournis par le constructeur : Il appartient au service maintenance, lors des négociations d'achat, d'exiger les documents qui lui seront ultérieurement utiles, à savoir (caractéristiques de la machine « capacités, performances, consommation, puissance....etc », liste des accessoires, nomenclatures des pièces détachées « stock minimal, référence », plans, schémas « électriques, hydrauliques, pneumatiquesetc », notice de mise en action « élingage, manutention, nettoyage de réception, encombrement, scellement, fondations, Différents branchements, rodage, réglages et vérifications divers ». Notice de fonctionnement « mise en route, règles de conduite, consignes de sécurité ». Notice de maintenance « notice de lubrification « types de lubrifiants, points de graissage, fréquence de graissage...etc. », organigramme de dépannage, documents d'aide au diagnostic des défaillances les plus probables, gammes types de réparations répétitives, fréquences des visites préventives. Check-list relative à ces visites, liste des outillages spécifiques ».
- Partie interne du dossier machine : Il appartient au BDM maintenance :
 - ✚ D'établir une forme standard de dossier, classé à partir du code inventaire relatif à la machine ;
 - ✚ De définir les rubriques utiles ;
 - ✚ De tenir à jour toutes les rubriques choisies.

Remarque : *il est particulièrement important de noter toutes les modifications opérées sur le matériel ; recherche de panne à partir d'un schéma électrique non corrigé après modification.*

3.3.2. Forme matérielle du dossier machine

Le dossier machine [Tableau.3.1](#) est évidemment difficile à mettre en mémoire informatique, « schémas, plans, doivent être accessibles aux préparateurs et intervenants ». Nous utiliserons des dossiers dont les rubriques seront séparées par des intercalaires cartonnés et imprimés sous une forme standard.

DOSSIER MACHINE	
Nom machine :	
Code machine :	
Indice de criticité :	
Repère	Titre
00	Sommaire
01	Contrat de commande, conditions de garantie, Service après-vente.
02	P.V de réception.
03	Caractéristiques, fiches techniques
04	Codification, découpage structurel
05	Plans d'ensemble, de détails, schémas
06	Notice d'installation, de mise en service
07	Notice de conduite, d'utilisation
08	Consignes de sécurité
09	Notice de lubrification
10	Liste générale des constituants
11	Plans et gammes des pièces de rechange
12	Liste des rechanges de première urgence
13	Notice d'entretien de ronde
14	Planning des visites préventives
15	Check-list des visites préventives
16	Gamme type d'opérations préventives
17	Listes des défaillances possibles prévisibles
18	Schémas logiques de diagnostic-dépannage
19	Outillage spécifique d'intervention

Tableau 3.1. Rubrique constituant un dossier machine

3.4. Fichier historique d'une machine

L'historique est un fichier relatif à chaque machine inventoriée, décrivant chronologiquement toutes les interventions correctives subies par la machine depuis sa mise en service. Il représente le « carnet de santé » de la machine complémentaire du dossier machine (voir [Tableau.3.2](#)). La Constitution d'un historique machine est fonction de l'exploitation que l'on désire :

- L'historique contiendra ou non les coûts relatifs à chaque intervention.
- L'historique contiendra ou non les « temps d'arrêt » ou « les temps passés » dus à chaque intervention.

HISTORIQUE DE LA MACHINE								
Code :								
Indice de criticité :								
Date de mise en service :								
Caractéristiques :								
Code de découpage fonctionnel								
A : groupe fonctionnel a				D : groupe fonctionnel d				
B : groupe fonctionnel b				E : groupe fonctionnel e				
C : groupe fonctionnel c				F : transmission				
Date	Compteur machine	Code d'affectation	Description Intervention	Durée		Codes imputation		
				Arrêt	Inter	a	b	c

Tableau.3.2. Modèle du dossier historique d'une machine.

L'affectation à un groupe fonctionnel se fait à partir d'un code tiré de la décomposition structurelle du dossier machine. Les imputations sont souvent codées suivant les tableaux ci-dessous :

Code « a » cause de défaillance			
N°	Cause de défaillance	N°	Cause de défaillance
0	Accident imprévisible	4	Mauvaise intervention antérieure
1	Cause intrinsèque détectable	5	Mauvaise conduite
2	Cause intrinsèque non détectable	6	Consignes non respectées
3	Défaut d'entretien	7	Défaillance seconde

Tableau.3.3. Codage des causes de défaillance.

Code « b » nature			
N°	Nature de défaillance	N°	Nature de défaillance
1	Origine mécanique	3	Origine électronique
2	Origine électrique	4	Origine hydraulique

Tableau.3.4. Codage des natures de défaillance.

Code « c » Gravité			
N°	Gravité de défaillance	N°	Gravité de défaillance
1	Défaillance critique	3	Défaillance mineure
2	Défaillance majeure		

Tableau.3.5. Codage des gravités de défaillance

Remarque : De façon classique, toutes les défaillances à caractère correctif sont portées sur l'historique. Par contre, les interventions préventives systématiques n'y figurent pas (voir échéancier dans le dossier machine).

3.5. Exercice d'application

Exercice 01

Un moteur neuf de code EACC3 et indice de criticité 40P36 est installé sur une voiture de type Renault R4 le 25/10/2001 à 15h00. Ce moteur a des caractéristiques suivantes : 1 108 cm³ (70 × 72) : puissance de 34 ch et couple de 7,5 kg m. La mise en marche est effectuée le 05/01/2002 à 08h00. Tombe en panne trois fois :

- La première panne le 19/02/2004 à 11h00, sachant que ce moteur fonctionne 6/24 heures et une équipe d'intervention intervenue 03 jours après l'apparition de la panne à 13h00. Cette panne est due à un accident imprévisible. Ce moteur appartient au groupe fonctionnel a, ainsi que l'intervention est effectuée sur le changement la chaîne de distribution (voir la [Fig.3.6](#)) et la fin d'intervention à 18h00.
- La deuxième panne le 10/06/2007 à 12h00 sachant que ce moteur fonctionne 6/24 heures et une équipe d'intervention intervenue 01 jours après l'apparition de la panne à 9h00. Cette panne est due à défaut d'entretien. Ce moteur appartient au groupe fonctionnel a, ainsi que l'intervention est effectuée sur le changement de filtre à huile (voir la [Fig.3.7](#)) et la fin d'intervention à 10h00.
- La troisième panne le 25/09/2010 à 13h00 sachant que ce moteur fonctionne 6/24 heures et une équipe d'intervention intervenue 05 jours après l'apparition de la panne à 12h30. Cette panne est due à cause intrinsèque détectable. Ce moteur appartient au groupe fonctionnel a, ainsi que l'intervention est effectuée sur le changement des segments des pistons (voir la [Fig.3.8](#)) et la fin d'intervention à 18h00.



Fig.3.6



Fig.3.7



Fig.3.8

Question : Remplir le fichier historique de ce moteur.

Solution

HISTORIQUE DE LA MACHINE								
Code : EACC3.....								
Indice de criticité : 40P36.....								
Date de mise en service : 05/01/2002 à 8h00.....								
Caractéristiques : 1 108 cm ³ (70 × 72), puissance de 34 ch et couple de 7,5 kg								
Code de découpage fonctionnel								
A : groupe fonctionnel a			D : groupe fonctionnel d					
B : groupe fonctionnel b			E : groupe fonctionnel e					
C : groupe fonctionnel c			F : transmission					
Date	Compteur machine	Code d'affectation	Description Intervention	Durée		Codes imputation		
				Arrêt	Inter	a	b	c
19/02/2004	4653	A	le changement la chaine de distribution	79	5	0	1	1
10/06/2007	11890	A	le changement de filtre à huile	22	1	3	1	2
25/09/2010	19103	A	le changement des segments des pistons	125	5.5	2	1	1

Tableau.3.6. Dossier historique du moteur.

Exercice 02

Un compresseur à air est installé le 29/12/2001 à 09h00. La mise en marche est effectué le 05/02/2002 à 08h00, tombe en panne le 19/02/2004 à 12h00, sachant que le compresseur fonctionne 24/24 heures et une équipe d'intervention intervenue 03 jours après l'apparition de la panne à 13h00.

Donnés :

- La panne est due à un accident imprévisible ;
- Le compresseur appartient au groupe fonctionnel a ;
- L'intervention est effectuée sur le changement des courroies de transmission et la fin d'intervention à 18h00.

Question : Remplir le fichier historique de compresseur, Codé par EACB8 et référencié 60HM5

Solution

HISTORIQUE DE LA MACHINE								
Code : EACB8.....								
Indice de criticité : 60HM5.....								
Date de mise en service : 05/02/2002 à 8h00.....								
Caractéristiques : 1 108 cm3 (70 × 72), puissance de 34 ch et couple de 7,5 kg								
Code de découpage fonctionnel								
A : groupe fonctionnel a			D : groupe fonctionnel d					
B : groupe fonctionnel b			E : groupe fonctionnel e					
C : groupe fonctionnel c			F : transmission					
Date	Compteur machine	Code d' affectation	Description Intervention	Durée		Codes imputation		
				Arrêt	Inter	a	b	c
19/02/2004	17860	A	le changement des courroies de transmission	78	5	0	1	1

Tableau.3.7. Dossier historique du compresseur.

CHAPITRE 4 : COMPORTEMENT DU MATERIEL EN SERVICE : ETUDE DE LA DEFAILLANCE

4.1. Définition de la défaillance

Les défaillances sont à la maintenance ce que les maladies sont à la médecine. Il serait donc illusoire de vouloir effectuer un dépannage ou une réparation sur un matériel sans avoir au préalable élucidé la nature de la défaillance à remédier. Selon l'AFNOR une défaillance est la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise. Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle. (NF EN 13306).

4.2. Classification des défaillances

Différents critères peuvent être pris en considération pour distinguer et classer les défaillances :

- Selon la rapidité de manifestation :
 - ✚ Défaillance progressive (Fig.4.1-a) : Défaillance due à une évolution progressive des caractéristiques d'un bien.
 - ✚ Défaillance soudaine (Fig.4.1-b) : Défaillance brutale due à une évolution quasi instantanée des caractéristiques d'un bien.



Fig.4.1. Type de défaillance : a- Défaillance progressive (disque de frein d'une voiture) et b- Défaillance soudaine (chaîne de distribution d'une voiture).

- Selon les causes :
 - ✚ Défaillance due à une faiblesse inhérente (intrinsèque) Fig.4.2-a : Défaillance propre au système lors de conditions normales d'utilisation.

- ✚ Défaillance due à un mauvais emploi (extrinsèque) Fig.4.2-b : Défaillance attribuable à l'application de contraintes au-delà des possibilités données du système.
- ✚ Défaillance due à un mauvais entretien (extrinsèque) Fig.4.2-b : Défaillance attribuable au non-respect ou à la méconnaissance des règles d'entretien.
- ✚ Défaillance première (intrinsèque) Fig.4.2-a : Défaillance propre à un composant du système.
- ✚ Défaillance seconde (extrinsèque) Fig.4.2-b : Défaillance dont la cause n'a pas pour origine une défaillance du composant.



Fig.4.2. Type de défaillance : a- Défaillance intrinsèque (grippage d'un roulement à billes), -b Défaillance extrinsèque (détérioration d'un palier à la suite du blocage d'un roulement pour cause de grippage).

▪ Selon les conséquences

- ✚ Défaillance critique (Fig.4.3-a) : « Défaillance qui empêche l'accomplissement de la mission et fait encourir des risques de blessures à des personnes ou des dégâts très importants au matériel. ». Ce type de défaillance est pris en compte par les études de sûreté.
- ✚ Défaillance majeure (Fig.4.3-b) : « Défaillance qui risque de réduire l'aptitude d'un autre système plus complexe à accomplir sa fonction ».
- ✚ Défaillance mineur (Fig.4.3-c) : « Défaillance qui ne réduit pas l'aptitude d'un autre système plus complexe à accomplir sa fonction ».



Fig.4.3. Type de défaillance : a- Défaillance critique (Rupture du piston et des segments), -b Défaillance majeur (d Problème Catalyseur) et c- Défaillance mineur (problème des plaquettes de frein).

4.3. Les caractéristiques d'une défaillance

Les caractéristiques d'une défaillance doivent être correctement identifiées afin de prévoir et d'organiser l'intervention nécessaire pour la remise en état initial de l'entité. Ces défaillances sont classées :

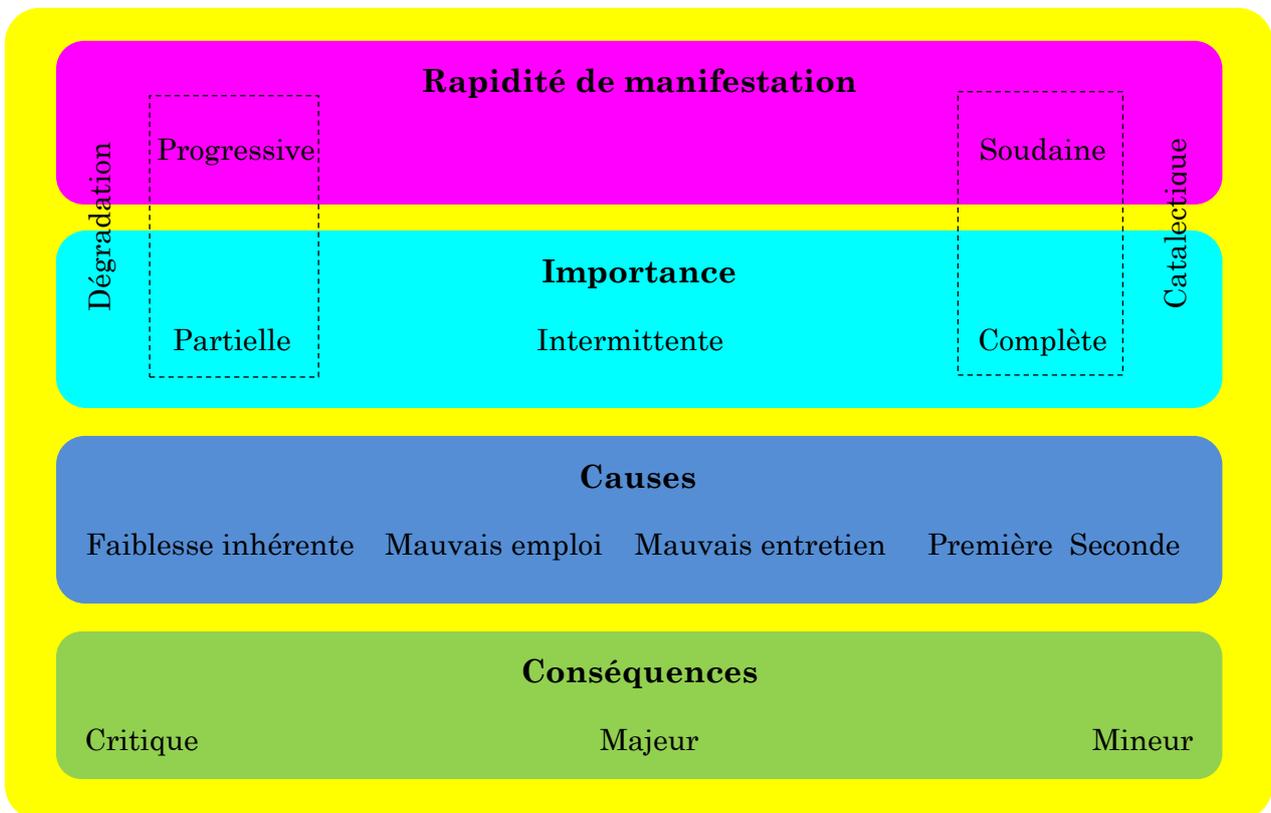


Fig.4.4. Les caractéristiques d'une défaillance.

Il est nécessaire de bien connaître toutes les caractéristiques d'une défaillance si l'on souhaite apporter le meilleur remède dans les meilleures conditions. Il est donc indispensable de procéder à une analyse de la défaillance. L'analyse doit apporter des renseignements concernant les quatre caractéristiques qui définissent une défaillance.

4.4. Analyse de l'origine de la défaillance

L'analyse de l'origine de la défaillance doit permettre de reconnaître la ou les causes principales de la défaillance afin d'appliquer les remèdes les mieux adaptés au cas considérés.

Origine de la défaillance	Type de défaillance	Causes	Remèdes de maintenance
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Usure 	Intrinsèque et progressives	Variation des Caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensionnelles ▪ mécanique liées au vieillissement 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maintenance de 1^{er} niveau (nettoyage, lubrification, traitement-anticorrosion) ▪ Maintenance préventive et D'amélioration
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contraint supérieur au niveau admissible ▪ -utilisation non conforme ▪ -accident d'utilisation 	Extrinsèque et progressive	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non-respect des Consignes de mise en œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Elaboration de consignes d'utilisation ▪ Formation des opérateurs
	Extrinsèque et soudaine	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Non-respect exceptionnel important et involontaire des consignes de mise en œuvre 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maintenance d'amélioration (sécurité, éviter les fausses manœuvre, etc .)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Montage ou réglage ou maintenance défectueux 	Extrinsèque et progressives ou soudaine	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réalisation défectueuse des travaux 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ élaboration de document de réalisation. ▪ étude et définition des modes opératoires
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conception inadaptée à l'emploi et /ou aux contraintes 	Intrinsèque et progressive ou soudaine	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Choix ou conception inadapté 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Participation de la maintenance aux études pour définir ou choisir un matériel nouveau (faire infléchir une décision en prenant en compte les paramètres de maintenabilité, de sécurité, de fiabilité)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fabrication d'un élément défectueux 	Intrinsèque et progressive ou soudaine	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Défauts des méthodes de fabrication, de contrôle, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Profiter si possible de la période de garantie pour mettre en évidence ces défautuosité.

Tableau.4.1 l'origine de la défaillance.

4.5. Les lois de dégradation

La dégradation est un affaiblissement graduel et continu. Un matériel qui subit une dégradation voit ses performances diminuer progressivement. S'il n'y a pas intervention, ce processus irréversible peut se poursuivre jusqu'à la destruction complète.

4.5.1. Les lois et limites d'usure

4.5.1.1. Mécanisme d'usure

C'est le résultat du contact de deux pièces en mouvement (phénomène de frottement). L'échauffement provoque l'arrachement de particules et détériore les surfaces de contact, augmente les jeux de fonctionnement, par conséquent réduit la superficie des portées. Le phénomène ira en s'accélégrant (phénomène irréversible).



Fig.4.5 Mécanisme d'usure : a- arbre à came usé et b- L'usure des pneus

4.5.1.2. Allure de la dégradation

La défaillance due à l'usure est une dégradation progressive dans le temps comportant trois phases distinctes (Fig.4.6) :

- Phase 1 : C'est la période de rodage correspondant à un arasage des aspérités ;
- Phase 2 : C'est la période d'usage dite normale. L'usure est une fonction linéaire du temps ;
- Phase 3 : C'est la période de vieillissement rapide, phénomène de l'échauffement qui peut aller jusqu'au grippage.

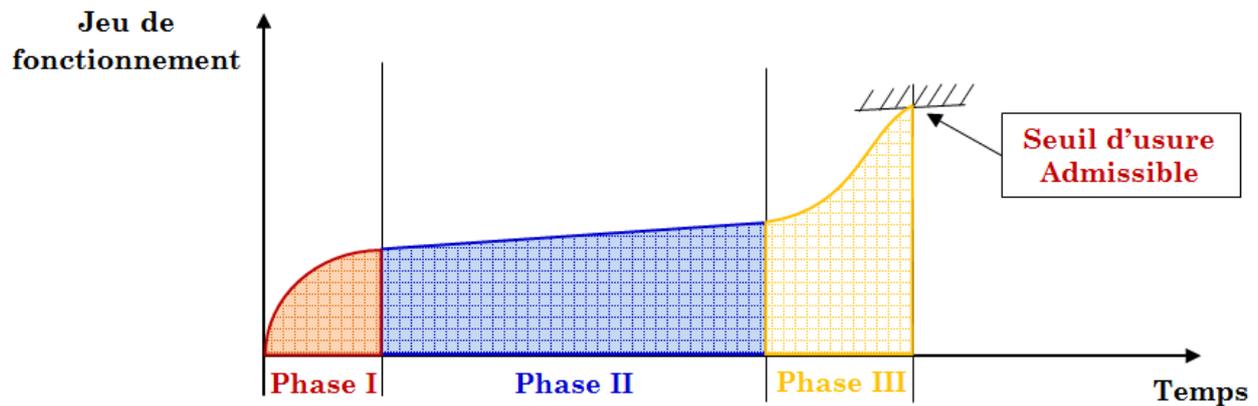


Fig.4.6. Phases d'usure.

4.5.1.3. Les lois d'usure

C'est la fonction « paramètres d'usure » = $f(\text{temps})$. La représentation graphique de cette loi permet de suivre l'évolution de la dégradation afin de prévoir par extrapolation, la date d'intervention préventive. Un seuil ou un niveau limite d'usure déclenche l'intervention. Ce niveau d'alarme est fixé par des critères technologiques ou de sécurité (ex : plaquettes de freins). Les paramètres d'usure peuvent être directs ou induits :

- Directs : cotes, rugosité, dureté superficielle, % d'un constituant, perte de masse, etc.
- Induits : mesure de la conséquence de l'usure, débit (pompe à pistons), pression (taux de compression d'un moteur), rendement, vibrations dues au grippage, élévation de température, etc.

4.5.1.4. Les usures et la maintenance associée

Démarche d'une action de maintenance à partir des relevés des usures :

- Déterminer une performance minimale admissible.
- Choisir les paramètres à contrôler (le contrôle ne sera pas forcément effectué sur l'organe usé, exemple : débit, pression).
- Mesurer le paramètre suivi.
- Tracer la loi d'usure à partir des mesures effectuées lors des visites préventives.
- Extrapoler pour déterminer la date d'intervention préventive.
- Préparer et programmer l'intervention.

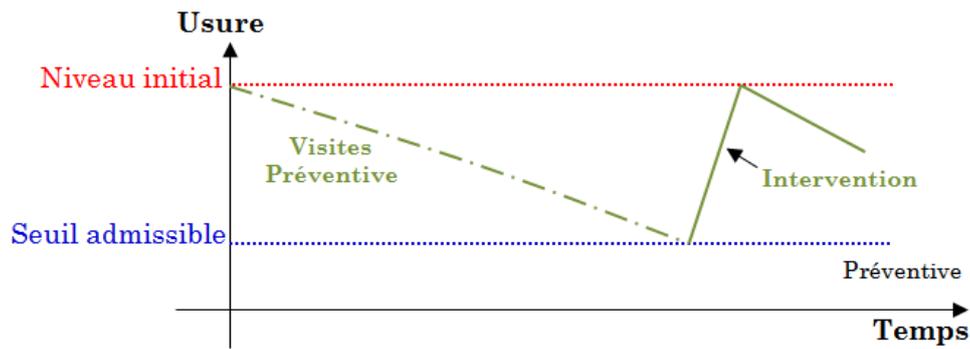


Fig.4.7. Maintenance associée à l'usure.

4.5.2. Les corrosions et leurs origines

4.5.2.1. Mécanisme de la corrosion

La corrosion se rencontre sur différents types de matériaux et les mécanismes sont différents et directement en relation avec le matériau. Exemples :

- Matériaux métallique : action essentiellement électrochimique (Fig.4.8-a);
- Matières plastiques : action de l'ultraviolet et de l'atmosphère (Fig.4.8-b);
- Bois : action des termites et des champignons (Fig.4.8-c);

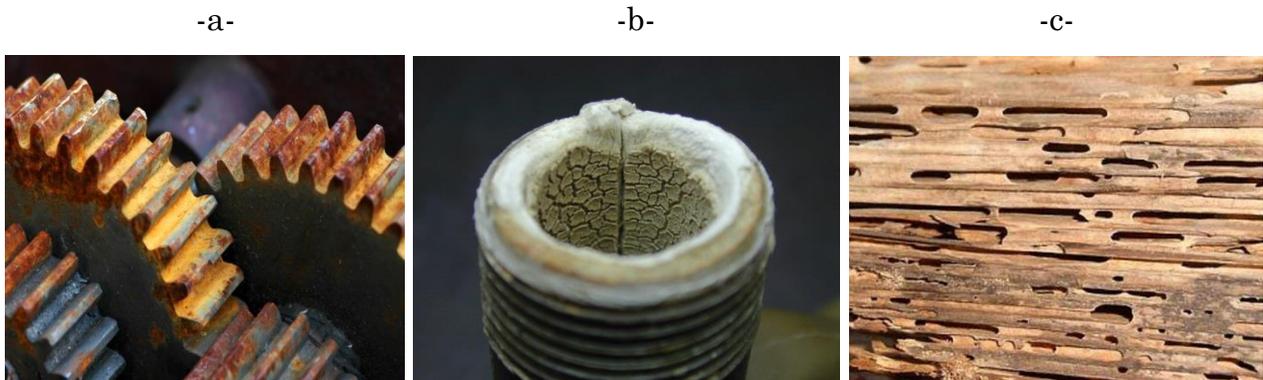


Fig.4.8 Mécanisme de la corrosion : a- matériaux métallique, b- matières plastiques et c- bois.

4.5.2.2. Lois de la corrosion

Ce sont en générale des fonctions du temps comportant souvent de nombreux paramètres et par conséquent difficile à appréhender.

4.5.2.3. Remèdes anticorrosion

On a par exemples : changement de matériau, modification des conditions d'utilisation (contrainte, pression, température, etc.), emploi d'un inhibiteur, emploi d'un revêtement, protection cathodique.

4.6. Les lois de fiabilité, maintenabilité et disponibilité

4.6.1. Les lois de fiabilité

4.6.1.1. Définition de la fiabilité (R)

C'est la probabilité ($0 \leq R \leq 1$) qu'un produit d'accomplir de manière satisfaisante une fonction requise, sous des conditions données et pendant un période de temps donnée.
Exemple : $R = 86$ au bout de 75 heures, signifie que le produit a 86 chances sur 100 (86% de chances) de fonctionner correctement, pendant les 75 premiers heures.

4.6.1.2. Indicateurs de fiabilité ou taux d'avaries (λ)

Il représente le pourcentage de défaillances pendant un temps donné (caractérise la vitesse de variation de la fiabilité).

$$\lambda = \frac{\text{Nombre total de défaillance pendant le service}}{\text{Durée totale de bon fonctionnement}} \quad (4 - 1)$$

L'unité de $[\lambda]$ est : panne /heure ou défaillance /heure.

4.6.1.3. Moyen temps de bon fonctionnement (MTBF)

Représente le temps moyen entre les pannes. Il s'agit de la durée moyenne pendant laquelle l'équipement ou les systèmes électroniques fonctionnent entre les pannes.

$$MTBF = \frac{\text{Somme des temps de fonctionnement entre les } n \text{ défaillances}}{\text{Nombre des temps de bon fonctionnement}} \quad (4 - 2)$$

L'unité de $[MTBF]$ est : heure.

Si λ est constant :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (4 - 3)$$

Exemple : Une pompe industrielle a fonctionné pendant 20000 heures en service contenu avec neuf panne dont les durées respectives sont : 10- 5,5- 16-12- 3,5- 36- 8-25 et 22 heures. Déterminer le moyen temps de bon fonctionnement [MTBF] et Indicateurs de fiabilité [λ]

Solution :

$$MTBF = \frac{20000 - (10 + 5,5 + 16 + 12 + 3,5 + 36 + 8 + 25 + 22)}{9} = 2206,88 \text{ heures}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2206,88} = 0,000453 \text{ panne/heure}$$

4.6.1.4. Fiabilité d'un système constitué de plusieurs composants montés en série

La fiabilité R_S d'un ensemble de n constituants connectés en série est égale au produit des fiabilités respectives de chaque composant.



Fig.4.9. Un système constitué de plusieurs composants montés en série.

$$R_S = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n \tag{4 - 4}$$

Si les n composants sont identiques et tous de même fiabilité R :

$$R_S = (R)^n \tag{4 - 5}$$

Exemple : Un poste de radio est constitué de quatre composants suivants monté en série : alimentation ($R_1 = 0,99$), récepteur ($R_2 = 0,96$), amplificateur ($R_3 = 0,97$) et haut-parleur ($R_4 = 0,95$). Qu'elle est la fiabilité globale.

Solution :

$$R_S = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 = 0,99 \times 0,96 \times 0,97 \times 0,95 = 0,8757 = 87,57 \%$$

4.6.1.5. Taux défaillances d'un système constitué de plusieurs composants montés en série

Le taux défaillances λ_S d'un ensemble de n constituants connectés en série est égal à la somme des taux de défaillances respectives de chaque composant.

$$R_S = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n) \times t} \quad (4 - 6)$$

$$MTBF = \frac{1}{(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)} \quad (4 - 7)$$

$$\lambda_S = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \quad (4 - 8)$$

Si les n composants sont identiques et tous de même Taux défaillance λ :

$$R_S = e^{-n \times \lambda \times t} \quad (4 - 9)$$

$$MTBF = \frac{1}{n \times \lambda} \quad (4 - 10)$$

$$\lambda_S = n \times \lambda \quad (4 - 11)$$

Exemple : soit quatre composants en série dont les taux de pannes constants respectifs pour 1000 heures sont : $\lambda_1 = 0,062$, $\lambda_2 = 0,055$, $\lambda_3 = 0,058$ et $\lambda_4 = 0,047$. Quelles est la probabilité pour que le système survive jusqu'à 8000 heures. Et quelle est la valeur du MTBF de l'ensemble.

Solution :

A 8000 heures correspond $t=8$ (λ est exprimé pour 1000heures).

$$R_S(8) = e^{-(0,062+0,055+0,058+0,047) \times t} = e^{-(0,222) \times t} = e^{-(0,222) \times 8} = 0,1693$$

$$= 16,93\%$$

$$\lambda_S = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 0,062 + 0,055 + 0,058 + 0,047$$

$$= 0,222 \text{ défaillance/heure}$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4} = \frac{1}{0,062 + 0,055 + 0,058 + 0,047} = 4,50 \text{ heure.}$$

Soit un temps moyen entre défaillances de 4500 heures environ

4.6.1.6. Fiabilité d'un système de constitué de composants monté en parallèle

La fiabilité d'un système peut être augmenté en plaçant les composantes en parallèle un dispositif constitué de n composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les n composantes en panne au même moment. Pour n composants connectés en parallèle ayant des probabilités de panne $[F_1, F_2, \dots, F_n]$ et de fiabilités associées $[R_1, R_2, \dots, R_n]$, la probabilité de panne F_p et la fiabilité R_p de l'ensemble des n composants en parallèle sont :

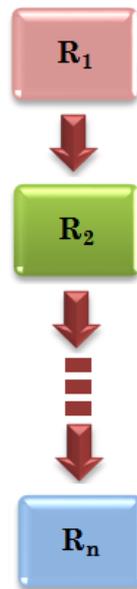


Fig.4.10. Un système constitué de plusieurs composants montés en parallèles.

$$F_p = F_1 \times F_2 \times \dots \times F_n = (1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n) \quad (4 - 12)$$

$$R_p = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times \dots \times (1 - R_n)] \quad (4 - 13)$$

Si les n composants sont identiques et tous de même fiabilité R :

$$R_p = 1 - (1 - R)^n \quad (4 - 13)$$

Exemple : Soit quatre composants identiques de même fiabilité $R = 0,85$ connectés en parallèles, quelle est la fiabilité globale. Et si on souhaite une fiabilité globale de 98%, quelle doit être la fiabilité R' de chaque composant.

Solution :

$$R_p = 1 - (1 - R)^n = 1 - (1 - 0.85)^4 = 0,9994 = 99,94 \%$$

$$R_p = 1 - (1 - R')^n \Leftrightarrow \ln(1 - R_p) = n \times \ln(1 - R') \Leftrightarrow R' = 0,6239 = 62,39\%.$$

4.6.1.7. Taux défaillances d'un système constitué de plusieurs composants montés en parallèle

Le taux défaillances λ_p d'un ensemble de n constituants connectés en parallèle est donné par les équations suivantes:

$$R_p(t) = 1 - [(1 - e^{\lambda_1 \times t}) \times (1 - e^{\lambda_2 \times t}) \times \dots \times (1 - e^{\lambda_n \times t})] \quad (4 - 14)$$

Si les n composants sont identiques et tous de même taux de panne λ :

$$R_p = 1 - (1 - e^{\lambda \times t})^n \quad (4 - 15)$$

Avec

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \times \left[1 + \frac{1}{2} + \dots + \dots + \dots + \frac{1}{n} \right] \quad (4 - 16)$$

4.6.2. Les lois de maintenabilité

4.6.2.1. Définition de Maintenabilité

Elle traduit la probabilité de remettre un système en état de fonctionner ; en un temps donné. Dans des conditions données et en retrouvant la fiabilité initiale. Elle s'exprime à l'aide du *MTTR*. Augmenter la maintenabilité d'un produit c'est le rendre plus facilement réparable.

4.6.2.2. Le temps moyen de réparation (MTTR) (Mean Time To Repair)

Le temps moyen de réparation fait référence au temps nécessaire pour réparer un système et le restaurer à toutes ses fonctionnalités. L'horloge MTTR commence à clignoter au début des réparations et continue jusqu'à ce que les opérations soient restaurées. Cela comprend le temps de réparation, la période de test et le retour à l'état de fonctionnement normal. Pour calculer le MTTR, divisez le temps total de maintenance par le nombre total d'actions de maintenance sur une période donnée.

$$MTTR = \frac{\text{Somme des de réparation}}{\text{Nombre de réparations}} \quad (4 - 17)$$

4.6.2.3. Taux de réparation μ

Le taux de réparation qui s'assimile à la probabilité que le système soit réparé entre les instants t et $t + dt$. Si μ est constant au cours du temps alors :

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad (4 - 18)$$

Exemple : une pompe industrielle a fonctionné pendant 20 000 heures avec sept pannes dont les durée (ou temps de réparation) respectives sont : 10-12,5-16-22-31,5-36 et 27 heures. Calculer les valeurs du MTTR et μ .

Solution :

$$MTTR = \frac{10 + 12,5 + 16 + 22 + 31,5 + 36 + 27}{7} = \frac{155}{7} = 22,14 \text{ heure.}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{22,14} = 0,045 \text{ réparation/heure.}$$

4.6.3. Les lois de disponibilité

4.6.3.1. Définition

Elle traduit l'aptitude d'un dispositif à être en état de fonctionner dans des conditions données. Elle met en évidence l'aptitude à la réparation d'un dispositif en mesurant l'efficacité de la maintenance. C'est-à-dire une haute disponibilité exige une excellente fiabilité (peu de défaillance), une bonne maintenabilité (une grande rapidité de réparation ou de remise en état) et une bonne logistique de maintenance (bonne procédure d'entretien et de réparation, des moyens en personnel, des stocks de composants...).

4.6.3.2. Taux de disponibilité (D)

Le taux de disponibilité d'un matériel est défini par le rapport entre le temps d'utilisation et d'attente et le temps d'utilisation et d'attente plus le temps de maintenance. On distingue deux types de disponibilité :

- Disponibilité intrinsèque D_i : Elle exclut la maintenance préventive, les délais logistiques (attentes fournitures...) et les délais administratifs.

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4 - 19)$$

- Disponibilité opérationnelle D_o : Elle prend en compte les délais logistiques avec le MTL (moyenne des temps logistiques de maintenance).

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL} \quad (4 - 20)$$

4.6.3.3. Disponibilité de dispositifs connectés en série et en parallèle

La démarche est la même qu'en fiabilité. Si D est la disponibilité globale et D_1, D_2, \dots, D_n les disponibilités respectives de chaque composant sont :

✚ En série :

$$D_s = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n \tag{2 - 21}$$

✚ En parallèle :

$$D_p = 1 - [(1 - D_1) \times (1 - D_2) \times \dots \times (1 - D_n)] \tag{2 - 21}$$

4.7. Durée de vie de materiel

4.7.1. Les temps relatifs à la maintenance

D'après la norme AFNOR X60-015, on peut classer les temps relatifs à la maintenance comme suit :

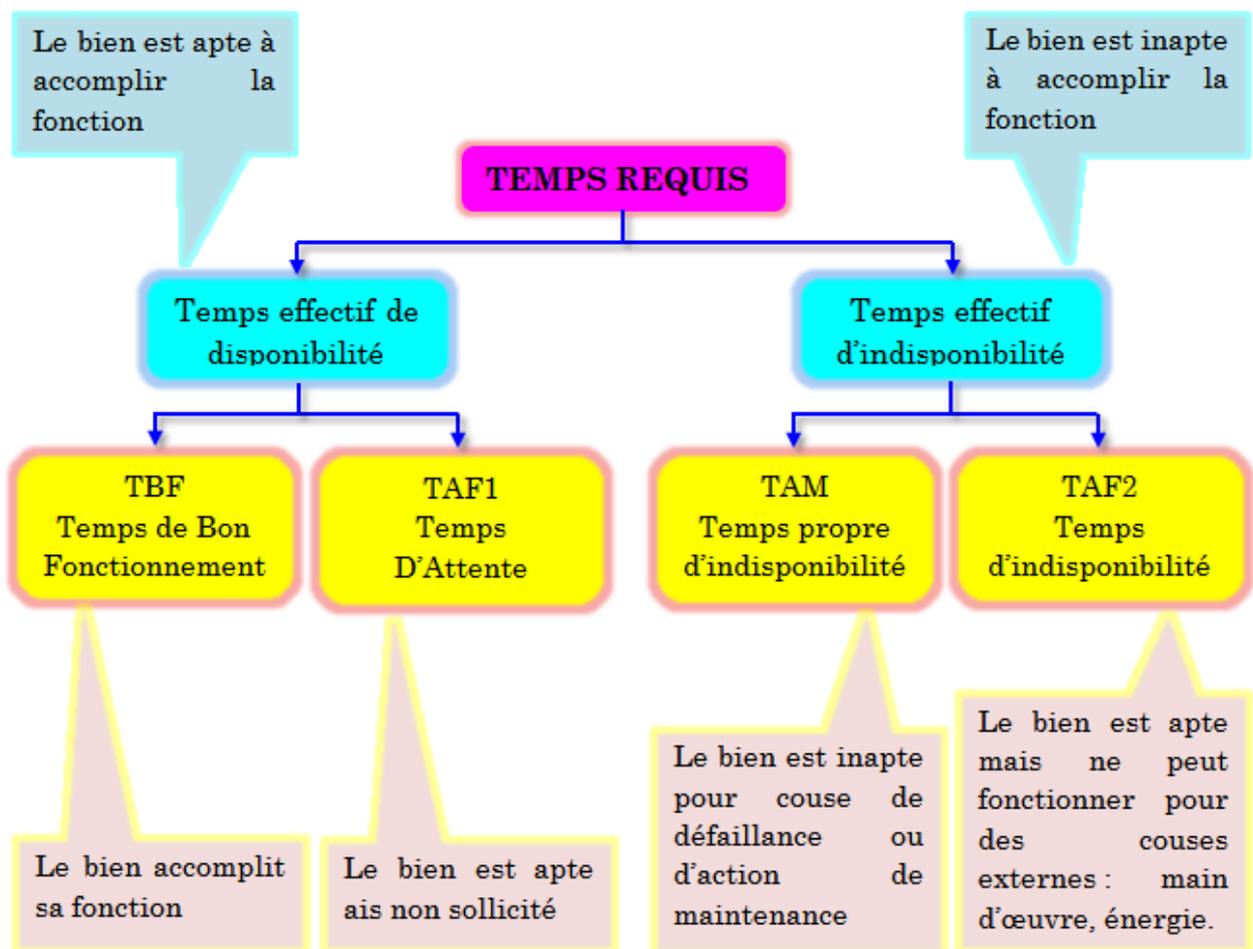


Fig.4.11 Décomposition du temps en maintenance.

4.7.2. La vie d'un matériel

Elle comprend une alternance d'arrêt et de bon fonctionnement pendant sa durée potentielle d'utilisation.



Fig.4.12 La vie d'un matériel.

Ces durées peuvent être observées ou estimées. Une partie variable des temps d'arrêt (TA) est constituée des TTR (Temps Technique de Réparation).

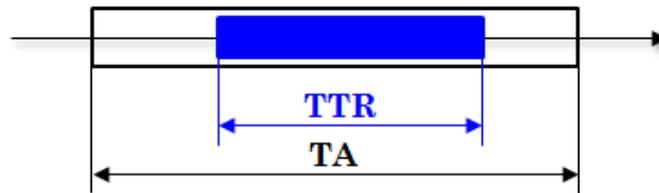


Fig.4.13 Notion de TTR.

On peut donc calculer la moyenne des temps de bon fonctionnement noté MTBF qui représente la valeur moyenne du temps entre défaillances consécutives, pour une période donnée de la vie d'un dispositif :

$$MTBF = \sum_0^n \frac{TBF_i}{n} \tag{4 - 22}$$

Avec n est le nombre de pannes.

De la même façon, on peut calculer la MTTR qui représente la moyenne des temps techniques de réparation :

$$MTTR = \sum_0^n \frac{TTR_i}{n} \tag{4 - 22}$$

Avec n est le nombre de pannes.

Exemple : pendant l'année 2002, on exploite l'historique d'un engin de chantier, on a relevé les valeurs suivantes :

$TBF_1 = 600$ h, $TBF_2 = 1400$ h, $TBF_3 = 350$ h, $TBF_4 = 2150$ h et $TBF_5 = 1800$ h.

$TTR_1 = 4$ h, $TTR_2 = 10$ h, $TTR_3 = 25$ h, $TTR_4 = 7$ h et $TTR_5 = 13$ h.

On demande de calculer le MTBF, le MTTR et la disponibilité D.

Solution :

$$MTBF = \sum_0^n \frac{TBF_i}{n} = \frac{600 + 1400 + 350 + 2150 + 1800}{5} = \frac{6300}{5} = 1260 \text{ heure.}$$

$$MTTR = \sum_0^n \frac{TTR_i}{n} = \frac{4 + 10 + 25 + 7 + 13}{5} = \frac{55}{5} = 11 \text{ heure.}$$

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1260}{1260 + 11} = 0,9913 = 99,13 \%$$

4.7.3. Durée de vie des matériels

4.7.3.1. Courbe en baignoire

Pour mettre en place une politique de maintenance efficace, il importe de comprendre les phénomènes de défaillances ou de dégradation des matériels. D'une manière très générale, la classification des défaillances s'établit en deux catégories :

- Les défaillances catalectiques : elles sont complètes et soudaines, c'est l'exemple de la rupture d'une pièce mécanique, le court-circuit d'un système électrique ou électronique. Dans ce cas, il est très difficile d'observer la dégradation du matériel.
- Les défaillances par dérives : ici, on peut contrôler la propagation et l'évaluation de la dégradation, tels que les phénomènes d'usure en mécanique ou l'augmentation de la valeur de résistance en électronique. On distingue trois grandes périodes :
 - ✚ Les défaillances de jeunesse : caractérisées par un taux de défaillance décroissant en fonction du temps.
 - ✚ Les défaillances de maturité : caractérisées par un taux de défaillance sensiblement constant.

- ✚ Les défaillances de vieillesse : caractérisées par un taux de défaillance croissant. L'évaluation du taux de défaillance se présente sous la forme d'une courbe en baignoire.

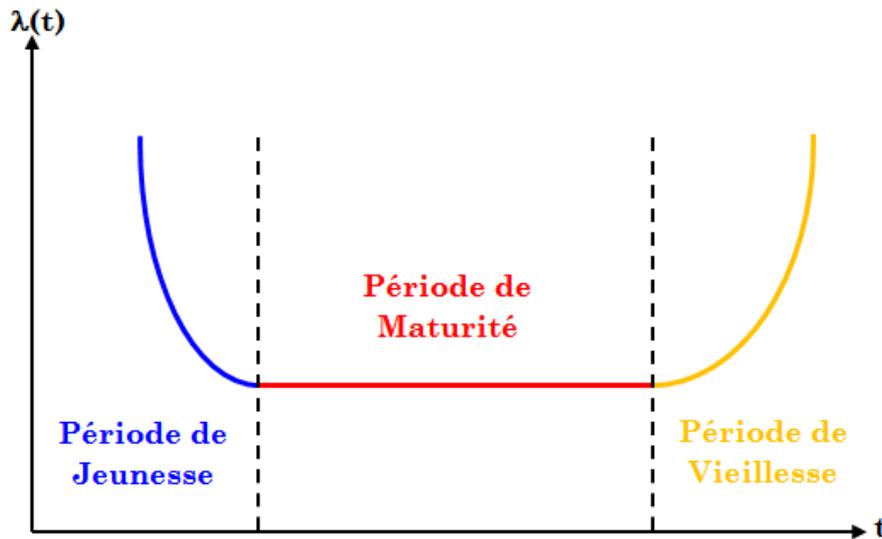


Fig.4.14 Courbe en baignoire (vie d'un matériel).

L'allure générale des variations des taux de défaillance $\lambda(t)$ d'un équipement le long de sa durée de vie est représentée par la Fig.4.14. Cette géométrie de courbe a un caractère « universel », elle représente aussi bien des taux de défaillances « des organes des équipements et humaines ». Cette courbe met en évidence trois périodes distinctes :

- Zone (1) : Période de jeunesse (rodage). Le taux de défaillance décroît relativement vite après élimination des composants de qualité médiocre ou mal montés. On pratique de la maintenance corrective (se prépare aux pannes).
- Zone (2) : Période de maturité (pleine activité). Le taux de défaillance est constant. C'est la période de vie utile (ou période de pannes fortuites).
- Zone (3) : Période de vieillesse ou d'usure. Les défaillances sont dues à l'âge ou à l'usure des composants, $\lambda(t)$ croît avec le temps du fait de la dégradation du matériel (usures mécaniques, fatigue, etc...). On pratique de la maintenance préventive conditionnelle (surveillance accrue du matériel) plus de la maintenance corrective.

3.7.3.2. La détermination expérimentale de la courbe en baignoire

La détermination de façon expérimentale de cette courbe nécessite un grand nombre de données s'étalent sur une période couvrant la plage de durée de vie des matériels. Ainsi, si l'on dispose d'un nombre important de données notamment les temps de bon fonctionnement (TBF), le nombre de pannes (n) et que le nombre d'éléments étudiés soit suffisamment grand, il existe une méthode expérimentale appelée « méthode de l'actuariat » permettant de déterminer les taux de défaillance $\lambda(t)$ pour différents intervalles de temps constituant la vie du matériel étudié. On peut estimer le taux de défaillance $\lambda(t)$ par tranche de temps par le modèle :

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n_i}{N_i \times \Delta t_i} \quad (4 - 23)$$

Avec :

n_i : Nombre de défaillance pendant la tranche de temps ;

N_i : Nombre de survivants au début de la tranche de temps t_i ;

$$\Delta t_i = t_{i+1} - t_i \quad (4 - 24)$$

Le nombre de classe dépend du nombre total de défaillance tel que :

$$r = \sqrt{\sum n_i} \quad (4 - 25)$$

Ou :

$$r = 1 + 3,3 \times \log \sum n_i \quad (4 - 26)$$

On estime la fonction de défaillance $\hat{f}(t)$ et la fonction de défaillance cumulée $\hat{F}(t)$ par tranche Δt_i :

$$\hat{f}(t) = \frac{n_i}{N_0 \times \Delta t_i} \quad (4 - 27)$$

$$\hat{F}(t) = 1 - \frac{N_i}{N_0} \quad (4 - 27)$$

Donc la fonction de fiabilité $\hat{R}(t)$ est donnée par la formule :

$$\hat{R}(t) = 1 - \hat{F}(t) \quad (4 - 28)$$

Avec :

N_0 : Nombre d'éléments bons à t_0 (instant initial).

Exemple : on a relevé sur un type de moteur les défaillances suivantes par tranche.

L'étude a été menée sur 40 moteurs.

Δt_i [h]	0 à 100	100 à 200	200 à 300	300 à 400	400 à 500	500 à 600
n_i	1	5	10	7	15	2

Estimer les fonctions $\hat{\lambda}(t)$, $\hat{f}(t)$, $\hat{F}(t)$ et $\hat{R}(t)$.

Solution :

$N_0 = 40$ moteurs

Δt_i [h]	0 à 100	100 à 200	200 à 300	300 à 400	400 à 500	500 à 600
n_i	1	5	10	7	15	2
N_i	40	39	34	24	17	2
$\hat{\lambda}(t) \times 10^{-4}$	2,5	12,82	29,41	29,16	88,23	100
$\hat{f}(t) \times 10^{-4}$	2,5	12,5	25	17,5	37,5	5
$\hat{F}(t)$	0	0,025	0,15	0,4	0,575	0,95
$\hat{R}(t)$	1	0,975	0,85	0,6	0,425	0,05

4.8. Exercices d'applications

Exercice 01

Un compresseur industriel a fonctionné pendant 8000 heures en service continu avec 5 pannes dont les durées respectives sont : 7 ; 22 ; 8,5 ; 3,5 et 9 heures.

1. Déterminer MTBF, le taux de défaillance λ , MTTR, Taux de réparation μ et disponibilité intrinsèque D_i .

Si ce compresseur (voire la Fig.4.15) se compose de 8 éléments dont les fiabilités : $R_A = 0,87$; $R_B = 0,85$; $R_C = R_D = 0,89$; $R_E = 0,94$; $R_F = 0,95$; $R_G = 0,96$ et $R_H = 0,97$.

2. Calculer la fiabilité globale de ce compresseur.

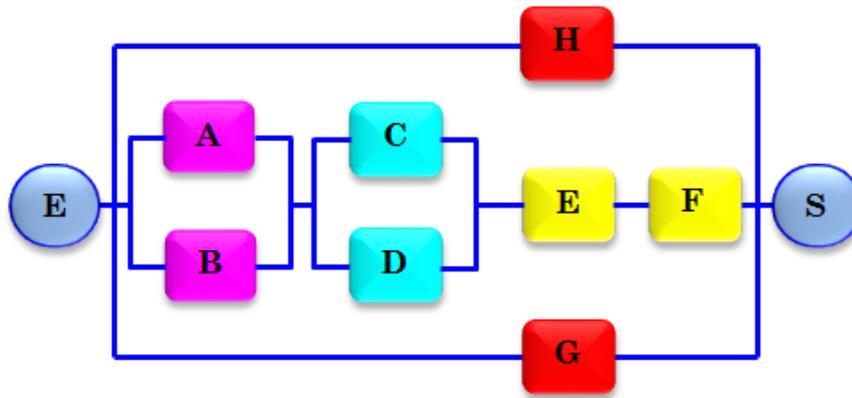


Fig.4.15 les éléments principal de ce compresseur.

Solution

1. La détermination du MTBF, λ , MTTR, μ et D_i

$$MTBF = \frac{8000 - (7 + 22 + 8,5 + 3,5 + 9)}{5} = 1590 \text{ heures}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \frac{1}{1590} = 6,29 * 10^{-4} \text{ panne/heures}$$

$$MTTR = \frac{(7 + 22 + 8,5 + 3,5 + 9)}{5} = 10 \text{ heures}$$

$$\lambda = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ réparation/heures}$$

$$D_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{1590}{1590 + 10} = 99,37 \%$$

2. Calcul de la fiabilité globale du compresseur

$$R_{eq_1} = 1 - (1 - R_A) \times (1 - R_B) = 1 - (1 - 0,87) \times (1 - 0,85) = 0,9805$$

$$R_{eq_2} = 1 - (1 - R_C) \times (1 - R_D) = 1 - (1 - 0,89) \times (1 - 0,89) = 0,9879$$

$$R_{eq_3} = R_{eq_1} \times R_{eq_2} \times R_E \times R_F = 0,9805 \times 0,9879 \times 0,94 \times 0,95 = 0,8649$$

$$\begin{aligned} R_{eq_g} &= 1 - (1 - R_{eq_3}) \times (1 - R_H) \times (1 - R_G) \\ &= 1 - (1 - 0,8649) \times (1 - 0,96) \times (1 - 0,97) = 0,9998 = 99,98 \% \end{aligned}$$

Exercice 02

Le système suivant (voire la Fig.4.16) est composé de trois dispositifs en parallèle connectés entre eux en série. On donne les fiabilités respectives des composants dans le tableau ci-dessous. Déterminez la fiabilité globale de système ?

Composant	A ₁	A ₂	A ₃	B ₁	B ₂	B ₃	C ₁	C ₂	C ₃
Fiabilité	0,75	0,88	0,91	0,87	0,89	0,93	0,96	0,97	0,98

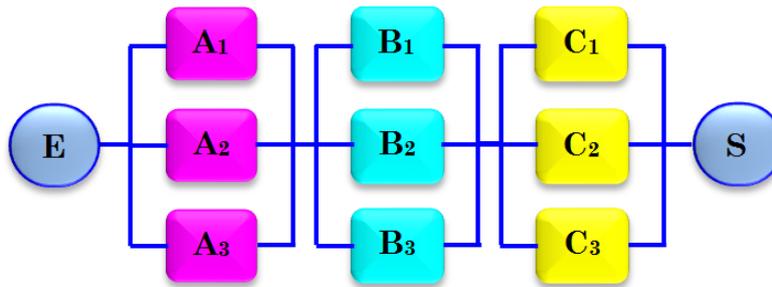


Fig.4.16 les éléments principal de ce système.

Solution

Calcul de la fiabilité globale de ce système

$$R_{eq1} = 1 - (1 - R_{A1}) \times (1 - R_{A2}) \times (1 - R_{A3}) = 1 - (1 - 0,75) \times (1 - 0,88) \times (1 - 0,91) = 0,9973$$

$$R_{eq2} = 1 - (1 - R_{B1}) \times (1 - R_{B2}) \times (1 - R_{B3}) = 1 - (1 - 0,87) \times (1 - 0,89) \times (1 - 0,93) = 0,9989$$

$$R_{eq3} = 1 - (1 - R_{C1}) \times (1 - R_{C2}) \times (1 - R_{C3}) = 1 - (1 - 0,96) \times (1 - 0,97) \times (1 - 0,98) = 0,9999$$

$$R_{eqg} = R_{eq1} \times R_{eq2} \times R_{eq3} = 0,9973 \times 0,9989 \times 0,9999 = 0,9961 = 99,61\%$$

Exercice 03

Une photocopieuse se compose de 3000 composants connectés en série ayant tous la même fiabilité R=0,9998.

1. Calculer la fiabilité de l'ensemble ?
2. Refaire le calcul avec un nombre de composants divisé par 2 ?
3. Déterminer la fiabilité R' de chaque composant si on souhaite une fiabilité globale de 80% avec les 3000 composants ?

Solution

1. la fiabilité de l'ensemble des composants de cette photocopieuse est :

$$R_S = R^n = 0,9998^{3000} = 0,5487 = 54,87 \%$$

2. la fiabilité avec la moitié des composants de cette photocopieuse est :

$$R_S = R^n = 0,9998^{1500} = 0,7408 = 74,08 \%$$

3. la fiabilité R' de chaque composant si on souhaite une fiabilité globale de 80% avec les 3000 composants est :

$$R_g = R^n \Leftrightarrow R = R_g^{(1/n)} = 0,80^{(1/3000)} = 0,9999 = 99,99 \%$$

Exercice 04

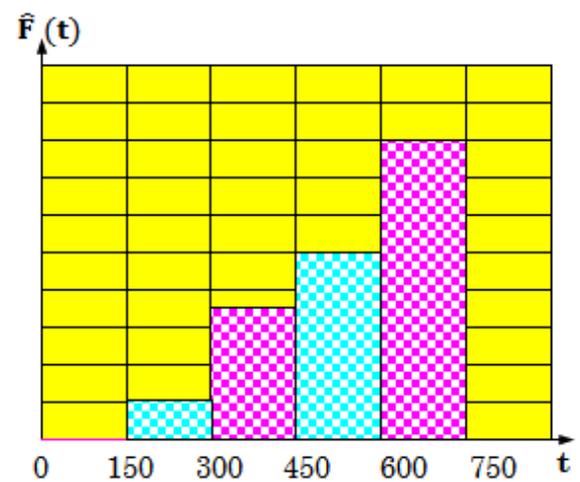
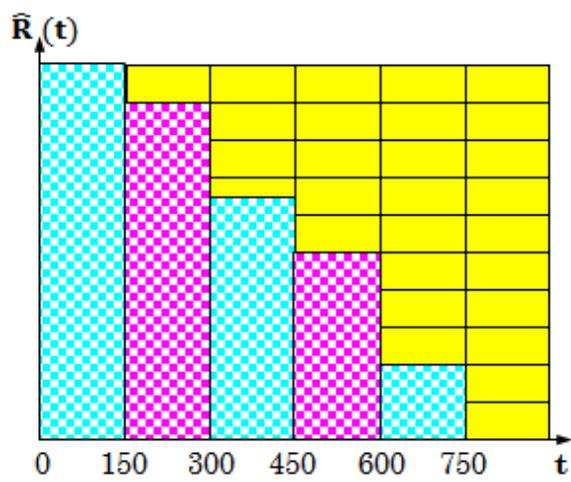
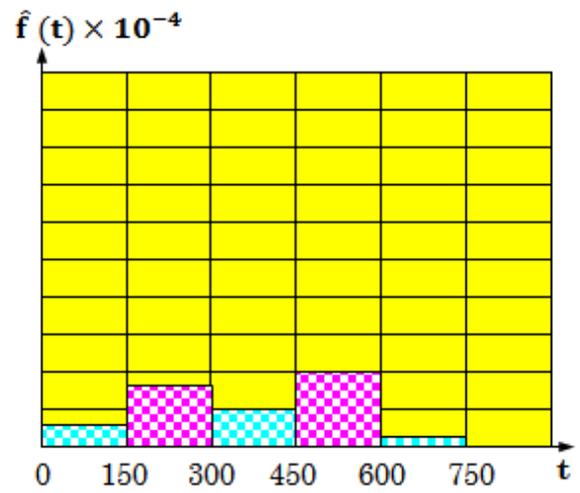
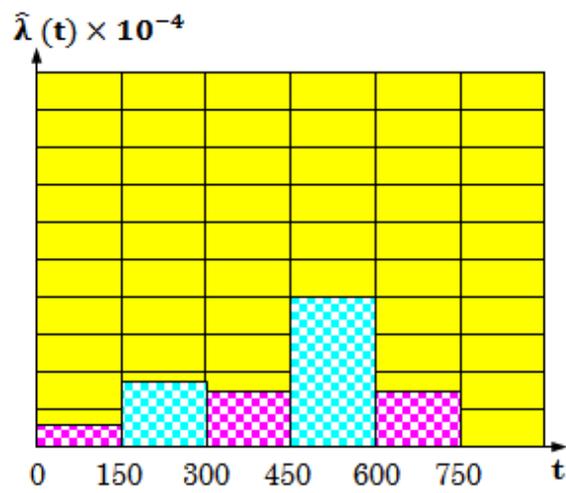
Sur une machine d'insertion automatique de composants électroniques sur des circuits imprimés la rupture des doigts de préhension des composants, situés à l'extrémité d'un bras manipulateur, provoque des arrêts importants (changement des doigts, réinitialisation de la machine, réglages). Le service maintenance décide d'étudier la fiabilité de ces éléments en vue d'instaurer une action de maintenance préventive systématique les concernant. Sachant que l'entreprise possède 17 machines d'insertion automatique de composants électroniques.

Intervalles Δt en [h]	[0 , 150]]150 , 300]]300 , 450]]450 , 600]]600 , 750]
Nombre de matériels défaillants n_i	2	5	3	6	1

1. Compléter le tableau et tracer les fonctions $\hat{\lambda}(t)$, $\hat{f}(t)$, $\hat{R}(t)$ et $\hat{F}(t)$.

Solution

Δt en [h]	[0 , 150]]150 , 300]]300 , 450]]450 , 600]]600 , 750]
n_i	2	5	3	6	1
N_i	17	15	10	7	1
$\hat{\lambda}(t)$	6.66×10^{-4}	18.51×10^{-4}	15.38×10^{-4}	40×10^{-4}	16.66×10^{-4}
$\hat{f}(t)$	6.66×10^{-4}	16.66×10^{-4}	10×10^{-4}	20×10^{-4}	3.33×10^{-4}
$\hat{R}(t)$	1	0.9	0.65	0.5	0.2
$\hat{F}(t)$	0	0.1	0.35	0.5	0.8



CHAPITRE 5 : ORGANISATION DES OPERATIONS DE MAINTENANCE

5.1. Introduction

Quatre méthodes de maintenance seront présentées dans ce chapitre : l'estimation de temps faite par le bureau de méthodes, deux méthodes de planification (ordonnancement) des interventions nommées PERT et GANNT et enfin une méthode de choix des priorités appelée ABC.

5.2. L'estimation du temps alloué à une intervention (méthodes)

La connaissance des temps passés et l'estimation des temps à venir sont des conditions nécessaires à la gestion de maintenance. On peut procéder de trois manières différentes.

5.2.1. Estimation « Au jugé »

Le temps estimé d'une intervention dépend de l'expérience personnelle du technicien préparateur. C'est une méthode certes rapide mais peu précise.

5.2.2. Estimation « Historique »

Dans cette méthode, le temps alloué d'une tâche est estimé par le dépouillement d'un compte rendu semblable effectué antérieurement. La mise en mémoire informatique des historiques permet, à cet effet, une rapidité d'exploitation des données.

5.2.3. Estimation « Analytique »

Pour chaque tâche le préparateur va estimer trois temps :

- T_r : le temps « Réaliste », qui est le temps le plus fréquent.
- T_o : le temps « Optimiste », ou minimal concevable si tout se passe bien.
- T_p : le temps « Pessimiste », ou maximal dans le cas ou si tout se passe mal.

Le temps moyen peut alors se donner par la formule :

$$T_m = \frac{T_o + 4 \times T_r + T_p}{6} \quad (5 - 1)$$

Exemple : Calculer le temps moyen estimé pour le remplacement d'un roulement à bille a contact radiale de type 6205 d'un tour parallèle sachant que les temps estimés sont :

$$T_r = 1 \text{ heure et } 30 \text{ min}, \quad T_o = 1 \text{ heure} \quad \text{et} \quad T_p = 3 \text{ heure}$$

Solution :

$$T_m = \frac{T_o + 4 \times T_r + T_p}{6} = \frac{1 + 4 \times 1,5 + 3}{6} = 1,7 \text{ heure}$$

On peut aussi estimer le temps moyen T_m par la méthode des probabilités. On attribue à chaque estimation une probabilité P_i et on calcule le temps moyen par la relation suivante :

$$T_m = \sum_{i=1}^n P_i \times T_i \quad (5 - 2)$$

Exemple : Pour le même exemple précédent, il y a 10% de chances que $T_1 = 3 \text{ heure}$, 50% de chances qu'il soit $T_2 = 1 \text{ heure et } 30 \text{ min}$ et 40% de chances que $T_3 = 1 \text{ heure}$.

Solution :

$$T_m = \sum_{i=1}^n P_i \times T_i = (0,1 \times 3) + (0,5 \times 1,5) + (0,4 \times 1) = 1,45 \text{ heure}$$

5.3. Méthode ABC de PARETO

5.3.1. Origine de la méthode

Elle est issue des travaux de Wilfredo Pareto (1848-1923) économiste italien né à paris. Il constats en étudiant la répartition de l'impôt foncier aux USA que 15% des contribuables payaient 85% du total. Depuis, cette méthode se nomme loi de PARETO, loi des 15-85 ou 20-80.

5.3.2. Définition et intérêt de la méthode

Elle permet de choisir entre plusieurs problèmes ceux qui devient être traités en priorité. Elle permet donc de distinguer d'une façon claire les éléments importants de ceux qui les sont moins. Elle évite ainsi de ne pas se laisser accaparer par des travaux certes utiles mais de très faible importance par rapport au volume des autres travaux. C'est le cas d'un service maintenance, ou les tâches sont nombreuses et la main d'œuvre est parfois insuffisante. De plus, les technologies récentes coutent cher.

Il convient par conséquent de s'organiser d'une façon rationnelle, ainsi en appliquant la méthode ABC de PARETO on peut remédier à ce problème en déterminant exactement les types d'interventions à mener en priorité.

5.3.3. Méthodologie

Elle consiste à classer les pannes par ordre décroissant de coûts (heurs ou argent). Chaque panne se rapporte à une machine, ou rubrique. Puis à établir un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages des types de pannes cumulés. On obtient ainsi un graphe montrant trois zones :

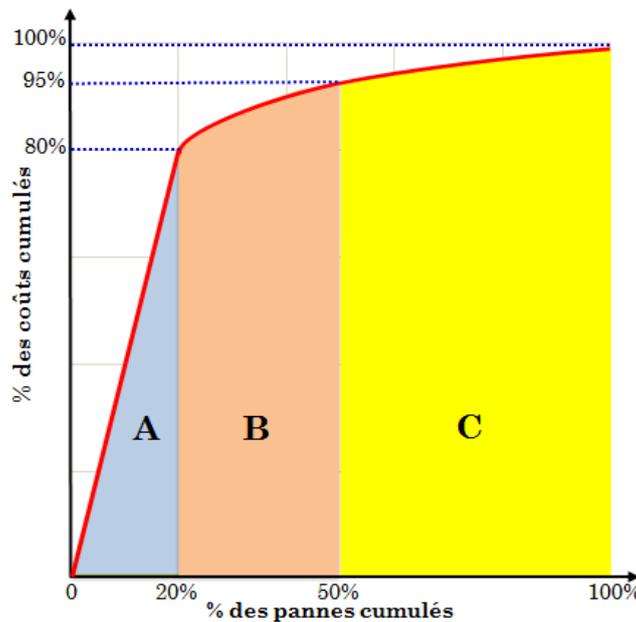


Fig.5.1 La courbe de la méthode ABC.

- **Zone A :** Dans cette zone on constate que 20% des pannes représentent 80% des coûts, c'est la zone de priorité.
- **Zone B :** Dans cette zone, les 30% de pannes suivantes ne coûtent que 15% supplémentaires.
- **Zone C :** Enfin, dans cette zone, les 80% de pannes restantes ne reviennent qu'à 5% des coûts.

Pour construire cette courbe, il convient d'utiliser le tableau ci-dessous :

Numéro de la machine N_i	Classement par ordre décroissant de coûts C_i	Cumul des coûts C_t	% des coûts cumulés $\frac{C_t}{\sum C_t}$	Nombre de pannes par	Cumul des pannes N_{pt}	% des pannes cumulés $\frac{N_{pt}}{\sum N_{pt}}$

Les résultats obtenus vont ensuite permettre de prendre les décisions en termes de maintenance pour chaque classe :

- On se préoccupe davantage des éléments de la classe A (éléments prioritaires), on organise une politique basée sur une maintenance préventive systématique et conditionnelle (vibration, bruit, température, huile, ...etc.) et une surveillance accrue des éléments fragile (éléments clés). On améliore donc leur fiabilité et on prévoit des PDR avec une plus grande attention ;
- Pour les éléments de la classe B, on sera moins exigeant sur la politique et les méthodes de maintenance utilisées ;
- Enfin, pour ceux de la classe C, on n'exige pas ou peu de maintenance préventive.

5.4. Méthode PERT

5.4.1. Origine de la méthode

L'acronyme PERT (Program Evaluation and Review Technique, soit Évaluation et examen des projets) désigne un programme utilisé par diverses entreprises depuis plus de 50 ans. Initialement développée en 1958 pour l'U.S. Navy Special Projects Office (marine de guerre américaine), la méthode PERT est un système de gestion de projet conçu pour faciliter la planification de projets complexes à grande échelle. La technique commence par une évaluation générale du programme, et elle permet une analyse approfondie de tous les projets avant leur lancement. Elle a été utilisée pour la conception du missile Polaris, ainsi que pour les Jeux olympiques d'hiver de Grenoble de 1968. Des concepts de gestion similaires ont été développés et affinés depuis, mais PERT fut la première technique de ce type. Elle comprend trois méthodes : PERT temps, PERT charge et PERT coût.

5.4.2. Définitions

- **Tâche** : est le déroulement dans le temps d'une action, elle permet au projet d'avancer vers son état final. On attribue une lettre à chaque tâche afin d'alléger le schéma. La tâche a des propriétés d'ordre temporel qui qualifient le temps de réalisation : la durée, exprimée en minutes ou bien heures, jours, semaines, mois, etc. une tâche est représentée par une flèche, précisée par son nom et sa durée (Fig.5.2). une tâche ne peut être représentée qu'une seule fois,

inversement, une flèche ne peut représenter qu'une seule tâche. La longueur, la courbure et la forme des flèches sont sans signification particulière.

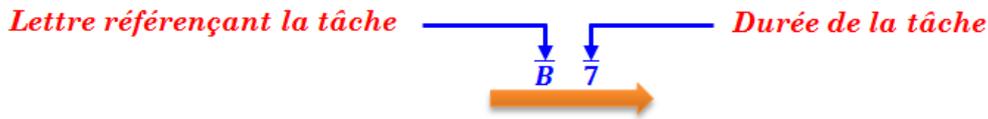


Fig.5.2 La représentation d'une tâche.

- **Étape :** indique le début et/ou la fin d'une tâche. On numérote les étapes afin de clarifier le schéma. L'étape a des propriétés d'ordre temporel : dates au plus tôt et au plus tard, exprimées en minutes, heures, etc. Une étapes est représentée par un rond, découpé en 3 zones, précisé par son numéro, ainsi que ses dates au plus tôt et au plus tard (Fig.5.3).

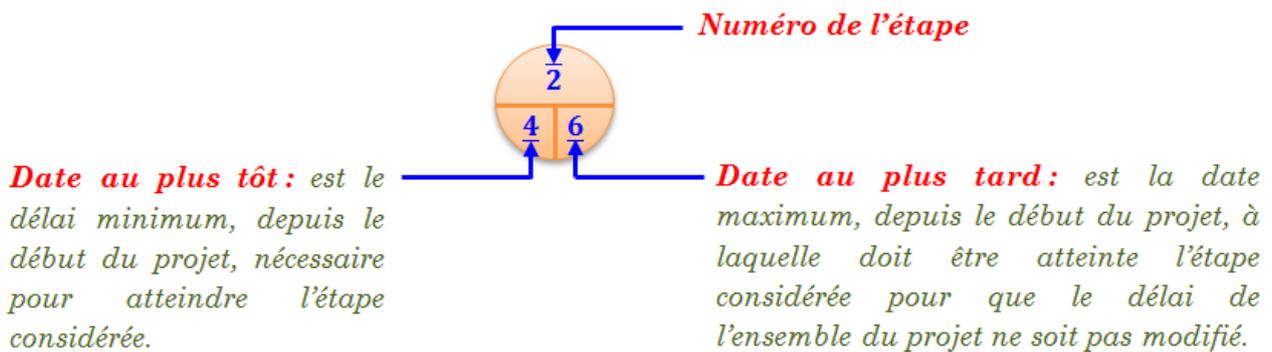


Fig.5.3 La représentation d'une étapes.

- **Problème de battement :** Pour les tâches qui ne sont pas sur le chemin critique, un retard peut être pris sans pénaliser les délais de l'intervention. On définit alors pour chaque tâche des délais « au plus tôt » et « au plus tard ». Le retard (ou la marge) permis peut se calculer par les expressions suivantes :

$$\text{Marge libre } (ml_{ij}) = \text{date au plus tôt}(j) - \text{date au plus tôt}(i) \quad (5 - 3)$$

$$\text{Marge totale } (mt_{ij}) = \text{date au plus tard}(j) - \text{date au plus tôt}(i) \quad (5 - 4)$$

- **Réseau :** est l'ensemble des tâches et des étapes forment l'intégralité de la planification du projet (on parle aussi de diagramme de PERT). Deux tâches qui se succèdent immédiatement dans le temps sont représentées par deux flèches qui se suivent, séparées par une étape (Fig.5.4). Les différentes

propriétés temporelles (durée, date, etc.) doivent impérativement être exprimées suivant la même unité et la même échelle.

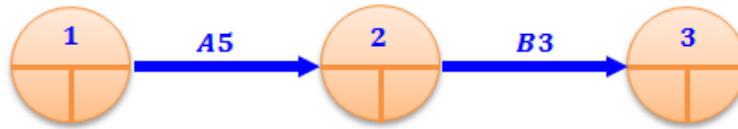


Fig.5.4 La représentation d'un réseau PERT.

5.4.3. Règles de représentation graphique

- Un réseau possède toujours une seule étape de début ainsi qu'une et une seule étape de fin.
- Toute tâche a au moins une étape de début et au moins une étape de fin, une tâche ne peut démarrer que si la tâche qui précède est terminée.
- On ne peut pas avoir deux tâches différentes qui ont à la fois même étape de début et même étape de fin.
- Deux tâches qui commencent en même temps et s'exécutent en même temps sont dites simultanées, et sont représentées chacune par une flèche dont le point de départ est une seule et même étape.

Exemple : Les tâches B et C sont simultanées et suivent la tâche A, B et C ne pourront débiter que lorsque A sera complètement achevée (Fig.5.5).

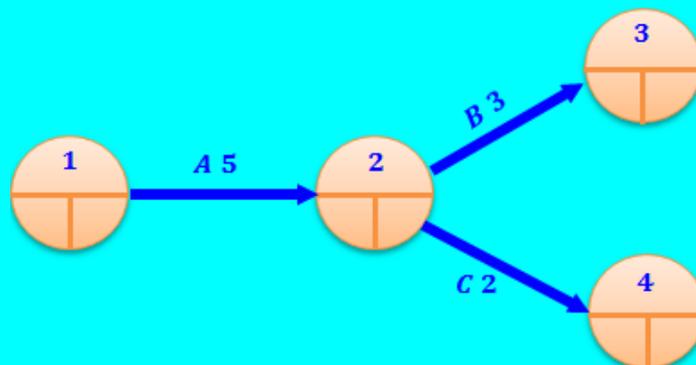


Fig.5.5 représentation de tâches simultanées.

- Deux tâches qui s'exécutent en même temps et s'achèvent en même temps, sont dites convergentes et sont représentées chacune par une flèche dont le point d'arrivée est une seule et même étape.

Exemple : Les tâches A et B sont convergentes et précèdent la tâche C, C ne pourra débuter que lorsque A et B seront complètement achevées (Fig.5.6).

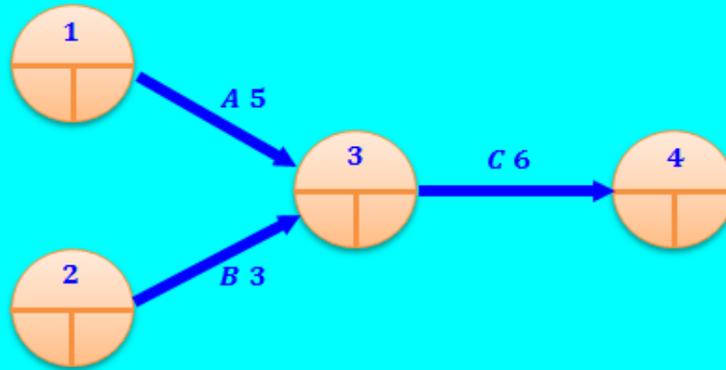


Fig.5.6 représentation de tâches simultanées.

- Lorsque deux tâches convergentes précèdent une ou plusieurs tâches en commun, et que l'une des ces deux tâches convergentes précède également une tâche (ou plusieurs) que l'autre tâche convergente ne précède pas, il est nécessaire d'avoir recours à une tâche fictive. L'intérêt de cette tâche est de préciser la dépendance chronologique qu'il existe entre certaines tâches de manière qualitative (avant/après) mais pas de manière quantitative, elle possède donc une durée qui est considérée comme nulle, et n'induit aucun retard sur le délai final. Cette tâche est représentée sous la forme d'un trait en tirets pour lequel on a maintenu l'extrémité fléchée qui oriente l'arc de son étape début vers son étape fin et sans aucune indication de lettre (ou nom).

Exemple : Les tâches A et C sont convergentes et précèdent la tâche D, C ne précède que D, mais, en revanche, A précède non seulement D, mais aussi B. On précise alors cette dernière condition à l'aide d'une tâche (Fig.5.7).

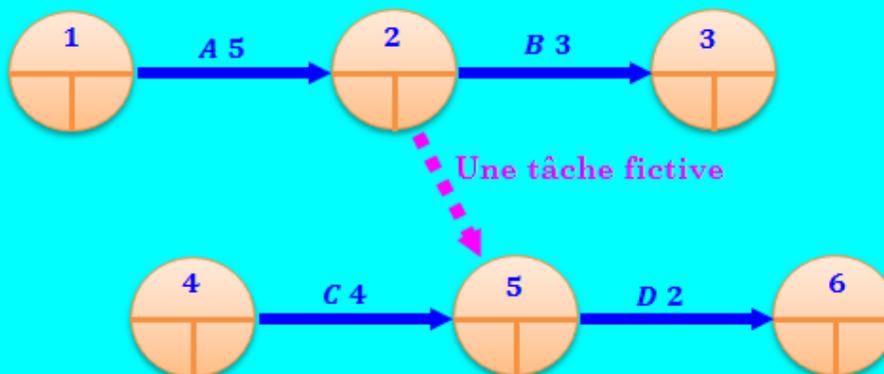


Fig.5.7 représentation d'une tâche fictive.

5.4.4. La détermination du chemin critique (CPM)

Le chemin critique indique quelles sont les tâches à successivement observer au cours de la mise en œuvre du projet afin de surveiller les éventuels retards. Le but est de détecter et d'agir alors rapidement en conséquence afin de minimiser leur impact sur la durée de l'ensemble du projet. On parle de « chemin » car il part de l'étape initiale et même à l'étape finale via une suite de différentes tâches. Il est dit « critique » car tout retard pris sur l'une des tâches constituant ce chemin aura une incidence directe sur la date d'achèvement du projet, celui-ci sera retardé d'autant que la tâche est elle-même retardée. Pour savoir quel est le chemin critique et donc aussi quelles tâches observer, il suffit de répertorier toutes les tâches ayant une marge nulle. La mise en avant de ces tâches détermine d'elle-même le chemin critique.

5.4.5. Diagramme de GANTT

C'est une représentation sous forme de lignes des tâches à entreprendre, elle constitue le planning. Les tâches du chemin critique sont représentées par des un rectangle plein, les autres tâches par une lignes et les marges par un rectangle hachuré.

5.4.6. Étude d'un exemple

Afin de mieux comprendre le principe CPM (Critical Path Method), on propose l'exemple suivant : dans un service de maintenance, on veut procéder à une intervention qui comprend cinq tâches (A, B, C, D et E), le service méthode a estimé le temps alloué à chacune d'elles et a établi le tableau ci-dessous

Tâches	Tâches antécédentes	Durée en heure
A	-	3
B	A	6
C	B	2
D	A	5
E	D,C	2

Tableau.5.1 Les cinq tâches de l'intervention.

Etablir la matrice des antériorités et le réseau PERT. Et rechercher le chemin critique et déterminer les dates au plus tôt et au plus tard. Enfin tracer le diagramme de Gantt.

La lecture de ce tableau est très facile, par exemple : la tâche A doit être exécutée en premier dans un temps de 3 heures, la tâche D ne commencera que si A est finie son temps alloué est de 5 heures, quand à la tâche E, elle ne commencera que si les tâches D et C soient finies. A partir de ce tableau, on établit la matrice d'antériorité. Pour ce faire, chaque contrainte est notée par 1 dans la matrice, par exemple : pour exécuter B il faut finir A, on met 1 devant la ligne B et la colonne A. après l'obtention de la matrice d'antériorité, on barre les lignes et les colonnes qui n'ont pas d'antériorité (dans notre exemple il s'agit de la tâche A) de nouveaux zéro apparaissent et de cette façon les niveaux s'en déduisent.

Tâches	A	B	C	D	E		Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
A	0	0	0	0	0		0_A	0	0	0
B	1	0	0	0	0		1	0_B	0	0
C	0	1	0	0	0		1	1	0_C	0
D	1	0	0	0	0		1	0_D	0	0
E	0	0	1	0	0		2	2	1	0_E

Tableau.5.2 la matrice d'antériorité avec les niveaux des tâches.

Cette matrice nous permet alors d'établir un planning de l'intervention comme suit :

- La première tâche à faire est la tâche A;
- Les tâches B et D commenceront en même temps après la fin de la tâche A;
- Exécuter la tâche C enfin la tâche E.

Ce planning se traduit par le réseau PERT suivant la Fig.5.8 avec le tableau des dates au plus tôt et au plus tard.

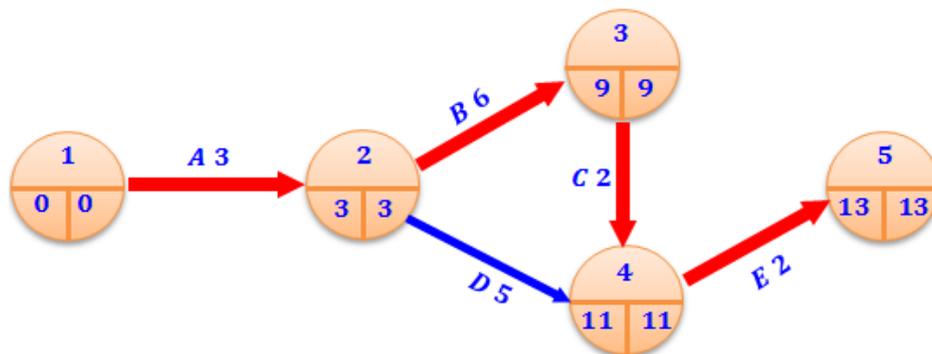


Fig.5.8 Réseau PERT de l'exemple précédent.

Tâches	Début		Fin	
	Au plus tôt	Au plus tard	Au plus tôt	Au plus tard
A	0	0	3	3
B	3	3	9	9
C	9	9	11	11
D	3	6	8	11
E	11	11	13	13

Tableau.5.3 Les dates au plus tôt et au plus tard pour chaque tâches.

Pour l'exemple précédent le diagramme de GANTT aura la forme suivante :

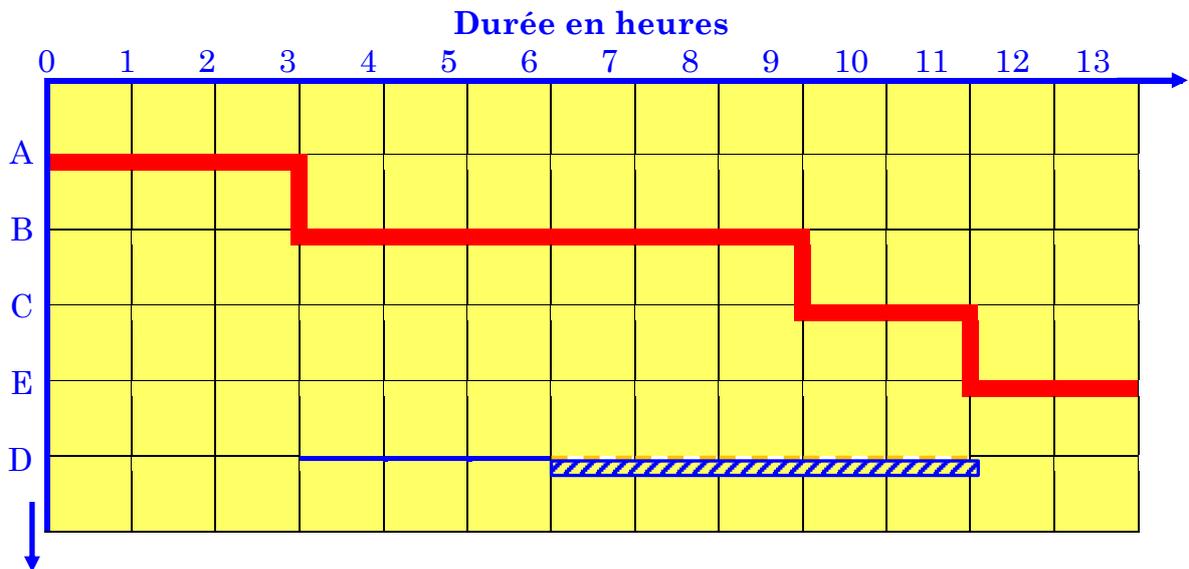


Fig.5.9 Diagramme de GANTT de l'exemple précédent.

5.5. Exercices d'applications

Exercice 01

Une série d'interventions sur des moto-variateurs a donné les historiques suivants :

Temps d'arrêt [h]	1	2	3	4	5	7	10	13	15	48
Fréquence[h]	2	10	7	3	2	1	2	1	2	1

Tableau.5.4 Historique d'une série d'interventions

Calculer le temps moyen de cette série d'interventions

Solution

D'après les données historiques de la série d'interventions sur des moto-variateurs, on trouve :

- $T_r = 2$ heure : le temps « Réaliste », qui est le temps le plus fréquent.
- $T_o = 1$ heure : le temps « Optimiste », ou minimal concevable si tout se passe bien.
- $T_p = 48$ heure : le temps « Pessimiste », ou maximal dans le cas où si tout se passe mal.

$$T_m = \frac{T_o + 4 \times T_r + T_p}{6} = \frac{1 + 4 \times 2 + 48}{6} = 9,5 \text{ heure}$$

Exercice 02

Une entreprise désire augmenter sa productivité en diminuant les pannes coûteuses. Pour cela, elle demande au service maintenance de définir des priorités sur les améliorations à apporter. L'historique des avaries relevées sur un robot de peinture représenté ci-dessous.

N° de machine	Nombre d'heures	Nombres de
1	100	4
2	32	15
3	50	4
4	19	14
5	4	3
6	30	8
7	40	12
8	80	2
9	55	3
10	150	5
11	160	4
12	5	3
13	10	8
14	20	8

Tableau.5.5 L'historique des avaries relevées sur un robot de peinture.

Tracer la courbe ABC et déterminer les machines prioritaires pour le service maintenance.

Solution

Numéro de machine	Temps d'arrêt dans l'ordre décroissant	Cumul du temps d'arrêt (h)	% Cumul du temps	Nombre de pannes	Cumul de pannes	% Cumul de pannes
11	160	160	21,19	4	4	4,30
10	150	310	41,06	5	9	9,68
1	100	410	54,30	4	13	13,98
8	80	490	64,90	2	15	16,13
9	55	545	72,19	3	18	19,35
3	50	595	78,81	4	22	23,66
7	40	635	84,11	12	34	36,56
2	32	667	88,34	15	49	52,69
6	30	697	92,32	8	57	61,29
14	20	717	94,97	8	65	69,89
4	19	736	97,48	14	79	84,95
13	10	746	98,81	8	87	93,55
12	5	751	99,47	3	90	96,77
5	4	755	100	3	93	100

Tableau.5.6 Classement des pannes par ordre décroissant de coûts (heurs).

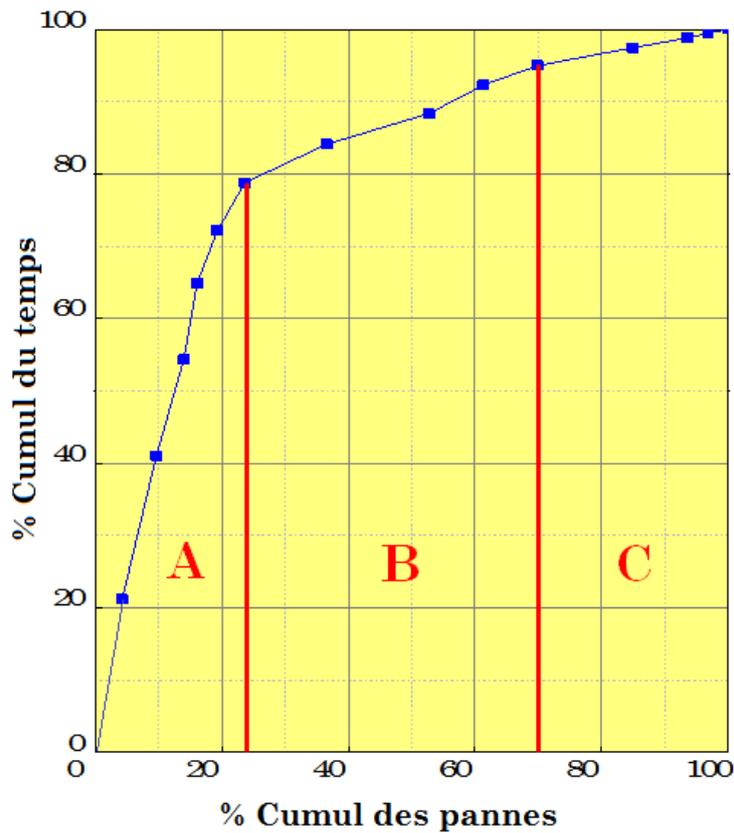


Fig.5.10 la courbe ABC.

Exercice 3

Soient les contraintes d'antériorité pour trois projets :

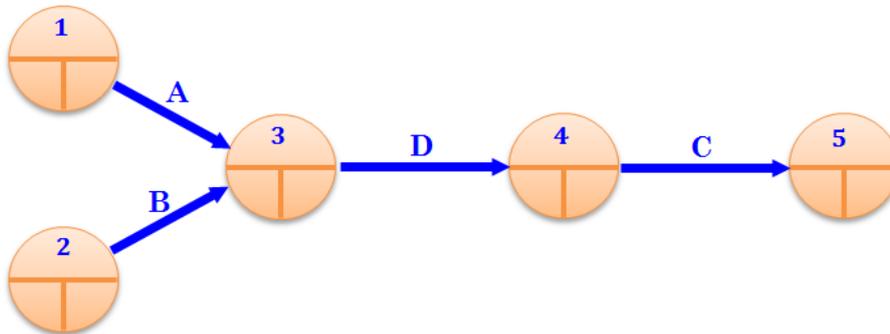
- Projet 1 : les tâches A et B sont indépendantes, la tâche D est postérieure à la réalisation de A et B, ainsi que la tâche C doit succéder à D.
- Projet 2 : la tâche B commence après A, la tâche C ne peut démarrer qu'après la fin de B. enfin, la tâche D doit être postérieur aux tâches A, B et C.
- Projet 3 : A, B et C précèdent le début de D. Ensuite, E succède à B.

Représenter schématiquement ces contraintes en respectant la méthode PERT pour les trois projets.

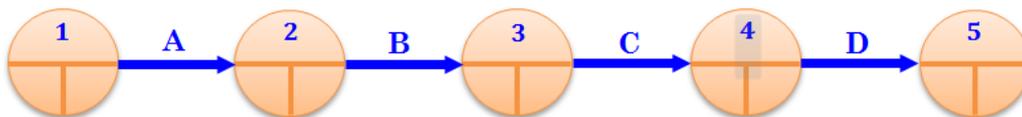
Solution

La représentation des contraintes pour les trois projets :

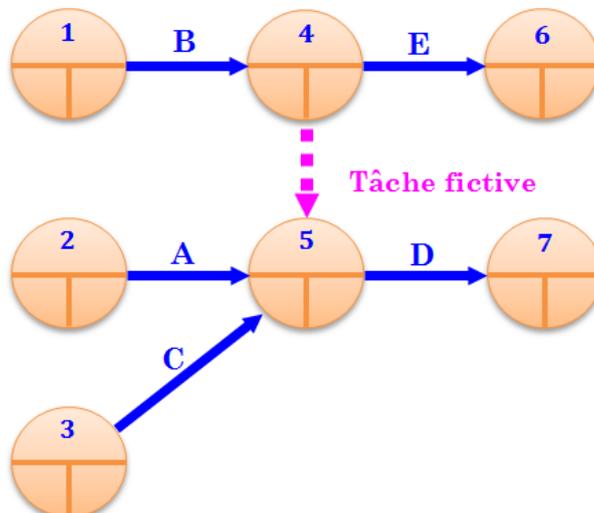
- Projet 1



- Projet 2



- Projet 3



Exercice 04

après usinage sont données dans le tableau ci-dessous. Le service d’ordonnancement demande d’établir un planning permettant de visualiser l’enclenchement des tâches.

Tâches	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Antériorités	-	A	A	B	B	C-I-D	E-	-	H	H	I	J-K
Durée [h]	3	1	5	6	4	2	9	5	8	2	3	7

Tableau.5.7 Les opérations de maintenance sur une unité de nettoyage de pièces.

1. Etablir la matrice des antériorités et le reseau PERT. Et Rechercher le chemin critique et déterminer les dates au plus tôt et au plus tard. Enfin Tracer le diagramme de GANTT.

Solution

la matrice des antériorités représentée par le tableau suivant nous permet alors d’établir un planning de l’intervention

Tâches	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	N1	N2	N3	N4	N5
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 _A	0	0	0	0
B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0 _B	0	0	0
C	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0 _C	0	0	0
D	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0 _D	0	0
E	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0 _E	0	0
F	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3	3	1	0 _F	0
G	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	0 _G
H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 _H	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0 _I	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0 _J	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0 _K	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	2	1	0 _L	0

Tableau.5.8 la matrice des antériorités

Le diagramme de de PERT détermine l’agencement de chacune des tâches en fonction les unes des autres, on représente chaque tâche par un bloc (étape) contenant les dates au plus tôt et au plus tard ainsi que le début et la fin de chaque tâche. On obtient le diagramme suivant :

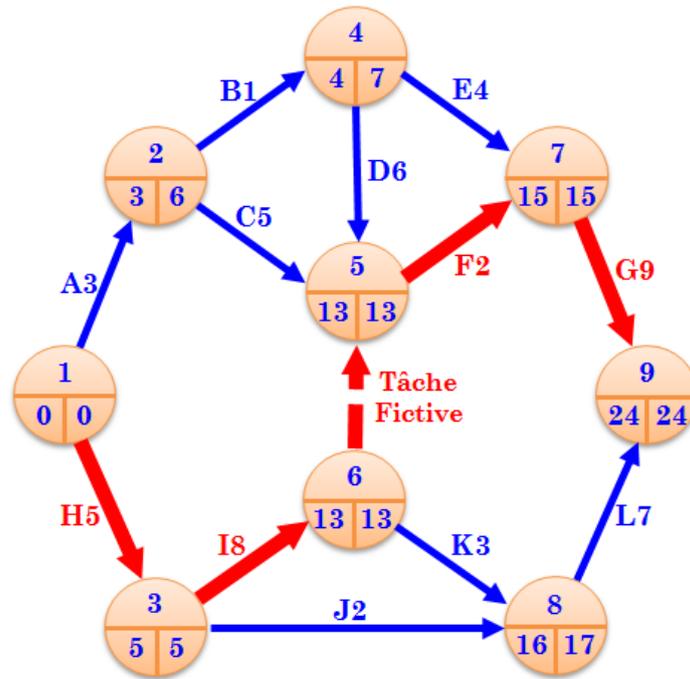


Fig.5.11 Le diagramme de de PERT.

Le diagramme de GANTT détermine la planification et l’agencement de chacune des tâches en fonction de leurs durées. On place la liste des taches en ordonnée et leurs durées en abscisse, il se construit simplement en suivant les différents niveaux du tableau d’avancement des tâches. On obtient le diagramme suivant :

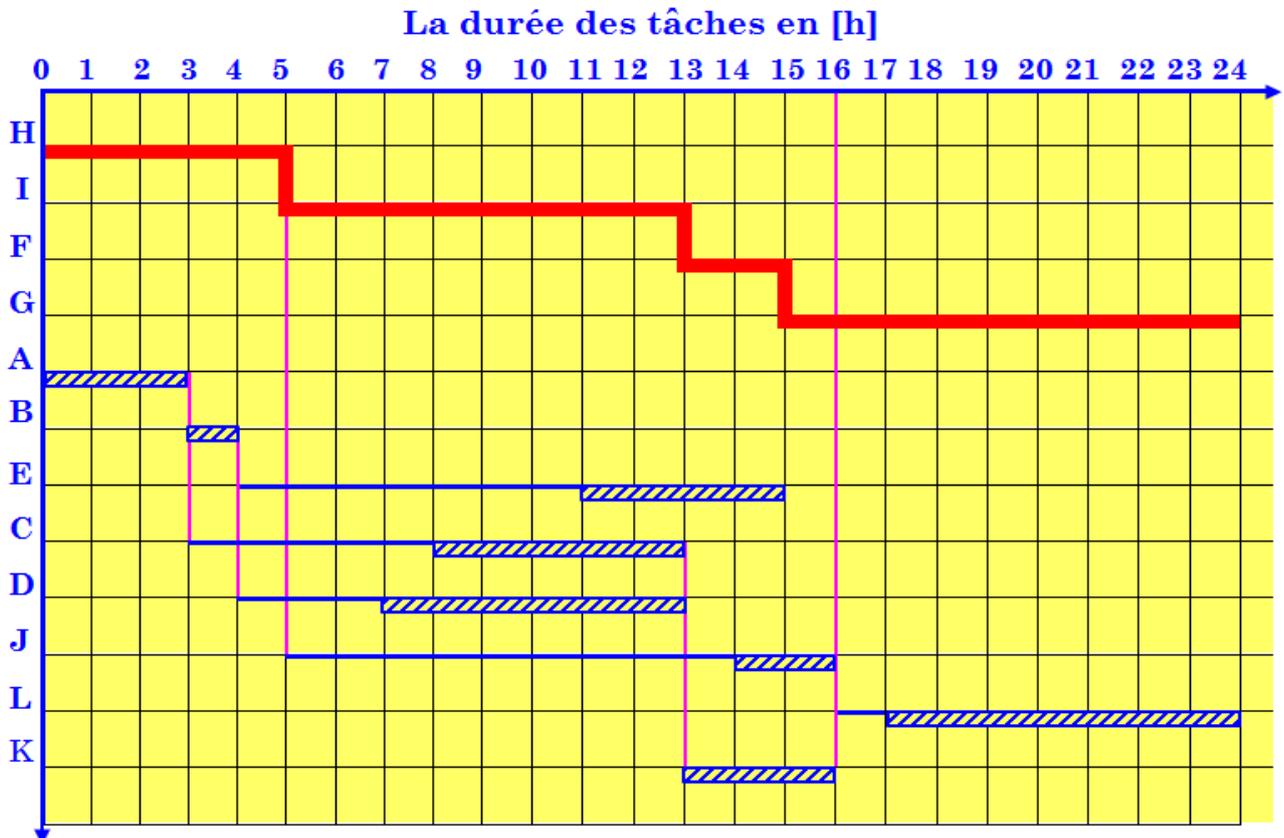


Fig.5.12 Le diagramme de GANTT.

SUJET D'EXAMEN « 01 »**Exercice 01 (06 points)**

Répondre Vrai (V) ou Faux (F)

- La maintenance permet d'organiser, prévoir, planifier et gérer les opérations d'entretiens.
- Aujourd'hui, la maintenance a laissé la place à l'entretien.
- La fonction méthode sert à planifier le jour J et l'heure H des débuts des travaux de maintenance.
- La maintenance corrective permet de éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation.
- Changer les filtres des moteurs des chargeurs tous les 500 Km est un acte de maintenance préventive.
- Inspection est une action de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie.
- Les matériels non liés à la production sont les matériels tels que tout arrêt ou mauvais fonctionnement provoque un ralentissement ou une mauvaise qualité de la production.
- Le dossier machine est la référence permettant la connaissance intime d'un équipement, son origine, ses techniques et ses performances.
- Défaillance soudaine due à une évolution progressive des caractéristiques d'un bien.
- Défaillance critique empêche l'accomplissement de la mission et fait encourir des risques de blessures à des personnes ou des dégâts très importants au matériel.
- Une stratégie de maintenance doit être fondée sur la connaissance technologique des biens concernés et leurs conditions d'exploitation dans le système productif.
- L'historique est un fichier relatif à chaque machine inventoriée, décrivant chronologiquement toutes les interventions préventives subies par la machine depuis sa mise en service.

Exercice 02 (08 points)

Les opérations de maintenance sur une unité de nettoyage de pièces après usinage sont données dans le tableau ci-dessous. Le service d'ordonnancement demande d'établir un planning permettant de visualiser l'enclenchement des tâches.

Tâches	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Antériorités	G	J	B	A-C-K	F	-	F	G	E-J	F	B-H-I
Durée [(jours)]	3	4	6	3	5	2	3	2	2	4	5

2. Etablir la matrice des antériorités et le réseau PERT.
3. Rechercher le chemin critique et déterminer les dates au plus tôt et au plus tard, ainsi tracer le diagramme de Gantt.

Exercice 03 (06 points)

Une machine de production, dont la durée totale de fonctionnement est de 2000 heures, se compose de quatre sous-systèmes A, B, C et D montés en série et ayant les TBF respectifs suivants :

- $MTBF_A = 2500$ heures, $MTBF_B = 4200$ heures, $MTBF_C = 5000$ heures et $MTBF_D = 9500$ heures.
1. Déterminons les taux de pannes et le MTBF global.
 2. Quelle est la probabilité pour que le système parvienne sans panne jusqu'à 4000 heures.

SOLUTION D'EXAMEN « 01 »

Exercice 01

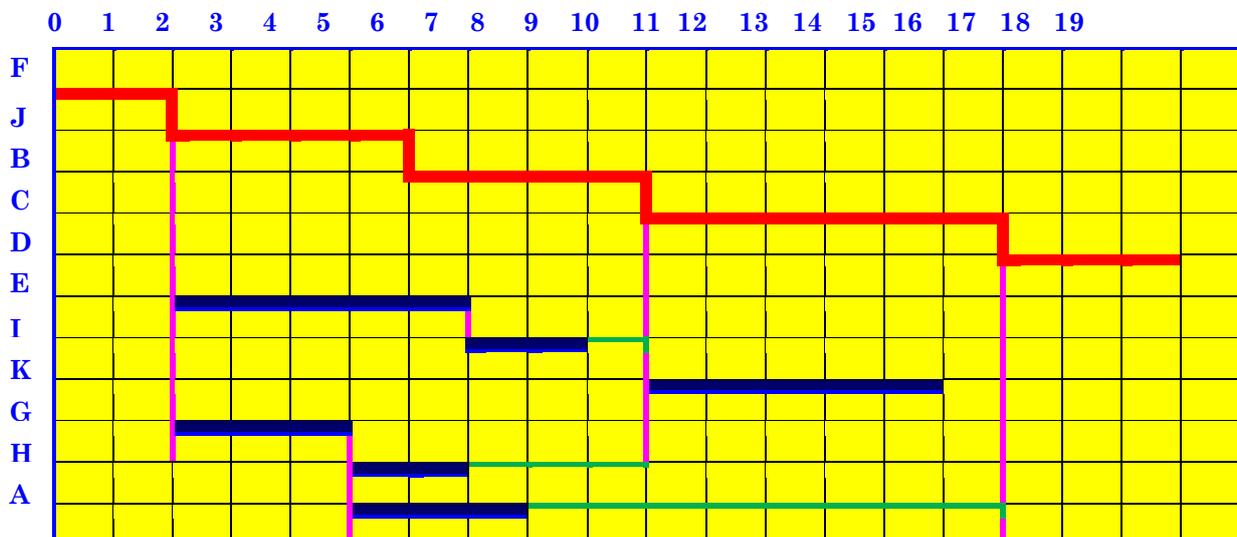
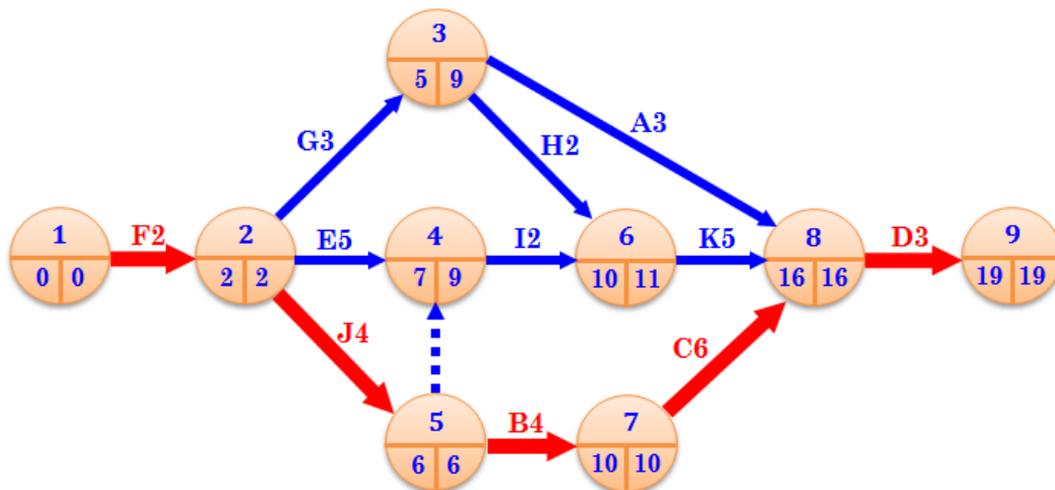
- La maintenance permet d'organiser, prévoir, planifier et gérer les opérations d'entretiens. ☑
- Aujourd'hui, la maintenance a laissé la place à l'entretien. ☒
- La fonction méthode sert à planifier le jour J et l'heure H des débuts des travaux de maintenance. ☑
- La maintenance corrective permet d'éviter les défaillances des matériels en cours d'utilisation. ☒
- Changer les filtres des moteurs des chargeurs tous les 500 Km est un acte de maintenance préventive. ☑
- Inspection est une action de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. ☑
- Les matériels non liés à la production sont les matériels tels que tout arrêt ou mauvais fonctionnement provoque un ralentissement ou une mauvaise qualité de la production. ☒
- Le dossier machine est la référence permettant la connaissance intime d'un équipement, son origine, ses techniques et ses performances. ☑
- Défaillance soudaine due à une évolution progressive des caractéristiques d'un bien. ☒
- Défaillance critique empêche l'accomplissement de la mission et fait encourir des risques de blessures à des personnes ou des dégâts très importants au matériel. ☑
- Une stratégie de maintenance doit être fondée sur La connaissance technologique des biens concernés et leurs conditions d'exploitation dans le système productif. ☑
- L'historique est un fichier relatif à chaque machine inventoriée, décrivant chronologiquement toutes les interventions préventives subies par la machine depuis sa mise en service. ☒

Exercice 02

- la matrice des antériorités représentée par le tableau suivant nous permet alors d'établir un planning de l'intervention

Tâches	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	N1	N2	N3	N4	N5
A	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0 _A	0	0
B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0 _B	0	0
C	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0 _C	0
D	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	3	2	0 _D
E	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0 _E	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 _F	0	0	0	0
G	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0 _G	0	0	0
H	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0 _H	0	0
I	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	2	0 _I	0	0
J	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0 _J	0	0	0
K	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3	3	3	0 _K	0

- On obtient le diagramme PERT, ainsi que le chemin critique suivant :



Exercice 03

1. Le taux de panne et la fiabilité de l'ensemble :

$$\lambda_A = \frac{1}{\text{MTBF}_A} = \frac{1}{2500} = 0,000400 \text{ panne par heure} = 0,400 \text{ panne pour 1000 heures.}$$

$$\lambda_B = \frac{1}{\text{MTBF}_B} = \frac{1}{4200} = 0,000238 \text{ panne par heure} = 0,238 \text{ panne pour 1000 heures.}$$

$$\lambda_C = \frac{1}{\text{MTBF}_C} = \frac{1}{5000} = 0,000200 \text{ panne par heure} = 0,200 \text{ panne pour 1000 heures.}$$

$$\lambda_D = \frac{1}{\text{MTBF}_D} = \frac{1}{9500} = 0,000105 \text{ panne par heure} = 0,105 \text{ panne pour 1000 heures.}$$

Donc :

$$\lambda_G = \lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \lambda_D$$

$$\lambda_G = 0,000400 + 0,000238 + 0,000200 + 0,000105 = 0,000943 \text{ panne par heure.}$$

Alors la fiabilité globale R_G de la machine pour les 2000 heures s'écrit :

$$R_G = e^{-\lambda_G \times t} = e^{-0,000943 \times 2000} = 0,1516 = 15,16 \%$$

De la on trouve le MTBF de l'ensemble par l'équation suivante :

$$\text{MTBF}_G = \frac{1}{\lambda_G} = \frac{1}{0,000943} = 1060,44 \text{ heures.}$$

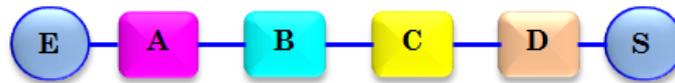
2. La probabilité pour que le système parvienne sans panne jusqu'à 4000 heures est :

$$R_G(5000) = e^{-0,000943 \times 4000} = 0,023 = 2,3 \%$$

SUJET D'EXAMEN « 02 »

Exercice 01(04 points)

Soit quatre composants connectés en série dont les taux de panne pour 1 000 heures sont respectivement : 0,042 ; 0,046 ; 0,052 et 0,057. Quelle est la probabilité pour que le dispositif fonctionne sans défaillance jusqu'à 4 000 heures. Déterminer le MTBF de l'ensemble.



Exercice 02 (08 points)

Une entreprise désire augmenter sa productivité en diminuant les pannes sérieuses. Pour cela elle demande au service de maintenance de définir des priorités sur les améliorations à apporter à la chaîne de production. Pour ce faire, le responsable d'entretien fait appel à l'historique des pannes enregistrées sur une période de 2 ans dans l'atelier pour chaque type de matériel. Les données sont regroupées dans le tableau suivant :

Types de matériel	Temps de réparation [h]	Nombre de pannes
Chaudière	100	2
Compresseur d'air	85	10
Vanne manuelle	175	6
Pompe centrifuge	145	2
Vanne automatique	60	7
Moteur électrique	52	6
Réducteur de vitesse	36	15
Echangeurs	200	2
Système de transmission	12	20
Pompe à lobes	250	5

1. A partir de l'historique donné ci-dessus, et en respectant les étapes de la méthode ABC, tracer le diagramme de Pareto et déterminer sur le diagramme les zones A, B et C.

Exercice 03 (08 points)

Une usine produit des machines. On étudie la fiabilité de 35 de ces machines dès leur mise en service. Pour cela on relève leur temps de bon fonctionnement (TBF) en l'absence de toute réparation.

Intervalles Δt [h]	0 à 250	250 à 500	500 à 750	750 à 1000	1000 à 1250	1250 à 1500
Nombre de matériels défectueux	1	8	5	10	4	2

1. Calculer et tracer les courbes des fonctions $\hat{\lambda}(t)$, $\hat{f}(t)$, $\hat{F}(t)$ et $\hat{R}(t)$.

SOLUTION D'EXAMEN « 02 »

Exercice 01(4 points)

A 4000 heures correspond $t = 4$ (λ est exprimé pour 1000 heures).

$$R_S(4) = e^{-(0,042+0,046+0,052+0,057) \times t} = e^{-(0,197) \times 4} = 0,4573 = 45,73\%$$

Le taux de défaillance de l'ensemble est :

$$\lambda_S = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 0,042 + 0,046 + 0,052 + 0,057 = 0,197 \text{ défaillance/heure}$$

Soit un taux de défaillance $\lambda_S = 0,197$ défaillance/heure pour 1000 heures.

Le MTBF de l'ensemble est :

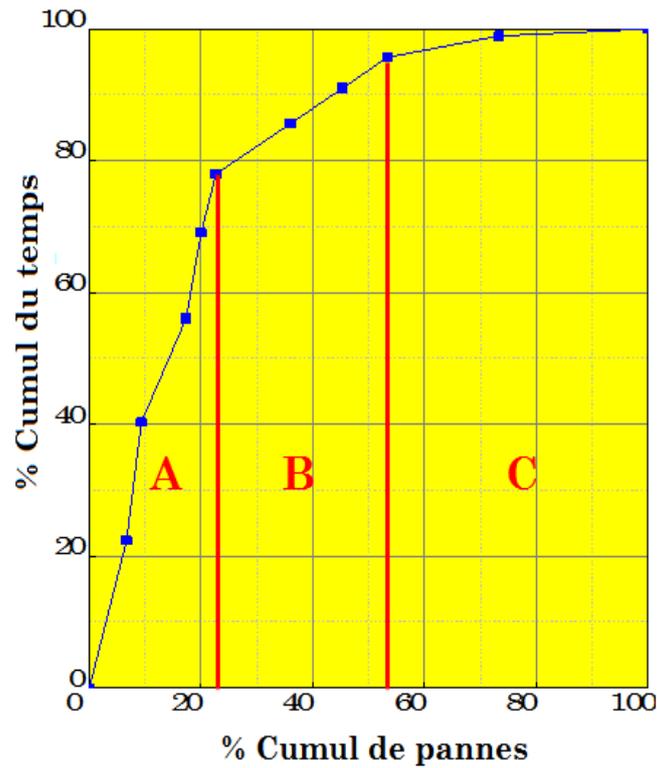
$$MTBF = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4} = \frac{1}{0,042 + 0,046 + 0,052 + 0,057} = 5,07 \text{ heure.}$$

Soit un temps moyen entre défaillances d'environ 5000 heures.

Exercice 02

Pour construire la courbe ABC, il convient d'utiliser le tableau ci-dessous :

Types de matériel	Temps d'arrêt dans l'ordre décroissant (h)	Cumul du temps d'arrêt (h)	% Cumul du temps	Nombre de pannes	Cumul de pannes	% Cumul de pannes
Pompe à lobes	250	250	22,42	5	5	6,66
Echangeurs	200	450	40,35	2	7	9,33
Vanne manuelle	175	625	56,05	6	13	17,33
Pompe centrifuge	145	770	69,05	2	15	20
Chaudière	100	870	78,02	2	17	22,66
Compresseur d'air	85	955	85,65	10	27	36
Vanne automatique	60	1015	91,03	7	34	45,33
Moteur électrique	52	1067	95,69	6	40	53,33
Réducteur de vitesse	36	1103	98,92	15	55	73,33
Système de transmission	12	1115	100	20	75	100

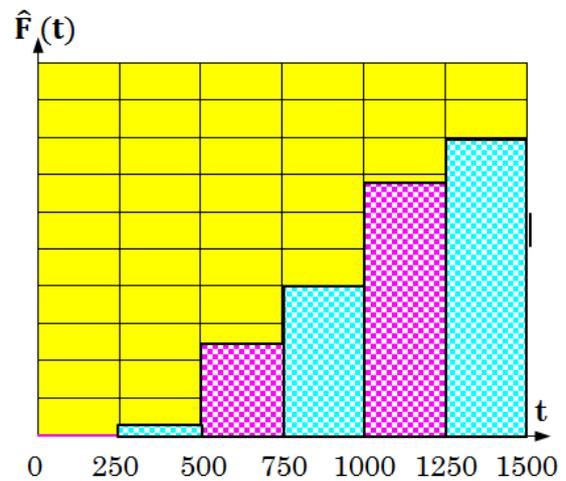
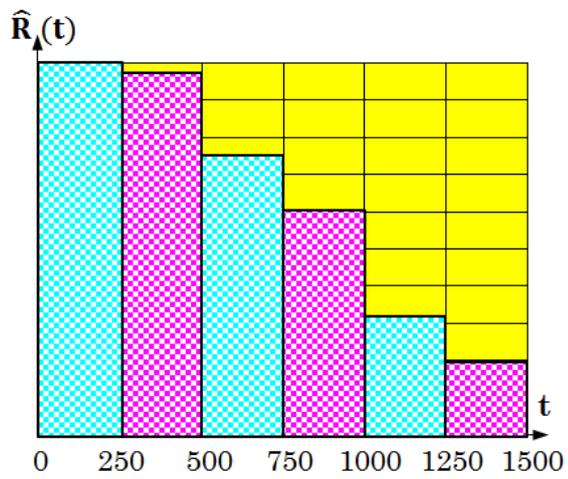
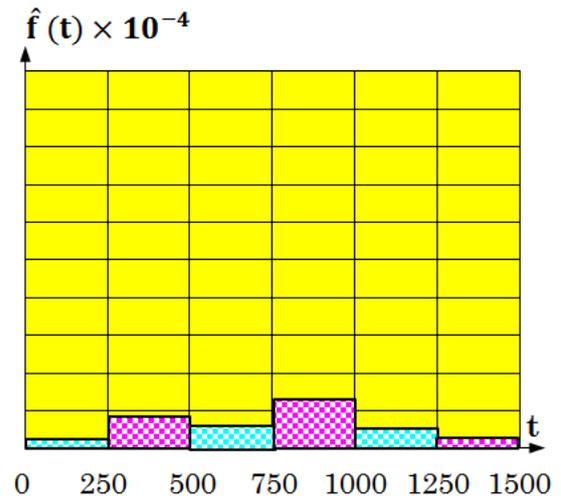
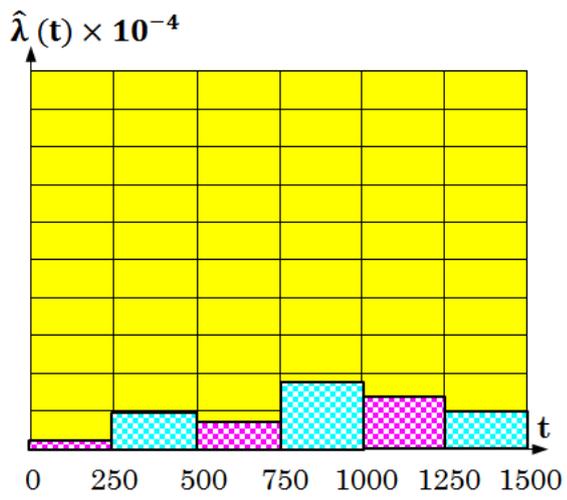


Exercice 03

Pour construire le tableau ci-dessous, on utilise les formules suivantes pour chaque intervalle de temps Δt :

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n_i}{N_i \times \Delta t_i} \quad \hat{f}(t) = \frac{n_i}{N_0 \times \Delta t_i} \quad \hat{F}(t) = 1 - \frac{N_i}{N_0} \quad \hat{R}(t) = 1 - \hat{F}(t)$$

Intervalles Δt [h]	0 à 250	250 à 500	500 à 750	750 à 1000	1000 à 1250	1250 à 1500
n_i	1	8	5	10	4	2
N_i	35	34	26	21	11	7
$\hat{\lambda}(t) \times 10^{-4}$	1,14	9,41	7,69	19,04	14,54	11,42
$\hat{f}(t) \times 10^{-4}$	1,14	9,14	5,71	11,42	4,57	2,28
$\hat{R}(t)$	1	0,98	0,75	0,6	0,32	0,2
$\hat{F}(t)$	0	0,02	0,25	0,4	0,68	0,8



SUJET D'EXAMEN « 03 »**Exercice 01 (05 points)**

Cochez la bonne réponse -Certaines questions admettent plusieurs réponses.

1. Quel est l'objectif de la maintenance industrielle ?
 - Réparer un bien pour obtenir une longévité maximale.
 - Maintenir un bien en état d'assurer un service déterminé.
 - Obtenir d'un bien qu'il ne tombe jamais en panne
 - Aucune réponse ne convient.
2. Quels sont les deux types de maintenance ?
 - Fixe et variable.
 - Lourde et continue.
 - Corrective et préventive
 - Active et passive.
3. La maintenance corrective est effectuée.
 - Quand la production libère la machine.
 - Quand la possibilité de panne a été détectée.
 - Aucune réponse ne convient.
 - Après l'apparition d'une défaillance.
4. Quel est le but de la maintenance préventive ?
 - Eviter une panne par une intervention préalable.
 - Détecter d'où vient la panne.
 - Déterminer avec précision quand la défaillance va survenir.
 - Aucune réponse ne convient.
5. Quels objectifs sont liés par la maintenance ?
 - Efficacité et coûts.
 - Temps des réparations et planning.
 - Temps de bon fonctionnement et non conformités.
 - Aucune réponse ne convient.

6. Qu'est-ce que la maintenabilité ?

- La capacité à être rapidement dépanné.
- La capacité à moins nécessiter de maintenance préventive.
- La capacité de ne pas présenter de défaillance.

7. Qu'est-ce que la fiabilité ?

- La capacité de ne pas avoir de défaillance.
- La capacité à produire constamment.
- Posséder une disponibilité importante.

8. Le rôle de la maintenance est de :

- Entretenir les machines.
- Maintenir les machines en état de production.
- Faire gagner de l'argent.
- Ne pas perdre de l'argent.
- Réparer les machines

9. La maintenance préventive se fait :

- Avant la panne.
- Après la panne.
- Pendant la panne.
- Ne pas perdre de l'argent.

10. Une vidange est une opération de maintenance :

- Améliorative.
- Corrective.
- Préventive.

Exercice 02 (08 points)

On désire planifier un projet comprenant 13 tâches repérées de A à M.

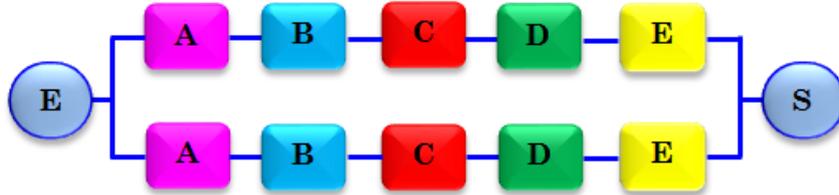
Tâches	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Antériorité	-	A	-	-	D	A	B,C,E	D	G	G	F-H-I	J-K	F-H-I
Durée	2	2	6	1	2	8	3	10	7	11	3	8	10

1. Etablir la matrice des antériorités et le réseau PERT.
2. Rechercher le chemin critique et déterminer les dates au plus tôt et au plus tard, ainsi tracer le diagramme de GANTT.

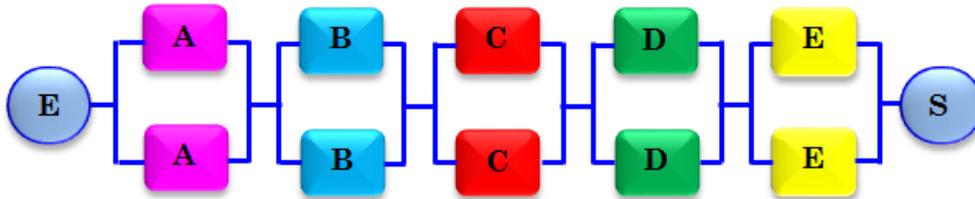
Exercice 02 (07 points)

Le dispositif donné par le premier montage, a les fiabilités élémentaires suivantes pour 1000 heures : $R_A = 0,85$; $R_B = 0,55$; $R_C = 0,68$; $R_D = 0,95$ et $R_E = 0,70$.

1. Calculer la fiabilité et le taux de défaillance de l'ensemble.



2. Refaire le même calcul pour le deuxième montage et le comparer au premier dispositif.



SOLUTION D'EXAMEN « 03 »

Exercice 01

1. Quel est l'objectif de la maintenance industrielle ?
 - Réparer un bien pour obtenir une longévité maximale.
 - Maintenir un bien en état d'assurer un service déterminé.
 - Obtenir d'un bien qu'il ne tombe jamais en panne
 - Aucune réponse ne convient.
2. Quels sont les deux types de maintenance ?
 - Fixe et variable.
 - Lourde et continue.
 - Corrective et préventive
 - Active et passive.
3. La maintenance corrective est effectuée.
 - Quand la production libère la machine.
 - Quand la possibilité de panne a été détectée.
 - Aucune réponse ne convient.
 - Après l'apparition d'une défaillance.
4. Quel est le but de la maintenance préventive ?
 - Eviter une panne par une intervention préalable.
 - Détecter d'où vient la panne.
 - Déterminer avec précision quand la défaillance va survenir.
 - Aucune réponse ne convient.
5. Quels objectifs sont liés par la maintenance ?
 - Efficacité et coûts.
 - Temps des réparations et planning.
 - Temps de bon fonctionnement et non conformités.
 - Aucune réponse ne convient.
6. Qu'est-ce que la maintenabilité ?
 - La capacité à être rapidement dépanné.
 - La capacité à moins nécessiter de maintenance préventive.
 - La capacité de ne pas présenter de défaillance.

7. Qu'est-ce que la fiabilité ?

- La capacité de ne pas avoir de défaillance.
- La capacité à produire constamment.
- Posséder une disponibilité importante.

8. Le rôle de la maintenance est de :

- Entretien des machines.
- Maintenir les machines en état de production.
- Faire gagner de l'argent.
- Ne pas perdre de l'argent.
- Réparer les machines

9. La maintenance préventive se fait :

- Avant la panne.
- Après la panne.
- Pendant la panne.
- Ne pas perdre de l'argent.

10. Une vidange est une opération de maintenance :

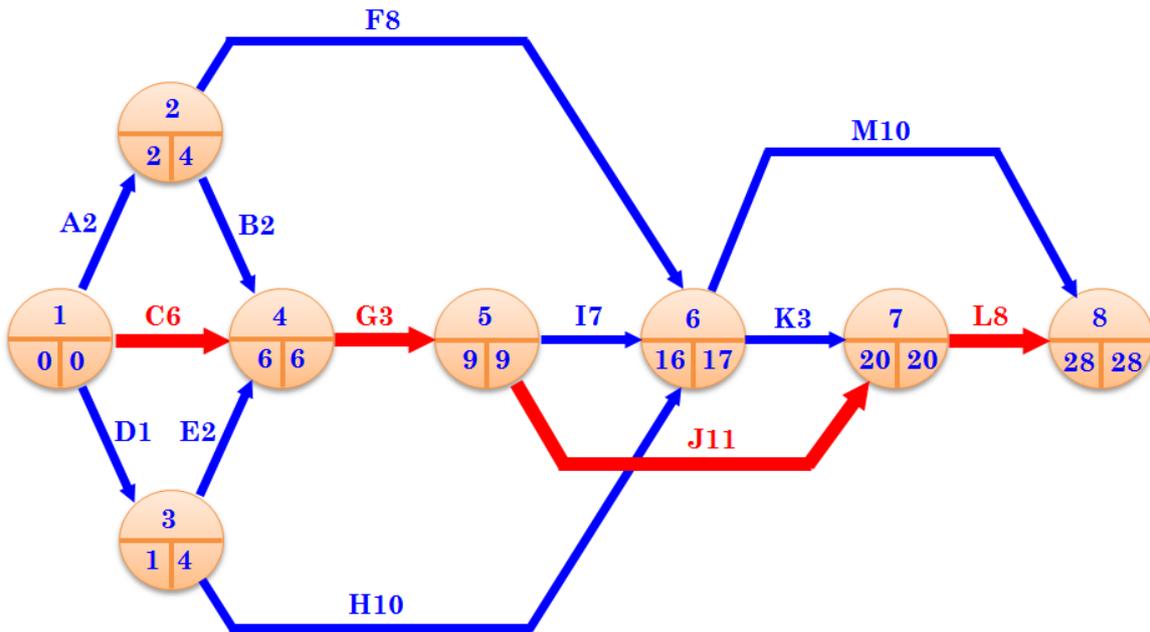
- Améliorative.
- Corrective.
- Préventive.

Exercice 02

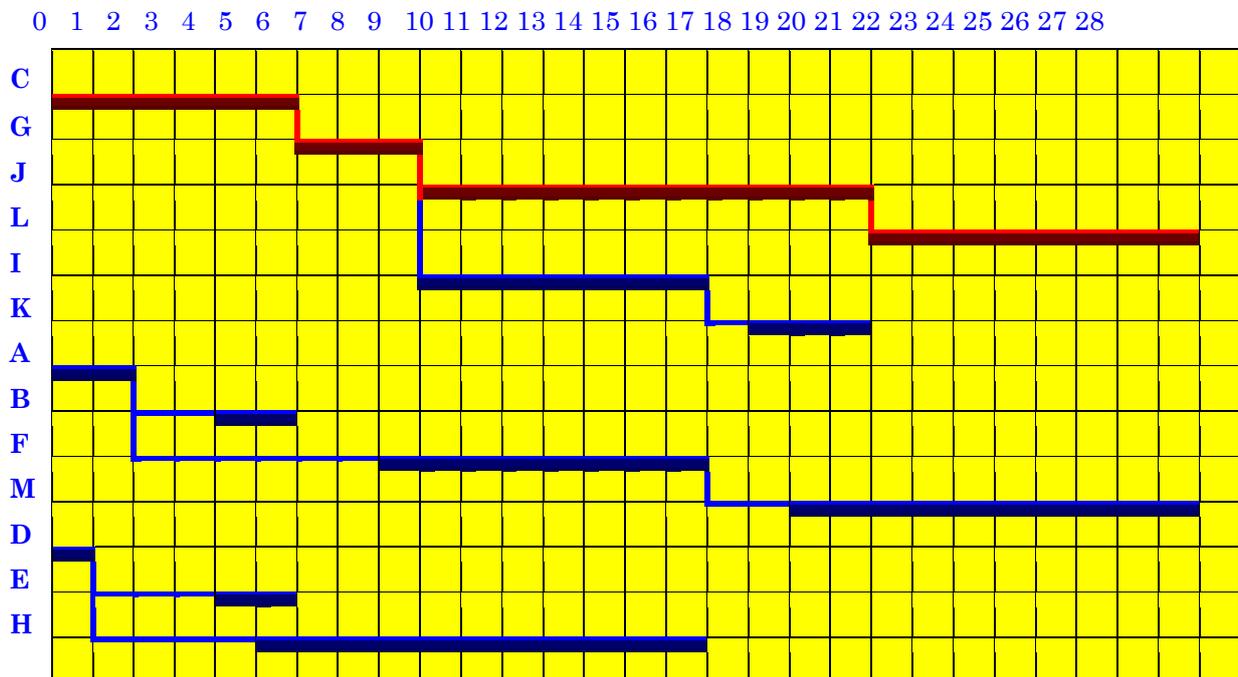
1. La matrice des antériorités représentée par le tableau suivant :

Tâches	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆	
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 _A	0	0	0	0	0	0
B	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0 _B	0	0	0	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 _C	0	0	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 _D	0	0	0	0	0	0
E	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0 _E	0	0	0	0	0
F	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0 _F	0	0	0	0	0
G	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	0 _G	0	0	0	0
H	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0 _H	0	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0 _I	0	0	0
J	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0 _J	0	0	0
K	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	3	3	1	1	0 _K	0	0
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	2	2	2	1	1	0 _L	0
M	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	3	3	1	0 _M	0	0	0

2. On obtient le diagramme PERT, ainsi que le chemin critique suivant :

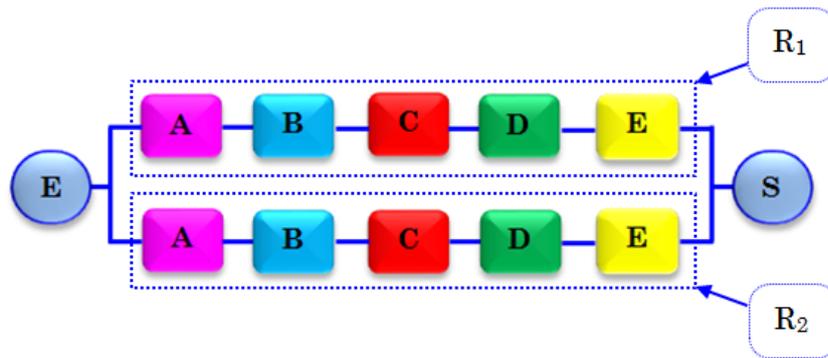


On obtient le diagramme GANTT suivant :



Exercice 03

1. Calcul de la fiabilité et le taux de défaillance de l'ensemble pour le premier montage :



$$R_1 = R_A \times R_B \times R_C \times R_D \times R_E = 0,85 \times 0,55 \times 0,68 \times 0,95 \times 0,70 = 0,2114 = 21,14 \%$$

$$R_2 = R_A \times R_B \times R_C \times R_D \times R_E = 0,85 \times 0,55 \times 0,68 \times 0,95 \times 0,70 = 0,2114 = 21,14 \%$$

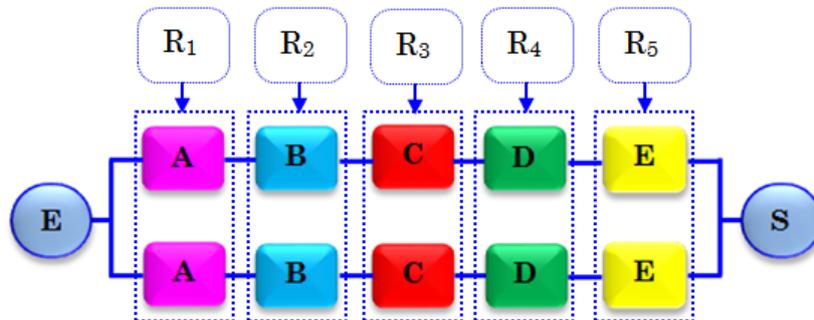
Alors :

$$R_{\text{Ensemble}} = 1 - ((1 - R_1) \times (1 - R_1)) = 1 - (1 - 0,2114)^2 = 0,3782 = 37,82 \%$$

On sait que :

$$R(t) = e^{-\lambda_1 \times t} \Leftrightarrow \ln(R(t)) = -\lambda_1 \times t \Leftrightarrow \lambda_1 = \frac{-\ln(R(t))}{t} = \frac{-\ln(0,3782)}{1000} \\ = 0,00097 \text{ panne/heure.}$$

2. Calcul de la fiabilité de l'ensemble pour le deuxième montage :



$$R_1 = 1 - ((1 - R_A) \times (1 - R_A)) = 1 - (1 - 0,85)^2 = 0,9775 = 97,75 \%$$

$$R_2 = 1 - ((1 - R_B) \times (1 - R_B)) = 1 - (1 - 0,55)^2 = 0,7975 = 79,75 \%$$

$$R_3 = 1 - ((1 - R_C) \times (1 - R_C)) = 1 - (1 - 0,68)^2 = 0,8976 = 89,76 \%$$

$$R_4 = 1 - ((1 - R_D) \times (1 - R_D)) = 1 - (1 - 0,95)^2 = 0,9975 = 99,75 \%$$

$$R_5 = 1 - ((1 - R_E) \times (1 - R_E)) = 1 - (1 - 0,70)^2 = 0,91 = 91 \%$$

La fiabilité totale de l'ensemble devient :

$$\begin{aligned} R_{\text{Ensemble}} &= R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 \times R_5 = 0,9775 \times 0,7975 \times 0,8976 \times 0,9975 \times 0,91 \\ &= 0,6351 = 63,51 \% \end{aligned}$$

Il est clair que la fiabilité du deuxième montage est beaucoup plus supérieure à la fiabilité du premier montage.

On calcule le taux de défaillance pour le deuxième montage de la même manière que précédemment :

$$\begin{aligned} R(t) = e^{-\lambda_2 \times t} &\Leftrightarrow \ln(R(t)) = -\lambda_2 \times t \Leftrightarrow \lambda_2 = \frac{-\ln(R(t))}{t} = \frac{-\ln(0,6351)}{1000} \\ &= 0,00045 \text{ panne/heure.} \end{aligned}$$

SUJET D'EXAMEN « 04 »

Questions de cours (06 points)

1. Citer les trois objectifs de la maintenance.
2. Donner une définition de défaillance.
3. Que signifie la fiabilité et la maintenabilité d'une machine.
4. Faire le schéma de la courbe en baignoire avec explication des différentes zones.
5. Définir les différentes tendances de la maintenance dans l'industrie.

Exercice 01(5 points)

Une machine-outil « Caractéristiques : X (406mm) - Y (305mm) - Z (254mm) - Vitesse de broche=6000tr/min » est installé le 30/11/2018 à 10h00. La mise en marche est effectuée le 15/01/2019 à 08h00, tombe en panne le 30/01/2022 à 12h00, sachant que la machine-outil fonctionne 24/24 heures et une équipe d'intervention intervenue 05 jours après l'apparition de la panne à 13h00.

Donnés :

- La panne est due à un accident imprévisible ;
 - La machine-outil appartient au groupe fonctionnel b ;
 - L'intervention est effectuée sur le changement d'un engrenage de la boîte de vitesse et la fin d'intervention à 17h00.
1. Remplir le fichier historique de compresseur, Codé par EBCC5 et référencié INTEGREGX-200S.

Exercice 02 (04 points)

Calculez les disponibilités intrinsèque et opérationnelle d'une machine ayant fonctionné pendant 9000 heures avec 10 pannes dont les durées étaient : 14 ; 10; 15 ; 20; 26 ; 12 ; 5,5 ; 36; 23,5 et 38 heures et une moyenne des temps logistiques de maintenance de 55 heures.

Exercice 03 (05 points)

Un système est constitué de trois composants A, B et C connectés en parallèle de même fiabilité $R = R_A = R_B = R_C = 0,70$.

1. Déterminer la fiabilité de l'ensemble.
2. Quel nombre de composants en parallèle faudrait-il mettre pour avoir une fiabilité globale de 99,7%.
3. Quelle devrait être la fiabilité R' de chacun de ces composants si on souhaite obtenir une fiabilité globale de 90 % avec trois composants seulement.

SOLUTION D'EXAMEN « 04 »

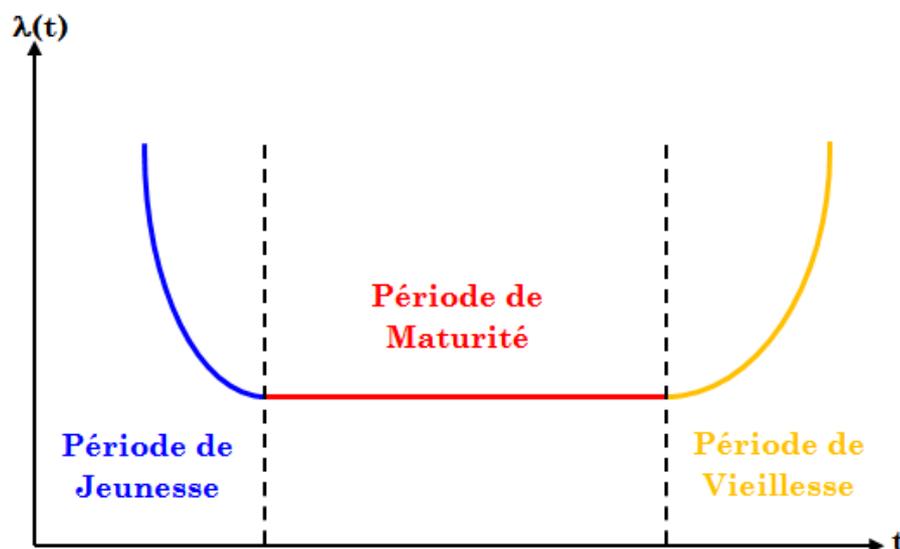
Questions de cours

1. les trois objectifs de la maintenance sont :
 - Objectifs techniques (opérationnels);
 - Objectifs économiques (financiers);
 - Objectifs humains et écologiques.

2. Selon l'AFNOR une défaillance est la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise. Après une défaillance, le bien est en panne, totale ou partielle.

3. la fiabilité d'une machine est la probabilité ($0 \leq R \leq 1$) qu'à un produit d'accomplir de manière satisfaisante une fonction requise, sous des conditions données et pendant un période de temps donnée. En outre, la maintenabilité d'une machine est la probabilité de remettre un système en état de fonctionner ; en un temps donné. Dans des conditions données et en retrouvant la fiabilité initiale. Elle s'exprime à l'aide du MTTR. Augmenter la maintenabilité d'un produit c'est le rendre plus facilement réparable.

4. le schéma de la courbe en baignoire est représenté par la courbe suivante :



Cette courbe met en évidence trois périodes distinctes :

- Zone (1) : Période de jeunesse (rodage). Le taux de défaillance décroît relativement vite après élimination des composants de qualité médiocre ou mal montés. On pratique de la maintenance corrective (se prépare aux pannes).
- Zone (2) : Période de maturité (pleine activité). Le taux de défaillance est constant. C'est la période de vie utile (ou période de pannes fortuites).
- Zone (3) : Période de vieillesse ou d'usure. Les défaillances sont dues à l'âge ou à l'usure des composants, $\lambda(t)$ croît avec le temps du fait de la dégradation du matériel (usures mécaniques, fatigue, etc...). On pratique de la maintenance préventive conditionnelle (surveillance accrue du matériel) plus de la maintenance corrective.

5. On a deux types de maintenance : maintenance corrective, maintenance préventive .

Exercice 01

HISTORIQUE DE LA MACHINE								
Code : EBCC5.....								
Indice de criticité : INTEGREG-200S.....								
Date de mise en service : 15/01/2019 à 8h00.....								
Caractéristiques : X(406mm)-, Y(305mm)- Z(254mm)- Vitesse de broche=6000tr/min.								
Code de découpage fonctionnel								
A : groupe fonctionnel a			D : groupe fonctionnel d					
B : groupe fonctionnel b			E : groupe fonctionnel e					
C : groupe fonctionnel c			F : transmission					
Date	Compteur machine	Code d'affectation	Description Intervention	Durée		Codes imputation		
				Arrêt	Inter	a	b	c
30/01/2022	26644	B	le changement d'un engrenage de la boîte de vitesse.	125	4	0	1	1

Exercice 02

1. Calcul des disponibilités intrinsèque et opérationnelle de la machine

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Somme des temps de bon fonctionnement entre les } n \text{ défaillances}}{\text{Nombre des temps de bon fonctionnement}}$$

$$\text{MTBF} = \frac{9000 - (14 + 10 + 15 + 20 + 26 + 12 + 5,5 + 36 + 23,5 + 38)}{10} = 880 \text{ heures}$$

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Somme des temps de réparation}}{\text{Nombre de réparations}}$$

$$\text{MTTR} = \frac{(14 + 10 + 15 + 20 + 26 + 12 + 5,5 + 36 + 23,5 + 38)}{10} = 20 \text{ heures}$$

$$D_i = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} = \frac{880}{880 + 20} = 0,997 = 99,7 \%$$

$$D_o = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR} + \text{MTL}} = \frac{880}{880 + 20 + 55} = 0,92 = 92 \%$$

Exercice 03

1. La fiabilité de l'ensemble est :

$$R_{\text{Ensemble}} = 1 - (1 - R)^3 = 1 - (1 - 0,70)^3 = 0,973 = 97,3 \%$$

2. Le nombre de composants en parallèle faudrait-il mettre pour avoir une fiabilité globale de 97,5% est :

$$\begin{aligned} R_{\text{Ensemble}} = 1 - (1 - R)^n &\Leftrightarrow n \times \ln(1 - R) = \ln(1 - R_{\text{Ensemble}}) \Leftrightarrow n = \frac{\ln(1 - R_{\text{Ensemble}})}{\ln(1 - R)} \\ &= \frac{\ln(1 - 0,997)}{\ln(1 - 0,70)} = 4,82 \end{aligned}$$

Donc on prend $n = 5$

3. La fiabilité R' de chacun de ces composants si on souhaite obtenir une fiabilité globale de 90 % avec trois composants seulement.

$$R_{\text{Ensemble}} = 0,90 = 1 - (1 - R')^3 \text{ d'ou : } (1 - R')^3 = 1 - 0,90 = 0,1$$

$$\begin{aligned} \Leftrightarrow 3 \times \ln(1 - R') &= \ln(0,1) \Leftrightarrow \ln(1 - R') = \frac{\ln(0,1)}{3} \Leftrightarrow R' = 0,5358 \\ &= 53,58 \% \end{aligned}$$

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] D. Boitel, C. Hazard, « Guide de la maintenance », Edition : Elisabeth Ponard, Avril 1990.
- [2] J. M. Auberville, « Maintenance industrielle – de l'entretien de base à l'optimisation de la sureté », Edition : Ellipses, Juin 2004.
- [3] G. Zwingelstein, « La maintenance basée sur la fiabilité », Edition : HERMES, Septembre 1996.
- [4] J. M. Bleux, J. L. Fanchon, « Maintenance : Systèmes automatisés de production », Edition : Nathan, Janvier 2000.
- [5] FD X60- 000, « Maintenance industrielle : Fonction maintenance, Normalisation française », Mai 2002.
- [6] M. Ridoux, « AMDEC-Moyen. Techniques de l'Ingénieur, traité L'entreprise industrielle », AG 4 220, Juillet 1999.
- [7] AFNOR, « Maintenance industrielle - Fonction maintenance », FD X60-000, Mai, 2002.
- [8] Livre : François Monchy, Jean-Pierre Vernier, « MAINTENANCE Méthodes et organisations ».
- [9] Thèse : Jérémy Laurens, « Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique Sciences pharmaceutiques.2011 ». Dumas-01059490
- [10] Thèse : Muller A., « Contribution à la maintenance prévisionnelle des systèmes de production par la formalisation d'un processus », Thèse de doctorat, Université de Nancy I, 2005.
- [11] Thèse : Thi Phuong Khanh Nguyen, « politiques de maintenance et d'investissement sous évolution technologique incertaine », Thèse de DOCTORAT à l'Ecole Centrale de Nantes, Année 2012
- [12] Livre : Jean Hégny DUNOD, « Pratique de la maintenance préventive », paris_2002.
- [13] Cour et exercice : HIDOURI Abdelmoumen, « recueil d'exercices gestion de la maintenance industrielle », Année universitaire : 2013-2014.

- [14] Polycopié de cours du module, « Maintenance et sûreté de Fonctionnement », Dr. Belhadj Djilali Abdelkadir MCB à l'Université de chlef Année 2020.
- [15] 10. Polycopié de cours du module « Maintenance industrielle », Dr. Djamel FRIHI, Université du 8 mai 1945 – Guelma, Année Juin 2015.
- [16] S. BENZAADA, La maintenance industrielle. 2002
- [17] LARBI.BENALI, La Maintenance Industrielle : 5ème année d'ingénieurs en génie mécanique, 2006.