

REPUBLIQUE DU SENEGAL
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
DEPARTEMENT GENIE ELECTROMECHANIQUE



Gm 0113

PROJET DE FIN D'ETUDES
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

TITRE :

**ETUDE DE LA MAINTENANCE
DES INSTALLATIONS
DE SIGNALISATION MARITIME LUMINEUSE
DES COTES SENEGALAISES**

AUTEUR : ADAMA BOUSSO

DIRECTEUR INTERNE : NGOR SARR

DIRECTEUR EXTERNE : CHEIKH AMETH TIDIANE GUEYE

Juillet 1999

SOMMAIRE

Ce rapport de projet de fin d'études qui porte sur l'étude de la maintenance des installations de signalisation maritime du Sénégal est structuré en trois grandes parties détaillées en tout sur onze chapitres.

La première partie consacrée à l'étude des installations regroupe les chapitres 1 à 5 dans lesquels sont données respectivement des généralités sur les aides à la navigation, la présentation des établissements de signalisation maritime lumineuse du Sénégal, l'étude de l'appareillage du phare des Mamelles, de celui du Cap Manuel et des feux et bouées lumineuses.

L'étude de la théorie sur la maintenance forme la deuxième partie composée des chapitres 6, 7 et 8. Des généralités sur la maintenance, l'étude du comportement du matériel en service et enfin l'étude de la fiabilité des équipements constituent respectivement le contenu de ces chapitres.

Dans la troisième et dernière partie formée des chapitres 9, 10 et 11, l'étude de la maintenance des équipements des Phares et Balises est abordée. Après avoir effectué au chapitre 9 l'étude de l'orientation des priorités de la maintenance de ces équipements à travers l'analyse ABC et l'analyse fiabilité, l'étude des causes de défaillances est présentée au chapitre 10 et enfin au chapitre 11, des propositions d'organisation de la maintenance sont proposées.

Après cette troisième partie, des conclusions et recommandations résument l'ensemble des résultats obtenus et donnent des perspectives de suivi de l'étude.

TABLE DES MATIERES

| | |
|-----------------------------|-----|
| Liste des tableaux..... | V |
| Liste des figures..... | VI |
| Liste des abréviations..... | VII |

| | |
|---------------------------|----------|
| Introduction | 1 |
|---------------------------|----------|

PREMIERE PARTIE : **ETUDE DES INSTALLATIONS**

| | |
|--|----------|
| <u>Chapitre 1</u> : Généralités sur les aides à la navigation | 2 |
|--|----------|

| | |
|--|---|
| 1. 1/ Les aides lumineuses : Phares et feux | 2 |
| 1.1. 1/ Composition | 2 |
| 1.1. 2/ Hiérarchisation | 2 |
| 1.1. 3/ Caractères d'un feu | 3 |
| 1.1. 4/ Intensité d'un feu | 3 |
| 1.1. 5/ Portée d'un feu | 3 |
| 1. 2/ Quelques définitions relatives aux feux et marques de balisage | 4 |

| | |
|---|----------|
| <u>Chapitre 2</u> : Présentation des établissements de signalisation maritime lumineuse du Sénégal | 5 |
|---|----------|

| | |
|-------------------------------|---|
| 2. 1/ Phares | 5 |
| 2. 2/ Feux..... | 6 |
| 2. 3/ Bouées lumineuses | 7 |

| | |
|--|----------|
| <u>Chapitre 3</u> : Description de l'appareillage du phare des Mamelles | 8 |
|--|----------|

| | |
|--|----|
| 3. 1/ Description de l'appareillage optique | 9 |
| 3. 2/ Description du dispositif de rotation des feux | 9 |
| 3. 3/ Description de l'alimentation en énergie électrique | 9 |
| 3.3. 1/ Alimentation du Feu Normal | 9 |
| 3.3. 2/ Alimentation du Feu de Secours | 10 |
| 3. 4/ Description de l'appareillage de commande et de contrôle | 10 |
| 3.4. 1/ Coffret de commutation Secteur - Groupe | 10 |
| 3.4. 2/ Tableau de commande général | 11 |
| 3.4. 3/ Coffret de commande du feu de secours | 12 |
| 3. 5/ Protection contre la foudre | 12 |

| | |
|--|----|
| 3.5. 1/ Protection de l'appareillage dans la lanterne | 12 |
| 3.5. 2/ Protection de l'appareillage d'alimentation et de commande | 13 |
| 3.5. 3/ Protection de l'alimentation par le secteur | 13 |

Chapitre 4 : Description de l'appareillage du phare du Cap Manuel14

| | |
|--|----|
| 4. 1/ Description de l'appareillage optique du feu principal | 14 |
| 4. 2/ Description de l'appareillage optique du feu auxiliaire | 15 |
| 4. 3/ Description du dispositif de rotation du feu principal..... | 15 |
| 4. 4/ Description de l'alimentation en énergie électrique | 15 |
| 4. 5/ Description de l'appareillage de commande et de contrôle | 16 |
| 4.5. 1/ Tableau de commande général | 16 |
| 4.5. 2/ Coffret de commande du feu de secours principal..... | 17 |
| 4.5. 3/ Coffret de commande du feu de secours auxiliaire..... | 17 |
| 4. 6/ Protection contre la foudre | 17 |
| 4.6. 1/ Protection de l'appareillage dans la lanterne | 19 |
| 4.6. 2/ Protection de l'appareillage d'alimentation et de commande | 18 |
| 4.6. 3/ Protection de l'alimentation par le secteur..... | 18 |

Chapitre 5 : Description de l'appareillage des feux et bouées

lumineuses19

| | |
|--|----|
| 5. 1/ Le générateur solaire photovoltaïque | 19 |
| 5. 2/ La batterie d'accumulateurs | 19 |
| 5. 3/ le tableau de commande | 20 |
| 5.3. 1/ La partie électronique | 20 |
| 5.3. 2/ La partie connectique | 21 |
| 5.3. 3/ Le principe de commande..... | 21 |
| 5.3.3. 1/ Les fonctions « Nuit » | 21 |
| 5.3.3. 2/ Les fonctions « Jour » | 22 |

DEUXIEME PARTIE : ETUDE DE LA THEORIE SUR LA MAINTENANCE

Chapitre 6 : Généralités sur la maintenance23

| | |
|--|----|
| 6. 1/ La maintenance préventive..... | 23 |
| 6.1. 1/ La maintenance préventive systématique | 24 |
| 6.1. 2/ La maintenance préventive conditionnelle | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 6.1. 3/ La maintenance améliorative | 24 |
| 6. 2/ La maintenance corrective | 24 |
| Chapitre 7 : Le comportement du matériel en service | 25 |
| 7. 1/ Modélisation de Markov de l'état d'un système | 25 |
| 7. 2/ Les Défaillances | 26 |
| 7.2. 1/ Définitions et Hiérarchisation | 26 |
| 7.2.1. 1/ Définitions | 26 |
| 7.2.1. 2/ Hiérarchisation | 26 |
| 7.2. 2/ Caractéristiques d'une défaillance | 27 |
| 7.2.2. 1/ Vitesse de manifestation | 27 |
| 7.2.2.1. 1/ Modèle de dégradation | 27 |
| 7.2.2.1. 2/ Modèle catalectique..... | 27 |
| 7.2.2. 2/ Processus d'évolution | 28 |
| 7.2. 3/ Le taux de défaillance | 28 |
| 7.2.3. 1/ Définition | 28 |
| 7.2.3. 2/ Les différentes phases de la vie d'un équipement | 28 |
| 7.2.3. 3/ La courbe en baignoire | 29 |
| 7. 3/ La fiabilité des équipements..... | 31 |
| 7.3. 1/ Définition de la fiabilité d'un équipement..... | 31 |
| 7.3. 2/ Fiabilité et Qualité | 31 |
| 7.3. 3/ Fiabilité et Disponibilité | 31 |
| 7.3. 4/ Expressions mathématiques de la fiabilité..... | 32 |
| <u>Chapitre 8 : La modélisation du comportement d'un équipement</u> | 34 |
| 8. 1/ La loi de Poisson | 34 |
| 8. 2/ Le modèle exponentiel | 34 |
| 8.2. 1/ Généralités | 34 |
| 8.2. 2/ Expressions mathématiques | 35 |
| 8. 3/ Le modèle de Weibull | 36 |
| 8.3. 1/ Généralités | 36 |
| 8.3. 2/ Expressions mathématiques..... | 36 |
| 8.3.2. 1/ Densité de probabilité des défaillances | 36 |
| 8.3.2. 2/ Fonction de répartition des défaillances | 37 |

| | |
|--|----|
| 8.3.2. 3/ Taux instantané de défaillance | 37 |
| 8.3.2. 4/ Espérance mathématique (MTBF) et Ecart-type | 37 |
| 8.3.2. 5/ Durée de vie associée au seuil de fiabilité de 90% | 38 |
| 8.3. 3/ Principe de la détermination des paramètres de Weibull | 39 |
| 8.3. 4/ Signification du paramètre de forme β | 39 |
| 8.3. 5/ Algorithme de la modélisation des défaillances par la loi de Weibull | 39 |

**TROISIEME PARTIE : ETUDE DE LA MAINTENANCE DES INSTALLATIONS
DE SIGNALISATION MARITIME**

Chapitre 9 : Etude de l'orientation des priorités de la maintenance....42

| | |
|---|----|
| 9. 1/ Analyses ABC du materiel des installations | 42 |
| 9.1. 1/ Analyse ABC des pièces de rechange des phares des Mamelles et du Cap Manuel | 43 |
| 9.1. 2/ Analyse ABC des pièces de rechange des feux et bouées lumineuses | 44 |
| 9.1. 3/ Interprétation des résultats | 45 |
| 9. 2 / Analyse de la fiabilité des installations | 46 |
| 9.2. 1/ Répartition des défaillances survenues en 1997 et 1998 | 46 |
| 9.2.1. 1/ Répartition des défaillances par installation..... | 46 |
| 9.2.1. 2/ Répartition des défaillances par nature de l'organe défaillant..... | 47 |
| 9.2. 2/ Modélisation du comportement des feux et bouées lumineuses de la Rade de Dakar à partir des défaillances survenues en 1997 et 1998 | 48 |
| 9.2.2. 1/ Analyse individuelle des installations | 49 |
| 9.2.2. 2/ Analyse globale des installations..... | 50 |
| 9.2.2. 3/ Analyse des batteries des feux | 51 |
| 9.2.2. 4/ Courbes de distribution des défaillances des feux et bouées lumineuses en 1997 et 1998..... | 51 |
| 9.2.2. 5/ Interprétation des Résultats de la modélisation | 53 |

Chapitre 10 : Etude des causes de défaillances54

| | |
|--|----|
| 10. 1/ Causes intrinsèques : Inventaire des principaux modes de défaillances mécaniques et électriques..... | 54 |
| 10.1. 1/ La « santé-matière » | 54 |
| 10.1. 2/ Les modes de défaillances mécaniques en fonctionnement..... | 54 |

| | |
|--|-----------|
| 10.1. 3/ Les modes de défaillances électriques | 56 |
| 10. 2/ Causes extrinseques : La foudre..... | 56 |
| 10.2. 1/ Effets de la foudre..... | 56 |
| 10.2.1. 1/ Effets directs..... | 56 |
| 10.2.1. 2/ Effets de l'écoulement de la décharge..... | 56 |
| 10.2.1. 3/ Effets secondaires..... | 57 |
| 10.2. 2/ Répertoire des prescriptions de protection des établissements de signalisation et de surveillance de la navigation maritime contre l'électricité atmosphérique et la foudre | 58 |
| 10.2.2. 1/ Prescriptions générales concernant quelques établissements..... | 58 |
| 10.2.2. 2/ Prescriptions concernant l'installation contre la foudre..... | 59 |
| <u>Chapitre 11 : Etude de la gestion des équipements et des pièces de rechange</u> | 62 |
| 11. 1/ Connaissance des équipements | 62 |
| 11.1. 1/ Nature et Classification du matériel..... | 62 |
| 11.1. 2/ Connaissance d'une machine..... | 63 |
| 11.1.2. 1/ L'Inventaire du Matériel..... | 64 |
| 11.1.2. 2/ Le Dossier-machine..... | 64 |
| 11.1.2. 3/ Le fichier historique..... | 64 |
| 11.2 / Connaissance des défaillances | 65 |
| 11.3 / Gestion des pièces de rechange | 68 |
| 11.3. 1/ Calcul de la quantité économique (Qe) | 69 |
| 11.3. 2/ Types de gestion des stocks | 69 |
| 11.3.2. 1/ Méthode du point de commande | 70 |
| 11.3.2.1. 1/ Stock d'alerte | 70 |
| 11.3.2.1. 2/ Organigramme de calcul du stock de sécurité | 72 |
| 11.3.2.1. 3/ Avantages et Inconvénients de la méthode du point de commande | 72 |
| 11.3.2. 2/ Méthode du plan d'approvisionnement | 73 |
| 11.3.2. 3/ Méthode du programme d'approvisionnement | 74 |
| 11.3.2. 4/ Méthode pour pièces..... | 74 |
| Conclusions et Recommandations | 75 |

LISTE DES FIGURES

| | <u>Page</u> |
|---|-------------|
| 7.1 Schéma d'évolution d'un système d'un état vers un autre dans la modélisation de Markov | 25 |
| 7.2 Schéma d'hierarchisation des défaillances suivant leurs effets et leurs probabilités d'occurrence | 26 |
| 7.3 Schéma du modèle de dégradation de la manifestation des défaillances | 27 |
| 7.4 Schéma du modèle catalectique de la manifestation des défaillances | 27 |
| 7.5 Schéma de propagation de la défaillance d'un système | 28 |
| 7.6 Évolution du taux de défaillance (courbe en baignoire) des équipements électroniques durant leur cycle de vie | 29 |
| 7.7 Évolution du taux de défaillance (courbe en baignoire) des équipements mécaniques durant leur cycle de vie | 30 |
| 9.1 Courbe d'analyse ABC des pièces de rechange des phares des Mamelles et du Cap Manuel | 44 |
| 9.2 Courbe d'analyse ABC des pièces de rechange des feux et bouées lumineuses | 45 |
| 9.3 Histogramme de répartition des défaillances de 1997 et 1998, par installation | 47 |
| 9.4 Histogramme de répartition des défaillances de 1997 et 1998, par nature de l'organe défaillant | 48 |
| 9.5 Courbe de distribution des défaillances des feux de Dakar en 1997 et 1998 | 52 |
| 9.6 Courbe de distribution des défaillances des bouées lumineuses de Dakar en 1997 et 1998 | 52 |
| 11.1 Schéma de classification du matériel | 63 |
| 11.2 Schéma représentant l'historique, le dossier-machine et l'inventaire du matériel sur l'échelle du niveau d'analyse | 63 |
| 11.3 Schéma de découpage fonctionnel arborescent d'un équipement | 64 |
| 11.4 Schéma d'expertise d'analyse de défaillance | 65 |
| 11.5 Variation linéaire d'un stock dans le temps | 69 |
| 11.6 Variation du stock dans la méthode du point de commande | 70 |
| 11.7 Distribution gaussienne de la sortie des matériels | 71 |
| 11.8 Organigramme de calcul du stock de sécurité | 72 |

LISTE DES TABLEAUX

| | <u>Page</u> | |
|------|---|----|
| 9.1 | Tableau d'analyse ABC des pièces de rechange des phares des Mamelles et du Cap Manuel | 43 |
| 9.2 | Tableau d'analyse ABC des pièces de rechange des feux et bouées lumineuses | 44 |
| 9.3 | Tableau de répartition des défaillances de 1997 et 1998, par installation | 46 |
| 9.4 | Tableau de répartition des défaillances de 1997 et 1998, par nature de l'organe défaillant | 47 |
| 9.5 | Expressions analytiques des fonctions fiabilité, taux, répartition et distribution des défaillances de 1997 et 1998 des feux et bouées lumineuses de Dakar, analysés individuellement | 49 |
| 9.6 | Paramètres caractéristiques du comportement en 1997 et 1998 des feux et bouées lumineuses de Dakar, analysés individuellement | 50 |
| 9.7 | Expressions analytiques des fonctions fiabilité, taux, répartition et distribution des défaillances de 1997 et 1998 des feux et bouées lumineuses de Dakar, analysés globalement | 50 |
| 9.8 | Paramètres caractéristiques du comportement en 1997 et 1998 des feux et bouées lumineuses de Dakar, analysés globalement | 50 |
| 9.9 | Expressions analytiques des fonctions fiabilité, taux, répartition et distribution des défaillances de 1997 et 1998 des batteries des feux de Dakar | 51 |
| 9.10 | Paramètres caractéristiques du comportement en 1997 et 1998 des batteries des feux de Dakar | 51 |
| 11.1 | Modèle de fiche d'analyse de défaillance | 66 |
| 11.2 | Démarche d'analyse d'une panne | 67 |
| 11.3 | Répertoire des différentes méthodes de gestion des stocks | 69 |

PREMIERE PARTIE :

**ETUDE
DES
INSTALLATIONS**

DEUXIEME PARTIE :

**ETUDE
DE LA THEORIE
SUR LA MAINTENANCE**

TROISIEME PARTIE :

**ETUDE
DE LA MAINTENANCE
DES INSTALLATIONS
DE SIGNALISATION
MARITIME**

INTRODUCTION

Le Service des Phares et Balises, qui s'occupe de la signalisation maritime, domaine restreint mais très important de l'activité nationale, a le devoir de mettre à la disposition du navigateur fréquentant les côtes du pays l'ensemble des moyens nécessaires pour l'aider à suivre aussi sûrement, de jour comme de nuit et quelque soient l'état de la mer ou les conditions météorologiques.

De ce fait, ce service est dans l'obligation permanente d'assurer au maximum la disponibilité des équipements de signalisation maritime que sont essentiellement les phares, feux et bouées lumineuses.

Et ceci ne peut être obtenu que par une bonne pratique de la maintenance de ces derniers.

En effet, l'évolution et la complexité des systèmes technologiques modernes obligent à une restructuration et à une réorganisation de « l'Entretien » pratiqué autrefois. De nouveaux concepts d'organisation et de nouvelles manières d'intervention sont créés. Ainsi, 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 qu'on appelle aujourd'hui « Maintenance ».

Ce projet de fin d'étude qui porte sur l'étude des installations de signalisation maritime et principalement sur celles à signaux lumineux va tenter, d'une part, d'aider à augmenter la disponibilité de ces dernières par l'application des méthodes d'analyse de fiabilité et, d'autre part, elle vise à améliorer la gestion de la maintenance de leurs équipements.

Pour ce faire, la démarche adoptée est la suivante : les installations seront d'abord étudiées de façon assez détaillée afin de bien cerner leurs équipements, puis la théorie sur la maintenance sera passée au peigne fin pour, enfin en dernier point, pouvoir étudier la maintenance proprement dite des installations de signalisation maritime.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES AIDES A LA NAVIGATION

Une aide à la navigation est un dispositif visuel, sonore ou radioélectrique généralement situé au voisinage des côtes, aux embouchures des rivières et des fleuves et concourant à assurer la sécurité des bateaux en indiquant des dangers isolés, la limite des eaux saines, ou un passage à suivre pour la navigation.

Elle peut être fixe (phare, feu fixe) ou flottante (bouée), émettre ou non des signaux lumineux, sonores ou radioélectriques.

Cependant les aides les plus répandues sont celles à signaux lumineux, ne nécessitant pas d'appareils récepteurs indispensables à la captation d'ondes radioélectriques et opérant à de plus grandes distances que les signaux sonores.

Aussi la présente étude se portera essentiellement sur ces aides lumineuses.

1. 1/ LES AIDES LUMINEUSES : PHARES ET FEUX

1.1. 1/ Composition

Une aide lumineuse comprend essentiellement :

- une source lumineuse dont les types les plus courants sont les lampes aux halogènes à longue durée de vie pour l'électricité et les manchons à incandescence pour le gaz,
- un appareil optique qui concentre les rayons lumineux,
- un accessoire qui en donne le rythme.

1.1. 2/ Hiérarchisation

Déduite d'une classification fonctionnelle des aides lumineuses, elle comporte les échelons respectifs suivants :

- les grands phares,
- les feux de grand atterrissage qui marquent les tournants importants des grandes lignes de navigation,

- les feux de jalonnement du littoral,
- les feux principaux d'entrée de chaque port,
- les feux de balisage sur tourelles ou sur bouées,
- les feux des rives et des estuaires,
- les feux intérieurs des ports.

1.1. 3/ Caractères d'un feu

C'est par leur caractère (blanc ou coloré, fixe ou rythmé) que le navigateur distingue les différents feux qu'il aperçoit, chaque caractère ayant une signification particulière selon les conventions adoptées par l'Association Internationale de Signalisation Maritime (AISM).

On distingue :

- *les feux fixes* : Feux dont la lumière paraît continue, uniforme et de couleur constante à un observateur immobile par rapport à lui.
- *les feux rythmés* : Feux dont la lumière apparaît par intermittence avec une périodicité régulière.
- *les feux d'horizon* : Feux qui présentent le même caractère sur tout l'horizon intéressant la navigation maritime.
- *les feux de direction* : Feux qui éclairent un secteur très étroit et qui sont destinés à marquer une direction.

1.1. 4/ Intensité d'un feu

L'intensité lumineuse d'un feu dans une direction déterminée caractérise le pouvoir de ce feu d'émettre plus ou moins de lumière dans cette direction.

1.1. 5/ Portée d'un feu

La limite la plus éloignée d'utilisation d'un feu dépend d'une part de la position géographique du point d'observation, d'autre part de l'intensité du feu et des conditions atmosphériques qui déterminent sa portée lumineuse.

La **portée lumineuse** dépend donc de l'intensité du feu, de l'absorption de la lumière au cours de sa propagation à travers l'atmosphère qui n'est jamais parfaitement transparente et du seuil d'éclairement de l'œil humain ou seuil de contraste si le fond est lumineux.

On appelle **portée nominale** d'un feu sa portée lumineuse par visibilité météorologique de 10 miles (18,52 km) pour un observateur normal.

1. 2/ QUELQUES DEFINITIONS RELATIVES AUX FEUX ET MARQUES DE BALISAGE

Balise : Marque artificielle de navigation fixe ; elle peut être lumineuse ou non.

Bouée : Corps flottant de dimension, forme et couleur définies, habituellement en métal ou en matière plastique, qui est mouillé en une position donnée et sert d'aide à la navigation. Une bouée peut porter un feu, un dispositif acoustique ou autre.

Élévation d'un feu : Distance verticale entre le plan focal du feu et le niveau de la mer.

Feu : Appareil émettant de la lumière d'un caractère distinctif, utilisé de nuit, ou exceptionnellement de jour, comme aide à la navigation.

Hauteur d'un feu : Distance verticale entre le sol et le sommet de la structure portant le feu.

Phare : Ensemble d'un feu, de son support et de ses constructions auxiliaires, destiné à fournir de la lumière d'un caractère distinctif, il sert de repère de position pour la navigation maritime.

Portée : Plus grande distance à laquelle la lumière d'un feu est perçue.
On distingue les portées lumineuse, nominale et géographique.

CHAPITRE 2

PRESENTATION DES ETABLISSEMENTS DE SIGNALISATION MARITIME LUMINEUSE DU SENEGAL

Le patrimoine d'établissements servant au balisage lumineux du Sénégal est composé de :

- **deux (2) phares** : le Phare des Mamelles et le Phare du Cap Manuel,
- **neuf (9) feux** : les deux feux de jetée du Port de Dakar (Feu Vert et Feu Rouge), le Feu des Almadies, le Feu de Gorée, le Feu de Rufisque, le Feu de Joal, le Feu de Guet Ndar, le Feu de Gandiole et le Feu de Djogué en Casamance.
- **huit (8) bouées lumineuses** : la Bouée « Tacoma », la Bouée « 12 », la Bouée « 01 », la Bouée « Résolue », la Bouée « Mbao », la Bouée « Atterrissage Mbour », la Bouée « Atterrissage Saloum », et la Bouée « Atterrissage CASA ».

2. 1/ PHARES

- **Phare des Mamelles** : C'est un phare de grand atterrissage qui sert en même pour la navigation maritime que pour la navigation aérienne. Il délivre un éclat blanc toutes les cinq (5) secondes sur une portée de 31 miles, soit 57,41 km. Son foyer s'élève à 120 mètres.
- **Phare du Cap Manuel** : Il est composé d'un feu principal rouge d'atterrissage qui émet des éclats réguliers toutes les cinq (5) secondes sur une portée de 19 miles (35,19 km) et d'un feu auxiliaire blanc à secteur rouge montrant les dangers que constituent l'île des Madeleines et de Gorée. Ce dernier indique aussi le changement de route dès la fin du secteur rouge. Les hauteurs des foyers sont de 49,75 mètres pour le feu principal et de 47,6 m pour le feu auxiliaire.

2. 2/ FEUX

- **Feu de la Jetée Nord du Port de Dakar (Feu Vert) :** C'est un feu vert de type horizon et de rythme isophase 4 secondes. Avec une portée de 8 miles (14,82km) et une hauteur du foyer de 9,4 mètres, il signale l'entrée du Port.
- **Feu de la Jetée Sud du Port de Dakar (Feu Rouge) :** C'est un feu rouge de type horizon et de rythme 4 occultations en 12 secondes. De portée 8 miles (14,82 km) et de hauteur 10,82 m, il est le deuxième feu de signalement de l'entrée du Port.
- **Feu de la Chaussée des Almadies :** C'est un feu blanc qui émet 2 éclats en 6 secondes. De portée 9 miles (16,67 km) et de hauteur 14 m, il signale l'écueil des Almadies et constitue un alignement avec les Mamelles.
- **Feu de Gorée :** C'est un feu blanc à secteur rouge émettant 2 occultations en 6 secondes. Le rouge qui s'étend sur une portée de 8 miles (14,82 km) indique le danger que constitue l'île et le blanc dont la portée est de 12 miles (22,22 km) le changement de route pour contourner l'île. La hauteur du foyer est de 21,36 m.
- **Feu de Gandiole :** C'est un feu blanc qui émet 3 occultations en 6 s. De portée 14 miles (25,93m) et de hauteur 26 m, il signale l'embouchure du fleuve Sénégal et sert aussi d'atterrissage pour les pêcheurs.
- **Feu de Guet Ndar :** Ce feu qui émet deux éclats blancs en 6 secondes sert d'atterrissage pour les pêcheurs. Il a une portée de 12 miles (22,22 km) et la hauteur de son foyer s'élève à 15m.
- **Feu de Rufisque :** De rythme isophase vert 2 secondes, de portée 11 miles (20,37 km) et de hauteur 12 m, il signale la baie de Rufisque et sert aussi d'atterrissage pour les pêcheurs.
- **Feu de Joal :** Ce feu blanc de rythme 1 occultation en 4 secondes a une portée de 11 miles (20,37 km) et sert d'atterrissage pour les pêcheurs. Son foyer s'élève à 14m.
- **Feu de Djogué :** Servant d'atterrissage pour les pêcheurs, c'est un feu scintillant blanc qui a une portée de 8 miles (14,82 km) et une hauteur de 21 m.

2. 3/ BOUEES LUMINEUSES

- **Bouée « Tacoma »** : Elle émet une lumière rouge de rythme 1 occultation 4s sur une portée de 5 miles (9,26km). Sa hauteur est de 7m. Signalant une épave au Sud-Ouest, elle sert de marque de latéral bâbord : les navigateurs doivent laisser la bouée à gauche.
- **Bouée « 12 »** : Servant de marque de danger isolé, c'est une bouée qui émet 4 éclats blancs en 16s sur une portée de 8 miles (14,82 km). Sa hauteur est de 10m.
- **Bouée « 01 »** : Marque de latéral tribord (la bouée doit être laissée à droite par les navigateurs), elle émet un éclat vert toutes les 4 secondes sur une portée de 5 miles (9,26 km). Elle a une hauteur de 8m.
- **Bouée « Résolue »** : Emettant 6 scintillements blancs plus 1 éclat en 15s, elle indique une zone d'épaves. Sa portée est de 8 miles (14,82 km) et sa hauteur 4m.
- **Bouée « Mbao »** : Indiquant la présence de coffres, elle émet 2 éclats rouges en 6s sur une portée de 4 miles (7,41 km). Sa hauteur s'élève à 7m.
- **Bouée « Mbour »** : Elle émet 9 scintillements blancs en 15s sur une portée de 8 miles (14,82 km) et a une hauteur de 4m.
- **Bouée « Saloum »** : Marque d'eaux saines, elle sert d'atterrissage en émettant 1 éclat blanc toutes les 4s sur une portée de 8 miles (14,82 km). Elle a une hauteur de 10m.
- **Bouée « Casa »** : Egalement marque d'eaux saines, elle sert d'atterrissage en émettant 2 éclats en 6s. sa portée est de 8 miles (14,82 km) et sa hauteur 10m.

CHAPITRE 3

DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE DU PHARE DES MAMELLES

L'appareillage du phare des Mamelles comprend essentiellement :

- ◆ un feu normal à éclats constitué par une optique de 0,70 m de dF éclairée par une lampe 220V-1000W à halogène,
- ◆ un dispositif de rotation du feu,
- ◆ un feu de secours à éclats autonome alimenté par batterie d'accumulateurs,
- ◆ un tableau de commande général assurant l'alimentation de l'ensemble des équipements soit à partir du secteur, soit à partir d'un groupe électrogène,
- ◆ deux groupes électrogènes à démarrage manuel électrique fonctionnant l'un en secours de l'autre en cas de panne de secteur.

• *Installation du matériel :*

Dans la lanterne :

- le matériel optique et de rotation du feu normal,
- l'ensemble optique du feu de secours,
- le coffret de commande du feu de secours,
- la batterie d'accumulateurs 24V - 150Ah du feu de secours,
- le redresseur de charge de la batterie d'accumulateurs,
- le cellule photoélectrique 24V d'allumage du feu de secours.

Dans la salle de service :

- le coffret de commutation « secteur - groupes »,
- le tableau de commande général,
- la cellule photoélectrique 12V d'allumage du feu normal,
- les deux groupes électrogènes,
- les batteries de démarrage,
- les redresseurs de charge des batteries de démarrage.

3. 1/ DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE OPTIQUE

Du Feu Normal :

Il est constitué par une optique à éclats réguliers de 0,70 m de dF éclairée par une lampe type HT à halogène 1000W - 220V à culot G 9,5.

Sa durée de vie moyenne est de 1000 heures.

Du Feu de Secours :

Indépendant du feu normal, il est constitué par un projecteur à faisceaux tournants de 95 mm de dF éclairée par une lampe à halogène 24V - 150W à culot A 21-14.

3. 2/ DESCRIPTION DU DISPOSITIF DE ROTATION DES FEUX

Du Feu Normal :

L'ensemble mobile est entraîné à la vitesse de 3 tr/min par un motoréducteur synchrone de 40W-220V-50Hz, vitesse de sortie 60tr/min, avec un condensateur de démarrage 2,5 μ F-260V.

Sur l'arbre de sortie du motoréducteur est calé un engrenage de 18 dents avec embrayage à friction qui entraîne un engrenage de 81 dents calé sur un arbre intermédiaire.

Un engrenage de 35 dents entraîne une couronne dentée de 156 dents.

Du Feu de Secours :

Le projecteur à faisceaux tournants du feu de secours comporte son propre dispositif de rotation.

L'optique est entraînée à la vitesse de 3tr/min par un motoréducteur synchrone de 5W-220V-50Hz alimenté à partir de la batterie d'accumulateurs par l'intermédiaire d'un convertisseur statique 5VA-24V_{cc} / 220V-50Hz.

3. 3/ DESCRIPTION DE L'ALIMENTATION EN ENERGIE ELECTRIQUE

3.3. 1/ Alimentation du Feu Normal

Alimentation normale :

L'ensemble de l'installation dont la consommation maximale de l'équipement spécial est de l'ordre de 2400W est alimenté, à partir du secteur de distribution 220V triphasé 50Hz, sous la tension de 220V monophasée 50Hz.

Alimentation de secours :

En cas de défaut du secteur de distribution, l'ensemble de l'installation est alimenté par un groupe électrogène de 3,5 KVA-220V monophasé - 50Hz.

Deux groupes électrogènes sont installés et fonctionnent l'un en secours de l'autre.

Le groupe électrogène en service est démarré par un dispositif électrique manuel, à partir d'une batterie de démarrage au plomb 12V - 112Ah.

En cas de défaut du dispositif de démarrage ou des batteries d'accumulateurs, les moteurs Diesel sont démarrés manuellement.

Chaque batterie de démarrage est maintenue en charge :

- ◆ lorsque le groupe électrogène correspondant est en fonctionnement, par une génératrice entraînée par le moteur Diesel,
- ◆ lorsque le groupe électrogène est à l'arrêt, à partir du réseau de distribution 220V-50Hz, par l'intermédiaire d'un redresseur régulé de charge.

Les coffrets montés sur les alternateurs assurent l'arrêt du groupe en service en cas de :

- défaut de pression d'huile ($PS \leq 0,8$ bars),
- excès de température d'air de refroidissement ($\geq 100^{\circ}C$).

3.3. 2/ Alimentation du Feu de Secours

Le feu de secours est alimenté uniquement à partir d'une batterie d'accumulateurs au plomb 24V-150Ah.

Celle-ci est maintenue en charge en floating, sous la tension de 26,4V par un redresseur régulé de 22A alimenté sous la tension de 220V monophasé 50Hz soit par le secteur de distribution, soit par les groupes électrogènes.

Afin de ne pas détruire la batterie d'accumulateurs par des décharges trop prolongées, le redresseur est équipée d'une balance voltométrique de coupure du circuit d'utilisation à 21,6V (1,8V par élément) correspondant à 80% de décharge.

La batterie d'accumulateurs assure au feu de secours une autonomie de 18 heures environ.

3. 4/ DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE DE COMMANDE ET DE CONTROLE

3.4. 1/ Coffret de commutation Secteur - Groupe

Ce coffret comporte essentiellement un commutateur manuel d'alimentation du circuit d'utilisation soit à partir du secteur, soit à partir de l'un ou de l'autre des deux groupes électrogènes.

Un voltmètre permet de s'assurer que la tension sur le circuit d'utilisation est correcte.

Un fréquencemètre permet de contrôler la fréquence de la tension débitée par l'alternateur donc la vitesse du moteur Diesel et de l'ajuster si nécessaire.

Il est impératif de maintenir la fréquence à la valeur de 50Hz (soit 1500tr/min).

Un ampèremètre contrôle l'intensité du courant débité.

Deux compteurs horaires totalisent le temps de fonctionnement de chacun des groupes électrogènes pour les vidanges (200 heures) et l'entretien.

Le coffret assure également :

- l'alimentation des redresseurs de charge des batteries de démarrage, à partir du secteur de distribution uniquement,
- l'alimentation et l'arrêt d'une signalisation sonore par klaxon de retour du secteur de distribution.

3.4. 2/ Tableau de commande général

Il assure les fonctions essentielles suivantes :

- la réception de la tension 220V monophasée 50Hz provenant soit du secteur, soit de l'un des groupes électrogènes,
- la mise en service automatique ou manuelle du feu normal et de la rotation d'optique,
- l'alimentation du redresseur de charge de la batterie d'accumulateurs du feu de secours,
- l'alimentation d'un circuit 220V monophasé 50Hz de sécurité pour l'éclairage des locaux et auxiliaires,
- l'alimentation d'une signalisation optique et sonore d'état et de défaut du feu normal.

Le tableau de commande général est associé à :

- ◆ une cellule photoélectrique 12V_{cc},
- ◆ un détecteur d'éclats 12V_{cc}.

Le détecteur d'éclats provoque la mise en service du feu de secours, la nuit, et la coupure de l'alimentation du feu normal et de sa rotation, en cas d'arrêt de rotation ou d'extinction du feu normal.

Les circuits de commande et de signalisation sont alimentés par l'une ou l'autre des batteries de démarrage 12V des groupes électrogènes.

3.4. 3/ Coffret de commande du feu de secours

Il assure la mise en service automatique ou manuelle du feu de secours.

Il est associé à une cellule photoélectrique 24V_{cc}.

La mise en service automatique du feu de secours est assurée en présence de l'information de défaut donnée par le détecteur d'éclats du feu normal et de l'information « nuit » donnée par la cellule photoélectrique 24V.

3. 5/ PROTECTION CONTRE LA FOUDRE

Elle comprend :

- un paratonnerre,
- une descente extérieure, jusqu'à la prise de terre (un joint de coupure extérieur est interposé sur cette descente),
- une prise de terre,
- une ceinture intérieure, à la base de la lanterne, réalisée avec une bande de cuivre,
- une descente intérieure, à la tour du phare, réalisée avec une bande de cuivre (cette descente relie la ceinture intérieure de la lanterne à la descente extérieure, à la base du phare, avec interposition d'un joint de coupure extérieur).

3.5. 1/ Protection de l'appareillage dans la lanterne

Toutes les masses métalliques de l'appareillage dans la lanterne y compris le soubassement tournant sont reliés à la ceinture intérieure de la lanterne par de la tresse de cuivre.

Les circuits d'alimentation de la lampe du feu normal et du moteur de rotation sont protégés par des coffrets de parafoudre équipés d'éclateurs de puissance 400V.

Les circuits de l'alimentation du convertisseur statique de rotation du feu de secours, de la cellule photoélectrique du feu de secours, de l'alimentation du détecteur d'éclats du feu normal sont protégés par des éclateurs pour lignes très basse tension.

Tous les éclateurs sont branchés entre les conducteurs et une liaison à la masse.

3.5. 2/ Protection de l'appareillage d'alimentation et de commande

Toutes les masses métalliques des appareillages d'alimentation et commande sont reliées à une bande de cuivre disposée à la base et tout autour de l'abri par de la tresse de cuivre.

La bande de cuivre est reliée à la prise de terre, avec interposition d'un joint de coupure intérieur.

3.5. 3/ Protection de l'alimentation par le secteur

La protection de l'installation contre les ondes de foudre transmises par la ligne électrique du secteur de distribution est assurée par un absorbeur d'ondes intégral LS de 5KVA-220V monophasé 50Hz.

CHAPITRE 4

DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE DU PHARE DU CAP MANUEL

Le phare du Cap manuel comprend un feu principal et un feu auxiliaire constitués des principaux équipements suivants installés comme ci-après :

Dans la lanterne du feu principal :

- le matériel optique et de rotation du feu normal et de secours,
- le capteur photoélectrique et le coffret du détecteur d'éclats du feu normal,
- le coffret de commande du feu de secours,
- le cellule photoélectrique 12V d'allumage du feu de secours.

Dans la lanterne du feu auxiliaire :

- le matériel optique auxiliaire,
- le coffret de commande du feu auxiliaire.

Dans le local de commande :

- le tableau de commande général,
- la batterie d'accumulateurs 12V-150Ah et son redresseur de charge,
- la cellule photoélectrique 12V d'allumage des feux normaux principal et auxiliaire.

4. 1 / DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE OPTIQUE DU FEU PRINCIPAL

Du Feu Normal :

Il est constitué par une optique à 4 panneaux au $\frac{1}{4}$ à 0,25m de dF éclairée par une lampe à halogène 180W - 24V à culot A 21-14.

Du Feu de Secours :

Il est constitué par une optique, à 4 panneaux au $\frac{1}{4}$ de 0,10m de dF, montée sur une suspension tournante comportant son propre dispositif de rotation (le feu de secours est donc indépendant du feu principal), est éclairée par une lampe à halogène 12V - 40W montée sur un support de lampe à culot A 21-14.

4. 2/ DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE OPTIQUE DU FEU AUXILIAIRE

Il est constitué pour le feu normal d'une optique $\frac{3}{4}$, d'horizon de 0,25 m de dF éclairée par une lampe à halogène 40W-12V montée sur un support de lampe à culot A 21-14 et pour le feu de secours d'une optique d'horizon de 0,10m de dF éclairée par une lampe à halogène 40W-12V montée sur un support de lampe A 21-14.

4. 3/ DESCRIPTION DU DISPOSITIF DE ROTATION DU FEU PRINCIPAL

Du Feu Normal :

L'ensemble mobile est entraînée à la vitesse de 3 tr/min par un motoréducteur synchrone de 50W-220V-50Hz, vitesse de sortie 60tr/min, avec condensateur de démarrage $3\mu\text{F}$.

Sur l'arbre de sortie du motoréducteur est calé un engrenage de 14 dents qui entraîne un engrenage de 70 dents avec embrayage à friction, calé sur un axe intermédiaire.

Sur ce même axe, un autre engrenage de 56 dents entraîne la couronne dentée de 224 dents du soubassement tournant.

Du Feu de Secours :

La suspension tournante est entraînée à la vitesse de 3 tr/min par un motoréducteur synchrone de 5W-220V-50Hz, vitesse de sortie 3tr/min, avec condensateur de démarrage $0,068\mu\text{F}$.

Sur l'arbre de sortie du motoréducteur est calé un engrenage de 25 dents avec embrayage à billes qui entraîne un engrenage de 25 dents calé sur la suspension tournante.

La tension 220V d'alimentation du motoréducteur est produite, à partir de la tension 12V de la batterie d'accumulateurs par un convertisseur statique de 5VA.

4. 4/ DESCRIPTION DE L'ALIMENTATION EN ENERGIE ELECTRIQUE

Alimentation normale :

L'ensemble de l'installation est alimenté, à partir du secteur de distribution 220V monophasés 50Hz. Cette tension de 220V est abaissée à :

- 24V pour l'alimentation du feu normal principal par un transformateur de 200W;
- 12V pour l'alimentation du feu normal auxiliaire par un transformateur de 40W.

Alimentation de secours :

Les lampes des feux de secours des feux principal et auxiliaire sont alimentés par une batterie d'accumulateurs au plomb 12V-150Ah. Celle-ci est maintenue en charge en floating sous la tension de 13,2V par redresseur régulé de 15A lui-même alimenté par le secteur de distribution 220V-50Hz.

Afin de ne pas détruire le batterie d'accumulateurs par des décharges trop prolongées, le redresseur est équipé d'une balance voltmétrique de coupure du circuit d'utilisation à 10,8V (1,8V par élément) correspondant à 80% de décharge.

La batterie d'accumulateurs assure aux deux feux de secours une autonomie de 60 heures environ.

4. 5/ DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE DE COMMANDE ET DE CONTROLE

4.5. 1/ Tableau de commande général

Il assure les fonctions essentielles suivantes :

- la réception de la tension 220V monophasée 50Hz provenant du secteur de distribution,
- la mise en service automatique ou manuelle du feu normal et de la rotation d'optique,
- l'alimentation du redresseur de charge de la batterie d'accumulateurs 12V des feux de secours,
- l'alimentation d'une signalisation optique et sonore d'état et de défaut du feu principal normal.
- l'alimentation du coffret de commande du feu auxiliaire.

Le tableau de commande général est associé à :

- ◆ une cellule photoélectrique 12V_{cc} ,
- ◆ un détecteur d'éclats.

La cellule photoélectrique provoque l'allumage des deux feux normaux (principal et auxiliaire).

Le détecteur d'éclats provoque la mise en service du feu de secours, la nuit ; et la coupure de l'alimentation du feu normal et de sa rotation, en cas d'arrêt de rotation ou de défaut du feu normal.

Les circuits de commande et de signalisation sont alimentés par la batterie d'accumulateurs 12V des feux de secours.

4.5. 2/ Coffret de commande du feu de secours principal

Il assure la mise en service automatique ou manuelle du feu de secours alimenté par la batterie 12V.

Il est associé à une cellule photoélectrique 12V_{cc}.

La mise en service automatique du feu de secours est assurée en présence de l'information de défaut donnée par le détecteur d'éclats du feu normal et de l'information « nuit » donnée par la cellule photoélectrique 12V du feu de secours.

4.5. 3/ Coffret de commande du feu de secours auxiliaire

Il assure les fonctions essentielles suivantes :

- la réception de la tension 220V monophasée 50Hz provenant du secteur de distribution, par l'intermédiaire du tableau principal.
- la réception de la tension 12V de la batterie d'accumulateurs,
- la mise en service automatique ou manuelle du feu normal,
- le passage automatique sur feu de secours en cas de rupture du filament du feu normal ou de défaut secteur,
- l'alimentation rythmée des feux,
- l'alimentation d'une signalisation optique et sonore en cas de défaut du feu auxiliaire normale.

4. 6/ PROTECTION CONTRE LA FOUDRE

Elle comprend :

- un paratonnerre,
- une descente extérieure, jusqu'à la prise de terre (un joint de coupure extérieur est interposé sur cette descente, à la base du phare),
- une prise de terre,
- une ceinture intérieure, à la base de la lanterne, réalisée avec une bande de cuivre.
- une descente intérieure, à la tour du phare, réalisée avec une bande de cuivre (cette descente relie la ceinture intérieure de la lanterne à la descente extérieure, à la base du phare, avec interposition d'un joint de coupure extérieur).

4.6. 1/ Protection de l'appareillage dans la lanterne

Toutes les masses métalliques de l'appareillage dans la lanterne y compris le soubassement tournant sont reliés à la ceinture intérieure de la lanterne par de la tresse de cuivre.

Le primaire du transformateur 220V/24V d'alimentation de la lampe du feu normal et du moteur de rotation est protégé par un coffret de parafoudre équipé d'éclateurs de puissance 400V.

Les circuits de l'alimentation du convertisseur statique de rotation du feu de secours, de la cellule photoélectrique du feu de secours, de l'alimentation du détecteur d'éclats du feu normal sont protégés par des éclateurs pour lignes très basse tension. Tous les éclateurs sont branchés entre les conducteurs et une liaison à la masse.

4.6. 2/ Protection de l'appareillage d'alimentation et de commande

Toutes les masses métalliques des appareillages d'alimentation et de commande sont reliées à une bande de cuivre disposée à la base et tout autour du local de commande par de la tresse de cuivre.

La bande de cuivre est reliée à la prise de terre, avec interposition d'un joint de coupure intérieur.

4.6. 3/ Protection de l'alimentation par le secteur

La protection de l'installation contre les ondes de foudre transmises par la ligne électrique du secteur de distribution est assurée par un absorbeur d'ondes intégral LS de 2KVA-220V monophasé 50Hz.

CHAPITRE 5

DESCRIPTION DE L'APPAREILLAGE DES FEUX ET BOUEES LUMINEUSES

Tous les feux et bouées lumineuses entretenus par le Service des Phares et Balises du Sénégal sont alimentés par système solaire photovoltaïque.

L'installation de ces feux et bouées lumineuses comprend ainsi :

- un générateur solaire photovoltaïque (sous forme de panneaux),
- une batterie d'accumulateurs pour le stockage de l'énergie,
- un tableau de commande.

5. 1/ LE GENERATEUR SOLAIRE PHOTOVOLTAIQUE

La conversion photovoltaïque permet de transformer directement en électricité l'énergie fournie par le soleil sous forme de lumière.

Cette transformation est réalisée au moyen de cellules photovoltaïques (ou photopiles) connectées électriquement entre elles et assemblées en module pour constituer des systèmes résistants, hermétiques et de tensions conventionnelles (12 ou 24V).

Le générateur solaire photovoltaïque est obtenu par une association de modules photovoltaïques en parallèle. Ceux-ci sont disposés avec un angle d'inclinaison α , fonction de la latitude du site, pour permettre un captage optimal du rayonnement solaire et favoriser également l'auto-nettoyage par ruissellement.

5. 2/ LA BATTERIE D'ACCUMULATEURS

De par l'exploitation de l'énergie solaire le jour, l'alimentation de nuit des feux, il est nécessaire de stocker l'énergie emmagasinée dans la journée.

Et à cet effet, des batteries au plomb étanches à électrolyte gélifiée et à recombinaison de gaz sont utilisées.

Rappel de la technologie :

Les plaques en alliage de plomb - calcium sont enveloppées dans des séparateurs micro-poreux en fibres qui « fixent » l'électrolyte (comme un buvard).

En fin de charge, une recombinaison des gaz permet de limiter au maximum les consommations d'électrolyte et de maintenir le caractère étanche du bac.

Une soupape de sécurité fonctionne en cas d'élévation anormale de la pression interne due à une utilisation anormale (surcharge, hautes températures, ...).

5. 3/ LE TABLEAU DE COMMANDE

Il a pour fonctions principales :

- l'alimentation de l'ensemble de l'appareillage à partir de la batterie d'accumulateurs rechargée par le générateur solaire photovoltaïque,
- la commande et le contrôle du fonctionnement de l'ensemble de l'installation,
- la commande et le contrôle de la rotation dans le cas d'un feu tournant,
- la visualisation d'états ou de défauts sur une plaquette synoptique,
- la transmission à distance des états de fonctionnement par un dispositif de télécontrôle (si le coffret en est équipé),
- la mise en service d'un avertisseur sonore (si le feu est gardienné).

Pour réaliser ces fonctions, le tableau est relié par liaisons électriques avec l'ensemble de l'appareillage : le feu normal (et de secours éventuellement), les générateurs solaires, la batterie d'accumulateurs, l'avertisseur sonore (si le feu est gardienné), la cellule photorésistante d'allumage ou d'extinction automatiques, le soubassement tournant dans le cas d'un feu tournant.

Le tableau se compose de deux parties distinctes :

- ◆ la partie électronique en haut,
- ◆ la partie connectique en bas.

5.3. 1/ La partie électronique

Elle est constituée :

- de cartes électroniques de commande : les cartes régulateur de charge (2 cartes superposées), la carte programmeur, la carte amplificateur, la carte sonnerie et la carte moteur (dans le cas d'un feu tournant).

Dans le cas où le feu est équipé d'un dispositif de télécontrôle, une carte télécontrôle se situe sous la carte sonnerie, et un boîtier « émetteur/récepteur » est placé à l'intérieur du coffret.

- d'une plaquette synoptique de visualisation d'états ou de défauts comportant :
 - ◆ 3 voyants verts (délestage générateur, feu en service, feu de secours allumé),
 - ◆ 3 voyants rouges (défaut alimentation, défaut feu, délestage lampe).

Dans le cas d'un feu tournant, il y a 3 voyants supplémentaires : 2 voyants verts (témoin rotation, moteur en service) et un voyant rouge (panne rotation).

Au bas de la plaquette, l'interrupteur à deux positions permet :

- ⇒ de tester l'allumage de tous les voyants (test voyant),
- ⇒ de visualiser les états de fonctionnement ou de défauts.

5.3. 2/ La partie connectique

Elle est constituée par un bornier de raccordement qui permet d'effectuer les liaisons électriques entre le tableau et l'appareillage extérieur.

Ce bornier est constitué par :

- des bornes « type Wago »,
- des coupe-circuits (disjoncteurs magnéto-thermiques ou cartouches fusibles) placés sur les bornes + feu normal et + feu de secours.

5.3. 3/ Le principe de commande

Les feux et bouées lumineuses fonctionnent selon deux modes différents :

◆ de nuit :

Tous les circuits de commande et de contrôle du feu sont en service, les fonctions « nuit » sont activées, la source d'énergie étant la batterie d'accumulateurs ;

◆ de jour :

Le fonctionnement du feu étant bloqué, la consommation d'énergie est faible et la batterie est rechargée par les générateurs solaires en vue de son utilisation nocturne.

La commutation jour/nuit est assurée grâce à la cellule photorésistante d'ambiance qui est connectée sur le circuit économiseur de la carte programmeur.

Le seuil de basculement est pré-réglé sur la carte pour un éclairage désiré, et le feu est automatiquement :

- mis en service au crépuscule,
- éteint à l'aube.

5.3.3. 1/ Les fonctions « Nuit »

Lorsque le seuil de basculement est atteint, le circuit économiseur délivre aux cartes programmeur et amplificateur les tensions « Nuit ».

Ces tensions permettent :

- de commander l'allumage d'une lampe (carte programmeur),
- de permettre l'allumage de la lampe du feu normal (carte amplificateur),
- de générer un rythme d'allumage (carte programmeur),
- d'alimenter la lampe sous une tension constante (carte amplificateur).

Lorsque la lampe est allumée, les différentes cartes permettent :

- de contrôler le fonctionnement de la lampe (carte programmeur),
- de commander le passage sur la lampe de secours en cas de défaut sur celle du feu normal (carte programmeur),
- de contrôler la tension de la batterie d'accumulateurs (carte régulateur de charge),
- de couper l'alimentation de la lampe (délestage) si la tension batterie est insuffisante, et de la remettre sous tension lorsque la tension batterie redevient normale (carte programmeur),
- de signaler les états de fonctionnement et de défauts (plaquette synoptique)
- d'alimenter une sonnerie en cas de défaut lorsque le feu est gardienné (carte sonnerie),

A ces fonctions s'ajoutent :

- dans le cas d'un feu tournant, la commande et le contrôle de la rotation d'un soubassement tournant (carte moteur) qui intervient dès le basculement jour/nuit ;
- la transmission à distance des informations sur le fonctionnement du feu, via un dispositif de télétransmission (carte télécontrôle).

5.3.3. 2/ Les fonctions « Jour »

Les fonctions « Nuit » sont désactivées lorsque la luminosité ambiante atteint le seuil préréglé qui détermine le basculement Nuit/Jour.

Les fonctions « Jour » sont alors mises en service.

Elles consistent à :

- commander l'extinction de la lampe (carte programmeur),
- fournir l'alimentation batterie aux circuits restant sous tension,
- contrôler la charge de la batterie d'accumulateurs (cartes régulateurs de charge).

CHAPITRE 6

GENERALITES SUR LA MAINTENANCE

Par maintenance, on entend l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

Tandis que l'entretien d'un équipement regroupe les opérations et interventions de natures diverses à effectuer, afin de le garder, ou non, en état de rendre le service pour lequel il a été prévu, la maintenance, quant à elle, consiste à organiser, prévoir, planifier et gérer de façon optimale les opérations d'entretien.

Aux activités techniques effectuées par des spécialistes, viennent se greffer d'autres responsabilités comme :

- l'organisation d'une structure de maintenance préventive,
- le suivi des coûts,
- l'analyse des pannes ainsi que le compte rendu des interventions de maintenance,
- le suivi informatique du vieillissement du matériel,
- l'établissement d'un fichier historique du suivi de maintenance par secteur et par machine,
- la gestion des stocks des pièces détachées,
- les activités de conseil.

La maintenance peut être divisée en maintenance préventive et maintenance corrective.

6. 1/ LA MAINTENANCE PREVENTIVE

C'est un type de maintenance effectuée dans l'intention de réduire les risques et probabilités de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu. C'est une intervention de maintenance prévue, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance.

On distingue trois cas de maintenance préventive :

6.1. 1/ La maintenance préventive systématique

Effectué selon un planning prévu et établi, ce type d'intervention permet d'effectuer des opérations de maintenance, afin d'éliminer ou de diminuer les risques de dysfonctionnement.

6.1. 2/ La maintenance préventive conditionnelle

Maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto-diagnostic, information d'un capteur, mesure...), elle permet, grâce à une surveillance très précise de suivre l'évolution d'un défaut ou d'une usure et donc de planifier une intervention avant défaillance totale ou partielle.

6.1. 3/ La maintenance améliorative

Après plusieurs défaillances de même nature, ce type de maintenance permet, après réflexion et étude, d'éliminer le problème.

6. 2/ LA MAINTENANCE CORRECTIVE

Les interventions de maintenance corrective interviennent après défaillance (totale ou partielle) du système. Les dysfonctionnements sont alors accidentels et les interventions se font sous la forme de dépannage ou de réparation.

CHAPITRE 7

**LE COMPORTEMENT
DU MATERIEL EN SERVICE**

7. 1/ MODELISATION DE MARKOV DE L'ETAT D'UN SYSTEME

La modélisation de Markov permet de caractériser un système. Elle le considère en trois états : Bon fonctionnement, Mode dégradé et Panne. L'évolution du système d'un vers un autre de ces états est illustrée dans la figure suivante :

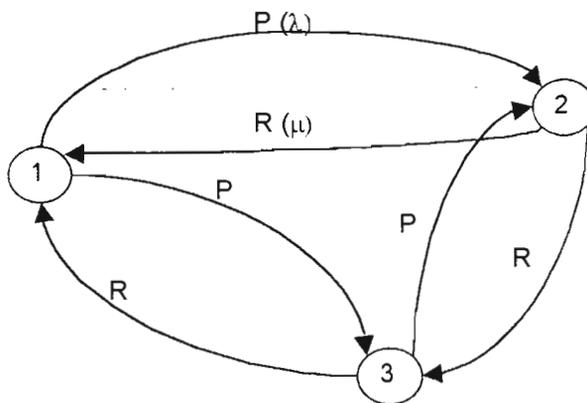


Figure 7.1 : Schéma d'évolution d'un système d'un état vers un autre selon la modélisation de Markov

Avec :

P : Panne ; R : Réparation

P étant fonction du taux de défaillance λ et R du taux de réparation μ ,

$$\lambda = \frac{1}{MTBF}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR}$$

MTBF désigne la Moyenne des Temps de Bon fonctionnement et MTTR, la Moyenne des temps techniques de réparation.

7. 2/ LES DEFAILLANCES

7.2. 1/ Définitions et Hiérarchisation

7.2.1. 1/ Définitions

- Défaillance : altération ou cessation d'un bien à accomplir une fonction requise.
- Dégradation : défaillance progressive.
- Défaillance partielle : altération du fonctionnement.
- Défaillance complète : cessation du fonctionnement (panne).
- Défaillance catalectique : soudaine et progressive.
- Défaillance par dégradation : progressive et partielle.
- Défaillance aléatoire : taux de défaillance constant.
- Défaillance d'usure : taux croissant.

7.2.1. 2/ Hiérarchisation

Suivant leurs probabilités d'occurrence et la gravité de leurs effets, les défaillances ne présentent pas le même degré sur le système, c'est ce qui est schématisé sur le schéma suivant :

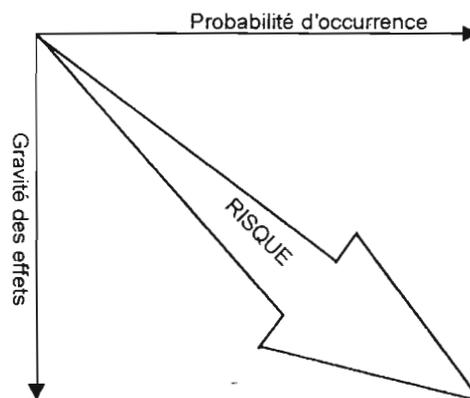


Figure 7.2 : Schéma d'hiérarchisation des défaillances suivant leurs effets et leurs probabilités d'occurrence

7.2. 2/ Caractéristiques d'une défaillance

7.2.2. 1/ Vitesse de manifestation

Les défaillances se montrent suivant l'un des deux modèles suivants :

7.2.2.1. 1/ Modèle de dégradation

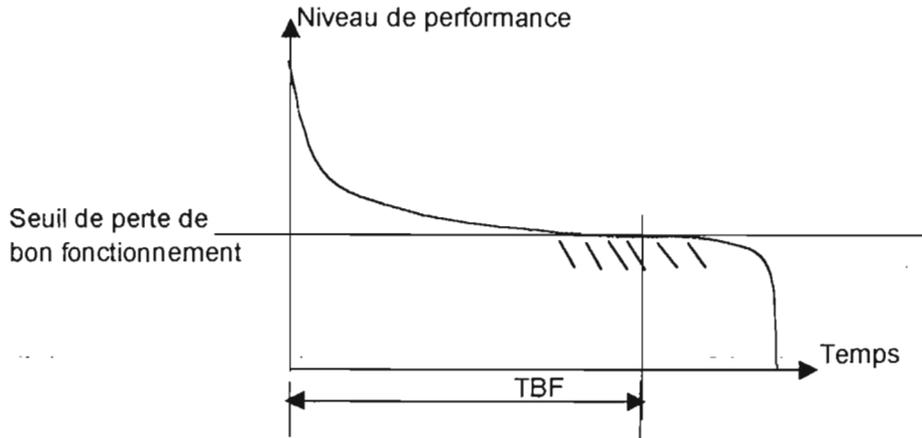


Figure 7.3 : Schéma du modèle de dégradation de la manifestation des défaillances

Dans ce modèle, on voit progresser la défaillance : ce sont les phénomènes d'usure en mécanique, l'augmentation du frottement, ou l'augmentation de la valeur des résistances pour les systèmes électroniques.

7.2.2.1. 2/ Modèle catalectique

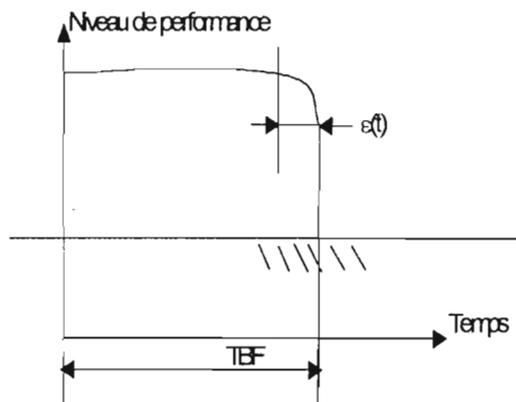


Figure 7.4 : Schéma du modèle catalectique de la manifestation des défaillances

Ici, les défaillances sont complètes et soudaines. Il est ainsi difficile d'observer la dégradation : c'est par exemple, la rupture brusque d'une pièce mécanique, le court-circuit d'un système électrique ou électronique.

7.2.2. 2/ Processus d'évolution

Il arrive que plusieurs modes de défaillance s'enchaînent suivant le schéma :

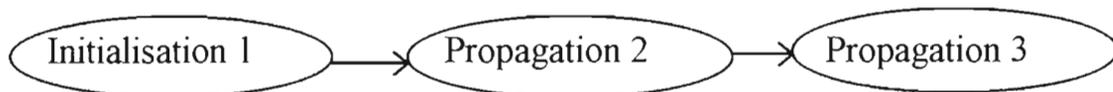


Figure 7.5 : Schéma de propagation de la défaillance d'un système

1/ Initialisation : Soit, c'est un défaut « santé-matière », soit un défaut de conception, de fabrication, où/et une cause extrinsèque (choc, surcharge fugitive).

2/ La propagation s'opère souvent par des modes de défaillance en fonctionnement, tels que la fatigue, l'usure, ...

3/ La perte de « bon fonctionnement » intervient généralement de façon accélérée consécutive à la propagation dans le temps, ou de façon soudaine.

7.2. 3/ Le taux de défaillance

7.2.3. 1/ Définition

Le taux de défaillance noté λ (t) est un estimateur de la fiabilité.

En effet, il représente une proportion de dispositifs survivants à un instant t.

Sa forme générale est :

$$\frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Durée d'usage}}$$

7.2.3. 2/ Les différentes phases de la vie d'un équipement

• *Jeunesse* (Mortalité infantile, défaillances précoces) :

- ◆ en état de fonctionnement à l'origine (mise en service) ;
- ◆ période de rodage (pré-usure, coup de râpe initial) ;
- ◆ présélection des composants électroniques (déverminage).

• **Maturité** (période de vie utile, défaillances aléatoires)

- ◆ période de rendement optimal du matériel ;
- ◆ taux de défaillance constant ;
- ◆ les défaillances apparaissent sans dégradations préalables visibles, par des causes diverses, suivant un processus poissonnien (défaillances aléatoires).

• **Obsolescence** (vieillesse, usure) :

- ◆ Un mode de défaillance prédominant, généralement visible, entraîne une dégradation accélérée, à taux de défaillance croissant (pour un mécanisme). Souvent on trouve une usure mécanique, de la fatigue, une érosion ou une corrosion.
- ◆ A un certain seuil $\lambda(t)$, le matériel est « mort » : il est alors déclassé, puis rebuté ou parfois reconstruit. La détermination de T, seuil de réforme, est obtenu à partir de critères technico-économiques.

7.2.3. 3/ La courbe en baignoire

Elle représente l'évolution du taux de défaillance en fonction du temps :

En électronique, elle se présente sous la forme ci-dessus :

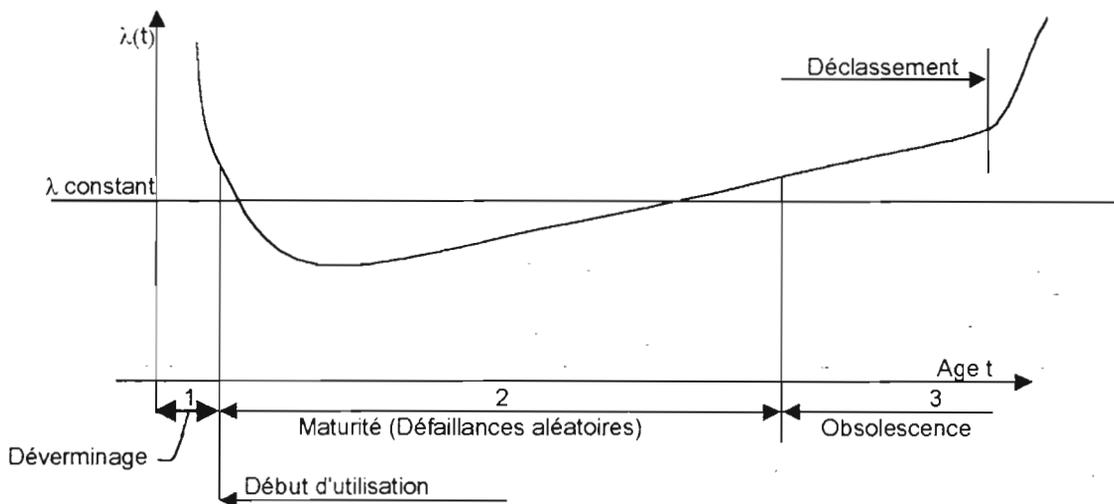


Figure 7.6 : Evolution du taux de défaillance (Courbe en baignoire) des équipements électroniques durant leur cycle de vie

Et en mécanique, elle se présente sous la forme :

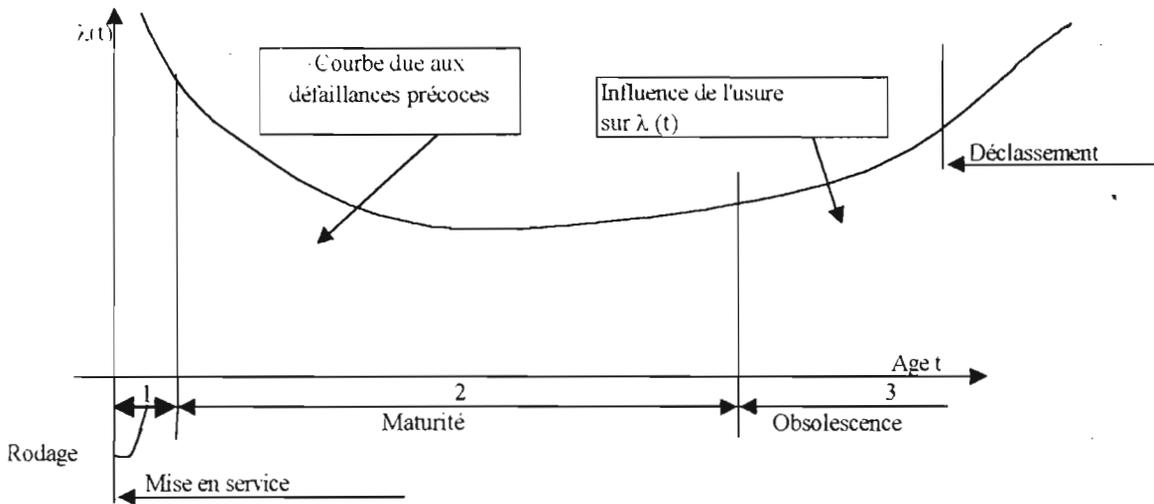


Figure 7.7 : Evolution du taux de défaillance (Courbe en baignoire) des équipements mécaniques durant leur cycle de vie

• **Exploitation de la courbe en baignoire en maintenance :**

En ce qui concerne le période de jeunesse, le taux de défaillance va diminuant. Ceci s'explique par le fait que certains composants sont mis en fonctionnement alors qu'ils sont viciés au départ ; soit une malfaçon lors de la fabrication.

La deuxième période ou période de maturité est caractérisée par un taux de défaillance sensiblement constant :

- $\lambda(t)$: constante pour les équipements électroniques (pas d'usure) ;
- $\lambda(t)$: légèrement croissant pour les équipements mécaniques.

La troisième période (vieillesse) présente d'importants phénomènes de dégradation. Le taux de défaillance est croissant (période où il faut surveiller le matériel). Cela correspond aux phénomènes de fatigue, et d'usure en mécanique ou au problème lié à la dérive des composants en électronique.

7. 3/ LA FIABILITE DES EQUIPEMENTS

La fiabilité est la science des défaillances basée sur l'expérience.

La fiabilité d'une machine a tendance à diminuer avec le nombre de ses composants. Lorsque les composants sont trop nombreux ou trop complexes, il arrive fréquemment un moment où la maîtrise de la fiabilité n'est plus possible et l'hypothèse d'une défaillance très probable.

Pour un ensemble, une très haute qualité pour chacun des composants n'implique pas nécessairement une grande fiabilité, après assemblage. Les interactions qui se produisent entre les composants diminuent la capacité de l'ensemble.

De même, une grande fiabilité sous certaines conditions n'entraîne pas forcément une grande fiabilité sous d'autres conditions.

La meilleure connaissance de la fiabilité provient de l'analyse des défaillances lorsque les produits sont en service

7.3. 1/ Définition de la fiabilité d'un équipement

La fiabilité d'un dispositif est sa caractéristique exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation et pour une période de temps déterminée.

7.3. 2/ Fiabilité et Qualité

La fiabilité est indissociable de la qualité :

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

En fait, la fiabilité est une extension de la qualité dans le temps et il ne peut y avoir de bonne fiabilité sans qualité initiale.

7.3. 3/ Fiabilité et Disponibilité

Une caractéristique de la fiabilité est la MTBF (Mean Time Between Failure en anglais, ou Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement en français).

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

La maintenabilité qui est la « probabilité que le dispositif après défaillance soit remis en état de fonctionnement et dans un temps donné » est caractérisée par la MTTR

(Mean Time To Repair en anglais qui se traduit par Moyenne des Temps Techniques de Réparation en français).

La disponibilité est la probabilité que le dispositif soit en état de fonctionner, c'est à dire qu'il ne soit ni en panne, ni en révision.

La disponibilité dépend de la fiabilité et de la maintenabilité suivant la relation :

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

7.3. 4/ Expressions mathématiques de la fiabilité

Un dispositif mis en marche pour la première fois tombera inévitablement en panne à un instant T (non connu à priori), T étant une variable aléatoire de fonction de répartition $F(t)$ telle que :

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

avec :

$F(t)$: la fonction cumulée de défaillances,

$R(t)$: la fonction fiabilité.

A un instant t_i , $F(t_i)$ est la probabilité pour que le dispositif soit en panne :

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

et $R(t_i)$ est définie comme étant la probabilité de bon fonctionnement à l'instant t_i :

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

Le taux de défaillance instantané $\lambda(t)$ est la probabilité de défaillance à l'instant t à condition qu'il n'y ait pas eu de défaillance avant cet instant t .

De ce fait, on a :

$$\lambda(t)dt = \frac{F(t+dt) - F(t)}{R(t)} = \frac{dF(t)}{1 - F(t)}$$

En intégrant les deux membres de cette équation, on obtient :

$$e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} = 1 - F(t)$$

D'où :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(t) dt} \quad f(t) = \lambda(t) e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}$$

Autre indicateur de la fiabilité, la MTBF est liée aux lois de fiabilité par le taux de défaillance. Elle est l'espérance mathématique des défaillances.

Elle est donnée par :

$$MTBF = \int_{-\infty}^{+\infty} t f(t) dt = \int_0^{+\infty} R(t) dt$$

• **Cas d'un taux de défaillance $\lambda(t)$ constant, loi exponentielle :**

Les composants électroniques dans leur période de maturité ont généralement un taux de défaillance constant. La loi de fiabilité qui en découle est :

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t}$$

• **Cas d'un taux de défaillance $\lambda(t) = a t + b$.**

C'est le cas du phénomène d'usure en mécanique dans leur période de maturité :

$$R(t) = e^{-\int_0^t (at+b) dt} = e^{-\left(\frac{at^2}{2} + bt\right)} \quad MTBF = \int_0^{+\infty} \left(e^{-\left(\frac{at^2}{2} + bt\right)}\right) dt$$

CHAPITRE 8

LA MODELISATION DU COMPORTEMENT D'UN EQUIPEMENT

8. 1/ LA LOI DE POISSON

La loi de Poisson utilise des variables discrètes pour représenter les individus et les populations étudiées.

En fiabilité, lorsque le taux de défaillance est constant, le processus d'arrivée des pannes est exprimé par la loi de Poisson. Elle détermine la probabilité $P(k)$ de constater k pannes sur un temps ou une durée t par :

$$P(k) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$$

La fiabilité correspondant à la probabilité qu'il n'y ait pas de défaillance au bout du temps t est :

$$R(t) = P(0) = e^{-\lambda t}$$

La fonction de répartition des défaillances qui est le complément à la fonction fiabilité est :

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

dont la dérivée, représentant la densité de probabilité des défaillances, est :

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

8. 2/ LE MODELE EXPONENTIEL

8.2. 1/ Généralités

Les « courbes en baignoire » font apparaître une longue période de fonctionnement pendant laquelle le taux de défaillance est sensiblement constant.

C'est le cas notamment des composants électroniques qui dans leur période de maturité ont généralement un taux de défaillance constant.

Pour cette période, c'est le modèle exponentiel qui est couramment utilisé pour modéliser les défaillances dans le temps. C'est un modèle qui se rapproche de la loi de Poisson dans laquelle la variable discrète est remplacée par une variable continue.

8.2. 2/ Expressions mathématiques

- *Densité de probabilité des défaillances :* $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad t \geq 0$
- *Fonction de répartition des défaillances :* $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$
- *Fonction fiabilité :* $R(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t} = e^{-\frac{t}{MTBF}}$
- *Taux de défaillance :* $\lambda(t) = \lambda = Const$
- *Espérance mathématique :* $E(t) = \frac{1}{\lambda} = MTBF$

Remarque : A l'instant $t = MTBF$ (durée de vie moyenne entre deux défaillances), la fiabilité est $R(t) = \frac{1}{e} = 0,368$, c'est à dire une chance de survie inférieure à 50%, précisément de 37%.

- *Variance et Ecart-type :* $V = \frac{1}{\lambda^2}, \quad \sigma = \frac{1}{\lambda}$
- *Durée de vie L_{10} associée au seuil de fiabilité $R = 0,9$:*

Il s'agit de tirer t de la loi : $R(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t}$.

Ce qui donne : $t = \frac{1}{\lambda} Ln \frac{1}{R(t)} = \frac{1}{\lambda} Ln \frac{1}{0,9} = \frac{0,105}{\lambda}$

$\Rightarrow t = 0,105 MTBF$

8. 3/ LE MODELE DE WEIBULL

8.3. 1/ Généralités

Contrairement au modèle exponentiel, le modèle de Weibull couvre les cas où le taux de défaillance λ est variable et permet donc de s'ajuster aux périodes de « jeunesse » et aux différentes formes de « vieillissement ».

En effet pour un grand nombre de composants (mécaniques et électromécaniques, notamment), λ n'est pas constant dans la zone 2 des « courbes en baignoire » décrites au chapitre précédent. La distribution exponentielle n'est alors pas applicable. Et la manière la plus pratique, dans ces cas, est de considérer que la défaillance est distribuée d'après la loi de Weibull.

La distribution de Weibull est une sorte de loi caméléon, très souple, qui, grâce à ses trois paramètres (γ, β, η) peut s'ajuster à un grand nombre de données statistiques : elle peut suivre une distribution non symétrique, faire l'approximation de la loi normale, devenir une distribution exponentielle, etc.

Son utilisation implique des résultats d'essais expérimentaux sur échantillons ou la saisie des résultats en fonctionnement (TBF : Intervalle entre deux dates de pannes). Ces résultats permettent d'estimer la fonction de répartition des défaillances $F(t)$ correspondant à chaque instant t .

La détermination des trois paramètres permettra, à partir de tables, d'évaluer la MTBF et l'écart-type.

D'autre part, la connaissance du paramètre de forme β est un outil de diagnostic du mode de défaillance dans le cas où l'équipement étudié est une « boîte noire ».

8.3. 2/ Expressions mathématiques

On considère la variable aléatoire continue t , distribuée suivant une loi de Weibull.

8.3.2. 1/ Densité de probabilité des défaillances

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta} \right)^\beta} \quad \text{avec : } t \geq \gamma$$

β est appelé paramètre de forme : $\beta > 0$;

η est appelé paramètre d'échelle : $\eta > 0$;

γ est appelé paramètre de position : $-\infty < \gamma < +\infty$;

8.3.2. 2/ Fonction de répartition des défaillances

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

La fiabilité est donc : $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$

Remarque : Pour $\gamma = 0$ et $\beta = 1$, on retrouve la distribution exponentielle, cas particulier de la loi de Weibull.

Et dans ce cas : $\lambda = \frac{1}{\eta} = \frac{1}{MTBF}$

8.3.2. 3/ Taux instantané de défaillance

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad \text{avec : } t \geq \gamma ; \beta > 0 ; \eta > 0 ;$$

• **Exploitation :**

Si $\beta < 1$, alors $\lambda(t)$ décroît : période de jeunesse (rodage, déverminage).

Si $\beta = 1$, alors $\lambda(t)$ est constant : indépendance du processus et du temps.

Si $\beta > 1$, alors $\lambda(t)$ croît : phase d'obsolescence que l'on peut analyser plus finement ci-dessous pour orienter un diagnostic :

1,5 < β < 2,5 : Phénomène de fatigue,

3 < β < 4 : Phénomène d'usure, de corrosion (débuté au temps $t = \gamma$), de dépassement d'un seuil (domaine de déformation plastique),

$\beta \approx 3,5$: $f(t)$ est symétrique, la distribution est « normale ».

8.3.2. 4/ Espérance mathématique (MTBF) et Ecart-type

L'espérance mathématique a pour expression : $E(t) = \gamma + \eta\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$

La variance s'exprime par : $v(t) = \eta^2\Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \eta^2\left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right)^2$

Avec Γ , le symbole d'une fonction eulérienne de seconde espèce.

La tabulation de cette fonction est donnée en annexe.

Avec la valeur A de cette table, on obtient la MTBF par :

$$MTBF = A \eta + \gamma.$$

et avec la valeur B, l'écart-type $\sigma = \sqrt{v(t)}$ s'obtient par : $\sigma = B\eta$.

3.3.2. 5/ Durée de vie associée au seuil de fiabilité de 90%

A tout instant t, on peut associer une probabilité R(t).

Réciproquement, à partir d'un niveau de fiabilité R(t), on peut trouver l'instant t correspondant.

En particulier, on considère la durée de vie « nominale » notée L_{10} associée au seuil de fiabilité $R(L_{10}) = 0,9$.

On a : $R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$

$\Rightarrow \ln(R(t)) = -\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta$

$\Rightarrow \left(\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)^{\frac{1}{\beta}} = \frac{t-\gamma}{\eta}$

$\Rightarrow t = \gamma + \eta \times \left(\ln\left(\frac{1}{R(t)}\right)\right)^{\frac{1}{\beta}}$

Donc au seuil $R(t) = 0,9$, on a :

$$L_{10} = \gamma + \eta \times (0,105)^{\frac{1}{\beta}}$$

Cette durée de vie est estimée dès lors que l'on a déterminé les trois paramètres de Weibull.

8.3. 3/ Principe de la détermination des paramètres de Weibull

L'historique de fonctionnement d'un matériel permet de déterminer des TBF, ou des durées de vie de composants, donc des fréquences cumulées de défaillances notées $F(i)$, approximation de $F(t)$.

La détermination des trois paramètres de Weibull permet d'ajuster la loi probabiliste à la distribution statistique révélée.

On porte les points $M (F(i), t)$ sur un papier fonctionnel spécial, le papier d'Allan Plait (dit papier de Weibull).

Le nuage de points ainsi formé est ajusté par une droite dite de Weibull, selon des méthodes de redressement et de régression.

8.3. 4/ Signification du paramètre de forme β

Il caractérise les distributions des durées étudiées. Il permet d'adapter la forme des courbes $\lambda (t)$ aux différentes phases de vie d'un système ou d'un composant (courbe en baignoire). Il sert également d'indicateur pour un diagnostic, les valeurs β étant caractéristiques d'un mode de défaillance (paragraphe 8.3.2.3).

8.3. 5/ Algorithme de la modélisation des défaillances par la loi de Weibull

PREPARATION DES DONNEES

1. Recenser les TBF (Temps de Bon Fonctionnement) à partir de la saisie des données d'exploitation (dates d'apparition des pannes) ou d'essai ;
2. Classer par ordre croissant les TBF obtenus ;
3. Attribuer un numéro d'ordre i à chaque TBF : $1 \leq i \leq N$;
4. Suivant la taille N de l'échantillon,
 - Si $N > 50$, découper les TBF en classes,
 - Si $N < 50$, exploiter chaque TBF en valeur propre ;
5. Evaluer la fréquence cumulée $F(i)$ suivant le modèle d'approximation le plus adapté.

DETERMINATION DES PARAMETRES DE WEIBULL

1. Sur le papier fonctionnel de Weibull, porter :

- sur l'axe A, les valeurs t de TBF,
- sur l'axe B, les valeurs $F(i)$ associées ;

On obtient ainsi un nuage de points M.

2. Deux cas sont possibles :

- Si les points présentent un alignement assez conséquent, ajuster les par une droite D1 (au jugé ou par une méthode de régression) : dans ce cas $\gamma = 0$,
- Sinon, ajuster le nuage de points par une courbe C1, puis translater tous les points M d'une même valeur γ jusqu'à obtention d'une droite D1: dans ce cas γ n'est pas nul;

3. La droite D1 coupe l'axe (t, η) en η ;

4. Tracer la parallèle D2 à D1 passant par le point $l(X, Y)$,
Cette droite D2 coupe l'axe (β, b) en β .

EXPLOITATION DIRECTE DES PARAMETRES

1. Recherche des paramètres caractéristiques :

Avec la valeur β obtenue, utiliser les tables donnant A et B pour en déduire respectivement la MTBF, l'écart-type et la variance à partir des relations suivantes :

$$MTBF = A\eta + \gamma ; \quad \sigma = B\eta ; \quad V = \sigma^2 ;$$

2. Tracés et applications numériques des lois $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$ dont les équations sont définies par les trois paramètres trouvés :

A chaque instant t , on peut ainsi graphiquement ou analytiquement déterminer : la fiabilité, la fonction de répartition, la fonction de distribution et la taux de défaillance instantané.

3. Utiliser les relations réciproques pour trouver en particulier l'instant t , associé à un seuil de fiabilité :

$$t = \gamma + \eta \left(\ln \frac{1}{R(t)} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

On peut calculer ainsi la durée de vie nominale : $L_{10} = \gamma + \eta \times (0.105)^{\frac{1}{\beta}}$

AUTRES EXPLOITATIONS DE LA LOI DE WEIBULL

1. A partir du paramètre β et de considérations économiques, il est possible d'optimiser la période de remplacement systématique d'un sous-ensemble fragile,
2. A partir de la MTBF, il est possible de calculer la disponibilité à partir de la relation :
3. A partir de $\beta > 1$, il est possible de simuler le bien-fondé économique d'une action corrective.

CHAPITRE 9

**ETUDE DE L'ORIENTATION
DES PRIORITES DE LA MAINTENANCE**

Les techniques les plus évoluées en matière de maintenance coûtent cher, et ne doivent pas être appliquées sans discernement.

Il convient, par conséquent, de s'organiser de façon efficace et rationnelle. Et à cet effet, l'analyse ABC ou de « Paréto » et l'analyse de fiabilité sont des outils assez efficaces.

C'est ainsi que dans ce présent chapitre, ces deux analyses sont effectuées afin de déceler les installations ou équipements sur lesquels devraient se porter les priorités de la maintenance et aussi de fournir des indicateurs sur leur comportement dans le temps.

En première partie, deux analyses ABC sont effectuées : d'abord pour les pièces de rechange des phares (Mamelles et Cap Manuel) et ensuite pour celles des feux et bouées lumineuses.

Dans la seconde partie du chapitre, la fiabilité des installations en général et certains de leurs équipements en particulier est étudiée en effectuant d'abord la répartition de leurs défaillances et ensuite la modélisation de leur comportement dans le temps.

C'est le modèle de Weibull, présenté au chapitre précédent, que nous avons utilisé pour faire la modélisation, car étant le mieux indiqué dans le cas où on ne dispose pas d'un grand nombre de données. En effet, nous n'avons obtenu des données que sur les défaillances de 1997 et de 1998.

9. 1/ ANALYSES ABC DU MATERIEL DES INSTALLATIONS

La méthodologie de l'analyse ABC consiste à classer les pannes par ordre décroissant de coûts, chaque panne se rapportant à une machine, puis à établir un graphique faisant correspondre les pourcentages de coûts cumulés aux pourcentages de types de panne cumulés.

Les listes des pièces de rechange des phares, feux et bouées lumineuses et de leurs prix unitaires établies lors de l'élaboration du budget de 1999 des Phares et Balises ont été utilisées pour faire les analyses ABC présentés ci-après. Pour chaque pièce de rechange, le nombre de pannes a été pris comme étant égal à celui du nombre commandé.

Ceci se justifie dans la mesure où les pièces de rechange servent à remplacer celles qui ont défailli et que donc leur nombre peut valablement représenter le nombre de défaillances.

Nous avons obtenu les résultats suivants :

9.1. 1/ Analyse ABC des pièces de rechange des phares des Mamelles et du Cap Manuel

| Classement des prix unitaires des pièces de rechange (FCFA) | Cumul des prix (FCFA) | % des prix cumulés | Nombre d'unités commandées par an | Cumul des nombres (de pièces) commandés | % des nombres commandés cumulés | Désignation des pièces commandées à ce prix unitaire |
|---|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|--|
| 200000 | 200000 | 35,7% | 1 | 1 | 0,9% | Carte programmeur B187C |
| 150000 | 350000 | 62,4% | 5 | 6 | 5,5% | Contacteur général avec bloc auxiliaire LC1 8253, Contacteur feu de secours LP1 D 123 BC, Contacteur feu normal LP1 D 123 J, Contacteur alternatif avec bloc auxiliaire LC1 D 093 M, Contacteur régulateur de tension LC1 D 093 M. |
| 100000 | 450000 | 80,2% | 7 | 13 | 11,9% | Cellule Lucirex 12V, Détecteur d'éclats ADOU. |
| 45000 | 495000 | 88,2% | 4 | 17 | 15,6% | Relais thermique de protection LR1 D16321, Relais défaut feu normal RHT 412J. |
| 30000 | 525000 | 93,6% | 10 | 27 | 24,8% | Relais présence alternatif RHN 411M, Relais 12V RHN 412 J, Relais 24V RHN 412 B, Support de lampe A2614. |
| 20000 | 545000 | 97,1% | 10 | 37 | 33,9% | Ampoule 1000W 220V GX9,5 TH1000/14510-0, |
| 10000 | 555000 | 98,9% | 38 | 75 | 68,8% | Coupe-circuits : 10A, 6A, 15A et 1.5A |
| 4000 | 559000 | 99,6% | 14 | 89 | 81,7% | Diodes : BY 251 et PFR 852 PER |
| 2000 | 561000 | 100,0% | 20 | 109 | 100,0% | Diodes : 200V 1A IN400 7628 (SILEC) |

Tableau 9.1: Tableau d'analyse ABC des pièces de rechange – des phares des Mamelles et du Cap Manuel

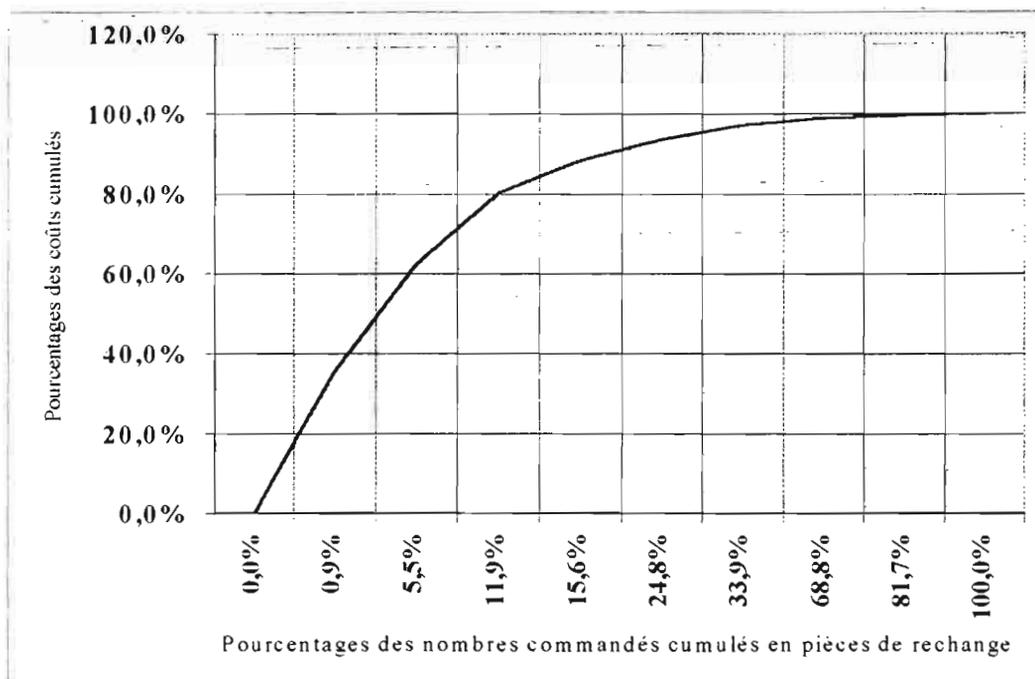


Figure 9.1: Courbe d'analyse ABC des pièces de rechange des phares des Mamelles et Cap Manuel

9.1. 2/ Analyse ABC des pièces de rechange des feux et bouées lumineuses

| Classement des prix unitaires des pièces de rechange (FCFA) | Cumul des prix (FCFA) | % des prix cumulés | Nombre d'unités commandées par an | Cumul des nombres de (pièces) commandés | % des nombres commandés cumulés | Désignation des pièces commandées à ce prix unitaire |
|---|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|---|---------------------------------|--|
| 800000 | 800000 | 43,8% | 5 | 5 | 4,6% | Batterie stationnaire |
| 300000 | 1100000 | 60,3% | 5 | 10 | 9,1% | Tête de bouée |
| 250000 | 1350000 | 74,0% | 6 | 16 | 14,5% | Module photovoltaïque |
| 200000 | 1550000 | 85,0% | 9 | 25 | 22,7% | Carte programmeur, Carte amplificateur |
| 150000 | 1700000 | 93,1% | 13 | 38 | 34,5% | Carte régulateur, Optique. Coffret |
| 50000 | 1750000 | 95,9% | 10 | 48 | 43,6% | Boitier de raccordement |
| 30000 | 1780000 | 97,5% | 3 | 51 | 46,4% | Support de lampe |
| 20000 | 1800000 | 98,6% | 5 | 56 | 50,9% | Cellule |
| 15000 | 1815000 | 99,5% | 45 | 101 | 91,8% | Ampoules : 40W, 20W, 10W |
| 10000 | 1825000 | 100,0% | 9 | 110 | 100,0% | Fiches jagger : module, batterie, feu |

Tableau 9.2 : Tableau d'analyse ABC des pièces de rechange des feux et bouées lumineuses

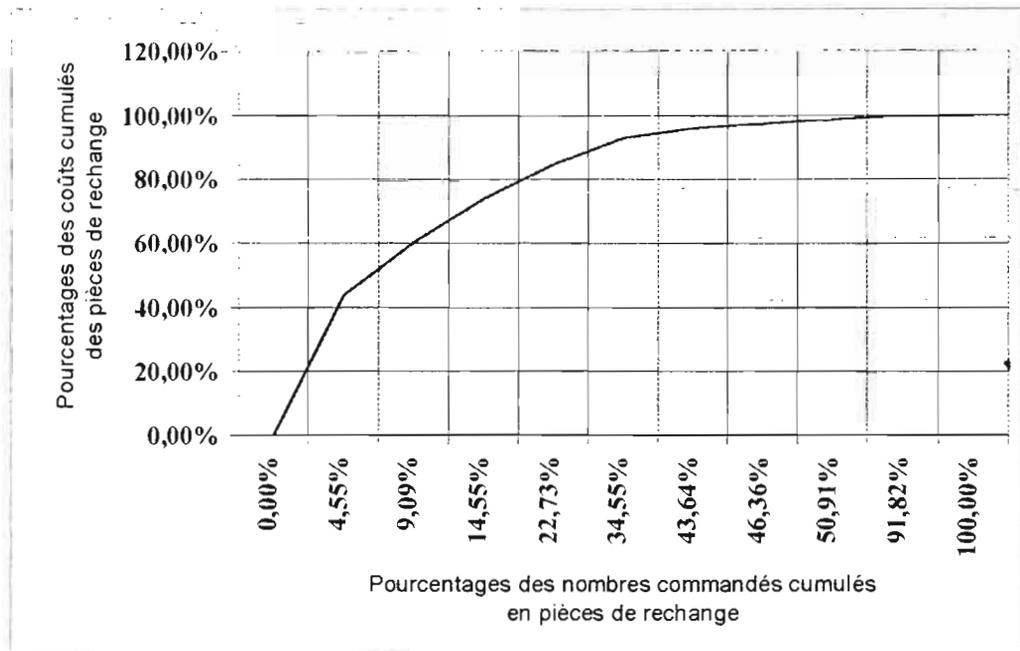


Figure 9.2 : Courbe d'analyse ABC des pièces de rechange des feux et bouées lumineuses

9.1. 3/ Interprétation des résultats

En examinant les tableaux et graphiques ci-dessus, établies avec l'analyse ABC, on note que les pièces listées ci-après, devraient faire l'objet d'un « traitement de faveur » dans les actions de maintenance préventive pour les garder en état de bon fonctionnement le maximum de temps possible. En effet, ceci permettrait de procurer jusqu'à 80% et 85%, respectivement, sur la part du budget des Phares et Balises affectée à l'acquisition des pièces de rechange, des phares d'une part et des feux et bouées lumineuses, d'autre part. D'autant plus qu'elles ne représentent, en nombre commandé, qu'une faible proportion (12% pour les phares et 23% pour les feux et bouées lumineuses).

Il s'agit de :

◆ **Pour les deux phares :**

- la carte programmeur B187C,
- le contacteur général avec bloc auxiliaire LC1 8253,
- le contacteur feu de secours LP1 D 123 BC,
- le contacteur feu normal LP1 D 123 J,
- le contacteur alternatif avec bloc auxiliaire LC1 D 093 M,
- le contacteur régulateur de tension LC1 D093 M,
- la cellule lucirex 12V,
- le détecteur d'éclats ADOU ;

◆ **Pour les feux et bouées lumineuses :**

- la batterie stationnaire,
- la tête de bouée,
- le module photovoltaïque,
- la carte programmeur,
- la carte amplificateur ;

9. 2 / ANALYSE DE LA FIABILITE DES INSTALLATIONS

**9.2. 1/ Répartition des défaillances survenues
en 1997 et 1998**

L'étude de la répartition des défaillances des installations en général et de certains de leurs équipements en particulier de 1997 et 1998 a permis de dresser les tableaux histogrammes suivants :

9.2.1. 1/ Répartition des défaillances par installation

| Nom de l'Installation | Nombre de défaillances |
|-----------------------|------------------------|
| Feu Vert | 5 |
| Feu Rouge | 4 |
| Feu de Gorée | 4 |
| Feu des Almadies | 4 |
| Feu de Guet Ndar | 2 |
| Feu de Gandiole | 3 |
| Feu de Joal | 2 |
| Phare des Mamelles | 8 |
| Bouée 01 | 4 |
| Bouée 12 | 8 |
| Bouée Tacoma | 10 |

Tableau 9.3: Tableau de répartition des défaillances de 1997 et de 1998, par installation

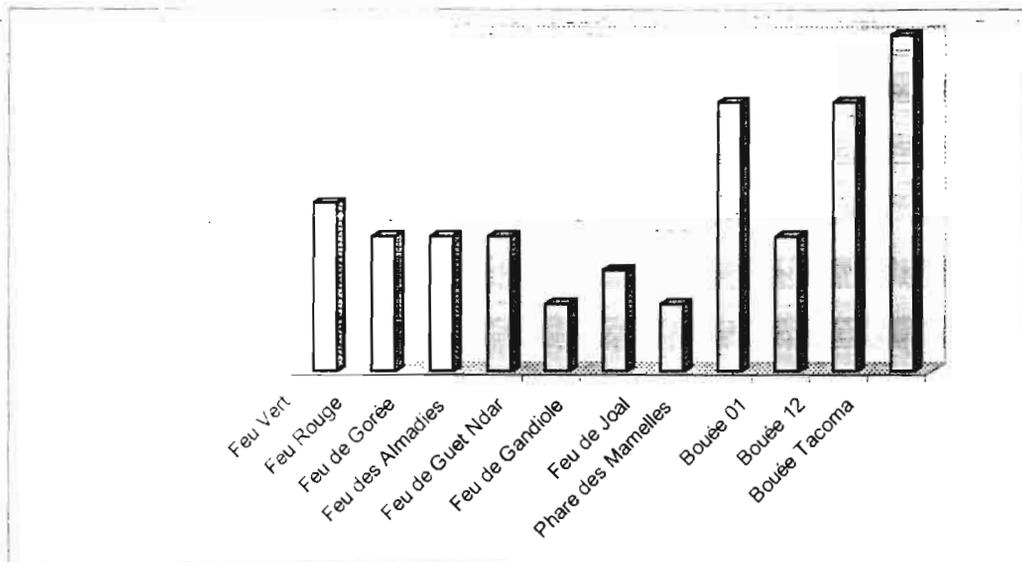


Figure 9.3 : Histogramme de répartition des défaillances de 1997 et 1998, par installation

Cette première répartition des défaillances survenues en 1997 et 1998 montre que les installations les plus défaillantes sont le phare de Mamelles, la Bouée 12 et la Bouée Tacoma. Viennent ensuite les feux de la Rade de Dakar qui présentent sensiblement le même nombre de défaillances dans les deux années étudiées. Et enfin, les installations se trouvant hors de Dakar présentent le plus grand taux de disponibilité.

9.2.1. 2/ Répartition par nature de l'organe défaillant

| Organe | Nombre de défaillances |
|--------------------|------------------------|
| Module | 1 |
| Lampe | 6 |
| Carte | 7 |
| Batterie | 29 |
| Cellule d'allumage | 3 |

Tableau 9.4 : Tableau de répartition des défaillances de 1997 et 1998, par nature de l'organe défaillant

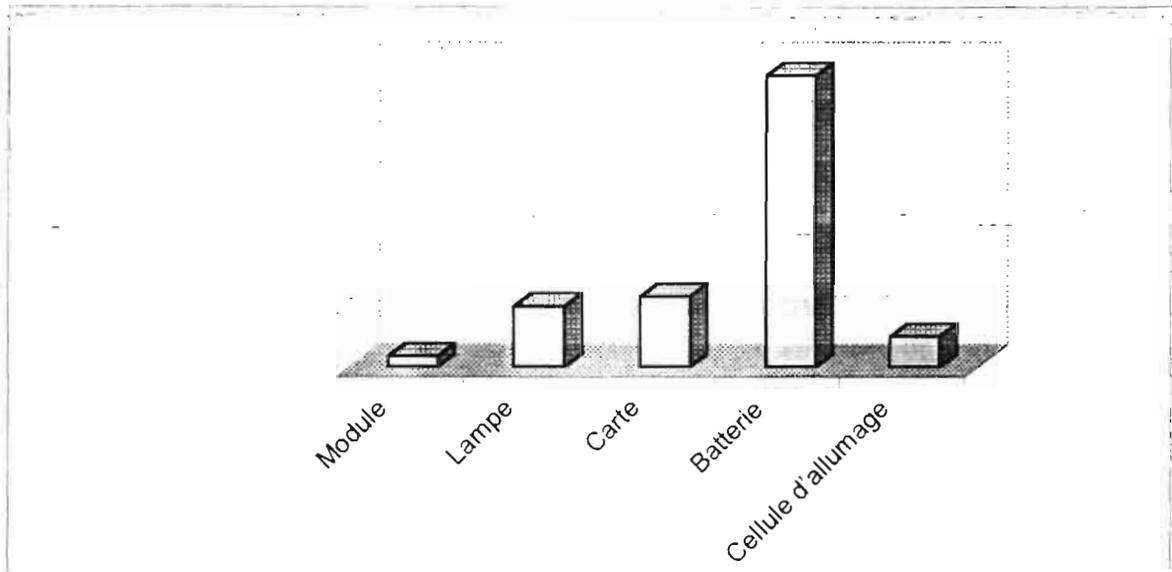


Figure 9.4 : Histogramme de répartition des défaillances de 1997 et 1998, par nature de l'organe défaillant

La répartition des défaillances des feux et bouées lumineuses suivant la nature de l'organe concerné révèle que les batteries sont de loin les « maillons faibles » des équipements des feux et bouées lumineuses, suivies par les lampes et les cartes. Tandis que les modules solaires et les cellules d'allumage défaillassent très rarement.

9.2. 2/ MODELISATION DU COMPORTEMENT DES FEUX ET BOUEES LUMINEUSES DE LA RADE DE DAKAR A PARTIR DES DEFAILLANCES SURVENUES EN 1997 ET 1998

L'étude de la répartition des défaillances a permis d'élucider les quelques installations et composants de ces dernières sur lesquels devraient se focaliser les priorités de la maintenance, une étude du comportement de ces derniers est effectuée dans cette présente partie.

A cet effet, le modèle d'étude des défaillances de Weibull a été appliqué aux feux et bouées lumineuses de la Rade de Dakar, au phare des Mamelles et aux batteries utilisées dans l'appareillage des feux et bouées lumineuses.

En premier lieu, les installations sont considérées une par une : les TBF (temps de bon fonctionnement) utilisés à cet effet sont ceux recueillis directement sur les fiches d'incident consultés aux Phares et Balises.

Ensuite, une analyse globale des feux d'une part et des bouées lumineuses d'autre part est effectuée en prenant comme TBF les moyennes des temps de bon fonctionnement (MTBF) déduites de l'analyse par installation, précédemment citée.

Enfin, la modélisation des batteries des feux est effectuée : les TBF, issus des fiches d'incident, sont traités globalement.

Les détails de l'étude (historique des données traitées, préparation des données, détermination des paramètres de modélisation sur papiers de Weibull, tableaux de valeurs calculées à partir des équations mathématiques obtenues ainsi que les représentations graphiques de certaines d'entre elles) sont donnés en annexe.

Les résultats suivants sont obtenus :

9.2.2. 1/ Analyse individuelle des installations

• *Lois de comportement dans le temps :*

| Nom de l'installation | Fonction fiabilité | Fonction de répartition des défaillances | Fonction de distribution des défaillances | Taux de défaillance instantané |
|-----------------------|--------------------------------------|--|--|---|
| Feu Vert | $R(t) = e^{-\frac{t}{80}}$ | $F(t) = 1 - e^{-\frac{t}{80}}$ | $f(t) = \frac{1}{80} \times e^{-\frac{t}{80}}$ | $\lambda(t) = 0.0125$ |
| Feu Rouge | $R(t) = e^{-\frac{t^{0.8}}{27.86}}$ | $F(t) = 1 - e^{-\frac{t^{0.8}}{27.86}}$ | $f(t) = \frac{0.0287}{t^{0.2}} \times e^{-\frac{t^{0.8}}{27.86}}$ | $\lambda(t) = \frac{0.0287}{t^{0.2}}$ |
| Feu de Gorée | $R(t) = e^{-\frac{t^{0.4}}{4.931}}$ | $F(t) = 1 - e^{-\frac{t^{0.4}}{4.931}}$ | $f(t) = \frac{4.38}{54t^{0.6}} \times e^{-\frac{t^{0.4}}{4.931}}$ | $\lambda(t) = \frac{4.38}{54t^{0.6}}$ |
| Feu des Almadies | $R(t) = e^{-\frac{t^{0.7}}{23.72}}$ | $F(t) = 1 - e^{-\frac{t^{0.7}}{23.72}}$ | $f(t) = \frac{0.02949}{t^{0.3}} \times e^{-\frac{t^{0.7}}{23.72}}$ | $\lambda(t) = \frac{0.02949}{t^{0.3}}$ |
| Bouée « 01 » | $R(t) = e^{-\frac{t^{0.3}}{347.15}}$ | $F(t) = 1 - e^{-\frac{t^{0.3}}{347.15}}$ | $f(t) = \frac{t^{0.3}}{3,745 \cdot 10^{-3}} e^{-\frac{t^{0.3}}{347.15}}$ | $\lambda(t) = \frac{t^{-0.3}}{3.745 \cdot 10^{-3}}$ |
| Bouée « 12 » | $R(t) = e^{-\frac{t^{0.6}}{11.8}}$ | $F(t) = 1 - e^{-\frac{t^{0.6}}{11.8}}$ | $f(t) = \frac{0.0506}{t^{0.4}} e^{-\frac{t^{0.6}}{11.8}}$ | $\lambda(t) = \frac{0.0506}{t^{0.4}}$ |
| Bouée « Tacoma » | $R(t) = e^{-\frac{t^{1.7}}{2100}}$ | $F(t) = 1 - e^{-\frac{t^{1.7}}{2100}}$ | $f(t) = \frac{t^{0.7}}{8,1 \cdot 10^{-4}} e^{-\frac{t^{1.7}}{2100}}$ | $\lambda(t) = \frac{t^{0.7}}{8,1 \cdot 10^{-4}}$ |

Tableau 9.5 : Expressions analytiques des fonctions fiabilité, taux, répartition et distribution des défaillances de 1997 et 1998 des feux et bouées lumineuses de la Rade de Dakar, analysés individuellement.

• Paramètres caractéristiques du comportement dans le temps :

| Nom de l'installation | Paramètres de Weibull | | Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement (jours) | Ecart type (jours) | Fiabilité associée à la MTBF (%) |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------------|---|--------------------|----------------------------------|
| | Paramètre de forme (sans dimension) | Paramètre d'échelle (jours) | | | |
| Feu Vert | 1 | 80 | 80 | 80 | 37% |
| Feu Rouge | 0.8 | 64 | 73 | 92 | 33% |
| Feu de Gorée | 0.4 | 54 | 179 | 564 | 20% |
| Feu des Almadies | 0.7 | 92 | 116 | 170 | 31% |
| Bouée "01" | 1.3 | 90 | 83 | 64 | 41% |
| Bouée "12" | 0.6 | 62 | 93 | 164 | 28% |
| Bouée "Tacoma" | 1.7 | 90 | 80 | 48 | 44% |

Tableau 9.6 : Paramètres caractéristiques du comportement en 1997 et 1998 des feux et bouées lumineuses de la Rade de Dakar, analysés individuellement.

9.2.2. 2/ Analyse globale des installations

• Lois de comportement dans le temps

| Nature de l'installation | Fonction fiabilité | Fonction de répartition des défaillances | Fonction de distribution des défaillances | Taux de défaillance instantané |
|--------------------------|------------------------------------|--|---|--------------------------------------|
| Feu | $R(t) = e^{-\frac{t^{1.8}}{8379}}$ | $F(t) = 1 - e^{-\frac{t^{1.8}}{8379}}$ | $f(t) = 2,148.10^{-4} t^{0.8} \times e^{-\frac{t^{1.8}}{8379}}$ | $\lambda(t) = 2,148.10^{-4} t^{0.8}$ |
| Bouée lumineuse | $R(t) = e^{-\frac{t^{1.8}}{9752}}$ | $F(t) = 1 - e^{-\frac{t^{1.8}}{9752}}$ | $f(t) = 1,846.10^{-4} t^{0.8} \times e^{-\frac{t^{1.8}}{9752}}$ | $\lambda(t) = 1,846.10^{-4} t^{0.8}$ |

Tableau 9.7 : Expressions analytiques des fonctions fiabilité, taux, répartition et distribution des défaillances de 1997 et 1998 des feux et bouées lumineuses de la Rade de Dakar, analysés globalement

• Paramètres caractéristiques du comportement dans le temps :

| Nature de l'installation | Paramètres de Weibull | | Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement (jours) | Ecart type (jours) | Fiabilité associée à la MTBF (%) | Temps de bon fonctionnement au seuil de fiabilité de 90% (jours) |
|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|---|--------------------|----------------------------------|--|
| | Paramètre de forme (sans dimension) | Paramètre d'échelle (jours) | | | | |
| Feu | 1,8 | 151 | 134 | 77 | 45% | 43 |
| Bouée lumineuse | 1,8 | 165 | 146 | 84 | 45% | 47 |

Tableau 9.8 : Paramètres caractéristiques du comportement en 1997 et 1998 des feux et bouées lumineuses de la Rade de Dakar, analysés globalement.

9.2.2. 3/ Analyse des batteries des feux

- *Lois de comportement dans le temps :*

| Fonction fiabilité | Fonction de répartition des défaillances | Fonction de distribution des défaillances | Taux de défaillance instantané |
|--------------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| $R(t) = e^{-\frac{t^{0,6}}{0,0485}}$ | $R(t) = 1 - e^{-\frac{t^{0,6}}{0,0485}}$ | $f(t) = \frac{0,029}{t^{0,4}} e^{-\frac{t^{0,6}}{0,0485}}$ | $\lambda(t) = \frac{0,029}{t^{0,4}}$ |

Tableau 9.9 : Expressions analytiques des fonctions fiabilité, taux, répartition et distribution des défaillances de 1997 et 1998 des batteries des feux de la Rade de Dakar.

- *Paramètres caractéristiques du comportement dans le temps :*

| Paramètres de Weibull | | Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement (jours) | Ecart type (jours) | Fiabilité associée à la MTBF (%) | Temps de bon fonctionnement au seuil de fiabilité de 90% (jours) |
|-------------------------------------|-----------------------------|---|--------------------|----------------------------------|--|
| Paramètre de forme (sans dimension) | Paramètre d'échelle (jours) | | | | |
| 0,6 | 155 | 234 | 412 | 28 | 4 |

Tableau 9.10 : Paramètres caractéristiques du comportement en 1997 et 1998 des batteries des feux de la Rade de Dakar.

9.2.2. 4 Courbes de distribution des défaillances

(Voir page suivante)

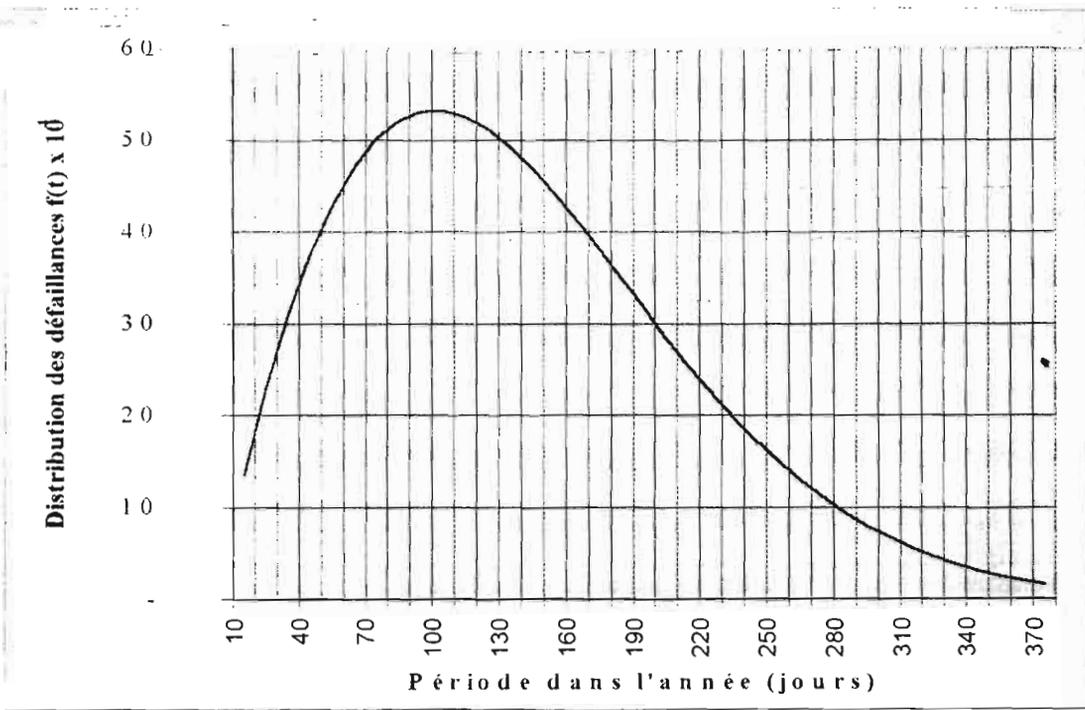


Figure 9.5: Courbe de distribution des défaillances des feux de la Rade de Dakar en 1997 et 1998

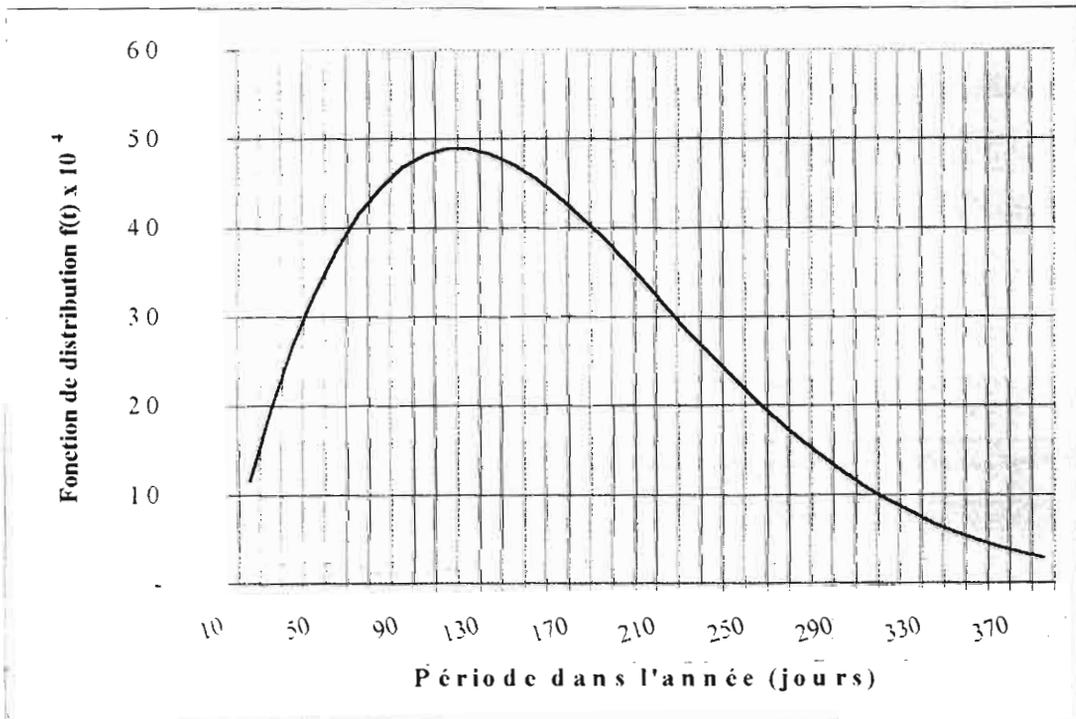


Figure 9.6: Courbe de distribution des défaillances des bouées lumineuses de la Rade de Dakar en 1997 et 1998

9.2.2.- 5/ Interprétation des Résultats de la modélisation

L'analyse individuelle du comportement des installations en 1997 et 1998 montre que c'est le feu de Gorée qui présente la meilleure moyenne de temps de bon fonctionnement (179 jours), bien que la fiabilité associée à cette MTBF : 20% (c'est à dire qu'elle n'est atteinte que seulement 20 fois sur 100, pendant les deux années) soit la plus faible. Le feu des Almadies avec une MTBF de 116 jours vient en deuxième position avec cependant une plus grande chance (31%) d'atteindre sa moyenne que le feu de Gorée. Les deux feux d'entrée du port de Dakar présentent les plus faibles moyennes de bon fonctionnement avec 73 jours pour le Feu Rouge et 80 jours pour le Feu Vert.

Pour les bouées, c'est « Tacoma » qui est la plus défaillante (80 jours de MTBF) ; cependant la fiabilité associée est la plus importante (44%).

L'analyse globale renseigne que les feux et bouées lumineuses ont, en moyenne, un temps de bon fonctionnement respectif de 134 et 146 jours correspondant, dans les deux cas à une fiabilité de près de 45% (c'est à dire que 45 fois sur 100, cette MTBF est atteinte en 1997 et 1998). Tandis qu'au seuil de fiabilité de 90%, la moyenne des temps de bon fonctionnement correspondante est de l'ordre de 45 jours (précisément 43 jours pour les feux et 47 jours pour les bouées).

L'analyse des batteries révèle qu'au seuil de fiabilité de 90%, la moyenne des temps bon fonctionnement n'est que de 4 jours.

Puisque la disponibilité maximale des équipements doit être assurée, nous concluons de ces analyses de fiabilité (individuelle et globale) des installations que la période de visite d'entretien préventif des feux et bouées lumineuses ne devrait pas dépasser plus d'un mois.

Quand à l'analyse des batteries, nous en déduisons qu'elles doivent faire l'objet d'un remplacement systématique et total par de nouvelles.

CHAPITRE 10

ETUDE DES CAUSES DE DEFAILLANCES

Les établissements de signalisation maritime et de surveillance de la navigation sont, du fait de leur hauteur et de leur isolement, particulièrement exposés aux décharges de la foudre. De plus, l'intégration de matériels comprenant des composants électroniques leur confère une fragilité aux surtensions.

C'est pourquoi la seconde partie de ce chapitre, consacré à l'étude des causes de défaillances, a pour objet de donner des conseils sur la manière de disposer les installations pour limiter les effets destructeurs se rattachant aux manifestations de l'électricité atmosphérique et spécialement la foudre.

Cependant, nous allons auparavant, en première partie, disséquer tout ce qui peut, intrinsèquement dans les équipements mécaniques et électroniques, être la cause de défaillances de ces derniers et en seconde partie, parler des causes externes et en l'occurrence donc la foudre.

10. 1/ CAUSES INTRINSEQUES :

INVENTAIRE DES PRINCIPAUX MODES DE DEFAILLANCES MECANIQUES ET ELECTRIQUES

10.1. 1/ La « santé-matière »

Il s'agit de défauts préexistants dans les pièces en service (défauts lors de l'élaboration de la matière, défauts lors de l'élaboration de la pièce finie, défauts lors du montage), et à l'origine d'initiation de défaillances lorsqu'ils ne sont pas détectés lors des contrôles qualité.

10.1. 2/ Les modes de défaillances mécaniques en fonctionnement

- **Choc** : accident de manipulation ;
- **Surcharge** : déplacement de charge nominale entraînant une déformation permanente ou une rupture (traction, flexion, flambage, ...)
- **Fatigue** : il s'agit d'efforts (vibrations) alternés et répétés entraînant une rupture, même en deçà de la limite élastique ;
- **Fatigue thermique** : elle entraîne dilatations, déformations plastiques, brûlures ou fusion ;

- **Fluage** : déformation devenant permanente avec le temps, sous l'effet conjugué de contraintes thermiques et mécaniques ;
- **Usure** : conséquence du frottement, il s'agit de la « délamination » (fatigue des sous-couches). Elle entraîne une perte de matière des surfaces en contact. Il existe trois phases d'usure :
 - ◆ Rodage initial,
 - ◆ Usure « douce » ou grippage épidermique,
 - ◆ Grippage, usure rapide par transfert de métal ;
- **Abrasion** : elle a lieu lorsqu'une surface est rayée par un corps (surface ou particule libre) de dureté supérieure ;
- **Erosion** : lorsqu'une surface est « rongée » sous l'effet d'impacts de particules solides ou liquides à grande vitesse.
- **Les Corrosions** :
 - ◆ **corrosion électrochimique** : elle affecte les métaux (très souvent le fer) en milieu aqueux,
 - ◆ **corrosion chimique** : réaction chimique avec perte régulière de matière, formation de piqûres ou fissuration par corrosion intergranulaire. (La mise en contact fortuite ou normale, temporaire ou permanente d'équipements avec des produits agressifs (acides : sulfurique, hydracides, composés halogénés ou alcalins, atmosphères réductrices ou oxydantes) entraîne une corrosion chimique.)
 - ◆ **corrosion électrique** : sous l'effet de « courants vagabonds », deux surfaces métalliques voisines peuvent être soumises à une ddp suffisante pour créer un arc, entraînant une abrasion (origines des fuites : mauvaise mises à la terre, courants induits sur les machines électriques, charges électrostatiques provenant de frottements)
 - ◆ **corrosion bactérienne** : certaines huiles et eaux industrielles contiennent des « ferro-bactéries » : des aérobies et des anaérobies. Les aérobies donnent des acides, les anaérobies attaquent les produits sulfatés.
 - ◆ **corrosion de contact** : elle survient lorsque deux pièces sont en contact et soumises à des vibrations.
 - ◆ **cavitation** : elle se manifeste sur des pièces en contact avec une zone de turbulence liquide. Des bulles se forment dans la masse du liquide en écoulement turbulent. Sous l'effet de la pression externe, ces bulles implosent, générant une onde de choc accompagnée d'une température ponctuelle élevée.

10.1. 3/ Les modes de défaillances électriques

- **Rupture de liaison électrique** : c'est le plus souvent la conséquence d'une cause extrinsèque, telle qu'un choc, une surchauffe ou une vibration donnant parfois une défaillance « fugitive » ;
- **Collage ou usure des contacts** : les contacts, par différents modes de défaillances, sont souvent les « maillons faibles » d'un circuit électrique ;
- **Claquage** d'un composant telle qu'une résistance, un transistor, ... ;

Les modes de défaillances électriques présentent un caractère catalectique qui les rend difficiles à prévenir. Il est cependant possible d'agir sur les phénomènes extérieurs qui les génèrent, tels que les actions thermiques et vibratoires, ou encore les rayonnements. Par exemple, les particules α dégradent les mémoires LSI. Dans le domaine électronique, le déverminage a pour but d'éliminer les composants ayant un point faible qui risquerait d'apparaître en fonctionnement.

10. 2/ CAUSES EXTRINSEQUES : LA FOUDRE

10.2. 1/ Effets de la foudre

10.2.1. 1/ Effets directs

- Tétanisation et décès des êtres vivants par fibrillation du sang, soit à la suite d'un contact avec la décharge, soit par influence d'un courant d'écoulement de la décharge à la terre ;
- Eclatement des enduits ou parois bétonnés par dilatation des fers ;
- Projection de matériaux sous l'impulsion de la force de Laplace due au champ magnétique ;
- Eclatement des arbres par vaporisation immédiate de l'eau contenue dans la sève ;
- Incendies, explosions notamment dans les locaux où sont entreposées des matières inflammables (carburants, bois) par suite d'amorçage d'étincelles entre conducteurs non raccordés à un même potentiel proche.

10.2.1. 2/ Effets de l'écoulement de la décharge

- **Surtensions** :

Le cheminement atmosphérique de la décharge captée par le paratonnerre se poursuit dans les éléments conducteurs appelés « descentes de terre » et

« conducteurs de prise de terre ». Le canal ionisé, étant fortement résistif, les caractéristiques électriques des conducteurs de descente ne perturbent pas les caractéristiques du courant, mais des écarts de potentiel élevés apparaissent entre le paratonnerre et les conducteurs situés à proximité :

⇒ s'ils ne sont pas interconnectés entre eux, mais reliés au même potentiel de terre,

⇒ s'ils ne sont reliés qu'à un potentiel de terre électrique,

⇒ s'ils ne sont reliés qu'à un potentiel lointain.

Pour limiter les effets de surtensions, on doit raccorder le plus directement possible la descente du paratonnerre à tous les conducteurs situés à proximité.

• **Inductions :**

Le passage d'un courant intense dans une descente de terre provoque un champ magnétique. Celui-ci induit à son tour des courants dans tous les conducteurs situés à proximité. En disposer plusieurs descentes extérieures, afin d'annuler les courants induits dans les conducteurs situés au milieu, on parvient à atténuer les effets d'inductions.

• **Rayonnements :**

La propagation de la décharge dans un canal foudre de quelques kilomètres de longueur se comporte comme une antenne. Celle-ci va rayonner un champ électromagnétique que vont capter les différentes descentes de terre, lignes d'alimentation en énergie électrique isolées du sol, lignes téléphoniques, etc.

En enterrant les conducteurs ou en les insérant dans des canalisations métalliques mises à la terre, on peut limiter les effets de rayonnements.

10.2.1. 3/ Effets secondaires

- Les effets directs ou indirects peuvent provoquer des claquages d'isolants ou des courts-circuits.
- Les tensions normales d'alimentation peuvent donner lieu à des dissipations locales d'énergie anormales produisant en quelques instants des dégâts beaucoup plus importants que ceux de la foudre elle-même.
- La production d'étincelles ou d'incandescences localisées dans des locaux où sont entreposés des matières inflammables (carburants, peintures, bois, etc.) risque aussi de causer des dégâts considérables par incendie ou explosions.

10.2. 2/ Répertoire des prescriptions de protection des établissements de signalisation et de surveillance de la navigation maritime contre l'électricité atmosphérique et la foudre

10.2.2. 1/ Prescriptions générales concernant quelques établissements

- **Tourelle :**

- ⇒ Assurer une bonne continuité électrique entre les différentes masses, en évitant les couples corrosifs ;
- ⇒ Relier ces masses à une prise de mer par l'intermédiaire d'une ceinture conductrice à la base des principaux éléments.

- **Bouée :**

- ⇒ Assurer une bonne continuité électrique entre les différentes masses, en évitant les couples corrosifs.

- **Phare :**

La protection doit comprendre :

⇒ une protection paratonnerre constituée de :

- ◆ un paratonnerre général supérieur, placé au dessus de tous les équipements, antennes comprises ;
- ◆ une couronne extérieure placée autour de la galerie extérieure de la tour ou de la lanterne ;
- ◆ une liaison entre le paratonnerre et cette couronne extérieure par un ou plusieurs conducteurs équidistants plaqués contre les montants et la murette de lanterne et soigneusement reliés électriquement au toit de la lanterne ;
- ◆ une couronne intérieure, à la base de la lanterne, à laquelle sont reliées le plus directement les masses de tous les appareils ;
- ◆ une liaison aussi directe que possible entre couronne intérieure et couronne extérieure en deux, trois ou quatre points équidistants ;
- ◆ des liaisons aussi directes que possible et descendantes entre couronne extérieure et descentes de terre :

⇒ une (ou plusieurs) descentes de terre extérieure,

⇒ un conducteur équipotentiel de descente intérieure,

⇒ un raccordement soigné des masses aux descentes de terre,

⇒ une ou plusieurs prises de terre (et éventuellement de mer) d'une résistance globale inférieure à 10 ohms (si possible 5ohms),

10.2.2. 2/ Prescriptions concernant l'installation contre la foudre

• *Masses :*

- ⇒ Prévoir des prises de masse et les relier entre elles par des tresses métalliques (cuivre) assurant de bons contacts ;
- ⇒ Relier ces masses par un conducteur équipotentiel installé à demeure, sous forme soit d'un conducteur central (placé par exemple dans un chemin de câbles) soit d'une ceinture (obligatoire dans les lanternes de phare et établissements très exposés) ;
- ⇒ Relier ce conducteur équipotentiel à la descente de terre le plus directement possible et en descendant (jamais en remontant !).

• *Canalisations :*

Les canalisations de toute nature (eau, gaz, électricité, téléphone, etc.) constituent des références de terre lointaines. Il faut les soumettre dans les installations aux prescriptions suivantes :

- ⇒ les grouper dans des gaines ou chemins avec conducteur équipotentiel, en conservant toutefois les distances réglementaires ;
- ⇒ pour les canalisations métalliques ou blindées, les relier directement ou bien par leur blindage, à la descente intérieure de terre à leurs parties supérieure et inférieure ;
- ⇒ pour les conduites d'eau et de gaz, les relier au conducteur équipotentiel à la base et au sommet des établissements, mais à des intervalles réguliers, notamment lorsqu'elles présentent des angles prononcés ;
- ⇒ prendre les précautions voulues pour que ces connexions soient de bonne qualité (mauvais contacts dus à la rouille ou à la peinture) et s'assurer de la continuité électrique en la rétablissant éventuellement par des ponts électriques (cas de sections en matières plastiques).

• *Descentes de terre extérieures :*

Les établissements protégés doivent avoir au moins une descente de terre extérieure, deux pour les établissements ou phares d'une hauteur supérieure à 20m, et un nombre supérieur pour les établissements étendus. Les prescriptions suivantes doivent être respectées :

- ⇒ Monter ces descentes de terre aussi rectilignes que possible et respecter la règle suivante :
 - ◇ pas d'angles aigus inférieures à 30°,
 - ◇ pas d'écartement supérieurs à 30 cm ou à 1/20 du trajet ;
- ⇒ Prévoir des ponts électriques et/ou des connexions à la descente de terre dans le cas où cette règle ne peut être respectée ;

- ⇒ Fixer les descentes de terre de proche en proche par des crampons ad hoc, en évitant les couples corrosifs (interposer un isolant en cas de matériaux différents)
- ⇒ Les relier aux ceintures de tête et de base des établissements ainsi qu'à d'autres ceintures intermédiaires disposées tous les 15 mètres si le phare est de grande hauteur (supérieure à 20 m).

• **Descentes de terre intérieures :**

Tout établissement important doit comporter une descente intérieure ou conducteur équipotentiel descendant vers la prise de terre et collectant les masses métalliques des équipements. Cette descente est différente du conducteur de terre des câbles électriques. Elle part de la ceinture intérieure de la lanterne et rejoint la ou les prises de terre à la base de la tour. Les prescriptions à suivre :

- ⇒ Monter la descente intérieure aussi rectiligne que possible ;
- ⇒ Respecter la même règle que celle énoncée pour les descentes extérieures ;
- ⇒ Dans les établissements importants, disposer de deux descentes intérieures : l'une reliée aux équipements à courants forts et l'autre aux faibles courants ;
- ⇒ Relier les rampes des escaliers à cette descente en haut et en bas des tours et, le cas échéant à des points intermédiaires (tous les 20m) ;

• **Prises de terre et de mer :**

Le réseau de terre d'un établissement doit avoir une résistance globale inférieure à 10 ohms, si possible 5ohms, en particulier pour les établissements exposés. Ce réseau est composé de prises de terre interconnectées. Prescriptions à respecter :

- ⇒ Vérifier régulièrement, au moins une fois par an, de préférence avant les périodes où les orages sont fréquents.
- ⇒ Eviter de relier le matériel à une terre locale de mauvaise qualité dans les établissements ne disposant que de la terre électrique.

• **Raccordement aux lignes électriques, téléphoniques et de signaux HF et BF :**

Les décharges dues à la foudre peuvent engendrer dans les conducteurs extérieurs aux établissements des surtensions élevées. Suivant l'exposition de l'établissement, l'importance de l'installation, la sensibilité des équipements, les dispositions suivantes doivent être prises :

- ◇ pour les lignes conductrices extérieures :
 - ⇒ les enterrer si possible avant pénétration dans les bâtiments, sur une distance suffisante (au moins 30 m) et avec un câble « écran » ;

- ⇒ s'assurer de la présence de parafoudres au dernier poteau pour les lignes d'énergie ;
- ◇ pour les câbles conducteurs intérieurs :
- ⇒ les poser dans des chemins de câble si possible métalliques et reliés à la terre par un conducteur d'équipotentialité ;
- ⇒ éviter de mélanger les câbles courant faible et les câbles courant fort ;
- ⇒ Relier entre eux et au conducteur de terre les masses métalliques des équipements et des éléments conducteurs accessibles des bâtiments.

• **Neutre des installations :**

Prendre les mesures nécessaires pour que tous les conducteurs qui par nature ne peuvent être raccordés en temps normal à la terre, ne puissent être portés à des potentiels élevés susceptibles d'amorçage ou d'électrocution. En raison du climat humide et maritime permettant difficilement de maintenir l'isolement d'une installation, la solution du neutre à la terre (Schéma TT) est à adopter. Les mesures suivantes sont alors à prendre pour les établissements gardiennés :

- ◇ en cas d'alimentation par l'intermédiaire d'un transformateur propre à l'établissement :
- ⇒ Raccorder systématiquement le neutre de l'établissement au conducteur de terre, à l'arrivée dans l'établissement (si le transfo est distant) ou à la sortie du transfo ;
- ⇒ Ne pas employer en aucun cas un conducteur de masse ou de terre comme conducteur neutre ou réciproquement ;
- ◇ en cas d'alimentation directe à partir du réseau de distribution B.T. :
- ⇒ En général, le neutre est déjà à la terre, il peut cependant être raccordé à la terre de l'établissement ;
- ⇒ Equiper les installations de disjoncteurs différentiels dans tous les cas.

CHAPITRE II

ETUDE DE LA GESTION DES EQUIPEMENTS ET DES PIECES DE RECHANGE

Une intervention de maintenance sur un système ne peut se faire sans référence à des documents précis et à jour. Chaque machine ou système doit posséder différents dossiers qui permettront de connaître les différentes structures de l'ensemble ainsi que la nature et la date de ses défaillances.

C'est dans ce sens que nous présentons dans ce chapitre des techniques d'élaboration des documents nécessaires à la gestion de la maintenance des équipements

A travers ces techniques de portée générale, nous visons la maintenance de tous les équipements des Phares et Balises (équipements des installations proprement dites (phares, feux et bouées), du baliseur, du parc, de l'atelier électromécanique et de bureaux).

Après avoir fourni les grands outils de connaissance des équipements et de leurs défaillances dans la première partie du chapitre, la gestion des pièces de rechange est abordée dans la seconde.

11. 1/ CONNAISSANCE DES EQUIPEMENTS

11.1. 1/ Nature et Classification du matériel

Tout parc matériel comporte :

- des biens liés à la production ou au service rendu : tels que tout arrêt ou mauvais fonctionnement provoque un arrêt, un ralentissement ou une mauvaise qualité de la production ou du service rendu.
- des biens non liés à la production ou au service rendu : tels qu'une défaillance n'influe pas sur la production ou le service rendu.

La classification suivante peut être établie :

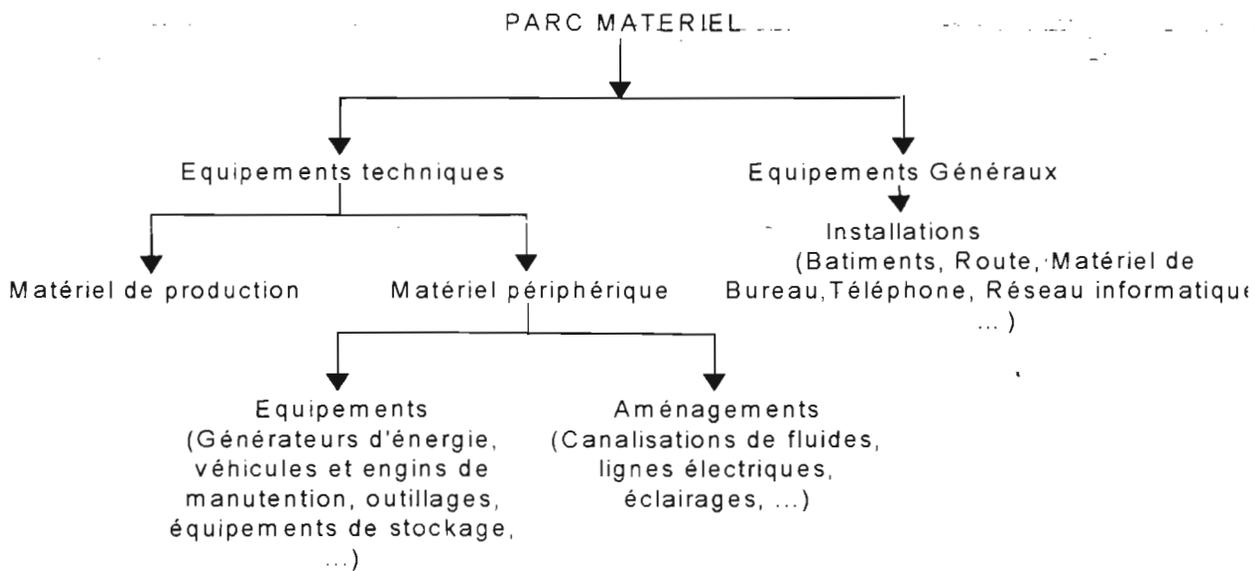


Figure 11.1 : Schéma de classification du matériel

11.1. 2/ Connaissance d'une machine

Elle se fait à travers l'établissement des trois documents suivants : l'inventaire, le dossier-machine et l'historique.

Ces trois documents sont représentés ci-après, selon le niveau d'analyse :

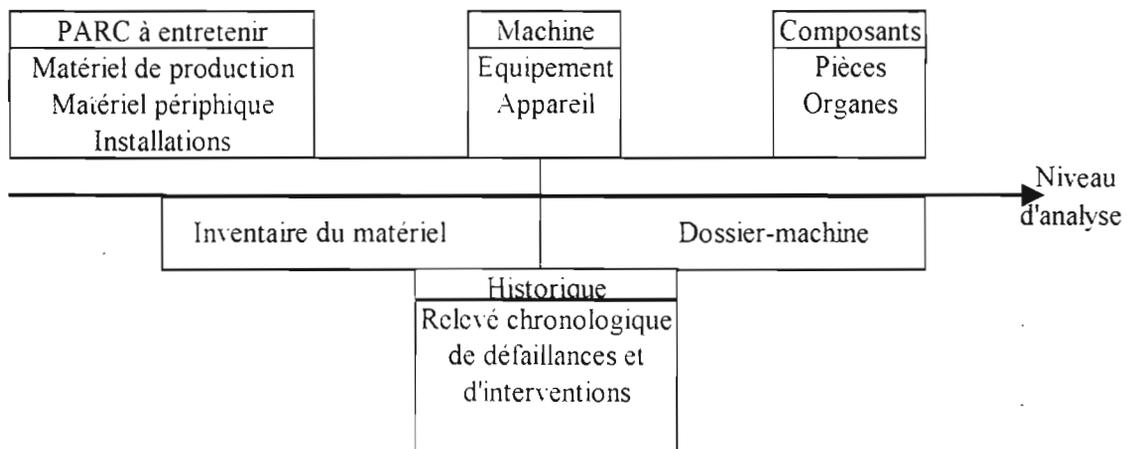


Figure 11.2 : Schéma représentant l'historique, le dossier machine et l'inventaire du matériel.

Les équipements complexes doivent être décomposés fonctionnellement en « ensembles » équivalents à une machine au niveau de l'inventaire.

Au niveau du dossier-machine, d'abord chacune de ces machines doit être décomposée en sous-ensembles de fonctions différentes, puis les décompositions deviendront « organiques ».

11.1.2. 1/ L'Inventaire du Matériel

L'Inventaire est une nomenclature codifiée du parc à maintenir, établie suivant une logique de mises en famille arborescentes.

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 machines, à des sous-ensembles fragiles, etc.

11.1.2. 2/ Le Dossier-machine

Appelé aussi Dossier technique d'équipement ou encore Dossier de maintenance, il est la référence permettant la connaissance intime d'un équipement, son origine, ses technologies et ses performances.

Le Dossier-machine doit comprendre les deux parties suivantes :

- ◆ le Dossier Constructeur, avec tous les documents fournis, la correspondance échangée et les documents contractuels.
- ◆ le fichier machine interne, standard, établi et tenu à jour par le service de l'entretien.

Toutes les machines n'ayant pas la même importance, un indice de criticité leur doit être affecté dans l'établissement du dossier-machine.

L'inventaire et le dossier-machine peuvent être schématisés dans le découpage fonctionnel arborescent suivant :

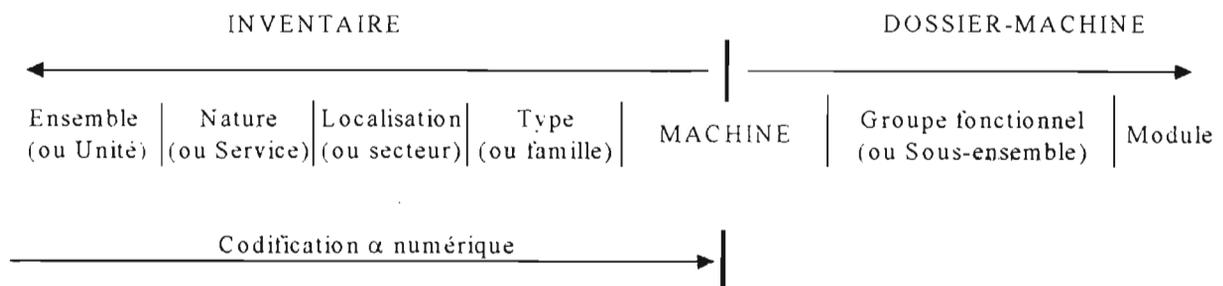


Figure 11.3 : Schéma de découpage fonctionnel arborescent d'un équipement

11.1.2. 3/ Le fichier historique

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.

L'historique représente le « carnet de santé » de la machine, complémentaire au dossier-machine. Toutes les défaillances faisant l'objet d'un ordre de travail correctif sont portés sur l'historique.

11.2 / CONNAISSANCE DES DEFAILLANCES

Elle consiste en une expertise qui doit permettre de rassembler les six éléments de connaissance suivants : causes, manifestation, amplitude, identification, aptitude à être détectée, conséquences.

Cette expertise peut être schématisée comme ci-après :

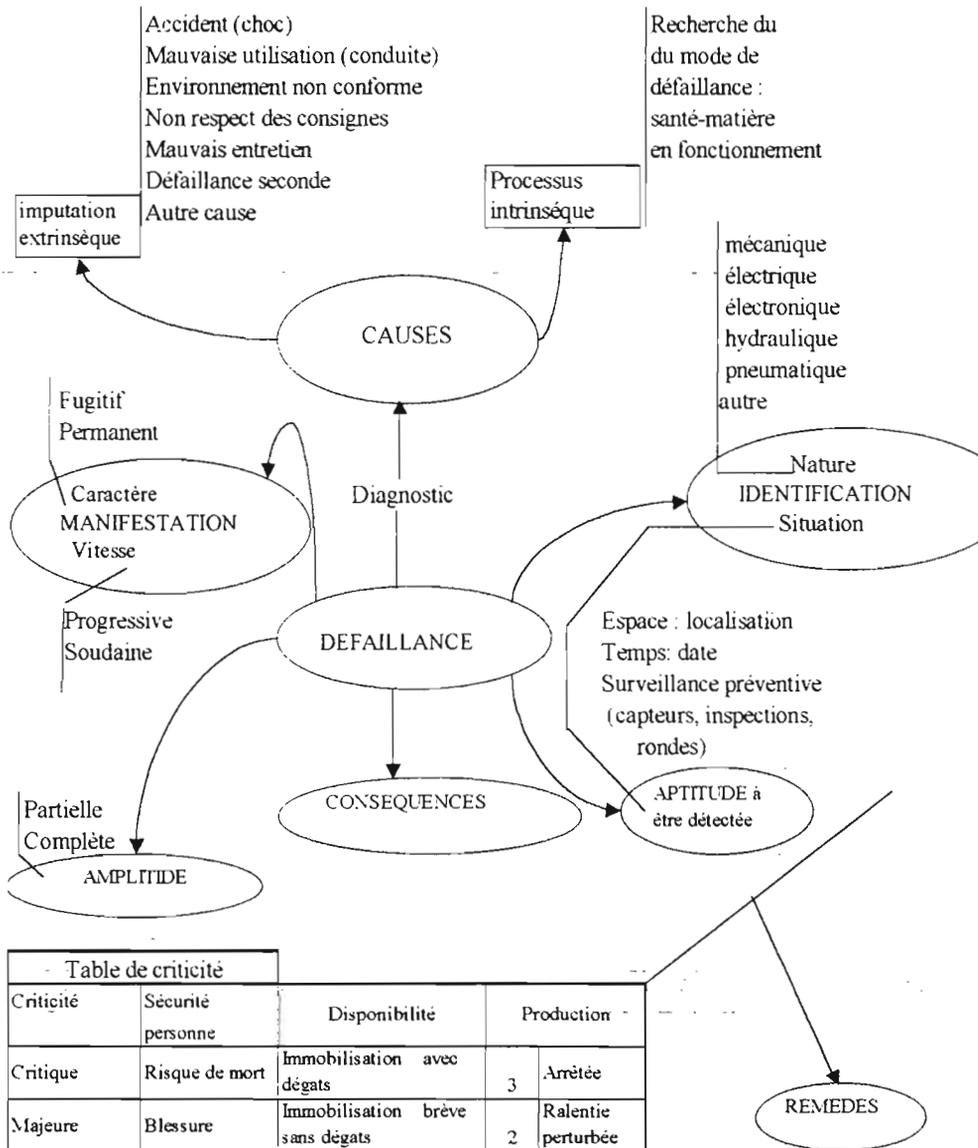


Figure 11.4 : Schéma d'expertise d'analyse de défaillance

La connaissance des éléments d'expertise ci-dessus est une condition nécessaire à la préconisation des remèdes correctifs à apporter.

Dans cet objectif, la « fiche d'analyse de défaillance » suivante peut guider la démarche du technicien chargé d'une expertise :

| FICHE D'ANALYSE DE DEFAILLANCE | | | | | |
|--|---------------------------|--|---------------------------------|--|----------|
| Remplie par : _____ | | | | | |
| IDENTIFICATION | Date : _____ | D. T. N° : _____ | établie le : _____ | | |
| Unités compteur : _____ | | Code : _____ | | | |
| | | (Machine) (Organe) | | | |
| Machine | Appareil | Fonction : | Marque : | Type : | |
| NATURE | | | | | |
| mécanique : <input type="checkbox"/> | | électrique : <input type="checkbox"/> | | pneumatique : <input type="checkbox"/> | |
| électrique : <input type="checkbox"/> | | hydraulique : <input type="checkbox"/> | | autre : <input type="checkbox"/> | |
| DIAGNOSTIC | | | | | |
| Causes extrinsèques | | | Causes intrinsèques | | |
| Accident | <input type="checkbox"/> | Modes de défaillance en service : | | <input type="checkbox"/> | |
| Mauvaise utilisation | <input type="checkbox"/> | Santé matière | | <input type="checkbox"/> | |
| Environnement non conforme | <input type="checkbox"/> | Mauvaise conception | | <input type="checkbox"/> | |
| Consignes non respectés | <input type="checkbox"/> | Mauvaise réalisation | | <input type="checkbox"/> | |
| Mauvaise intervention antérieure | <input type="checkbox"/> | Mauvais montage | | <input type="checkbox"/> | |
| Nettoyage insuffisant | <input type="checkbox"/> | Usure | | <input type="checkbox"/> | |
| Défaillance seconde | <input type="checkbox"/> | Corrosion | | <input type="checkbox"/> | |
| Autre cause externe : | <input type="checkbox"/> | Fatigue | | <input type="checkbox"/> | |
| | | Autre cause externe : | | <input type="checkbox"/> | |
| AMPLITUDE ET VITESSE DE MANIFESTATION | | | | | |
| Progressive | <input type="checkbox"/> | + Partielle | <input type="checkbox"/> | = Dégradation | |
| Soudaine | <input type="checkbox"/> | + Complète | <input type="checkbox"/> | = Catalectique | |
| CONSEQUENCES | | | | | |
| Table de criticité | Sécurité personne | Immobilisation | Coût direct | Production | |
| Critique | Risques graves | Longue | Elevé | <input type="checkbox"/> | Arrêtée |
| Majeure | Blessure possible | Assez longue | Ez élevé | <input type="checkbox"/> | Ralentie |
| Mineure | Pas d'atteinte corporelle | Brève | Faible | <input type="checkbox"/> | Continue |
| APTITUDE A ETRE DETECTEE | | | | | |
| Des capteurs | | | <input type="checkbox"/> | Pouvaient-ils prévenir | |
| Des sondes périodiques | | | <input type="checkbox"/> | la défaillance ? | |
| Des inspections périodiques | | | <input type="checkbox"/> | laquelle ? _____ | |
| Autres mesures préventives | | | <input type="checkbox"/> | | |
| EXPERTISE | | | | | |
| Description de la défaillance : | | | | | |
| | | | Pièces jointes : | | |
| | | | Photo <input type="checkbox"/> | | |
| | | | Dessin <input type="checkbox"/> | | |
| | | | Autre <input type="checkbox"/> | | |
| Description des conditions de manifestation : | | | | | |
| MAINTENANCE CORRECTIVE | | | | | |
| Mesures préconisées pour la remise en état : _____ | | | | | |
| Mesures préconisées pour éviter son renouvellement : _____ | | | | | |

Tableau 11. 1 : Modèle de fiche d'analyse de défaillance

◆ **Analyse des pannes : Méthode Maxer :**

Il y a panne dès qu'un défaut apparaît ; c'est un écart entre ce qui devrait être et ce qui est.

Dans l'idée d'éviter de nouvelles pannes, Maxer propose le dépannage rationnel en dix étapes :

- S'informer et analyser la situation
- Prendre éventuellement une décision provisoire
- Etablir le diagnostic, chercher la cause la plus probable
- Vérifier la cause la plus probable
- Vérifier le résultat de la réparation
- Chercher la cause première et y remédier
- Vérifier les matériels semblables
- Rédiger le rapport d'intervention

Pour établir le diagnostic, on peut s'aider des questions classiques : QUI, QUOI, OU, QUAND, COMBIEN, COMMENT présentées dans la grille ci-après :

| | | |
|-----------|--|--|
| QUI | Qui est l'opérateur ? | |
| QUOI | Quel est le défaut constaté (symptôme) | Quel autre défaut aurait-on pu avoir ? |
| OU | Où le défaut apparaît-il | Où n'apparaît-il pas de défaut |
| QUAND | Quand le défaut est-il apparu pour la première fois ? | |
| | Quand est-il apparu ensuite ? | Quand le défaut n'apparaît-il pas ? |
| | Le défaut est-il périodique ? Si oui, quelle est la fréquence ? | |
| COMBIEN | Quelle est l'importance du défaut ? | Quelle est sa tendance ? |
| COMMENT | Quelles circonstances ont précédé ou accompagné l'apparition du défaut ? | |
| REMARQUES | | |

Tableau 11.2: Démarche d'analyse d'une panne

11.3 / GESTION DES PIÈCES DE RECHANGES

En gestion des stocks, on a à prévoir les quantités à commander, les dates de réapprovisionnement. Ceci doit se faire en minimisant le coût total de ces opérations. Ce coût comprend :

- le coût de passation des commandes ou coûts d'acquisition ;
- le coût des matériels commandés (coûts d'achats) ;
- le coût de possession des matériels.

D'une manière générale, ces différents coûts dépendent des paramètres suivants :

- ◆ K : consommation annuelle prévisionnelle (en nombre) ;
- ◆ Q : quantité commandée à chaque réapprovisionnement ;
- ◆ N : nombre de commandes annuelles ;
- ◆ Pu : prix unitaire des matériels ;
- ◆ i : taux d'intérêt appliqué à la valeur moyenne du stock annuel ;
- ◆ Ca : coût d'acquisition par commande ;
- ◆ C : coût de revient d'un matériel.

• **Coût de passation des commandes ou coût d'acquisition (Ca) :**

Ce coût varie en fonction du nombre de commande à passer à un même fournisseur (commande unique ou commandes groupées).

Pour une année, le coût d'acquisition total est égal au coût unitaire multiplié par le nombre de commandes :

$$\begin{aligned} Cat &= Ca \times N \\ Cat &= Ca \times \frac{K}{Q} \end{aligned}$$

• **Coût de possession :**

Ce coût résulte de ce que pourraient rapporter les capitaux dégagés par une diminution du stock moyen. Calculé sur une année, il est égal au produit du taux de possession annuel par la valeur du stock immobilisé.

Le taux de possession i est fonction de l'intérêt du capital immobilisé et des frais de stockage (locaux, taxes, impôts, assurances).

Par commande, on réapprovisionne Q matériel, avec : $Q = \frac{K}{N}$

Dans l'hypothèse d'une variation linéaire du stock dans le temps, représentée ci-après, la valeur moyenne est Q/2, d'où :

$$\text{Coût de possession} = \frac{Q}{2} \times Pu \times i$$

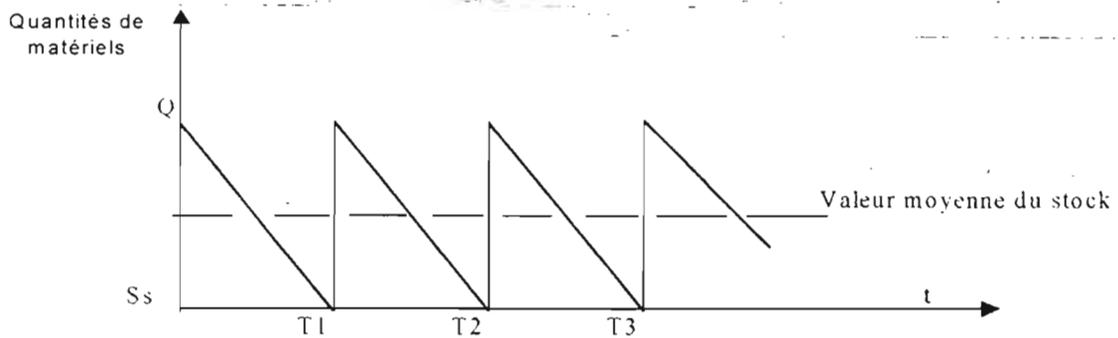


Figure 11.6 : Variation linéaire d'un stock dans le temps

11.3. 1/ Calcul de la quantité économique (Qe)

◆ Formule de WILSON

$$Q_e = \sqrt{\frac{2 \times K \times C_a}{i \times P_u}}$$

La quantité économique de commandes Qe donnera N commandes par an, d'une durée optimale To entre commandes telle que :

$$T_o = \frac{Q_e}{K}$$

11.3. 2/ Types de gestion des stocks

Les méthodes les plus couramment utilisées peuvent se regrouper sous les catégories suivantes :

| Modes de gestion | Quantités commandées | Temps entre commandes |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Point de commande | Fixe | Variable |
| Plan d'approvisionnement | Variable | Fixe |
| Programme d'approvisionnement | Fixe | Fixe |
| Cas des pièces de sécurité | Variable | Variable |

Tableau 11.3 : Répertoire des différentes méthodes de gestion des stocks

11.3.2. 1/ Méthode du point de commande

Elle consiste à commander la quantité économique lorsque le stock diminuant atteint le stock d'alerte. Ceci se représente graphiquement de la façon suivante :

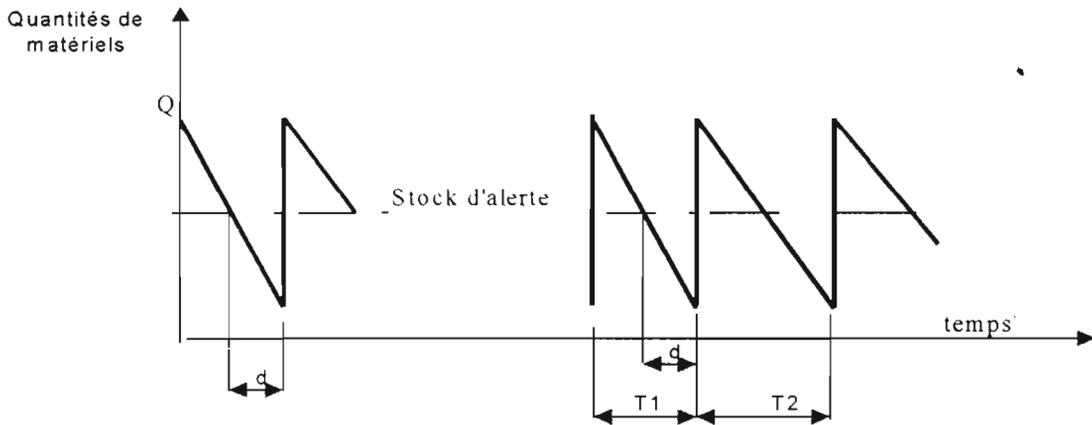


Figure 11.6 : Variation du stock dans la méthode du point de commande

11.3.2.1. 1/ Stock d'alerte

Deux cas sont envisagés pour calculer le stock d'alerte.

◆ Premier cas : loi de Gauss

Hypothèses : La sortie des matériels est gaussienne, et les fluctuations du délai sont négligeables devant celles des sorties ; on obtient donc :

S_a = C_d + S_a
 Stock d'alerte = Consommation moyenne pendant le délai + Stock de sécurité pendant le délai
 d'où :

$$S_a = C_m \times d + K \times \sigma \times d$$

avec :

- C_m : consommation moyenne mensuelle ;
- d : délai d'approvisionnement ;
- σ : écart-type de la distribution des quantités sorties mensuellement ;
- K : nombre d'écart-type correspondant au niveau de couverture souhaité.

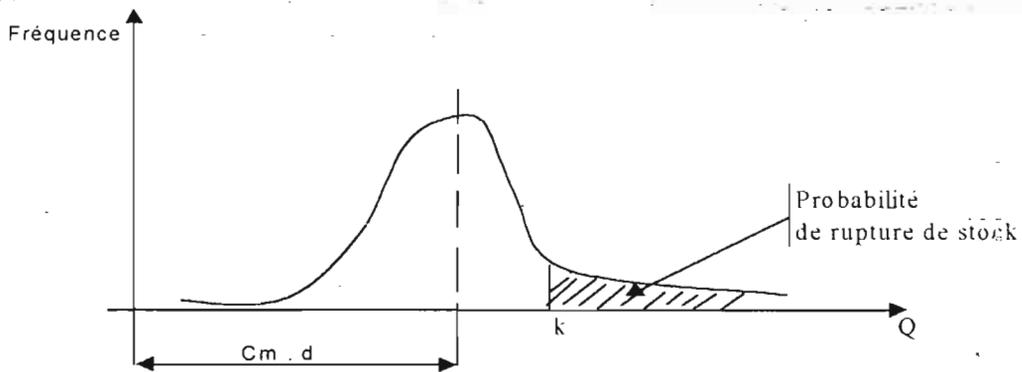


Figure 11.7 : Distribution gaussienne de la sortie des matériels

◆ **Deuxième cas : Loi de Poisson**

Hypothèses : La sortie des matériels suit une loi de Poisson (faible sortie, $P(k=0)$ n'est pas nulle ; la moyenne des sorties est sensiblement égale à la variance : $\sigma = \sqrt{m}$, le délai a une fluctuation négligeable.

Calcul du stock d'alerte :

Si m est la moyenne des sorties durant l'unité de temps, la moyenne M durant la période de risque est :

$$M = m \times \text{période de risque}$$

Dans ce cas : $M = m \times d$

La loi de Poisson est :

$$P(x \leq k) = \sum_{x=0}^{x=k} \frac{e^{-M} \times M^x}{x!}$$

Suivant le niveau de couverture désiré (risque de ne pas manquer de rechanges), on détermine k qui correspond au stock d'alerte.

Dans ces deux cas, on lance la commande lorsque l'on a atteint le stock d'alerte (Sa) ou aussi appelé : point de commande PC.

Remarque :

Si le délai est soumis à d'importantes variations, il faut en tenir compte pour le calcul du stock de sécurité S_s . On ajoute alors un stock de sécurité pour le délai (S_{sd}) tel que :

$$S_{sd} = k \times \sigma_d \times C_m$$

avec : k correspondant au niveau de couverture souhaité ;

σ_d : écart-type du délai ;

11.3.2.1. 2/ Organigramme de calcul du stock de sécurité

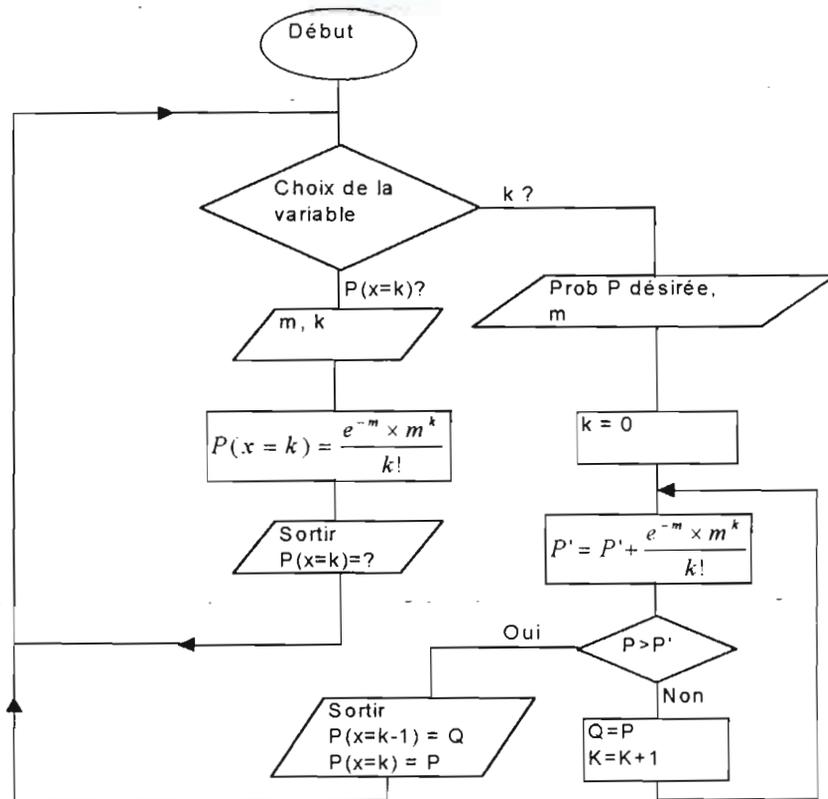


Figure 11.8: Organigramme de calcul du stock de sécurité

11.3.2.1. 3/ Avantages et Inconvénients de la méthode du point de commande

◆ **Avantages :**

- assure une grande sécurité de fourniture des pièces de rechange ;
- évite des périodicités et inventaires de commandes ;

◆ **Inconvénients :**

- le stock d'alerte doit être périodiquement recalculé en fonction des variables délais et de consommations ;
- le nombre de commandes au même fournisseur est multiplié.

Le champ d'application de cette méthode concerne 80% de la gestion des pièces de rechange.

11.3.2. 2/ Méthode du plan d'approvisionnement

Elle consiste à passer commande d'une quantité variable à dates fixes. La périodicité s'obtient à partir de la formule de Wilson décrite précédemment :

$$T_o = \sqrt{\frac{2 \times C_a}{P_u \times i \times k}}$$

La quantité à commander Q_c doit faire face à la consommation pendant le délai (d) ainsi qu'au temps séparant deux commandes (T_o) ; d'où :

$$Q_c = k (d + T_o)$$

Si on tient compte de la quantité restant en magasin (M) :

$$Q_c = k (d + T_o) - M$$

Si d et T_o sont exprimés en mois, k doit l'être également et l'on obtient :

$$Q_c = k (d + T_o) / 12 - M \times k / 12 = C_m$$

(Consommation moyenne mensuelle) avec (d et T_o en mois)

Avantage :

- faciliter les achats, l'ordonnancement des commandes, le contrôle qualité et magasinage.

Inconvénient :

- le risque accru d'avoir une rupture de stock en cas d'augmentation brutale des demandes.

Son champ d'application concerne 10% de la gestion des pièces de rechange, en particulier les articles très banalisés.

11.3.2. 3/ Méthode du programme d'approvisionnement

Elle consiste à passer commande d'une quantité fixe à période fixe.
Cette gestion concerne surtout les articles tels que les fournitures de bureau, certains matériels de l'armée, etc.
Le risque de rupture de stock est d'autant plus grand que la période couverte est longue.

11.3.2. 4/ Méthode pour pièces

Il s'agit de pièces vitales pour l'entreprise, qui interdit le risque de ne pas en disposer en cas de points.
La conception et les conditions d'utilisation doivent être telles que la probabilité de rupture devienne très improbable. Des études de sécurité peuvent être menées pour connaître la conduite à tenir dans ces cas-là (par exemple, analyse par arbre de défaillance). Elles représentent environ 5% des stocks.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Dans ce projet de fin d'études dont le but était d'étudier la maintenance des installations de signalisation maritime, afin d'augmenter leur disponibilité, des résultats assez significatifs en sont ressortis.

En effet, des indicateurs sur la fiabilité des équipements ont pu être dégagés, les causes de leurs défaillances élucidées, des remèdes à ces causes présentés et des schémas d'organisation de la maintenance proposés.

Le grand succès des techniques de la théorie moderne de la maintenance, sur lesquelles nous nous sommes basés pour effectuer l'étude, dans beaucoup de domaines industriels nous autorise à croire très fortement à la pertinence et à la validité des résultats obtenus.

A la suite des interprétations effectuées sur ces résultats, tout au long de la troisième partie du rapport, nous formulons les recommandations suivantes :

- ◆ Limiter au maximum à un mois la période d'entretien préventif des feux et bouées lumineuses.
- ◆ Porter les priorités sur ceux de Dakar.
- ◆ Remplacer toutes les batteries actuellement en usage dans les installations des feux et bouées lumineuses par de nouvelles.
- ◆ Compléter la protection des phares des Mamelles et du Cap Manuel contre la foudre en les équipant notamment de parafoudres.
- ◆ Réorganiser la gestion de la maintenance par une tenue à jour et un report plus soigné et plus exhaustif des informations nécessaires à la connaissance des défaillances sur les documents prévus à cet effet.
- ◆ Améliorer les documents existants et concevoir ceux mentionnés dans le rapport et inexistant actuellement.

Comme toute étude technique, la nôtre, aussi, présente des failles et des lacunes. Ainsi notre plus grand souhait serait que l'étude qui vient d'être menée puisse dans l'avenir être revue et améliorée, dans le cadre d'autres projets de fin d'études par exemple.

Et à ce propos, nous suggérons qu'une analyse AMDEC (Analyse des Modes de Défaillances Et de leurs Criticités) soit effectuée.