

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MUSTAPHA STAMBOULI DE MASCARA**



**FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE**  
**DÉPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE**

**Polycopié du cours**

**MAINTENANCE DES SYSTEMES ELECTROMECHANIQUES**

**Dr : EL KEBIR ABDELKADER**

**Année universitaire 2021-2022**

## Avant Propos

Les activités de maintenance sont une réalité dans toutes les entreprises de tous les secteurs économiques (industries primaires et secondaires, agriculture, prestation de service...), au même titre que les activités de production [1]. Ces deux activités ont toutes deux pour objet les machines, même si leur finalité d'action sur ces dernières sont très différentes, voire opposées dans certains cas. L'objectif premier de l'activité de production est de produire le plus possible, le plus longtemps possible tout en respectant les objectifs de qualité, alors que l'objectif de la maintenance est de garantir la disponibilité maximale de l'outil de production. Cet objectif nécessite obligatoirement l'arrêt de la production pendant un temps donné.

**"la maintenance des systèmes électromécaniques "** Elle comprend des actions de maintenance corrective qui sont effectuées après défaillance et des actions de maintenance préventive qui sont exécutées selon des critères prédéterminés dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance du matériel ou la dégradation du service rendu .**C est une matière essentielle de l'unité de découverte.** Elle s'adresse aux étudiants troisième année Intitulé de la Licence: Electromécanique Sciences et Technologie. L'objectif du cours est de faire acquérir les connaissances relatives aux différents types d'organisation de maintenance, aux stratégies de maintenance, aux composantes d'un système de GMAO, aux techniques de gestion des stocks des pièces de rechange. Cette polycopie permet aux étudiants d'acquérir les connaissances essentielles pour appliquer les techniques de gestion de la maintenance. Il vise donc à rendre l'étudiant apte à appliquer ces techniques. La matière à pour objectif d'informer le futur licencié de savoir effectuer La maintenance des **systèmes électromécaniques a partir d'un dossier technique (plan, schéma, notice, nomenclature)**, choisir les équipements adéquats et faire respecter les normes et directives dans le domaine de la maintenance des systèmes **électromécaniques** électriques, mécaniques Le lauréat de la filière **MISEM Maintenance des systèmes électromécaniques** sera rapidement opérationnel et capable de diriger et d'exécuter des opérations de maintenance (curative et préventive) des systèmes électromécaniques, dans des conditions sécuritaires, au sein d'un milieu industriel.

Le contenu de ce polycopié est déjà enseigné au département de sciences et techniques de la Faculté des Sciences et de la Technologie à l'Université de Mascara. Il est présenté avec un style très simple qui permet aux étudiants une compréhension très rapide

**Mots-clés** : Maintenance, Lois De Fiabilité , Modèles De Fiabilité , Taux De Défaillance  
,Maintenance Planifiée ,*Gestion De La Maintenance* ,Dépannage Des Convertisseurs  
,Démontage , Remontage , (MAO) , Logiciel De GMAO.

**Semestre: S6****Unité d'enseignement: UED 3.2****Matière: Maintenance des systèmes électromécaniques****Crédits: 01****Coefficient: 01****Objectifs de l'enseignement:**

Assurer la continuité de service d'une installation industrielle, identifier les fonctions et les composants des équipements électriques et électroniques, déterminer les causes de défaillance des systèmes et les réparer.

**Connaissances préalables recommandées:**

Statistiques, appareillages, mesures et instrumentation.

**Chapitre 1. Généralités sur la maintenance****(4 semaines)**

Historique, concepts et terminologie normalisés, rôle de la maintenance et du dépannage des équipements dans l'industrie, éléments de mathématiques appliquées à la maintenance, comportement du matériel en service, taux de défaillance et lois de fiabilité, modèles de fiabilité, les différentes formes de la maintenance, organisation d'entretien et de dépannage des équipements électriques, classification de la maintenance planifiée des équipements électriques.

**Chapitre 2. Organisation et gestion de la maintenance****(4 semaines)**

Structure des ateliers spécialisés dans le dépannage des convertisseurs électromécaniques, organisation des opérations de maintenance, étapes principales de technologie de dépannage des machines électriques, étude des différentes pannes des machines électriques et méthodes de leur détection, technique de démontage et de remontage, essais et diagnostics avant le dépannage.

**Chapitre 3. Dépannage des différentes parties des convertisseurs électromécaniques****(4 semaines)**

Dépannage de la partie mécanique, dépannage de la partie électrique, calcul et vérification des paramètres des systèmes électro-énergétiques, recalcul des systèmes électro-énergétiques sur d'autres données de la plaque signalétique, travaux de montage et méthode d'essais après dépannage.

**Chapitre 4. Généralités sur la maintenance assistée par ordinateur (MAO)****(3 semaines)**

**Mode d'évaluation:** Examen: 100%.

**Références bibliographiques :**

1. Zwingelstein G, Diagnostic de défaillance, Hermès, Paris 1997;
2. Jean Henq. Pratique de la maintenance préventive, Dunod, 2000.
3. Raymond Magnan. Pratique de la maintenance industrielle, Dunod, 2003.
4. Yves Lavina. Maintenance industrielle, Fonction de l'entreprise, 2005.
5. François M. Maintenance: méthode et organisation, Dunod, Paris 2000.
6. Boulenger A & Pachaud C. Diagnostic vibratoire en maintenance préventive, Dunod. Paris 2000.
7. Jean Henq. Pratique de la maintenance préventive, Dunod, Paris 2002.
8. Cuigent R. Management de la maintenance, Dunod, Paris 2002.
9. Robert S & Stéphane S. Maintenance: la méthode Maxer, Dunod, Paris 2008.

10. J.F.D. Beaufort. Emploi des relais pour la protection des installations, 1972.
11. Michel Pierre Viloz. Protection et environnement,; Technique et ingénieur, 2006.
12. Nichon Margossian. Risques professionnelle, Technique et ingénieur, 2006.
13. Rachid Chaib. La maintenance et la sécurité industrielle dans l'entreprise, Dar El Houda, Alger, 2007.

## Acronymes et Abréviations

**AFNOR** : Association Française de Normalisation

**CEN** : Comité Européen de Normalisation

**ISO** : International Standardisation Organisation

**FDMS** : Fiabilité, Disponibilité, Maintenabilité, Sûreté de fonctionnement

**MTTR** : Temps moyen de réparation

**NFX60-01** : extraits de la norme AFNOR : Association Française de Normalisation

**API** : automate programmable industriel

**MTTF** : (Mean Time To [first] Failure) : temps moyen avant-première défaillance

**MTBF** : temps moyen entre deux défaillances successives

**MDT** ou **MTI** (Mean Down Time) : temps moyen d'indisponibilité ou temps moyen d'arrêt propre.

**MUT** : (Mean Up Time) : temps moyen de disponibilité

**MAO** : Une maintenance assistée par ordinateur

**Moteur CC** : Un moteur a courant continue

**DTE** : Dossier technique équipement

**TRS** : Taux de rendement synthétique

**TPM** : La maintenance productive totale

**MTTR** : Moyenne des durées d'intervention

**BPT** : Bon pour petits travaux

**DT** : Demande de travail

**OT** : Ordre de travail

**TTR** : Durées d'intervention

**AMDEC** : Est une méthode qualitative et inductive visant à identifier les risques de pannes

**GAP** : Groupe d'analyse de pannes

**GMAO** : Gestion de la maintenance assistée par ordinateur

**GPAO** : Gestion de la production assistée par ordinateur

**GTC** : Gestion technique centralisée

**PG I** : Progiciel de Gestion Intégrée

**AdM** : Atelier de maintenance

**SdP** : Sites de Production

**MTI** : (moyenne des temps d'indisponibilité)

## Nomenclature

**Z:** Variable aléatoire

**A(t) :** Le matériel est en état de bon fonctionnement

**$\lambda(t)$ :** Le taux de défaillance

**t:** Temps

**B :** Le matériel est défaillant

**F(t):** La fonction de défaillance

**R(t):** La fonction de fiabilité

**R:** La fiabilité

**$\beta$  :** Paramètre de forme ( $\beta > 0$ )

**$\eta$  :** Paramètre d'échelle ( $\eta > 0$ )

**$\gamma$  :** Paramètre de position ( $-\infty < \gamma < +\infty$ )

**e :** La base de l'exponentielle (2,718...)

**$\lambda$ :** C'est l'intensité

<b>Table de Matière Chapitre</b>	
Avant Propos	vii
Mots-clés	vii
Canevas	vii
Acronymes et Abréviations	vii
Nomenclature	vii
Introduction	12
<b>Chapitre 1</b>	<b>Généralités sur la maintenance</b>
<i>1.1 Introduction</i>	13
<i>1.2 Définition de la maintenance (norme NF EN 13306)</i>	14
<i>1.3 Les objectifs de la maintenance (norme FD X 60-000)</i>	14
<i>1.4 La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 &amp; FD X 60-000)</i>	14
<i>1.5 Historique (concepts et terminologie normalisés).</i>	14
<i>1.5.1 Histoire du nom</i>	14
<i>1.5.2 Histoire de la fonction maintenance</i>	14
<i>1.5.3 De l'entretien des machines à la maintenance de la production</i>	15
<i>1.6 Définitions AFNOR et CEN de la maintenance</i>	15
<i>1.6.1 Selon L'afnor Par La Norme X 60-000</i>	16
<i>1.6.2 Selon L'afnor Par La Norme NFX 60-000</i>	16
<i>1.6.3 Entretien</i>	16
<i>1.7 Le Service Maintenance</i>	16
<i>1.7.1 Les fonctions du service maintenance (norme FD X 60-000)</i>	17
<i>1.8 Rôle de la maintenance et du dépannage des équipements dans l'industrie</i>	17
<i>1.9 Eléments de mathématiques appliquées à la maintenance</i>	19
<i>1.9.1 Outils mathématiques</i>	19
<i>1.9.2 Comportement du matériel en service</i>	19
<i>1.10 Sûreté de fonctionnement</i>	20
<i>1.10.1 Fiabilité (Reliability)</i>	20
<i>1.11 Fiabilité d'un système</i>	24
<i>1.11.1 Fiabilité de système constitué de plusieurs composants</i>	25
<i>1.11.2 Cas des systèmes connectés en parallèle et dis en attente</i>	27
<i>1.11.3 Combinaison de composants en série et en parallèle</i>	28
<i>1.12 Lois de fiabilité</i>	28
<i>1.13 Les lois de probabilité utilisées en fiabilité</i>	28
<i>1.13.1 Lois discrètes</i>	28
<i>1.13.2 Loi uniforme</i>	29
<i>1.13.3 Loi de Bernoulli</i>	29
<i>1.13.4 Loi de Binomiale</i>	29
<i>1.13.5 La loi binomiale négative</i>	29
<i>1.13.6 Loi géométrique</i>	29
<i>1.13.7 Loi hypergéométrique</i>	30
<i>1.13.8 Loi de Poisson</i>	30

1.14 Les lois continues	30
1.14.1 Loi exponentielle	30
1.14.2 Loi de Wei bull	31
1.14.3 Modèles de fiabilité	32
1.15 La Disponibilité	32
1.15.1 Définition de La Disponibilité	32
1.15.2 Explications sur les différentes disponibilités :	34
1.15.3 Analyse de la disponibilité opérationnelle :	34
1.16 La Maintenabilité :	35
1.16.1 Définition de La Maintenabilité :	35
1.16.2 Maintenabilité et maintenance :	36
1.17 Maintenabilité et disponibilité :	36
1.17.1 Définitions	36
1.17.2 Construction De La Maintenabilité Intrinsèque :	36
1.17.3 Analyse De La Maintenabilité Opérationnelle	37
1.18 Les différentes formes de la maintenance	37
1.18.1 Introduction :	37
1.18.2 La Maintenance Corrective	38
1.18.3 Maintenance Préventive	39
1.18.4 La Maintenance Améliorative	40
1.19 Différents Niveaux De Maintenance	41
1.20 Organisation d'entretien et de dépannage des équipements électriques	41
1.20.1 Comment aborder l'entretien	41
1.20.2 Étape pour le dépannage électrique	42
1.21 Classification de la maintenance planifiée des équipements électriques	45
1.21.1 Introduction	45
1.21.2 Différentes Phases De La Maintenance Planifiée	46
1.21.3 Un exemple de classification de la maintenance planifiée des équipements électriques. Etude de cas :	50
1.21.4. Un exemple de classification	53
1.21.5. Déférence entre maintenance planifier et non planifier	54
<b>Chapitre 2</b>	<b>Organisation et gestion de la maintenance</b>
2 Organisation Et Gestion De La Maintenance	55
2.1 Introduction	55
2.2 Structure des ateliers spécialisés dans le dépannage des convertisseurs électromécaniques	55
2.2.1 Méthodologie de la maintenance centralisée	55
2.2.2 Fonctions de l'atelier de maintenance	56
2.3 Organisation structurelle du service maintenance	57
2.4 Etapes de conception d'un atelier de maintenance	59
2.5 Organisation des opérations de maintenance	61
2.5.1 Relations Entre Maintenance Et Autres Fonctions De L'entreprise	61
2.5.2 Organisation niveaux d'intégration 1	61
2.5.3 Organisation niveaux d'intégration 2	62

2.5.4 Organisation avantages centralisation /décentralisation de la maintenance	62
2.5.5 La maintenance corrective	62
2.6 Etapes principales de technologie de dépannage des machines électriques	65
2.7 Etude des différentes pannes des machines électriques et méthodes de leur détection.	69
2.7.1 Défaillances Des Machines Electriques Selon Leur Origine Interne	70
2.7.2 Défaillances Des Machines Electriques Selon Leur Origine Externe	70
2.7.3 Défauts statoriques	71
2.7.4 Défauts rotoriques	72
2.8 Propositions de causes possibles de pannes et des vérifications correspondantes	75
2.9. Technique de démontage et de remontage	76
2.9.1 Introduction	76
2.9.2 Game de démontages	78
2.9.3 Méthodologie	78
2.9.4 Exemple : vérin hydraulique	79
2.9.5 Précautions	82
2.9.6 Règles à Respecter	82
2.9.7 Vocabulaire	82
2.10 Essais et diagnostics avant le dépannage	84
2.10. 1 Méthode de recherche de panne.	84
2.11 Procédures d'analyse du mauvais fonctionnement des machines	91
<b>Chapitre 3                    Dépannage des différentes parties des machines électriques</b>	
3.1. Introduction	92
3.2 Dépannage de la partie mécanique, dépannage de la partie électrique d'une machine électrique	92
3.2.1. Qualité du courant	93
3.2.2 Variateurs de fréquence	95
3.2.3 Mécanique	97
3.2.4 Facteurs liés à une installation incorrecte	99
3.3. Quatre stratégies pour le succès	101
3.4 Dépannage Des Machines Electrique	102
3.4 .1 Dépannage Des Machines A Courant continu	103
3.4 .2 Dépannage des Moteurs Asynchrones	106
3.5 Entretien et dépannage des machines à courant alternatif d'une façon général	108
3.5.1 Entretien	108
3.5 .2 Dépannage	110
3.5.3 Analyse de l'état réel de l'équipement	110
3.5.4 Calcul et vérification des paramètres des systèmes électro-énergétiques.	111
3.5 .5 Exemple d'un diagnostic	117
3.5.6 Travaux de montage et méthode d'essais après dépannage	118
<b>Chapitre 4                    Généralités sur la maintenance assistée par ordinateur (MAO)</b>	
4. Introduction :	121

<i>4.1 Informatique Industrielle : Une Conception Assistée Par Ordinateur</i>	<i>121</i>
<i>4.1.1 Mécanique,</i>	<i>122</i>
<i>4.1.2 Electronique,</i>	<i>122</i>
<i>4.1.3 Electrotechnique,</i>	<i>122</i>
<i>4.1.4 Architecture,</i>	<i>122</i>
<i>4.1.5 Urbanisme Et La Planification Urbaine.</i>	<i>122</i>
<i>4.1.6 Médecine</i>	<i>122</i>
<i>4.2 Notion Générale De MAO (Maintenance Assistée Par Ordinateur)</i>	<i>123</i>
<i>4. 3 Les Fonctions Essentielles D'un Logiciel De GMAO</i>	<i>123</i>
<i>4. 4 Caractéristiques Générales :</i>	<i>123</i>
<i>4. 5 Intérêt De La MaO</i>	<i>123</i>
<i>4.6 Elaboration Dun Plan MAO</i>	<i>124</i>
<i>4.7 Réussir sa GMAO (gestion de la maintenance assistée par ordinateur)</i>	<i>125</i>
<i>4.7.1 La fonction gestion : avant de parler GMAO, parlons gestion</i>	<i>125</i>
<i>4.7.2 Application à la gestion du service maintenance</i>	<i>125</i>
<i>4.7.3 Les tendances évolutives des architectures des systèmes informatiques</i>	<i>126</i>
<i>4.7.4 Les progiciels de GMAO : analyse des différents modules fonctionnels</i>	<i>127</i>
<i>4.7.5 Processus gestion de la maintenance</i>	<i>128</i>
<i>4.8 Présentation D'un Logiciel De GMAO : Newmaint</i>	<i>129</i>
<i>4.8. 1 Qualités d'un logiciel de GMAO</i>	<i>129</i>
<i>4.8. 2 Fonctions d'un logiciel de GMAO</i>	<i>129</i>
<i>4.9 Le choix d'un outil GMAO bien adapté</i>	<i>133</i>
<i>4.9.1 Intégration de la GMAO dans le système d'information de l'entreprise</i>	<i>133</i>
<i>4.9.2 Importance du paramétrage : la flexibilité d'une GMAO</i>	<i>133</i>
<i>4.9.3 Importance du cahier des charges</i>	<i>133</i>
<i>4.10 La conduite d'un projet GMAO</i>	<i>133</i>
<i>4.10.1 Importance de l'aspect humain dans la réussite du projet</i>	<i>133</i>
<i>4.10.2 Étapes du projet</i>	<i>133</i>
<i>4.10.3 Préalables</i>	<i>133</i>
<i>4.10.4 Étude de faisabilité</i>	<i>134</i>
<i>4.10.5 Rédaction du cahier des charges de consultation</i>	<i>134</i>
<i>4.10.6 Choix de l'outil GMAO et des modules nécessaires</i>	<i>135</i>
<i>4.11. Gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO), à l'aide du logiciel Senergy</i>	<i>135</i>
<i>4.11.1 Démarrage du logiciel</i>	<i>135</i>
<i>4.11.2 Menu d'outils</i>	<i>136</i>
<i>4.11.3 Création des équipements</i>	<i>137</i>
<i>4.11.4 Département</i>	<i>138</i>
<i>4.11.4 Documents</i>	<i>138</i>
<i>4.11.5 Compteurs</i>	<i>138</i>
<i>4.11.6 Actions associés à un équipement</i>	<i>139</i>
<i>4.11.7 Créations d'articles</i>	<i>140</i>
<i>4.12 Créations de tâchés de maintenance</i>	<i>140</i>
<i>4.12.1. Les différents type d'actions de maintenance</i>	<i>140</i>

## Introduction

La maintenance industrielle, qui a pour vocation d'assurer le bon fonctionnement des outils de production, est une fonction stratégique [2] dans les entreprises. Intimement liée à l'incessant développement technologique, à l'apparition de nouveaux modes de gestion, à la nécessité de réduire les coûts de production, elle est en évolution. Elle n'a plus aujourd'hui comme seul objectif de réparer l'outil de travail mais aussi de prévoir et éviter les dysfonctionnements. Au fil de ces changements, l'activité des personnels de maintenance a également évolué, pour combiner compétences technologiques, organisationnelles et relationnelles.

Aujourd'hui les entreprises ne peuvent plus négliger l'entretien de leurs outils de production. Elles prennent conscience des enjeux économiques en prévoyant la maintenance dans leur choix d'investissement. La maintenance est considérée comme une source d'optimisation de l'outil de production comme [3] un facteur de profits. La notion formalisée de [4] maintenance à l'origine on parlait d'entretien est née dans l'industrie de production de biens vers la fin des années 1970. Puis, dans les années 1990, elle commença à gagner le secteur de production de services. Aujourd'hui elle est susceptible de concerner tous les secteurs d'activité : services généraux, immobilier, transport, logiciel, etc

Le service maintenance [5] doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise, cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Le maintien des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien pour la qualité des produits.

La maintenance des systèmes électromécaniques est devenue un point essentiel lors de leur conception et de leur exploitation, tant pour des questions de sécurité et de sûreté de fonctionnement, que pour des questions de rentabilité. Par exemple, un arrêt de production pour maintenance sur les chaînes de montage de chez Sonelec sidi bel Abbes peut coûter chers par jour. Une maintenance mal adaptée à un système peut également conduire à une situation critique, dangereuse aussi bien pour les personnes que pour le matériel ou l'environnement.

On assigne souvent à la maintenance des systèmes électromécaniques le rôle de limiter au mieux les effets de (vieillesse, usure, fatigue, et autres altérations physico-chimiques), cette vision peut être réductrice, car elle est plus centrée sur la recherche des moyens d'éviter des dégradations « le comment » que sur les raisons de le faire « le pourquoi ». Ainsi, elle semble parfois s'intéresser plus à trouver la façon d'améliorer la fiabilité des biens, alors qu'il faut d'abord identifier ce qu'il faut améliorer, car maintenir ne veut plus dire entretenir en bon état, mais atteindre des objectifs. La problématique est « comment ? » bâtir un programme de maintenance préventive optimisé par exemple la chaîne de montage Sonelec sidi bel Abbes, cela en tenant compte des contraintes à respecter et des critères à optimiser communs à la maintenance et spécifiques à chaque étude. La chaîne de montage par exemple Sonelec sidi bel Abbes et les équipements industriels devenant de plus en plus complexes et les coûts d'intervention sur le site étant de plus en plus élevés, différents fabricants ont mis au point des logiciels de Maintenance Assistée par Ordinateur (MAO). Le but principal de ces logiciels de MAO est d'économiser l'énergie gaspillée par une maintenance préventive systématique tout en réduisant les opérations de maintenance correctives.

Cette polycopie s'adresse aux étudiants de la troisième année licence Intitulé de la Licence: Electromécanique Sciences et Technologie. Il traite le programme du module de **Maintenance des systèmes électromécaniques MISEM**. Le premier chapitre traite la Généralités sur la maintenance Historique, concepts et terminologie normalisés, rôle de la maintenance et du dépannage des équipements dans l'industrie, éléments de mathématiques appliquées à la maintenance, comportement du matériel en service, taux de défaillance et lois de fiabilité, modèles de fiabilité, les différentes formes de la maintenance, organisation d'entretien et de dépannage des équipements électriques, classification de la maintenance planifiée des équipements électriques. Le deuxième chapitre aborde organisation et gestion de la maintenance Structure des ateliers spécialisés dans le dépannage des convertisseurs électromécaniques, organisation des opérations de maintenance, étapes principales de technologie de dépannage des machines électriques, étude des différentes pannes des machines électriques et méthodes de leur détection, technique de démontage et de remontage, essais et diagnostics avant le dépannage.. Le troisième chapitre est consacré aux dépannage des différentes parties des convertisseurs électromécaniques dépannage de la partie mécanique, dépannage de la partie électrique, calcul et vérification des paramètres des systèmes électro-énergétiques, recalcul des systèmes électro-énergétiques sur d'autres données de la plaque signalétique, travaux de montage et méthode d'essais après dépannage. Enfin le quatrième chapitre expose la. Généralités sur la maintenance assistée par ordinateur (MAO).

1. A la fin de ce cours étudiant doit être capable de :
2. Réaliser les actions de la Maintenance préventive
3. Pouvoir adopter une politique de maintenance adéquate à partir de modèle de fiabilité
4. Posséder les gestes technique pour monter raccorder mettre en service régler et effectuer La maintenance des systèmes électromécaniques.
5. Utilisation des logiciels de Maintenance Assistée par Ordinateur (MAO).
6. Définir, préparer, ordonnancer et optimiser la maintenance corrective.
7. Définir et/ou optimiser la stratégie de maintenance ;
8. Définir et/ou optimiser l'organisation des activités de maintenance ;
9. Ce cours permet aux étudiants d'acquérir les connaissances essentielles pour appliquer les techniques de gestion de la maintenance. Il vise donc à rendre l'étudiant apte à appliquer ces techniques

## Chapitre 1

## Généralités sur la maintenance

### 1.1 Introduction

La maintenance s'inscrit parmi les [6] [7] contraintes que rencontre tout exploitant d'une installation industrielle. Plus généralement, une installation de production nécessitant un ensemble de moyens matériels et humains n'est en mesure d'assurer le service qu'on lui demande qu'après avoir surmonté diverses contraintes, dont la maintenance des équipements de production utilisés. Construire une usine ou un atelier [8] ne sert à rien en l'absence de production significative, ou de personnel qualifié, ou d'un système d'organisation permettant le maintien en état des installations. Ce constat explique la tendance actuelle de l'usine vendue « produit en main », alors que celle jadis universellement adoptée correspond à l'usine livrée « clés en main ». Il faut donc penser, dès que l'on conçoit une nouvelle installation, aux moyens qui seront nécessaires pour sa future exploitation. On ne compte plus les échecs économiques, notamment dans les pays en voie de développement, pour cause de déficience de main d'œuvre suffisamment qualifiée, tant en production qu'en maintenance, et pour manque de moyens appropriés. Des rapports de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI) indiquent qu'environ 40% des usines restent inutilisées. La production et la maintenance sont donc indissociables.

Les installations, les équipements tendent à se détériorer dans le temps sous l'action de causes multiples telles que l'usure, la déformation due au fonctionnement ou l'action des agents corrosifs (agents chimiques, atmosphères, etc.). Ces détériorations peuvent provoquer l'arrêt de fonctionnement, diminuer les capacités de production, mettre en péril la sécurité des biens et des personnes, provoquer des rébus ou diminuer la qualité, augmenter les coûts de fonctionnement (augmentation de la consommation d'énergie, etc.) ou diminuer la valeur marchande de ces moyens. Maintenir c'est donc effectuer des opérations de dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration etc., qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production. Bien maintenir c'est aussi assurer ces opérations au coût global optimum

Mais aujourd'hui, maîtriser la disponibilité des biens, des matériels et des équipements industriels, permettrait à l'industrie d'agir sur la régularité de sa production, sur ses coûts de fabrication, sur sa compétitivité et sur son succès commercial. Pour vendre plus, pour vendre mieux, il s'agit à présent non plus seulement de proposer un meilleur mode de conduite de l'installation mais de garantir à l'exploitant un mode d'intervention rapide, une mise en place de détection et de diagnostic de défaillances, en un mot une maintenance de qualité permettant d'atteindre la production optimum

Ce chapitre examine les définitions fondamentales concernant la maintenance et le rôle de cette dernière dans l'industrie. Ensuite l'accent est mis sur l'intégration d'éléments mathématiques dans la maintenance pour évaluer le comportement du matériel en service

## **1. 2 Définition de la maintenance (norme NF EN 13306)**

La maintenance [9] est l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de management durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise.

## **1. 3 Les objectifs de la maintenance (norme FD X 60-000)**

Selon la politique de [9] maintenance de l'entreprise, les objectifs de la maintenance seront :

-  la disponibilité et la durée de vie du bien ;
-  la sécurité des hommes et des biens ;
-  la qualité des produits ;
-  la protection de l'environnement ;
-  l'optimisation des coûts de maintenance ;
-  Etc.

## **1. 4 La stratégie de maintenance (normes NF EN 13306 & FD X 60-000)**

La stratégie [9] de maintenance est une méthode de management utilisée en vue d'atteindre les objectifs de maintenance. Les choix de stratégie de maintenance permettent d'atteindre un certain nombre d'objectifs de maintenance :

-  développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance ;
-  élaborer et optimiser les gammes de maintenance ;
-  organiser les équipes de maintenance ;
-  internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance ;
-  définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables
-  étudier l'impact économique (temps de retour sur investissement) de la modernisation ou de l'amélioration de l'outil de production en matière de productivité et de maintenabilité.

## **1.5 Historique (concepts et terminologie normalisés).**

### **1.5.1 Histoire du nom**

Le terme « maintenance », forgé sur les racines latines *manus* [6] [7] et *tenere*, est apparu dans la langue française au XIIIe siècle. L'étymologiste Wace a trouvé la forme *mainteneor* (celui qui soutient), utilisée en 1169 :c'est une forme archaïque de « mainteneur ».

François Rabelais, qui, vers 1533, parlait de la « maintenance de Laloy » dans *Pantagruel*. qui écrit sous la plume« maintenance »Les utilisations anglo-saxonnes du terme sont donc postérieures. À l'époque moderne, le mot est réapparu dans le vocabulaire militaire : « maintien dans des unités de combat, de l'effectif et du matériel à un niveau constant ». Définition inter- ressentie, puisque l'industrie l'a reprise à son compte en l'adaptant aux unités de production affectées à un « combat économique » !

### **1.5.2 Histoire de la fonction maintenance**

L'histoire de la maintenance peut se décomposer en trois étapes : D'abord la période où les machines étaient simples et peu nombreuses, mais la main d'œuvre de fabrication est importante, la

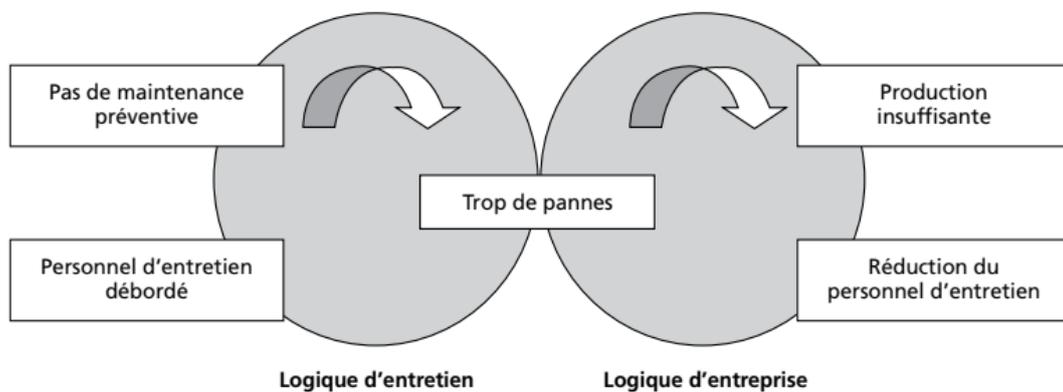
maintenance était très élémentaire et son budget était noyé dans les frais généraux de l'entreprise. Dans une seconde période, avec le développement du machinisme, la main d'œuvre diminue et, en valeur relative, la maintenance prend plus d'importance, elle a son budget autonome. Cette situation existe encore dans de nombreuses entreprises.

Une troisième période s'est ouverte avec le développement de l'automatisme. Dans les industries de processus, la plus grande part des effectifs de production appartient à la maintenance, dont les coûts et le budget se sont considérablement accrus.

### 1.5.3 De l'entretien des machines à la maintenance de la production

L'entretien consistait majoritairement [6] [7] à dépanner et à réparer après défaillance, avec le souci d'un redémarrage rapide, en n'ayant comme objectif préventif que le minimum vital : lubrification et rondes de surveillance. L'image de l'entretien est donnée par le dépanneur auprès de sa machine démontée. L'image de la maintenance pourrait être celle d'un agent des méthodes réfléchissant au moyen de ne plus avoir à dépanner !

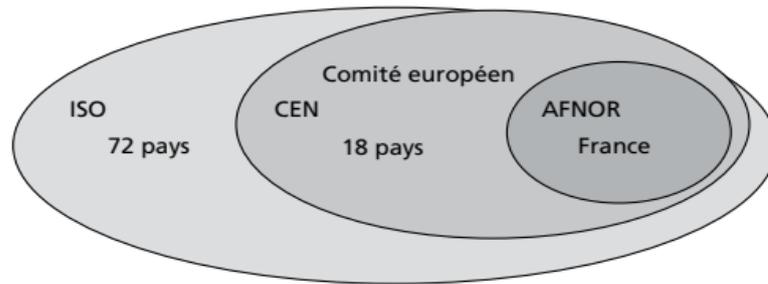
Il est honnête de dire que ces actions d'entretien étaient alors, et sont encore parfois justifiées par la nature technique des équipements peu intégrés, par la faible incidence économique des arrêts fortuits et par les méthodes de production en usage (avec la présence de stocks tampons en particulier). Toutefois, « vérité d'hier n'est pas celle de demain... ». L'enjeu des années post-1980 était de pouvoir sortir du cercle vicieux de l'entretien, caricaturé par la boutade : « plus il y a de pannes, plus je cours, plus je cours, plus il y a de pannes ». **Fig.1.1**



**Fig.1.1** Les cercles vicieux de l'entretien [6] [7]

### 1.6 Définitions AFNOR et CEN de la maintenance

La Maintenance L'AFNOR faisant partie du CEN, les définitions AFNOR seront supplantées par les définitions CEN lorsque les normes « projet » deviendront définitives. Il n'existe pas actuellement de normes internationales ISO « International Standardisation Organisation » relatives à la fonction maintenance. Fig1.2.



**Figure 1.2** Les organismes de normalisation [6] [7]

Selon l'AFNOR : La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou dans un état où il est en mesure d'assurer un service déterminé. La maintenance est une politique qui prend en compte

- a. le choix des méthodes d'entretien (les différents modes de maintenances)
- b. les améliorations
- c. la place des équipements dans le procédé de fabrication (hiérarchisation)
- d. la formation du personnel d'entretien et de production

#### **1.6.1 Selon L'afnor Par La Norme X 60-000**

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

#### **1.6.2 Selon L'afnor Par La Norme NF X 60-010**

Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé. Bien maintenir, c'est assurer l'ensemble de ces opérations au coût optimal. La définition de la maintenance fait donc apparaître 4 notions :

- Maintenir qui suppose un suivi et une surveillance.
- Rétablir qui sous-entend l'idée d'une correction de défaut.
- Etat spécifié et service déterminé qui précise le niveau de compétences et les objectifs attendus de la maintenance.
- Coût optimal qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité économique.

#### **1.6.3 Entretien**

Historiquement, il existe une opposition [6] [7] [8] de sens entre les termes Maintenance et Entretien Tab1.1 Ensemble des travaux ayant pour but de maintenir dans leur état initial des ouvrages ou équipements existants, sans changer leur usage ou leur fonction. L'entretien peut s'avérer nécessaire plusieurs fois pendant la durée de vie, il limite ainsi les risques de désordre ou de pannes (composante préventive de la maintenance)

ENTRETIEN	MAINTENANCE
Dépanner, réparer	Prévenir, optimiser le coût de possession
Subir le matériel	Maîtriser
Tâche ingrate : période estivale, improductif	Outils spécifiques : fiabilité, GMAO...
Activité de faible priorité : faible qualification, responsabilité limitée, exploitation prioritaire	Valorisation du métier : participation aux études, à la conception, à l'installation et à l'amélioration

**Tableau 1.1** *opposition de sens entre les termes Maintenance et Entretien*

## **1.7 Le Service Maintenance**

### **1.7.1 Les fonctions du service maintenance (norme FD X 60-000)**

- **Etude**  
Sa mission [3] principale est l'analyse du travail à réaliser en fonction de la politique de maintenance choisie. Elle implique la mise en œuvre d'un plan de maintenance avec des objectifs chiffrés et des indicateurs mesurables.
- **Préparation**  
La préparation [6] [7] [8] des interventions de maintenance doit être considérée comme une fonction à part entière du processus maintenance. Toutes les conditions nécessaires à la bonne réalisation d'une intervention de maintenance seront ainsi prévues, définies et caractérisées. Une telle préparation devra bien sûr s'inscrire dans le respect des objectifs généraux tels qu'ils sont
- **Ordonnancement**  
L'ordonnancement représente la fonction "chef d'orchestre". Dans un service maintenance caractérisé par l'extrême variété des tâches en nature, en durée, en urgence et en criticité, l'absence de chef d'orchestre débouche vite sur la cacophonie quel que soit le brio des solistes
- **Réalisation**  
La réalisation consiste à mettre en œuvre les moyens définis dans le dossier de préparation dans les règles de l'art, pour atteindre les résultats attendus dans les délais préconisés par l'ordonnancement.
- **Gestion**  
La fonction gestion du service maintenance devra être capable d'assurer la gestion des équipements, la gestion des interventions, la gestion des stocks, la gestion des ressources humaines, et la gestion du budget.

## **1.8 Rôle de la maintenance et du dépannage des équipements dans l'industrie**

Ainsi, le rôle de la fonction maintenance et réparation dans l'industrie (quels que soient son type et son activité département) est de respecter le budget alloué tout en veillant à ce que l'équipement atteigne une disponibilité maximale avec les meilleures performances. Afin d'atteindre ces objectifs, les politiques de maintenance et de dépannage des équipements de l'industrie doivent suivre les points suivants :

**1. Le service maintenance (ou « dépannage ») intervient principalement en cas de problème :**

- Il dépanne en urgence.
- Il répare en atelier.
- Il effectue l'entretien quotidien des matériels.

**2. éviter les pannes et les ralentissements de production :**

Les interventions en urgence engendrant de coûteux arrêts de production, on met en place des procédures de prévention (d'évité) systématiques des pannes majeures.

**3. doit générer des profits : Le service maintenance évite des pannes :**

Il fait donc gagner de l'argent. Mais il coûte aussi : salaires, matériels de maintenance, stock de pièces de rechange, arrêt de production pour la maintenance préventive.

**4. est en concurrence avec les sous-traitants maitenanciers :**

Après avoir fait la preuve de sa rentabilité, le service maintenance doit faire preuve de plus de rentabilité que si on avait recours à des sociétés spécialisées dans la maintenance. Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Cependant, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance d'un point de vue maintenance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations.

La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées :

- ✘ Prévisions à long terme. Liées à la politique de l'entreprise permettant l'ordonnancement des charges, des stocks, des investissements en matériel.
- ✘ Prévisions à moyen terme la volonté de maintenir le potentiel d'activité de l'entreprise conduit à veiller à l'immobilisation des matériels à des moments qui perturbent le moins possible la programme de fabrication. Dès lors il faut fournir nécessairement et suffisamment tôt le calendrier des interventions de maintenance. Celle-ci ayant une influence sur l'ordonnancement des fabrications.
- ✘ Prévisions à courts termes, dans ce cas le service de maintenance s'efforcera à réduire les durées d'immobilisation du matériel et les coûts de ses interventions. Sachant que les réductions des coûts et d'immobilisation ne sont possibles que si le matériel et les interventions ont fait l'objet d'une étude préalable, il est donc nécessaire de préparer le travail et d'étudier les conditions de fonctionnement, les défaillances possibles et les conditions d'exécution des interventions. Le service technique lié à cette fonction doit fournir toutes les informations qualitatives et quantitatives susceptibles d'influencer les politiques particulières de l'entreprise

Aucune autre fonction dans une installation de production, à l'exception peut être de la recherche et du développement (bureau d'études), n'implique une aussi large gamme d'activités que celle de la maintenance. Dans le management de cette fonction, abondent les problèmes de planning, d'approvisionnement, de personnel, de contrôle de qualité, de gestion et des problèmes techniques. La maintenance embrasse toutes les activités, comme si elle constituait une industrie propre. Dans certaines usines, notamment dans l'industrie chimique, l'importance de cette fonction est égale à celle de la production, et son personnel est souvent plus nombreux que le personnel de production. Ceci n'est évidemment pas le cas dans les petites entreprises, mais les mêmes problèmes s'y posent également. Par suite de la large gamme d'activités dans la fonction de maintenance, celle-ci ne peut être satisfaisante que si ces activités sont aussi bien définies que celle de la production. Il y avait souvent une grave disparité entre la production et la maintenance. Mais, les ennuis de la production ne peuvent être évités que par une maintenance efficace.

## ***1.9 Eléments de mathématiques appliquées à la maintenance***

Dans le domaine [6] [7] [8] de la maintenance industrielle, les plus courantes sont Déterminées certaines mesures à partir d'un nombre limité de connaissances Valeur connue. Cette partie intégrera certains éléments Mathématiques vus au secondaire et appliquées à la Maintenance Industrielle. De plus, il favorise le développement des capacités Utilisez les fonctions et les graphiques d'un tableur .assurez-vous, à partir des données sur le dessin, la taille requise de l'objet représenté, à Identifier et utiliser des modèles mathématiques adaptés à une situation donnée, et Utiliser le calcul vectoriel pour analyser la situation.

**La modélisation mathématique de la maintenance** en tant que matière. Le succès du sujet, qui est strictement une branche des mathématiques appliquées (**Recherche Opérationnelle ou Statistique, compte tenu de votre point de vue personnel**), ne peut être mesuré qu'en fonction de son impact sur la solution de vrais problèmes de maintenance. . Il est donc certain que la modélisation mathématique de la maintenance est par définition des mathématiques appliquées, et elle semble qu'une grande partie de la littérature actuelle n'est ni partie des mathématiques pures ni partie des mathématiques appliquées. N'est-il pas vrai que les développements de la modélisation doivent passer par **la modélisation conceptuelle étape à l'application industrielle**, avec les validations et vérification que cela implique ? Seulement peuvent alors être considérés comme des développements de recherche en modélisation de la maintenance. Une telle vision d'un domaine en développement d'applications les mathématiques ne sont pas nouvelles. On pourrait soutenir que la modélisation mathématique dans la maintenance est confrontée à un problème encore plus profond. C'est, le plus souvent, l'absence de données suffisantes relatives au problème d'entretien d'intérêt (au décideur) pour les modèles plausibles à installer et validé. Ceci est encore entravé par la complexité des modèles qui sont souvent proposés. Ainsi, comment la modélisation mathématique en maintenance se développer s'il doit être jugé par son succès dans la lutte de vrais problèmes, quand il n'y a pas suffisamment d'informations disponible pour juger de ce succès .On pourrait soutenir que la modélisation mathématique dans la maintenance est confrontée à un problème encore plus profond. C'est, le plus souvent, l'absence de données suffisantes relatives au problème d'entretien d'intérêt (à le décideur) pour que des modèles plausibles soient installés et validé. Ceci est encore entravé par la complexité des modèles qui sont souvent proposés.

### ***1.9.1 Outils mathématiques***

Tout comme l'intervention [6] [7] [8] technique de maintenance, l'organisation et la gestion des activités de maintenance nécessitent l'emploi d'outils d'usages et de natures différentes. Pour choisir les politiques de maintenance les mieux adaptées à chaque type d'équipement, déterminer les périodes d'intervention, connaître la fiabilité, Maintenabilité, disponibilité (probabilités, lois statistiques, algèbre des événements, analyses markoviennes...).

### ***1.9.2 Comportement du matériel en service***

Sélection de la loi de comportement du [6] [7] [8] matériau (calcul Fiabilité) devient une tâche très complexe La machine prend en compte les aspects de sécurité et les normes pour éviter Une maintenance fréquente, difficile et coûteuse peut se résumer en trois points : Concept FMD que les concepteurs devraient prendre en compte dans le processus de recherche projet:

- ❖ Sûreté de fonctionnement
- ❖ Maintenabilité
- ❖ Disponibilité
- ❖ Fiabilité

## 1.10 Sûreté de fonctionnement

La sûreté de fonctionnement [11] est souvent appelée la science des défaillances ; elle inclut leur connaissance, leur évaluation, leur prévision, leur mesure et leur maîtrise. Il s'agit d'un domaine transverse qui nécessite une connaissance globale du système comme les conditions d'utilisation, les risques extérieurs, les architectures fonctionnelle et matérielle, la structure et fatigue des matériaux. Beaucoup d'avancées sont le fruit du retour d'expérience et des rapports d'analyse d'accidents. La sûreté de fonctionnement d'un système correspond à son aptitude au maintien dans le temps de la qualité du service qu'il délivre. Il s'agit d'un concept global qui intègre principalement les caractéristiques de fiabilité, de Maintenabilité, de Disponibilité et de sécurité (FMDS) figure 1.3.

Ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : fiabilité, Maintenabilité, et logistique de maintenance. (Norme NF EN 13306). [8] [9].

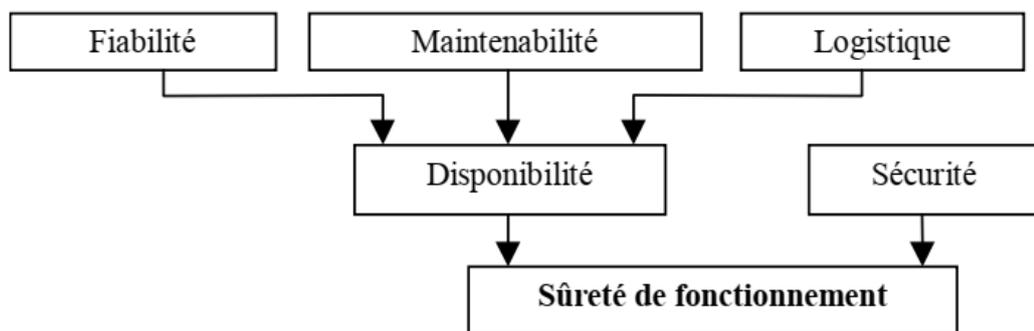


Figure 1.3 Les organismes de normalisation

### Exemple:

Trois entreprises différentes de production: A, B, C

Pendant un temps déterminé, 1000 heures de fonctionnement, le temps cumulé des pannes a été de → 100 heures.

Entreprise A → 10 pannes de 10 heures

Entreprise B → 100 pannes de 1 heure

Entreprise C → 1000 pannes de 6 minutes.

Leur taux de disponibilité est le même → 90%

Lequel de ces cas est le plus pénalisant en termes d'installations, de coûts, de produits, de délais, de clients?

On' identifie déjà trois notions à analyser:

Temps de bon fonctionnement entre pannes → **Fiabilité**

Durée moyenne des pannes → **Maintenabilité**

Durée totale des arrêts → **Disponibilité**

### 1.10.1 Fiabilité (Reliability)

#### a. Définition

La fiabilité caractérise l'aptitude d'un système ou d'un matériel à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un intervalle de temps donné.

#### b. Fiabilité et problématique

La fiabilité a sans doute pris son développement depuis la dernière guerre mondiale. Elle est vite devenue une science à part entière dans les applications appartenant à de nombreux domaines. Elle a pour fondements mathématiques la statistique et le calcul des probabilités qui sont nécessaires à la compréhension et à l'analyse des données [6] [7] [8] de fiabilité. La défaillance (la non fiabilité) augmente les coûts d'après-vente (application des garanties, frais judiciaires, ...etc.). Construire plus fiable augmente les coûts de conception et de production, en pratique, le coût total d'un produit prend en compte ces deux tendances.

**c. Fonction de fiabilité R(t) – Fonction de défaillance F(t)**

Considérons un matériel dont on étudie la fiabilité. Soit Z la variable aléatoire qui à chaque matériel [6] [7] [8] associe son temps de bon fonctionnement. On choisi un de ces matériels au hasard. Soit les événements A : « Le matériel est en état de bon fonctionnement à l'instant t » et B : « Le matériel est défaillant à l'instant t + Δt » On a alors :

$$p(A) = p(T > t) \text{ et } p(B) = p(T \leq t + \Delta t) \tag{1.1}$$

$$\text{Donc } p(A \cap B) = p(t < T < t + \Delta t) \tag{1.2}$$

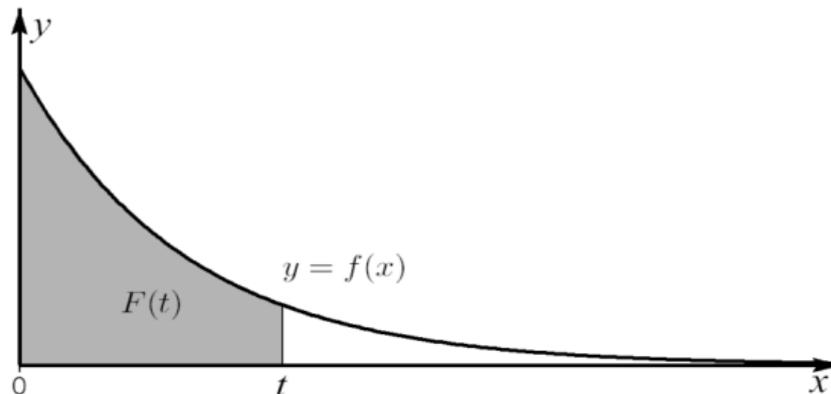
$$= F(t + \Delta t) - F(t) \tag{1.3}$$

$$= (1 - R(t + \Delta t)) - (1 - R(t))$$

$$\text{On déduit que } p\left(\frac{B}{A}\right) = \frac{p(A \cap B)}{p(A)} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \tag{1.4}$$

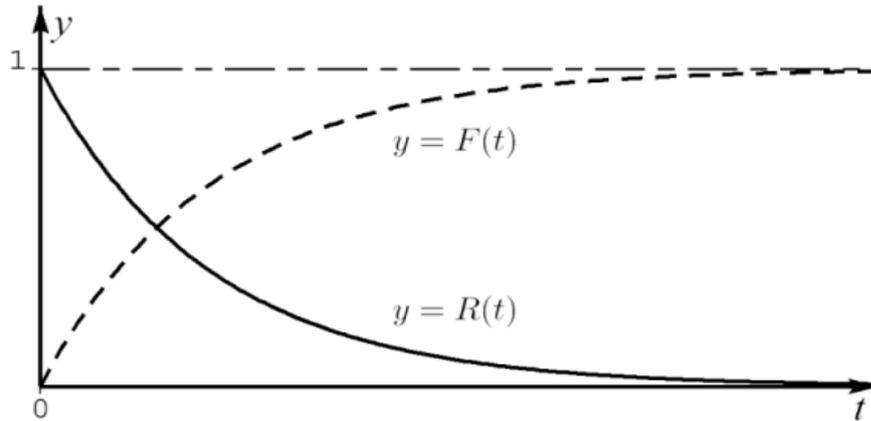
On appelle fonction de défaillance la fonction **F** définie fig1.4 pour tout  $t \geq 0$

$$F(t) = P(T \leq t) \tag{1.5}$$



**Figure 1.4. Fonction de défaillance**

Cette fonction nous amène naturellement une fonction associée : la fonction de fiabilité **R** définie pour tout  $t \geq 0$  par :  $R(t) = 1 - F(t)$ . Le nombre  $R(t)$  représente la probabilité qu'un dispositif choisi au hasard dans la population n'ait pas de défaillance avant l'instant  $t$ . La figure I.5 montre les deux fonctions associées. [6] [7] [8].



**Figure 1.5** Fonction associée

Le taux d'avarie moyen dans l'intervalle de temps  $[t + \Delta t]$  est alors :

$$\frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \times \frac{1}{\Delta t} \quad (1.6)$$

C'est la probabilité ( $0 \leq R \leq 1$ ) ; un produit doit accomplir de manière satisfaisante une fonction requise, sous des conditions données et pendant une période de temps donné. L'écriture mathématique du taux de défaillance à l'instant  $t$ , noté  $\lambda(t)$ , défini sur est la suivante :

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left( \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)} \right) \quad (1.7)$$

Physiquement le terme  $\lambda(t) \cdot \Delta t$ , mesure la probabilité qu'une défaillance d'un dispositif se produise dans l'intervalle de temps  $[t, t + \Delta t]$  sachant que ce dispositif a bien fonctionné jusqu'à l'instant  $t$

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= - \frac{dR(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \\ &= \frac{dF(t)}{dt} \cdot \frac{1}{R(t)} \\ &= \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{f(t)}{1 - R(t)} \end{aligned} \quad (1.8)$$

Où  $R$  est la fonction de fiabilité de ce matériel. On est alors amené à résoudre une équation différentielle du premier ordre. En effet si  $\lambda$  est connu, la résolution de l'équation différentielle linéaire du 1er ordre :

$$R'(t) + \lambda(t)R(t) = 0 \quad (1.9)$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx} \quad \text{et} \quad F(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda(x) dx} \quad (1.10)$$

### c. Taux De Défaillance

Le taux [6] [7] [8] de défaillance est un indicateur de fiabilité qui représente : soit le nombre de défaillances par unité d'usage : c'est le *taux de défaillance moyen*

$$\lambda = \frac{\text{Nombre de défaillances}}{\text{Duree d usage}} \quad (1.11)$$

Soit la fonction  $\lambda(t)$  qui représente la probabilité d'apparition d'une défaillance d'un équipement à l'instant  $t$  : c'est le **taux de défaillance instantané**. Par conséquent, l'appareil considéré est encore en fonctionnement à l'instant. Le taux de défaillance s'exprime le plus souvent en pannes / heure.

#### d. Courbe en baignoire

L'allure générale [6] [7] [8] des variations de la fonction  $\lambda(t)$  figure 1.6 d'un équipement au long de sa durée de vie est une courbe en forme de baignoire. Cette évolution est fréquemment vérifiée sur les systèmes industriels.

Si la fonction du taux de défaillance est :

- **décroissante** sur un intervalle alors la probabilité conditionnelle de panne diminue sur cet intervalle, on parle alors de période de jeunesse, ou de déverminage d'un matériel,
- **Constante** sur un intervalle alors la probabilité d'être en panne à l'instant  $t+dt$  est indépendante de la probabilité de panne à l'instant  $t$ . on parle alors de période adulte ou de vie utile du matériel,
- **croissante** sur un intervalle de temps, il y a une augmentation au cours du temps de la probabilité conditionnelle de panne sur cet intervalle, et donc phénomène de fatigue ou d'usure, on parle alors de période de vieillesse du matériel.

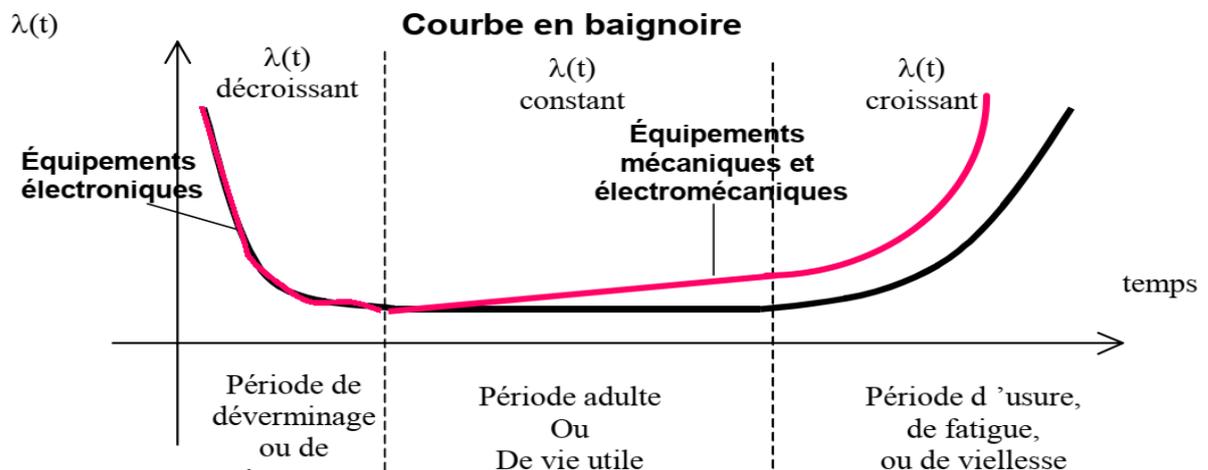


Figure 1.6 Evolution du taux de défaillance d'un équipement

#### e. Concepts Relatifs A l'état d'un Equipement

- ✚ **MTBF** (Mean Operating Time Between Failure)  
Temps de fonctionnement moyen entre défaillances (ou FMED): Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement.
- ✚ **MUT** (Mean Up Time)  
Temps moyen de disponibilité (TMD)
- ✚ **MDT** (Mean Down Time)  
Temps moyen d'indisponibilité (ou TMI).

- ✚ **TMED** (Temps Moyen Entre Défaillances)  
Il est égal à la somme du MUT et du MDT
- ✚ **MTTR** (Mean Time To Repair)  
Temps moyen nécessaire à la réparation
- ✚ **MTTF** (Mean operating Time To first Failure)

Durée moyenne de fonctionnement avant la première défaillance (ou FMAP). Lorsque [10] [11] le taux de défaillance instantané est considéré comme constant, une estimation ponctuelle  $m$  de  $\lambda$  est alors donnée par le nombre de défaillances par unité de temps de fonctionnement,  $1/m$  représentant alors une estimation ponctuelle du MTBF (Mean Time Between Failure) Donc, si un composant fonctionnant pendant une période  $t$ , présente  $n$  défaillances, on a :

$$MTBF = \frac{t}{n} = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (1.12)$$

$$\lambda = \frac{\text{Nombre de defaillance}}{\text{Temps cumule de octionement}} \quad \text{et} \quad MTBF = \frac{\text{Temps cumule de foctionement}}{\text{nombre de defaillances}}$$

**Exemple 1 :**

Un compresseur industriel a fonctionné pendant 7000 heures en service continu avec 4 pannes dont les durées respectives sont : 6; 20; 8,5 ; 4,5 heures

$$MTBF = \frac{7000 - (6 + 20 + 8.5 + 4.5 + 9)}{4} = 1747 \text{Heures}$$

si  $\lambda$  est supposer constant alors  $\lambda = \frac{1}{MTBF} = 5.724 \times 10^{-4}$

**Exemple 2 :**

Huit composants identiques testés sur une durée de 550 heures dans les mêmes conditions. Le premier [10][11] composant tombe en panne, de manière irréparable, après 65 h de fonctionnement, le deuxième après 115 h, le troisième après 135 h le composant quatre après 340 h, le composant 5 après 535 h, les trois autres composants continuent de fonctionner normalement.

$$\lambda = \frac{5}{65 + 115 + 135 + 341 + 531 + 550 + 550 + 550} = 1.71 \times 10^{-3} \text{ panne/heure}$$

**1.11 Fiabilité d'un système**

La détermination [12] [13] de la fiabilité d'un système électronique, mécanique ou autre nécessite tout d'abord de connaître la loi de la fiabilité (ou la loi de défaillance) de chacun des composants intervenant dans le système. Ceci est simple pour certains types de systèmes tels que les systèmes électroniques, or ce n'est pas le cas pour des systèmes mécaniques à cause de la complexité de la structure du système étudié.

Les systèmes mécaniques sont des ensembles d'éléments technologiques liés par des relations statiques et dynamiques assez complexes. Pour un système électronique chaque composant à un poids important dans la fiabilité du système, la fiabilité du système est donc calculé en fonction de la fiabilité de tous ses composants. Les calculs sont effectués sous l'hypothèse que les taux de défaillance sont constants dans le temps, une hypothèse acceptable pour la plupart des composants, ce qui rend les calculs beaucoup plus simple. La détermination des taux de défaillance des composants est effectuée soit à partir

des modèles développés dans des bases de données disponibles, soit à partir d'essais effectués sur les composants ou bien à partir des résultats d'exploitation des produits. La fiabilité d'un système mécanique, contrairement à l'électronique, repose sur la fiabilité de quelques composants élémentaires responsables de son dysfonctionnement, dits composants "responsables" ou "critiques" (parfois un seul).

### 1.11.1 Fiabilité de système constitué de plusieurs composants

#### • En série

La fiabilité  $R_S$  d'un ensemble de  $n$  constituants connectés en série figure 1.7. est égale au produit des fiabilités respectives  $R_A, R_B, R_C, R_n$  de chaque composant. [12] [13].

$$R_S = R_A \times R_B \times R_C \times \dots \times R_n \quad (1.13)$$

Si les " $n$ " composants sont identiques avec une même fiabilité  $R$  la formule sera la suivante :

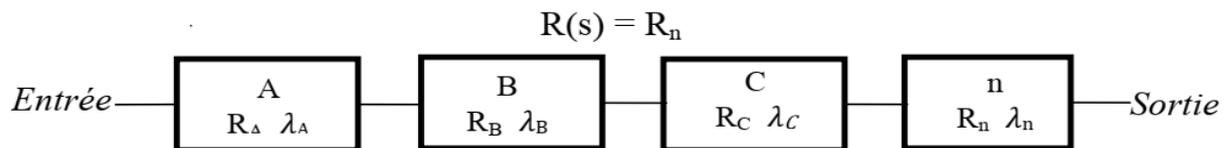


Figure 1.7. Composants en série.

Si les taux de défaillances sont constants au cours du temps la fiabilité sera calculée suivant la formule:

$$R(s) = (e^{-\lambda_A t}) \times (e^{-\lambda_B t}) \times (e^{-\lambda_C t}) \times \dots \times (e^{-\lambda_n t}) \quad (1.14)$$

$$MTBF(s) = \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B + \lambda_C + \dots + \lambda_n} \quad (1.15)$$

Si en plus, les composants sont identiques:  $\lambda_A = \lambda_B = \lambda_C = \dots = \lambda_n$

Alors

$$R(s) = (e^{-\lambda_n t}) \quad \text{et} \quad MTBF = \frac{1}{n \times \lambda} \quad (1.16)$$

#### Exemple 1 :

Soit un poste de radio d'une voiture Renault constitué de quatre composants connectés en série, une alimentation  $R_A = 0.85$ , une partie récepteur  $R_B = 0.82$ ; un amplificateur  $R_C = 0.87$  et haut-parleur  $R_D = 0.79$ . Déterminer la fiabilité  $R_S$  de l'appareil.

$$R_S = R_A \times R_B \times R_C \times R_D = 0.85 \times 0.82 \times 0.87 \times 0.79 = 0.3268 \quad (\text{Soit une fiabilité de 32\% environ})$$

Trois dispositifs A, B et C de même fiabilité  $R_A = R_B = R_C = 0.75$  sont connectés en parallèle

a. Déterminons la fiabilité de l'ensemble

$$R_S = 1 - (1 - 0.75)^3 = 0.984$$

$$R_S = 1 - (1 - 0.75)^2 = 0.9375$$

$$R_S = 1 - (1 - 0.75)^4 = 0.9961$$

$$R_S = 0.999 = 1 - (1 - 0.75)^n = 1 - 0.25^n = 0.001$$

**Exemple 2 :**

Une machine de production dont la durée totale de fonctionnement est de 1500 heures, se compose de quatre sous-systèmes A, B, C et D montés en série et ayant les MTBF respectifs suivants : MTBFA = 4500 heures MTBFB= 3200 heures MTBFC= 6000 heures MTBFD= 10500 heures. Déterminons les taux de pannes et le MTBF global (MTBFS).

Taux de pannes de l'ensemble :

$$\lambda_A = \frac{1}{\text{MTBF}_A} = 0.000222 \text{ défaillance par heure} = 0.222 \text{ pour 1000 heures}$$

$$\lambda_B = \frac{1}{\text{MTBF}_B} = 0.0003130 \text{ défaillance par heure} = 0.313 \text{ pour 1000 heures}$$

$$\lambda_C = \frac{1}{\text{MTBF}_C} = 0.000167 \text{ défaillance par heure} = 0.167 \text{ pour 1000 heures}$$

Le taux de défaillance global  $\lambda_S = \lambda_A \times \lambda_B \times \lambda_C \times \lambda_D = 0.000797$  par heure

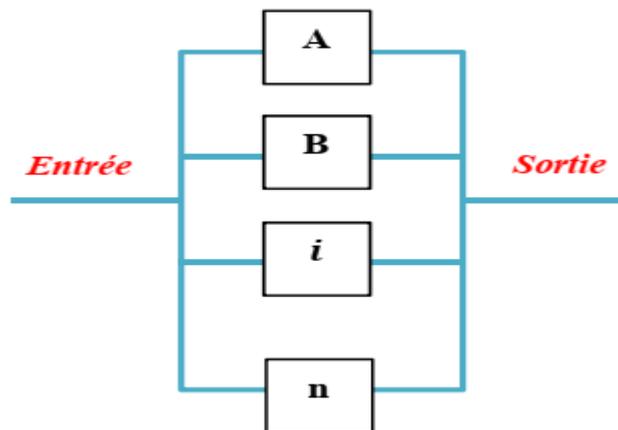
la fiabilité global secrit:  $R_S = e^{-0.000797.t} = e^{-0.000797.(1500)} = 0.303(30.3\%)$

**• En parallèle**

La fiabilité d'un système peut être augmentée [6] [7] [8] en plaçant les composants en parallèle.fig 1.8. Un dispositif constitué de **n** composants en parallèle ne peut tomber en panne que si les **n** composants tombent en panne au même moment. Si  $F_i$  est la probabilité de panne d'un composant, la fiabilité associée  $R_i$  est son complémentaire:

$$F_i = 1 - R_i \tag{1.17}$$

**F<sub>i</sub>** représentant la fiabilité associée.



**Figure 1.8** Composants en parallèle. [6] [7]

**Exemple 3 :**

Soit les “n” composants de la figure 1.8 ci-dessous montés en parallèle. Si la probabilité de panne pour chaque composant repéré (i) est notée  $F_i$  alors:

$$R(s) = 1 - (1 - R)^n \quad (1.18)$$

Le cas particulier de deux dispositifs en parallèle si  $\lambda$  est constant  $R_S$  est obtenu par :

$$\begin{aligned} R(s) &= 1 - (1 - R_A) \times (1 - R_B) = R_A + R_B - R_A \times R_B \quad (1.19) \\ &= e^{-\lambda_A t} + e^{-\lambda_B t} - e^{-(\lambda_A + \lambda_B)t} \end{aligned}$$

Trois dispositifs A, B et C de même fiabilité  $R_A = R_B = R_C = 0.75$  sont connectés en parallèle

A. Déterminons la fiabilité de l'ensemble

$$R_S = 1 - (1 - 0.75)^3 = 0.984 \quad (1.20)$$

$$R_S = 1 - (1 - 0.75)^2 = 0.9375 \quad (1.21)$$

$$R_S = 1 - (1 - 0.75)^4 = 0.9961 \quad (1.22)$$

B. Quel nombre de diapositif en parallèle faudrait-il mettre pour avoir une fiabilité globale de 0,999 (99,9%)

$$R_S = 0.999 = 1 - (1 - 0.75)^n = 1 - 0.25^n = 0.001 \quad (1.23)$$

D'où  $0.25^n = 1 - 0.999 = 0.001$

En utilisant les logarithmes népériens :  $n \ln(0.25) = \ln(0.001)$

$n = 4.983$  Ce qui implique d'avoir au moins cinq dispositifs en parallèle

### 1.11.2 Cas des systèmes connectés en parallèle et dis en attente

#### a. Cas de deux composants en attente

Pour le système proposé, le composant A est en service actif et le composant B en attente. Si B tombe tour en panne, il est automatiquement remplacé par C, etc. Si tous les composant sont identique avec  $\lambda$  constant, la fiabilité du dispositif est donnée par :

$$R(t) = e^{-\lambda t} + \lambda t e^{-\lambda t} = e^{-\lambda t} \quad (1.24)$$

Si A et B ne sont pas identiques la relation devient :

$$R(t) = \frac{\lambda_A}{\lambda_B - \lambda_A} (e^{-\lambda_A t} - e^{-\lambda_B t}) + e^{-\lambda_A t} \quad (1.25)$$

#### b. Cas de n composants en attente

Même démarche que précédemment, si A le composant actif tombe en panne, il est remplacé par B. Si B tombe à son tour en panne, il est automatiquement remplacé par C, etc. Si tous les composants sont identiques avec  $\lambda$  constant, la fiabilité du dispositif est donnée par :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \left[ 1 + \lambda t + \frac{(\lambda t)^2}{2!} + \frac{(\lambda t)^3}{3!} + \dots + \frac{(\lambda t)^n}{n!} \right] \quad (1.26)$$

#### c. Cas où m composants sur les n sont nécessaires au succès du système

On suppose que le système se compose de n composants K, tous de même fiabilité R, et qu'il doit y avoir au moins deux composants en état de fonctionnement, la fiabilité de l'ensemble est donnée par la relation [12] [13].

$$R_S = \sum_{i=m}^n \binom{n}{i} R^i (1 - R)^{n-i} \quad (1.27)$$

### Exemple 1 :

Cas avec trois composants K avec un minimum de deux composants actifs sur les trois disponibles au départ. On ne tolère que le système de défaillance d'un seul composant sur les trois. Il doit y avoir au moins deux composants en fonctionnement ou en activité pour accomplir la mission, la relation précédente donne avec  $n=3$  et  $m=2$

$$R_S = R^3 + 3R^2(1 - R) = 3R^2 - 2R^3 \quad (1.28)$$

### Exemple 2 :

Cas avec quatre composants K en parallèle avec un minimum de deux composants actifs sur les quatre composants disponible au départ. On peut tolérer que le système de défaillance de deux composants sur les quatre. Il doit y avoir au moins deux composants en fonctionnement ou en activité pour accomplir la mission, la relation précédente donne avec  $n=4$  et  $m=2$

$$R_S = R^4 + 4R^3(1 - R) + 6R^2(1 - R)^2 = 3R^4 - 8R^3 + 6R^2 \quad (1.29)$$

#### 1.11.3 Combinaison de composants en série et en parallèle [12] [13]

C'est la combinaison des deux sous-paragraphes précédents

### 1.12 Lois de fiabilité

Il est toujours possible d'associer à une variable [12] [13] aléatoire une probabilité et définir ainsi une loi de probabilité. Lorsque le nombre d'épreuves augmente indéfiniment, les fréquences observées pour le phénomène étudié tendent vers les probabilités et les distributions observées vers les distributions de probabilité ou loi de probabilité. Une loi de probabilité est un modèle représentant "au mieux", une distribution de fréquences d'une variable aléatoire.

#### 1.13 Les lois de probabilité utilisées en fiabilité

Pour évaluer la fiabilité, il est donc nécessaire [12] [13] de recourir à certains outils mathématiques de calcul de probabilité. L'objet n'est pas ici de présenter de façon détaillée les différentes lois, retenons simplement que l'utilisation de quelques-unes peut être nécessaire pour la détermination de la fiabilité. On distingue deux types

- **Lois discrètes**
- **Lois continues**

##### 1.13.1 Lois discrètes

Une loi est dite discrète si elle prend ses valeurs dans  $\mathbb{N}$  c'est à dire des valeurs entières comme par exemple celle qui compte le nombre de pannes. Parmi les lois discrètes on peut citer :

- ✘ . Loi Uniforme
- ✘ Loi de Bernoulli
- ✘ Loi Binomiale
- ✘ Loi Binomiale négative
- ✘ Loi Géométrique
- ✘ Loi Hypergéométrique
- ✘ Loi de Poisson

### 1.13.2 Loi uniforme

Une distribution de probabilité suit [12] [13] une loi uniforme lorsque toutes les valeurs prises par la variable aléatoire sont équiprobables. Si  $n$  est le nombre de valeurs différentes prises par la variable aléatoire. La fonction de fiabilité est définie par l'expression suivante :

$$P(X = x_i) = \frac{1}{n} \quad (1.30)$$

Avec les paramètres de signification :

$n$  : est le nombre de valeurs différentes prises par la variable aléatoire.

### 1.13.3 Loi de Bernoulli

Soit un univers constitué de deux éventualités,  $S$  pour succès et  $E$  pour échec =  $\{E, S\}$  sur lequel on construit une variable aléatoire discrète, « nombre de succès » telle que au cours d'une épreuve : Si ( $S$ ) est réalisé,  $X = 1$  → Si ( $E$ ) est réalisé,  $X = 0$

L'expression de la fonction de fiabilité s'écrit :

$$P(X = 0) = q \quad P(X = 1) = p \quad (1.31)$$

$$(p + q = 1) \quad (1.32)$$

### 1.13.4 Loi de Binomiale

En mathématiques, une loi binomiale de paramètres  $n$  et  $p$  est une loi de probabilité qui correspond à une expérience aléatoire à deux issues possibles, généralement dénommées respectivement « succès » et « échec », la probabilité d'un succès étant  $p$ .

$$P(k) = P(X = k) = C_k^n p^k q^{n-k} \quad (1.33)$$

$$C_k^n = \left( \frac{n!}{k!(n-k)!} \right) \quad (1.34)$$

Avec les paramètres de signification :

- ( $n \geq 0$ ) : Nombre d'épreuves
  - ( $0 \leq p \leq 1$ ) : probabilité de succès
- et  $q = 1 - p$

### 1.13.5 La loi binomiale négative

La loi binomiale négative est la loi de probabilité de la variable aléatoire  $X$  qui comptabilise le nombre d'échecs nécessaires avant obtention de  $n$  succès, sachant que la probabilité d'un succès est  $p$  [20] Sa fonction de probabilité est :

$$P(X = k) = f(k, n, p) = C_k^{k+n} p^n q^k \quad (1.35)$$

La loi binomiale négative peut aussi s'écrire sous la forme

$$f(k, n, p) = C_k^{-n} p^n (-q)^k \quad (1.36)$$

Où  $C_k^{-n}$  est un coefficient binomial appliqué à un entier négatif et est défini par :

$$C_k^{-n} = \frac{(-n) \times (-n-1) \times \dots \times (-n-k+1)}{k!} \quad (1.37)$$

### 1.13.6 Loi géométrique

Sa fonction de probabilité est :

$$P(k) = q^{k-1}p \quad (1.38)$$

Loi géométrique de paramètre  $p$  ( $0 < p < 1$ ) correspond au modèle suivant :

On considère une épreuve de Bernoulli dont la probabilité de succès est  $p$  et celle d'échec  $q = 1 - p$ . (1.39)

### 1.13.7 Loi hypergéométrique

La variable aléatoire suit une loi de probabilité définie par :

$$P(k) = \frac{C_{pA}^k \times C_{qA}^{n-k}}{C_A^n} \quad (1.40)$$

Avec  $n$ ,  $p$  et  $A$  les paramètres correspondant à une loi hypergéométrique.

### 1.13.8 Loi de Poisson

Une variable aléatoire  $x$  suit une loi de « Poisson » si elle peut prendre les valeurs entières  $0, 1, 2, 3, \dots, n$ . La probabilité pour que  $x$  soit égal à  $k$  est :

$$P(x = n) = e^{-\lambda} \times \frac{\lambda^n}{n!} \quad (1.41)$$

$\lambda$  : paramètre de la loi (constante positive).

## 1.14 Les lois continues

Parmi les lois continues on peut citer :

1. La loi du Khi deux
2. La loi de Birnbaum-Saunders
3. La loi Gamma
4. Loi Inverse Gamma
5. La loi logistique
6. La loi log-logistique
7. La Loi de Cauchy
8. La loi de Student
9. La loi Bêta
10. La loi exponentielle
11. La loi de Fisher
12. La Loi normal
13. La loi Log normale
14. La loi de Weibull

En raison de [12] [13] la complexité des lois citées précédemment, nous nous étudierons que celles qui sont largement employées dans le calcul de la fiabilité des systèmes. On distingue La loi exponentielle et La loi Weibull

### 1.14.1 Loi exponentielle

Pour caractériser la durée de vie et mettre en évidence la notion de vieillissement. On montre en particulier l'utilité pratique de la loi exponentielle pour approcher la distribution des temps de panne. La distribution exponentielle s'exprime ainsi :

$$\text{Fiabilités : } R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.42)$$

Avec les paramètres de significations :

- $e$ : est la base de l'exponentielle
- $\lambda$ : c'est l'intensité.

$$\text{Densité de probabilité : } f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.43)$$

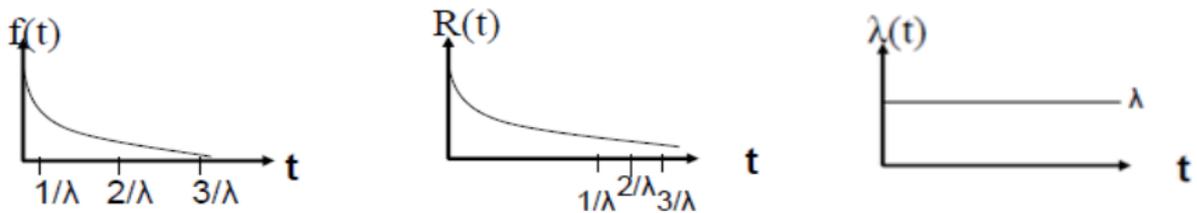
$$\text{La fonction de répartition } F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = \int_0^t \lambda e^{-\lambda t} dt \quad (1.44)$$

$$\text{Taux de défaillance : } \lambda = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\lambda e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda = \text{constant} \quad (1.45)$$

La moyenne des temps de fonctionnement (MTTF) ou de bon fonctionnement (MTBF) un important estimateur de la fiabilité et de la disponibilité des systèmes et se calcul par l'expression :

$$\text{MTTF} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad \text{Variance: } \sigma^2 = \frac{1}{\lambda^2} \quad (1.46)$$

Les distributions relatives à cette loi sont représentées par les courbes de la figure 1.9 en fonction du taux de défaillance d'un ou plusieurs composants supposés avoir un même  $\lambda$ .



**Figure 1.9** Distribution des fonctions de la loi exponentielle

La distribution exponentielle s'applique aux systèmes opérants en continu (systèmes électroniques) c'est ce qu'on appelle distribution sans mémoire. Les systèmes complexes ont aussi un  $\lambda(t)$  constant.

### 1.14.2 Loi de Weibull

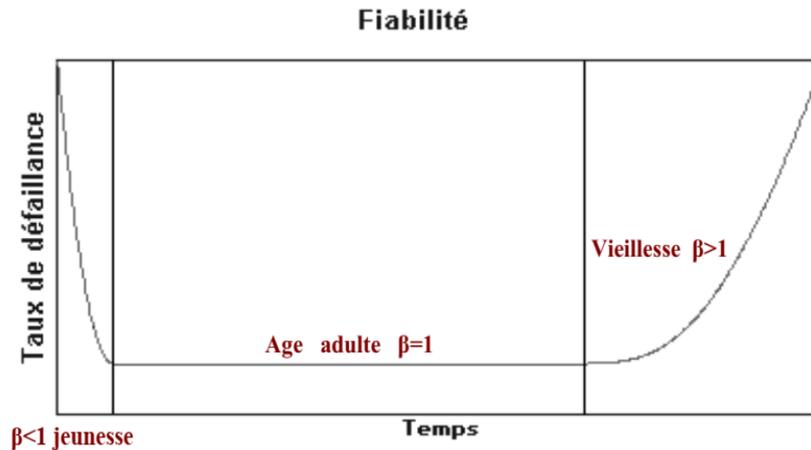
Contrairement à la loi exponentielle, la loi de Weibull convient quel que soit la valeur du taux de défaillance. Grace à sa souplesse elle s'adapte à toutes les valeurs de  $\lambda(t)$  mais elle permet en plus de déterminer dans quelle période de sa vie (jeunesse, maturité, obsolescence) se trouve le système étudié [12] [13]. Outre son adaptabilité à toutes les situations, le modèle de Weibull livre d'autres informations en plus de niveau de fiabilité d'un dispositif à un instant  $t$ . Les trois paramètres  $\beta$ ,  $\eta$  et  $\gamma$  de son expression

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t-\beta}{\mu}\right)^\beta} \quad (1.47)$$

Avec les paramètres et signification :  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\eta$  définissent la distribution de Weibull. On utilise trois paramètres :

- $\beta$  : paramètre de forme ( $\beta > 0$ )
- $\eta$  : paramètre d'échelle ( $\eta > 0$ )
- $\gamma$  : paramètre de position ( $-\infty > \gamma > +\infty$ )

Sa courbe théorique de distribution est donnée à la figure 1.10



**Figure 1.10** Courbe en baignoire [12] [13]

$\beta$  : est le paramètre de forme du modèle. Nous constatons que : Si  $\beta < 1$  le taux de défaillances est décroissant, nous avons donc des panne de jeunesse, si  $\beta = 1$  le taux de défaillances est constant et si  $\beta > 1$  e taux est croissant, panne de vieillesse ou maturité en mécanique.

$\eta$  : est le paramètre d'échelle et indique l'ordre de grandeur de la durée de vie moyenne : est le paramètre de décalage, souvent il est égal à 0. Le modèle de Weibull ne peut à lui seul représenter l'ensemble des cofacteurs influents sur la fiabilité de la macro composant, l'adjonction d'un modèle à hasard proportionnel sous forme de régression apporte une réponse qui devrait être plus adaptée.

**Conclusion** : Pour les composants mécaniques, le taux de défaillances constant ne convient pas aux modes de dégradations provoquent un taux croissant (usure, fatigue, corrosion). Le modèle de Weibull permet de mettre en évidence cette représentation. Il est d'une pratique aisé et universellement admis, il couvre à lui seul l'ensemble des phénomènes de défaillance.

### 1.14.3 Modèles de fiabilité

On ne peut parler de mesure de fiabilité (modèles) qu'après avoir acquis une expérience suffisante dans l'exploitation du système ou éventuellement par des essais appropriés. On distingue [14]

- ⇒ **La fiabilité estimée ou intrinsèque** : c'est la fiabilité mesurée au cours d'essais spécifiques effectués dans le cadre d'un programme d'essai entièrement défini.
- ⇒ **La fiabilité prévisionnelle** : elle est obtenue à partir d'un modèle mathématique connaissant la fiabilité estimée de ces composants (modèles déductifs). Les propriétés du système complet sont déduites d'une connaissance détaillée des propriétés de ses composants.
- ⇒ **La fiabilité opérationnelle** : c'est la fiabilité mesurée sur des dispositifs en exploitation normale. Elle dépend des conditions réelles d'utilisation et du support logistique.

## 1.15 La Disponibilité

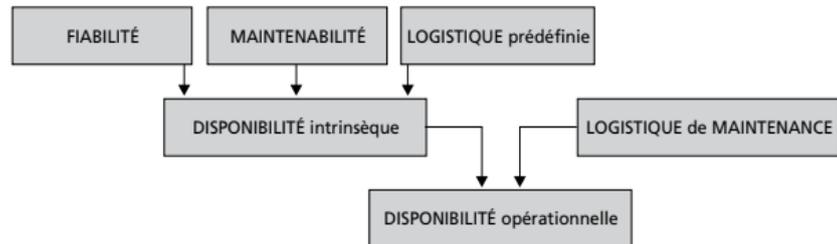
### 1.15.1 Définition de La Disponibilité [12] [13]

Définition de l'AFNOR NF-X 60 000 :

Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données, à un instant donné ou pendant un intervalle de temps donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires soit assurée.  $A(t) = P \{S \text{ non défaillant à l'instant } t.\}$  Les moyens autres que la logistique de maintenance (personnel, documentation, rechanges, etc.) n'affectent pas la

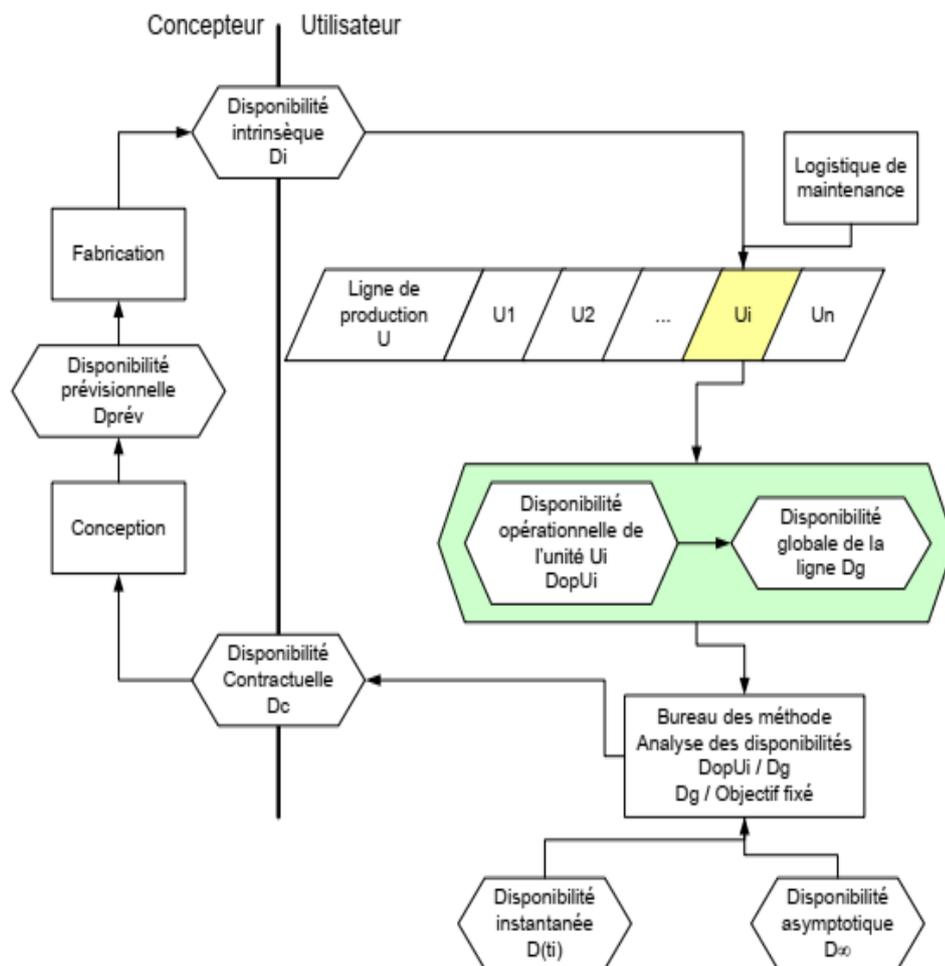
disponibilité d'un bien. La disponibilité se traduit par « **Availability** » et se note souvent  $A(t)$ . Seuls les temps d'arrêt intrinsèques, appelés également « temps d'arrêt propres » et caractérisés par la **MTI** (moyenne des temps d'indisponibilité), seront relevés pour évaluer la disponibilité opérationnelle d'un système.

La figure 1.11 montre les 3 facteurs d'influence de la disponibilité intrinsèque  $D_i$ .



**Figure 1.11** Facteurs d'influence de la disponibilité intrinsèque  $D_i$  [6][7]

La figure 1.12 schématise les différentes formes de disponibilité et leur contexte.



**Figure 1.12** Différentes formes de disponibilité et leur contexte. [11] [6][7]

### 1.15.2 Explications sur les différentes disponibilités :

#### ⇒ Disponibilité propre ou opérationnelle de l'unité de production $U_i$ :

Nommée **disponibilité opérationnelle** et notée  **$D_{op}$** , l'évaluation de cette disponibilité est obtenue à partir [11] des mesures de temps saisies à partir des états de l'équipement. Elle est évaluée à partir des relevés de temps relatifs :

#### ⇒ Disponibilité opérationnelle globale ou résultante :

Notée  **$D_g$** , cette disponibilité s'obtient par la composition des  $D_{op}$  d'unités, suivant présence et la valeur de stocks intermédiaires (ou stocks tampons) que la logique de flux tendu tend à supprimer [11]

#### ⇒ Disponibilité intrinsèque ou asymptotique :

Pour un équipement donnée, il existe une limite de disponibilité  $D_\infty$  au même titre qu'il existe une limite de performance de production (temps de cycle ou cadence) qui est mieux connue que  $D_\infty$  .

#### ⇒ Disponibilité instantanée $D(t_i)$ :

Elle permet de montrer l'existence d'une disponibilité asymptotique.

#### ⇒ Disponibilité contractuelle $D_c$ et disponibilité prévisionnelle $D_{prev}$

Certains [12] [13] contrats d'achat d'équipement imposent une valeur allouée  $D_c$  figure 1.13 qu'il appartient au concepteur de « construire » en réalisant une modélisation à partir de valeurs supposées (bases de données) de MTBF et de MTTR. Cette disponibilité prévisionnelle devra être confrontée à la  $D_{op}$  mesurée suivant des procédures précisées et acceptées par les 2 parties fournisseur /utilisateur – client.

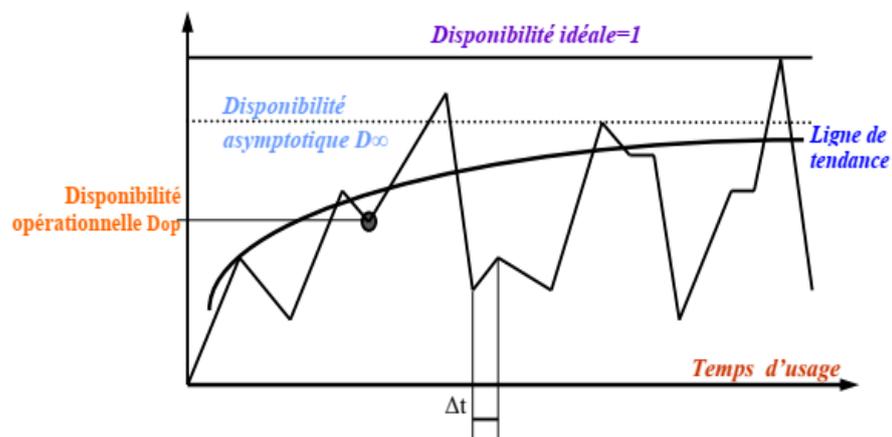


Figure 1.13 Différentes disponibilités [12] [13]

### 1.15.3 Analyse de la disponibilité opérationnelle :

L'analyse qualitative de la disponibilité passe par l'analyse des MTI (moyenne des temps d'indisponibilité). Après avoir classé et sélectionné certaines indisponibilités critiques ou anormales, on peut analyser l'indisponibilité 3 niveaux :

#### ⇒ Analyse de la défaillance

à l'origine de l'indisponibilité. S'il est possible de la guérir ou de la prévenir, l'analyse s'arrête là, sinon,

## ⇒ Analyse des critères de disponibilité

Il faut alors identifier le ou les critères à l'origine des temps d'arrêt propres anormalement pénalisants. On recherche ensuite des améliorations qui peuvent être de nature technique ou organisationnelle.

## ⇒ Analyse des conditions de l'intervention ou de la série d'interventions.

Il s'agit de remettre en cause la logistique de maintenance et son organisation (ex : sur 2hd indisponibilité, on met en évidence qu'il a fallu 1.25h pour rechercher une pièce de rechange au magasin, puis comme on ne la trouvait pas, on a été obligé de l'acheter chez le distributeur voisin).

**L'analyse de la disponibilité passe aussi par une approche économique selon 2 objectifs possibles :**

- ❖ Obtenir la meilleure disponibilité au moindre coût pour un budget fixé
- ❖ Obtenir une disponibilité performante, en mettant en œuvre la meilleure logistique de maintenance possible

L'environnement économique [12] [13] de l'entreprise et du produit concerné conditionne la politique à appliquer, donc l'objectif de disponibilité fixé à la maintenance. Cependant, la productivité dépend obligatoirement des 3 facteurs suivants : cadence de production, **Dop** et qualité des produits ; éléments qui sont à la base du calcul du TRS.

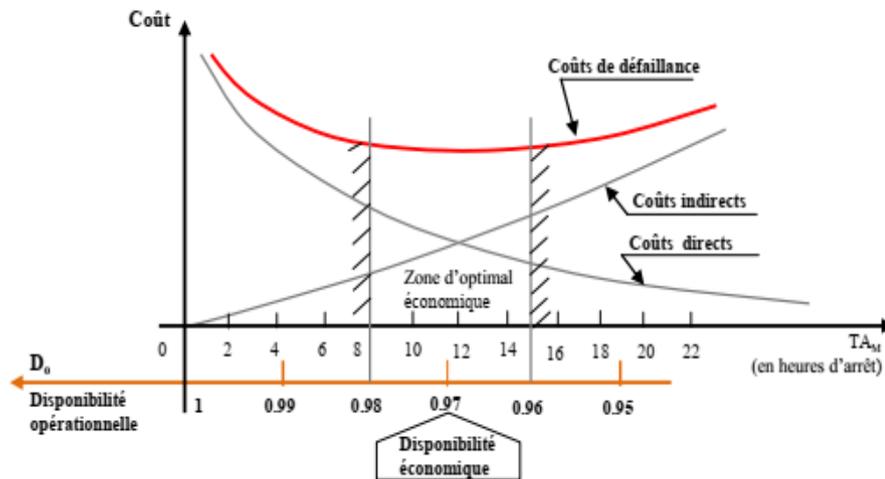


Figure 1.14 Différentes disponibilités

## 1.16 La Maintenabilité :

### 1.16.1 Définition de La Maintenabilité :

Définition de l'AFNOR NF-X 60 500 Dans des [12] [13] conditions données d'utilisation, aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné, dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et es moyens prescrits.

**Maintenabilité = être rapidement dépanné**

C'est la probabilité que la maintenance d'un système S accomplie Dans des conditions données, soit effectué sur l'intervalle  $[0, t]$  sachant qu'il est défaillant à l'instant  $t = 0$  . ,  $M(t) = P$

{S est réparé sur l'intervalle  $[0, t]$  }.La Maintenabilité est conditionnée par la conception de l'équipement

- ❖ Outils nécessaires au diagnostic de la panne incorporés ou non et à la réparation (dont dispositif de Maintenance conditionnelle)
- ❖ Contrôle du bon fonctionnement (points de mesure, afficheurs, etc.)
- ❖ Documentation appropriée (dont modes opératoires)
- ❖ Réparation ou mesure en marche (isoler certains circuits, etc.)
- ❖ Accessibilité, démontrabilité (détrompeur, repérage, outils communs), interchangeabilité
- ❖ Manutention simple (potence intégrée, rails, etc.)

La Maintenabilité est divisé en trois parties :

- ✘ **La Maintenabilité intrinsèque** : Elle est construite dès la phase de conception à partir d'un cahier des charges prenant en compte les critères de Maintenabilité (modularité, accessibilité, etc.).
- ✘ **La Maintenabilité prévisionnelle** : elle est également construite, mais à partir de l'objectif de disponibilité.
- ✘ **La Maintenabilité opérationnelle** : elle sera mesurée à partir des historiques d'interventions.

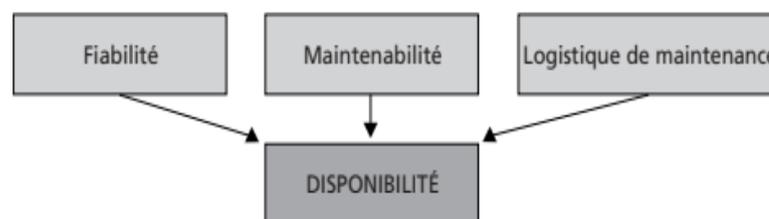
### 1.16.2 Maintenabilité et maintenance :

La Maintenabilité est la capacité d'un équipement à être rétabli lorsqu'un besoin de maintenance apparaît. L'idée de facilité de maintenir se matérialise par des mesures réalisées à partir des durées d'intervention.

### 1.17 Maintenabilité et disponibilité :

#### 1.17.1 Définitions :

Le schéma de la fig. 1.15 rappelle les composantes de la disponibilité d'un équipement. Il met en évidence: la Maintenabilité est le support d'action pour améliorer la disponibilité et donc la productivité d'un équipement. Ainsi la fiabilité et la Maintenabilité sont 2 notions parallèles de même importance (et dont les démarches d'analyse sont semblables.



**Figure 1.15** Les composantes de la disponibilité d'un équipement.

#### 1.17.2 Construction De La Maintenabilité Intrinsèque :

La construction de cette Maintenabilité doit prendre en compte un certain nombre de critères listés en pages suivantes et intégrés dès la phase de conception d'un nouvel équipement.

- ⇒ **Modularité et interchangeabilité** : L'interchangeabilité suppose le respect des normes (ajustements, filetages, produits, lubrifiants, raccords, connexions, etc.)
- ⇒ **Standardisation** : Notons que la normalisation est un outil de standardisation, qui elle-même facilite l'interchangeabilité.
- ⇒ **Accessibilité** : Elle est caractérisée par la rapidité avec laquelle un élément peut être atteint. L'accessibilité peut être définie sur des bases réglementaires touchant à la sécurité (exemple : échafaudage) ou ergonomiques (dimensions de l'ouverture d'un « trou d'homme » ou d'une trappe de visite).
- ⇒ **Aptitude à la pose et à la dépose** : Elle concerne les modules qui nécessitent un échange standard en préventif. Notons que l'interchangeabilité d'un module se fait souvent en « temps réel » d'indisponibilité de l'équipement, contrairement à sa remise en état réalisée en temps différé. Son aptitude à la dépose est donc un facteur de disponibilité de l'équipement..
- ⇒ **Démontrabilités** : demandant un minimum d'outils standards et facilitées par une documentation efficace (perspective éclatée montrant le fractionnement des éléments).
- ⇒ **Déteçtabilité** : Elle concerne la réduction des temps de localisation et de diagnostic,
- ⇒ **Autres critères de Maintenabilité** : Quelques exemples : Exemple 1 : la possibilité de dépannage par téléphone (télémaintenance) .Exemple 2 : la formation des techniciens aux interventions correctives probables.

### *1.17.3 Analyse De La Maintenabilité Opérationnelle*

Les analyses [12] [13] reposent sur le traitement d'échantillons de N durées d'intervention TTR collectées sur l'historique des interventions relatives à un équipement. Comme pour la fiabilité, ces données peuvent se rapporter à un système complet ou se limiter aux seules interventions sur un module sensible en particulier.

## *1.18 Les différentes formes de la maintenance*

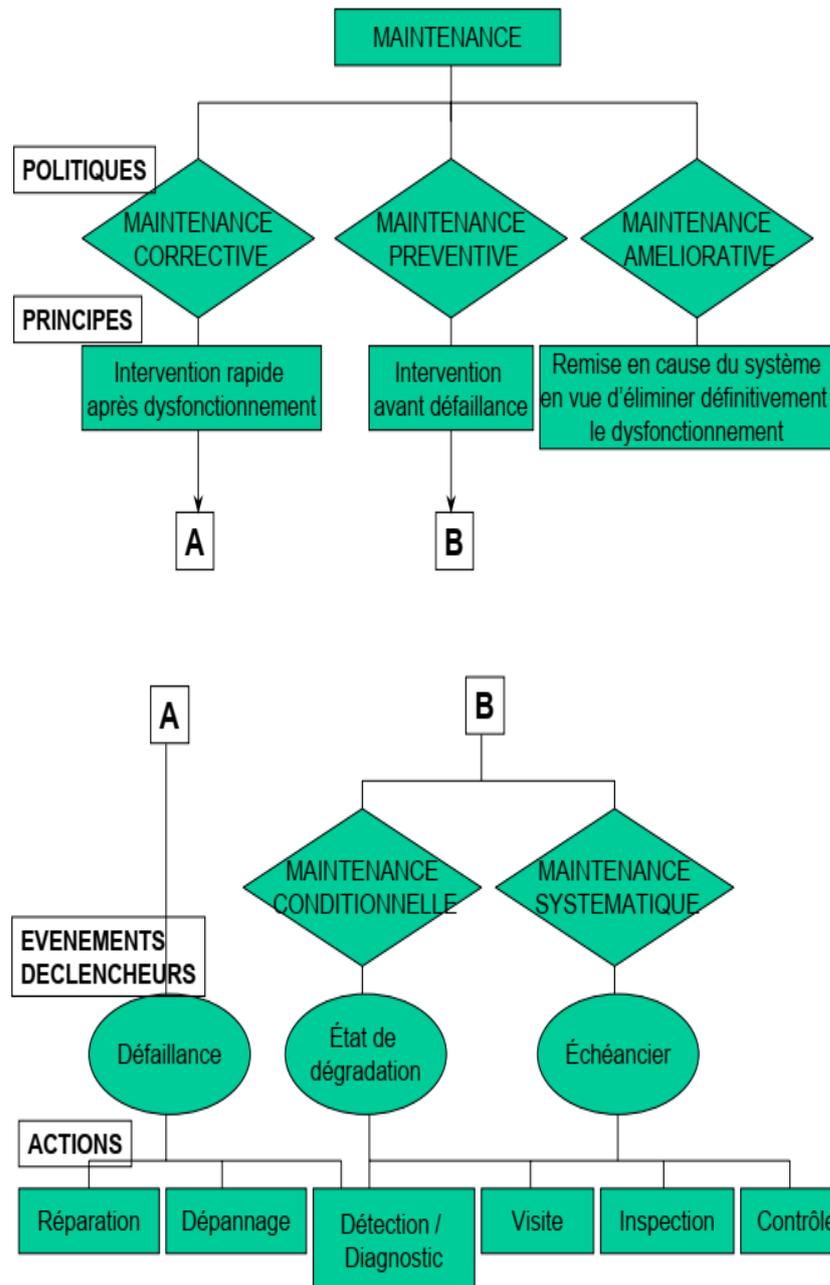
### *1.18.1 Introduction :*

Le maintien des équipements de production [14] [15] [16] est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien que pour la qualité des produits. C'est un défi industriel impliquant la remise en cause des structures figées actuelles et la promotion de méthodes adaptées à la nature nouvelle des matériels.

La maintenance est un ensemble des actions permettant de **maintenir** ou de **rétablir** un bien dans **un état spécifié** ou en mesure d'assurer **un service déterminé**. Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au **coût optimal**.

- + **Maintenir** : contient la notion de «prévention» sur un système en fonctionnement.
- + **Rétablir** : contient la notion de «correction» consécutive à une perte de fonction.
- + **État spécifié** ou **service déterminé** : implique la prédétermination d'objectif à atteindre, avec quantification des niveaux caractéristiques.
- + **Coût optimal** qui conditionne l'ensemble des opérations dans un souci d'efficacité

Il existe trois grands types de maintenance [17] [18][19]: la **maintenance corrective**, la **maintenance préventive** et la **maintenance Améliorative**. La terminologie peut varier d'une entreprise à l'autre. Comme schématisé sur la figure **1.16**.



**Figure 1.16** Types de maintenance [11]

### 1.18.2 La Maintenance Corrective

C'est l'ensemble des activités réalisées après défaillance [11] d'un bien ou dégradation de sa fonction, afin de lui permettre d'accomplir, au moins provisoirement, une fonction requise. Ces activités comprennent la détection/localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, et le contrôle du bon fonctionnement. La remise en état peut prendre deux formes : le dépannage ou la réparation

#### ✘ Détection

Action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant

#### ✘ Localisation

Action conduisant à rechercher précisément le ou les éléments par lesquels la défaillance se manifeste.

✘ **Diagnostic**

Identification de la cause probable de la (ou des) défaillance(s) à l'aide d'une analyse ou d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle ou d'un test. Le diagnostic confirme, complète ou modifie les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et précise les opérations de maintenance correctives nécessaires.

✘ **Dépannage**

En dehors des défaillances imprévisibles qui guettent tout équipement, le dépannage est la méthode la plus appropriée pour :

- les équipements secondaires au fonctionnement sporadique
- les équipements à faible coût de défaillance,
- les équipements pour lesquels une méthode de maintenance plus élaborée est inadéquate : difficultés de démontage pour visites ou contrôles, matériel en fin de carrière, matériel bon marché Du fait du caractère imprévu de la panne, l'ordonnancement des travaux de dépannage est impossible. Cependant, on doit envisager une amélioration des conditions d'exécution, afin de faire du dépannage une méthode rationnelle et efficace.

### 1.18.3 Maintenance Préventive

La maintenance [20] préventive fig. 1.17 reprend toutes les actions menées afin d'anticiper et d'éviter tout dysfonctionnement sur l'équipement, la maintenance reprend le "contrôle" sur l'équipement. Ces actions de maintenance sont soit basées sur un calendrier ou une périodicité d'usage<sup>1</sup> (préventif systématique), soit sur des observations subjectives ou mesurables (conditionnel ou prévisionnel).

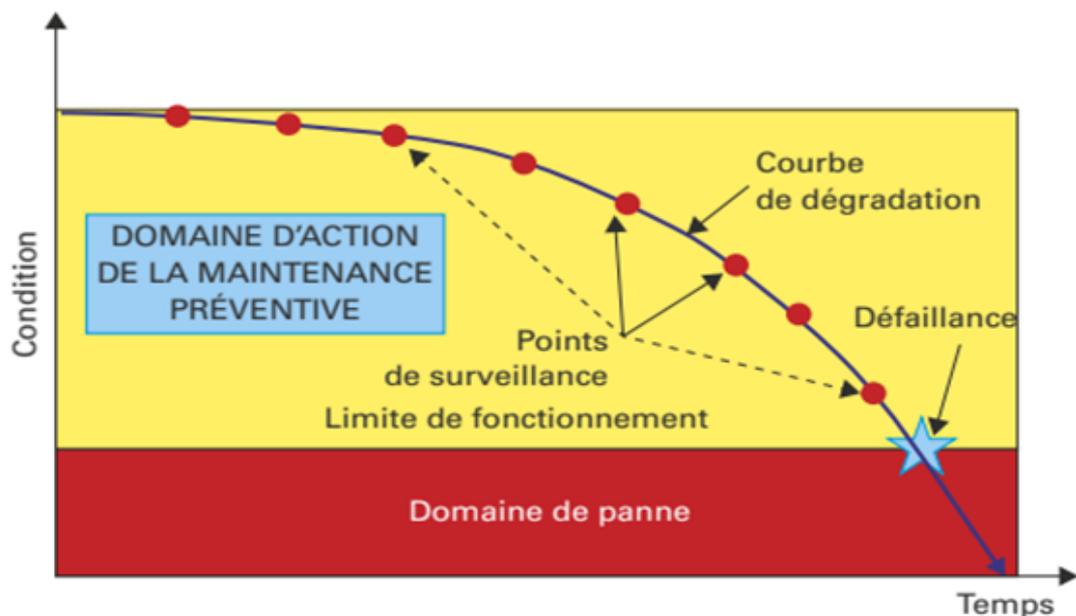
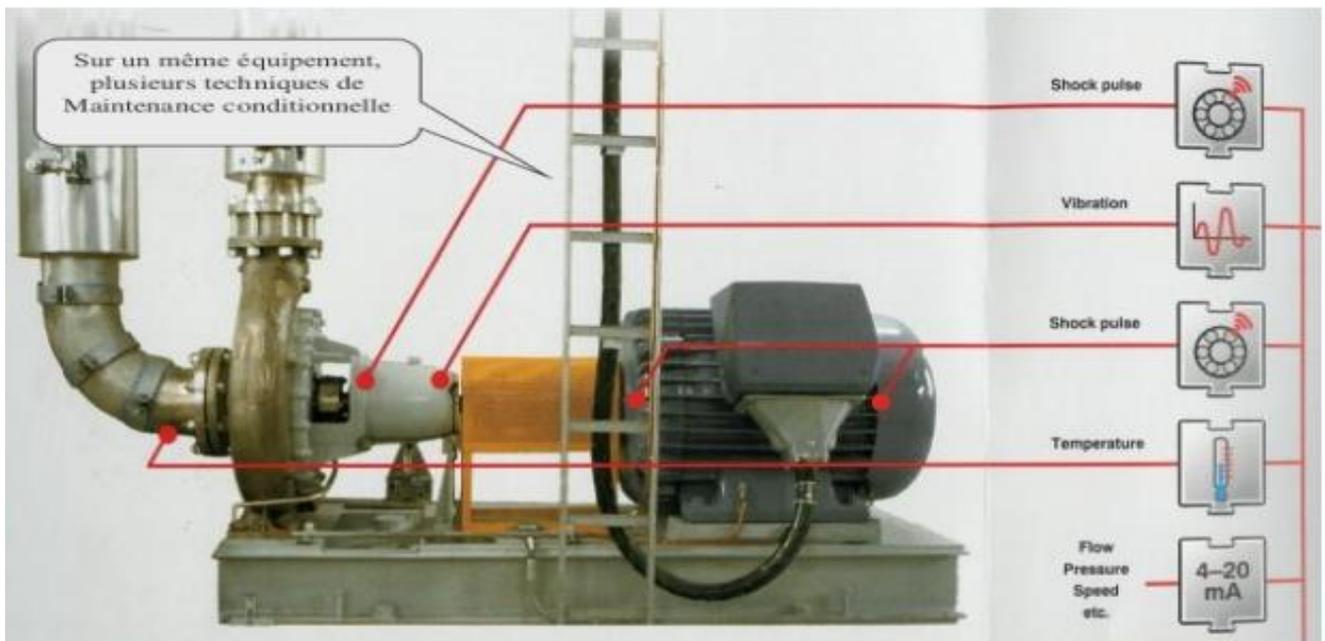


Figure 1.17 Maintenance préventive [20].

Dans la préventive [20] systématique, on prévoit toute une série d'actions visant à améliorer la durée de vie de l'équipement. Ces actions sont liées à des phénomènes de dégradations non-observables et progressives. Si la dégradation est brutale, il est difficile de prévoir une périodicité et donc de faire de la maintenance systématique (exemple: un fusible qui claque). De cette manière, on prévoira des graissages, des nettoyages, des inspections, des remplacements, sur recommandation de la documentation constructeur des équipements ou des articles ou sur base de l'expérience, de l'historique ou de l'analyse des équipements ou articles.

Dans le préventif conditionnel, on se base sur des contrôles planifiés. Il y a les observations subjectives (sens, endoscopie, ultrasons par comparaison) et les observations objectives (capteurs, analyse d'huile, analyse vibratoire, thermographie IR, niveau d'ultrasons, ...). En fonction du contrôle effectué, si on a atteint un certain seuil pour l'objectif ou si l'expérience le prévaut [20] pour le subjectif, on effectuera une action de maintenance, il s'agit souvent d'un remplacement dans ce cas. Une action de maintenance conditionnelle figure 1.18 doit prendre le dessus sur une action systématique dès que c'est possible. Ceci permet d'éviter de remplacer un article trop tôt (encore fonctionnel), voir trop tard (maintenance corrective) car il y a un risque que l'article monté sur l'équipement soit défectueux et ne tienne même pas la périodicité définie.



**Figure 1.18** *Technique de maintenance conditionnelle (Moto-pompe).*

#### **1.18.4 La Maintenance Améliorative**

L'amélioratif reprend toutes [20] les actions de maintenance qui visent à modifier, adapter l'équipement. Ceci afin d'améliorer la productivité, la qualité, la sécurité, la fiabilité, la maintenabilité, la mise en conformité, la durabilité, de cet équipement. Cette maintenance ne reprend pas les actions effectuées par le service de maintenance dans le cadre de l'installation d'un équipement neuf (montage, mise en route, réglages, ...).

Il en va de même pour tout [20] ce qui est réglage pour un changement de produit, on ne peut pas dire qu'adapter un équipement à un des produits qu'il peut fabriquer apporte une amélioration quelconque, c'est simplement une fonction de l'équipement qui demande de la main d'œuvre plus qualifiée, on se tourne alors généralement vers le service de maintenance. Il est utile de prévoir une catégorie supplémentaire pour ce type de maintenance dans la GMAO.

## ***1.19 Différents Niveaux De Maintenance***

Les opérations à réaliser sont classées, selon leur complexité, en cinq niveaux. Les niveaux pris en considération sont ceux de la norme FD X 60-000. Pour chaque niveau, la liste des opérations précisées est donnée à titre d'illustration.

### **✘ Premier niveau de maintenance**

Il s'agit essentiellement de contrôle et de relevés des paramètres de fonctionnement des machines : Ils peuvent aussi déclencher, notamment sur des anomalies constatées, des opérations de maintenance de niveaux supérieurs. En règle générale, les interventions de 1er niveau sont confiées aux opérateurs et intégrées à la conduite des machines.

**Exemple 1: température de l'eau de refroidissement et Exemple 2: contrôle auditif des bruits de marche.**

### **✘ Deuxième niveau de maintenance**

Il s'agit des opérations de maintenance préventive qui sont régulièrement effectuées sur les équipements : Ces opérations sont réalisées par un technicien ayant une formation spécifique. Ce dernier suit les instructions de maintenance qui définissent les tâches, la manière et les outillages spéciaux. Les pièces de rechange sont essentiellement du type consommable.

**Exemple : vidange de l'huile de moteur et Exemple 2: remplacement des filtres à air.**

### **✘ Troisième niveau de maintenance**

Il s'agit des opérations de maintenance préventive, curative, de réglages et de réparations mécaniques ou électriques mineurs. Les opérations réalisées peuvent nécessiter un diagnostic de panne. Ces opérations peuvent conduire à des opérations de quatrième niveau.

**Exemple1 : contrôle des turbocompresseurs et Exemple 2: remplacement d'une résistance de chauffage.**

### **✘ Quatrième niveau de maintenance**

Il s'agit d'opérations importantes ou complexes à l'exception de la reconstruction de l'équipement : Elles font aussi appel à des ateliers spécialisés (rectification, réusinage).

**Exemple1 : déculassage (révision, rectification) et Exemple 2:révision de la cylindrée.**

### **✘ Cinquième niveau de maintenance**

Il s'agit d'opérations lourdes de rénovation ou de reconstruction d'un équipement. Ces opérations entraînent le démontage de l'équipement et son transport dans un atelier spécialisé. Il est réservé au constructeur ou reconstruteur. Nécessite des moyens similaires à ceux utilisés en fabrication. Il faut noter que la qualification ou **la formation du personnel doit être élevée à partir du niveau 3**, le diagnostic de pannes reposant sur une connaissance approfondie des principes de fonctionnement des machines

## ***1.20 Organisation d'entretien et de dépannage des équipements électriques***

### ***1.20. 1 Comment abordé l'entretien***

Afin de rallier ces deux réalités sur [21] un objectif commun, la compétitivité de l'entreprise, il devient impératif de positionner l'entretien à la place qui lui revient, soit l'une des grandes fonctions de

productivité de l'entreprise. L'époque des services entretien/dépannage qui sont dépendants de la production est révolue. On ne peut assumer un programme de fabrication sans tenir compte des possibilités des équipements. Le service d'entretien est donc très lié à la production et il faut qu'il participe aux définitions des programmes et à leur planification

Par exemple, les objectifs à demander à la fonction entretien devraient être :

- ✘ Contribuer à assurer la production prévue.
- ✘ Contribuer à maintenir la qualité du produit fabriqué.
- ✘ Contribuer au respect des délais • Rechercher des coûts optimaux.
- ✘ Respecter la sécurité des travailleurs et la qualité du milieu de travail.
- ✘ Préserver l'environnement.

### ***1.20.2 Étape pour le dépannage électrique***

Il serait avantageux [21] pour nous d'être méthodiques avec notre processus. Ici, nous partageons les treize étapes pour le dépannage électrique

#### **A. Etape1 : Observer l'équipement**

Dans un certain nombre de cas, la panne apparaît périodiquement ou la cause n'est pas évidente, surtout en électricité. Avant de démonter, il faut donc observer sans y toucher l'appareil de manière à repérer

- ✚ les traces de chocs,
- ✚ les traces d'échauffement,
- ✚ les déformations,
- ✚ l'état des voyants,
- ✚ les messages d'erreur,
- ✚ les bruits ou odeurs,

#### **B. Etape 2 : Recueillir toutes les informations**

L'utilisateur habituel de la machine représente une source potentielle de renseignements très riche, mais il attend d'être interrogé et ne délivre pas toujours spontanément des informations qui peuvent être capitales pour le diagnostic.

- ✚ la panne a-t-elle été précédée d'un dysfonctionnement ?
- ✚ la panne a-t-elle été précédée d'un bruit ou d'une odeur ?
- ✚ la panne a-t-elle été soudaine ou progressive ?
- ✚ a-t-on changé d'opérateur ?
- ✚ Etc

Enfin il faut s'informer sur les modifications techniques éventuellement apportées sur la machines :

- ✚ Changements de sous-ensembles,
- ✚ Etc.

#### **C. Etape 3 : Vérifier l'environnement de l'appareil**

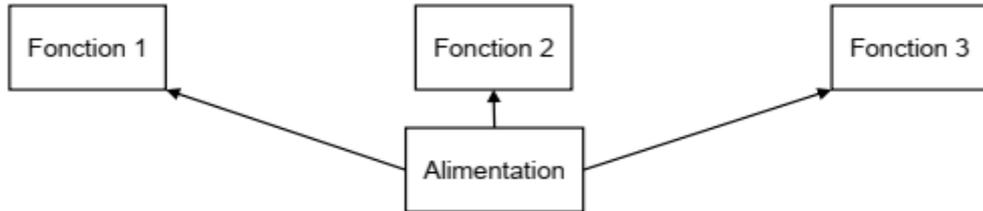
##### **✚ Vérifier :**

- ✚ Les alimentations, Electrique, Pneumatique et Hydraulique,
- ✚ **Observer l'état des zones d'évolution :**
  - ✚ Présence d'obstacles,

- + Poussières, dépôts divers,...
- + Contrôler les appareils associés

**D. Etape 4 : Emettre le diagnostic**

- ✘ Il faut avoir en tête le schéma d'ensemble figure 1.19 de l'appareil, même si on ne connaît pas en détail l'organe défaillant lui-même.
- ✘ Il faut réfléchir à toutes les fonctions qui doivent être fournies et faire le bilan de ce qui fonctionne ou ne fonctionne pas.



**Figure 1.19** Diagnostic

**E. Etape 5 : Préparer la réparation:**

- ✘ **au niveau technique, il faut:**

Etudier l'historique de l'appareil (ou des appareils semblables), Consulter les listes d'instruction, le REX (retour d'expérience), Rassembler les outils nécessaires, les appareils de mesure...Etudier le document technique du constructeur.

- ✘ **au niveau du poste de travail, il faut :**

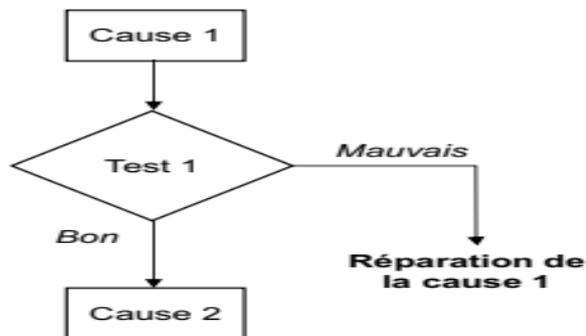
Regrouper et disposer convenablement sur les lieux de l'opération, l'outillage et au besoin le matériel de levage, de manutention, ainsi que le matériel annexe, Effectuer un rapide nettoyage des abords du chantier afin d'assurer la sécurité.

- ✘ **Au niveau de la préparation, il faut:**

Proposer une hiérarchisation de la liste. Des causes en utilisant des critères du type

- 📌 Facilité de contrôle
- 📌 Facilité de réparation
- 📌 Probabilité

Rédiger un organigramme du déroulement des interventions.fig.1.20



**Figure 1.20** Organigramme du déroulement des interventions.

## **F. Etape 6 : Faire la mise en sécurité**

Les opérations de dépannage génèrent plus de risques qu'une intervention normale car elles sont réalisées dans le stress, avec des conditions de travail exceptionnelles et les mesures de sécurité spécifiques n'ont pas été prévues. Il faut donc impérativement sécuriser le matériel et les accès avant de démonter et s'assurer que l'intervention ne présentera pas de risques électriques (mise hors tension), chimiques (purge, isolement, arrêt des alimentations, etc.) ou mécaniques (éviter des chutes de corps..).

## **G. Etape 7 : Procéder au démontage**

Le démontage s'effectue en respectant certaines règles :

- ✘ utiliser ou établir un plan de démontage
- ✘ démonter en repérant les pièces :
  - Opérer** avec soins, méthode, et au moyen d'outils appropriés,
  - Éviter** de forcer
  - Faire** attention aux parties fragiles
  - Utiliser** des outils adéquats
  - Utiliser** du dégrippant
- ✘ nettoyer et ranger les pièces (dans des casiers par exemple)
- ✘ prendre des notes ou photos si nécessaires

## **H. Etape 8 : Faire la réparation**

Il faut contrôler les organes suspects visuellement, ou par des mesures en utilisant des méthodes éprouvées et les suivre pas à pas avant de remplacer ou régler l'organe défectueux. Si l'organe doit être commandé, le chantier de dépannage doit être en complète sécurité pendant tout le temps d'attente.

## **I. Etape 9 : Procéder au remontage.**

Autant que possible, il ne faut pas réutiliser les écrous ou les vis qui ont été détériorés, même légèrement. Il faut songer à graisser autant que nécessaire et ne rien laisser d'inutilisé.

## **J. Etape 10 : Enlever les sécurités**

Bien identifier les circuits pour limiter les risques de confusion d'installation et donc de déconsignations intempestives d'un circuit.

## **K. Etape 11 : Faire les tests et essais**

Il est indispensable de consulter le dossier technique de caractérisation de l'équipement afin de vérifier si l'appareil a été remis en état conformément à ces caractéristiques.

## **L. Etape 12 : Effectuer la remise formelle à l'utilisateur**

Il faut faire constater par l'utilisateur le bon fonctionnement de l'appareil et noter l'heure exacte à laquelle cette remise lui est faite.

## **M. Etape 13 : Rédiger le compte rendu.**

Le compte rendu est indispensable pour :

- **Enrichir** l'expérience collective, partager les connaissances et savoir ce qui a été fait si la panne réapparaît.
- **Conserver** une preuve pour des raisons de sécurité, de recours juridique en cas d'accident.
- **Évaluer** le coût de la maintenance de la machine.

## *1.21 Classification de la maintenance planifiée des équipements électriques*

### *1.21.1 Introduction*

Pourquoi assurer la maintenance des équipements de distribution électrique [22] ? L'exécution de la maintenance des équipements de distribution électrique présente quatre avantages majeurs [22]

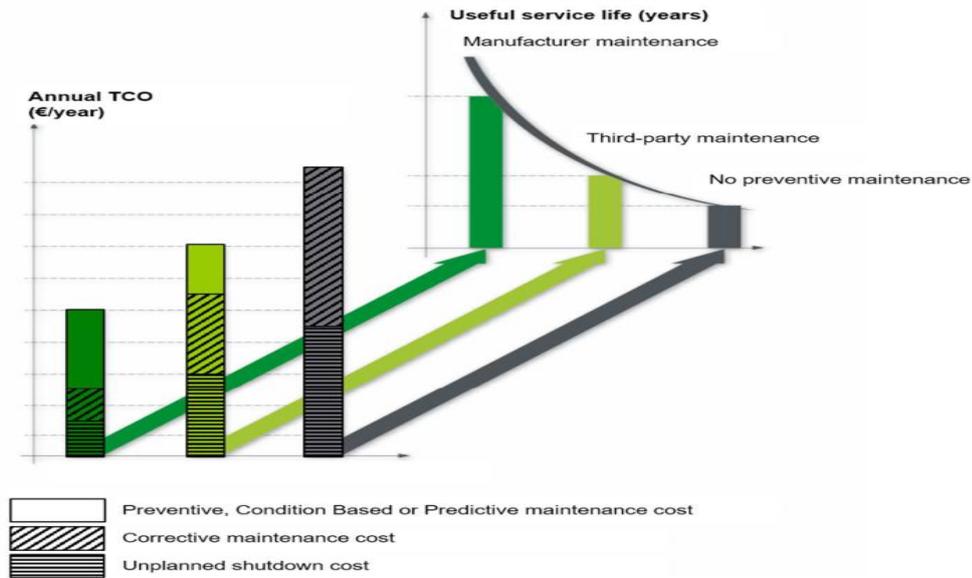
1. Amélioration de la sécurité : protection des personnes, des équipements et des biens
2. Amélioration de la disponibilité & maximisation de la continuité de service
3. Performances des actifs vieillissants : optimisation des coûts d'investissement
4. Efficacité et optimisation des coûts d'exploitation

Quel est l'impact d'une stratégie de maintenance [22] sur le coût total de possession des équipements électriques ?

Résultats de la maintenance quand elle est assurée par le constructeur :

- ⇒ Le coût total de possession annuel est inférieur puisque la durée d'utilisation utile de l'équipement est plus longue.
- ⇒ Les pratiques de maintenance préventive, conditionnelle (à la demande ou surveillance en continu) et prédictive (conditionnelle avec analyse avancée) améliorent la fiabilité des équipements et réduisent la maintenance corrective coûteuse et les arrêts imprévus qui sont dus à des défaillances d'équipements.

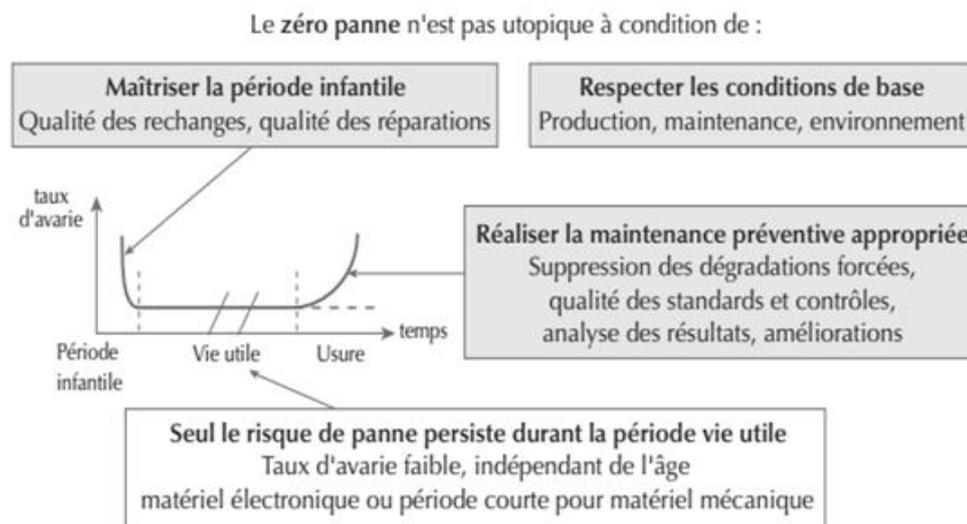
Ce document [22] examine les avantages de diverses stratégies de maintenance des équipements de distribution électrique. Des approches différentes de la maintenance des équipements ont des effets variables sur la sécurité, la continuité de service, l'optimisation de l'infrastructure d'alimentation, la protection des équipements, l'efficacité énergétique, la gestion efficace des pièces de rechange et le coût total de possession des actifs.



**Figure 1.21** Exemple de coûts annuels complets pour une installation HTA [22]

### 1.21.2 Différentes Phases De La Maintenance Planifiée

Le **zéro pannes** n'est pas une utopie fig.1.22 mais il nécessite un changement de comportement des hommes de production et de maintenance. Un équipement étant constitué de milliers de composants dont les fiabilités se multiplient, il est évident qu'ils sont interdépendants. Ce qui nécessite d'être exigeant sur le respect des conditions d'utilisation de chaque composant. Pour obtenir le Zéro panne [6] [7] il faut donc avant tout conserver la fiabilité nominale de tous les composants.



**Figure 1.22** Condition du zéro panne [6]

Les zéro pannes pouvaient être atteintes en 4 phases **fig.1.23** Le pilier maintenance [6] [7] planifiée définit les méthodes à mettre en œuvre pour réaliser cet objectif.

**Phase 1 : diminuer la fréquence et la dispersion des pannes.** Cela nécessite d'analyser la situation existante. C'est-à-dire

- ✘ détecter les anomalies avec les opérateurs (et les réparer).
- ✘ repérer les dégradations négligées.
- ✘ trouver et éliminer les causes premières de dégradations forcées.
- ✘ clarifier les conditions de fonctionnement et d'utilisation.
- ✘ mettre en place les moyens d'enregistrement des défaillances (fréquences, MUT, MTBF et MTTR, nombre de réparations et d'améliorations).

Cette phase est centrée sur l'exploitation de la maintenance quotidienne et l'analyse des causes premières des problèmes :

- ✘ panne petit incidents
- ✘ anomalies détectées.

**Phase 2 : augmenter la durée de vie intrinsèque des composants** : l'analyse réalisée en phase sera exploitée pour :

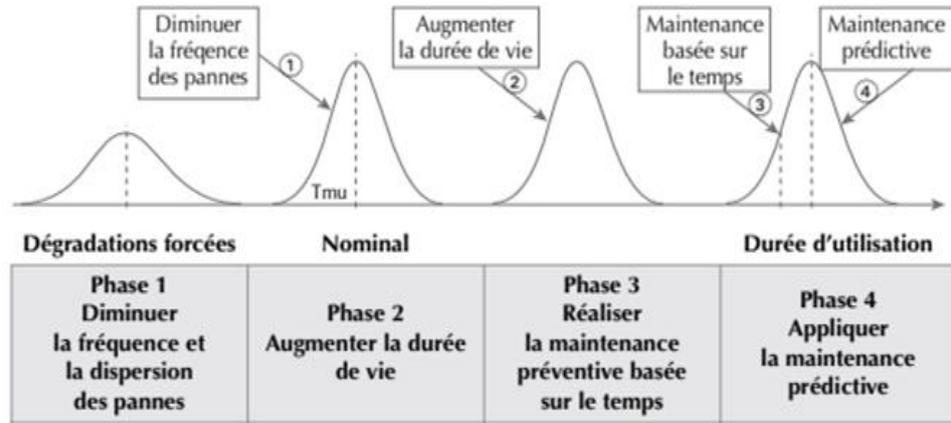
- ✘ supprimer les causes de défaillances récurrentes.
- ✘ éliminer les pannes inopinées dues aux erreurs.
  - + **de réparation** : Savoir-faire de maintenance – amélioration et standardisation des méthodes de réparation,
  - + **d'utilisation** : standards, modes opératoires, leçons ponctuelles, détrompeurs, amélioration des organes de commande,
- ✘ supprimer les faiblesses de conception : manque de solidité, défauts de construction, défauts process,
- ✘ remédier aux surcharges dues au process ou améliorer les caractéristiques des points faibles

**Phase 3 : réaliser la maintenance préventive basée sur le temps.** L'élaboration du plan de maintenance demande de :

- ✘ définir les équipements prioritaires.
- ✘ analyser les modes de défaillances.
- ✘ estimer la durée de vie des composants et leur mode de défaillance naturelle.
- ✘ élaborer le plan de maintenance : points à vérifier, limites Normal/Anormal, modes opératoires, fréquences.
- ✘ vérifier la faisabilité du plan : technique mais aussi au niveau durée d'immobilisation des équipements et charge de la maintenance.
- ✘ mettre en place les moyens d'analyse et d'amélioration de l'efficacité du plan de maintenance.

**Phase 4 : améliorer l'efficacité de la maintenance et implanter la maintenance prédictive** : affiner les données de fiabilité et analyser les modes de défaillances.

- + inventier les composants qui font la qualité
- + trouver les relations entre défaut qualité et composants équipements.
- + passer, en liaison avec le Pilier (Maîtrise de la qualité), de la prévention des pannes à la prévention de la qualité.



**Figure 1.23** Vers les zéro pannes [6]

La maintenance planifiée consiste à effectuer des inspections, des réparations mineures, des nettoyages et des entretiens de routine, plutôt que d'attendre que quelque chose tombe en panne pour agir. En d'autres termes, la maintenance planifiée, également connue sous le nom de maintenance préventive, est une approche proactive plutôt que réactive. Le respect d'un calendrier de maintenance planifiée peut s'avérer être l'une des meilleures décisions commerciales des gestionnaires d'installations, pour ces raisons :

#### ✘ **Transparence et prévisibilité**

La responsabilité première d'un gestionnaire d'installations est de permettre une communication efficace. Mais également de répondre aux besoins des clients en temps voulu et de garantir le bon fonctionnement de leurs locaux. Dans le même temps, ce sont eux qui optimisent le budget, en assurant la liaison avec de nombreux fournisseurs et prestataires de services différents comme les techniciens, mais également les plombiers ou les livreurs.

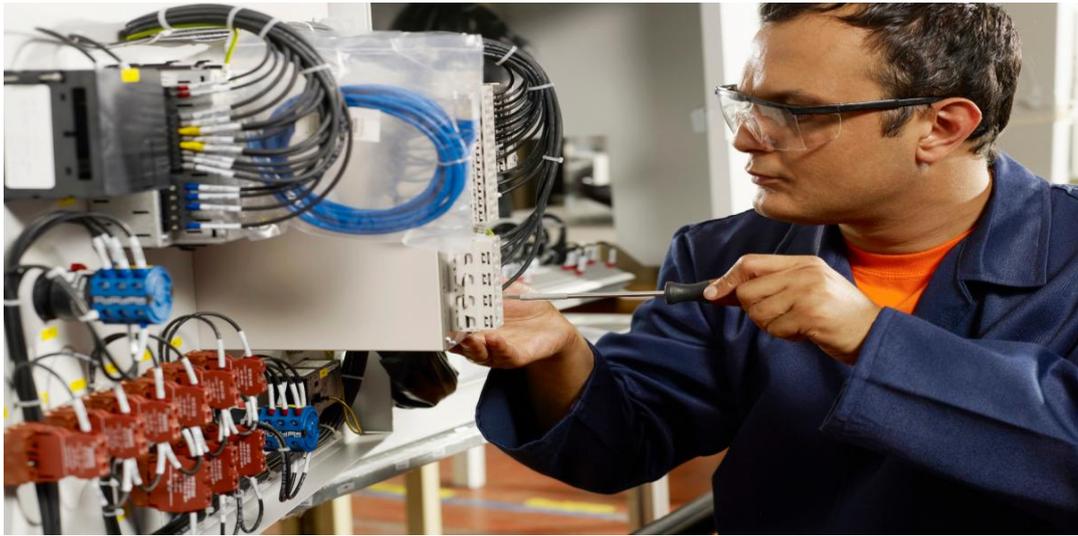
Tout en jonglant avec un ensemble de tâches complexes, un programme d'entretien régulier et fixe peut alléger une partie de leur charge de travail. En effet, Il peut apporter transparence et prévisibilité fig. 1.24 à leurs opérations quotidiennes. Leur permettant ainsi de se concentrer sur un service d'excellence.



**Figure 1.24** Transparence et prévisibilité

### Renforcer la sécurité des installations électriques

S'ils ne sont pas correctement [22] entretenus, même les appareils et machines les plus conviviaux et les plus sophistiqués peuvent constituer un risque pour la sécurité. Toutefois, le respect d'un calendrier de maintenance planifiée permet de garantir le bon fonctionnement de tous les équipements et machines **figure 1.25** sans que les personnes qui les utilisent ne courent de risques. De plus, lors de la maintenance planifiée, les techniciens peuvent identifier si les installations électriques est compromis en termes de risques tels que les incendies. Ainsi, face à ces risques importants, même des réparations et des ajustements mineurs peuvent sauver des vies et des biens.



**Figure 1.25** Renforcer la sécurité des installations électriques

### Optimiser le flux de travail

Si une installation présente un dysfonctionnement technique, il peut arrêter brusquement les travaux et interrompre les plans et processus en cours. La nature imprévisible des dommages ou le calendrier des réparations peut obliger les gestionnaires ou les dirigeants des installations à modifier leurs décisions. Il ne fait aucun doute que cette interruption peut coûter beaucoup d'argent, de temps et également de réputation. Toutefois, un calendrier de maintenance planifiée permet d'éviter les mauvaises surprises dues à des dysfonctionnements techniques. Il aide les personnes et les entreprises à rester productives et permet de maintenir un flux de travail optimal. **fig 1.26**



**Figure 1.26** Optimiser le flux de travail

### ✘ Augmenter la longévité des équipements

Dans le domaine des sciences médicales, il est prouvé qu'un diagnostic précoce permet de sauver des vies. Mais aussi d'accélérer considérablement la qualité de vie d'un patient. C'est également le cas pour l'électronique, les bâtiments mais aussi les machines.

Lorsqu'un technicien peut identifier le début d'un problème avant qu'il ne s'accélère, il est plus facile de le traiter et d'empêcher son aggravation. Ainsi, un programme de maintenance planifiée peut augmenter la longévité des équipements. Ce qui peut profiter ainsi aux entreprises de nombreuses manières différentes.

### ✘ Respect de l'environnement

L'augmentation de la longévité des équipements permet non seulement de réduire le temps et les coûts, mais également d'être plus respectueux de l'environnement fig. 1.27. En effet, lorsque les entreprises n'auront plus besoin de renouveler ou de remplacer fréquemment leurs équipements, les déchets électroniques nocifs s'accumuleront moins dans les décharges.

En outre, un programme d'entretien régulier est une excellente occasion d'économiser des ressources. Les prestataires de services tels que les plombiers mais aussi les électriciens peuvent analyser s'il y a des fuites d'eau potentielles ou une consommation d'énergie excessive. Ainsi, ils peuvent donner des recommandations aux gestionnaires de bâtiments ou d'installations pour y remédier.



**Figure.1.27** *respect de l'environnement*

#### **1.21.3 Un exemple de classification de la maintenance planifiée des équipements électriques. Etude de cas :**

##### **1. Problème**

- ✘ Faible efficacité des équipes de maintenance
- ✘ Temps d'arrêt élevés en raison d'un MTTR excessif
- ✘ Dépendance totale aux équipes de maintenance pour intervenir sur les problèmes d'équipement même les plus simples

##### **2. Causes racines**

- ✘ Faible partage des connaissances entre les équipes de production et de maintenance
- ✘ Interventions sur le matériel effectuées au coup par coup, sans aucun standard ni consultation de l'historique relatif à l'équipement
- ✘ Volume élevé d'interventions correctives par

### 3. Approche de la Solution

- ❌ Classification des équipements en fonction de leur criticité: risque de blessure des employés, équipements sans solution alternative, TRS instable et pourcentage élevé de pannes
- ❌ Mise en œuvre de processus de maintenance autonomes sur les équipements critiques, avec un processus standardisé pour former tous les membres de l'équipe et évaluer leurs connaissances
- ❌ Création d'un calendrier de maintenance planifiée, où les activités à fréquence élevée ont été transférées à la maintenance autonome
- ❌ Élaboration d'instructions de travail pour les activités de maintenance planifiée, avec un calendrier annuel de formation pour l'équipe de maintenance

Dans l'utilisation des installations et des équipements [22] électriques, il existe évidemment **sources de danger** reconnu dans le Règlement sur l'électricité (câblage). Ces règlements sont obligatoires et servent à veiller à ce que tous les équipements et installations électriques soient correctement entretenus et testés pour éviter toute situation dangereuse susceptible de nuire aux utilisateurs de ces équipements ou aux occupants du bâtiment par exemple.

Normalement, la maintenance effectuée uniquement pour des raisons de sécurité sera couverte par les procédures standard, qui devront dans certains cas remplir. **Le code de bonnes pratiques** pour le Règlement sur l'électricité (câblage).



**Fig.1.28** Etude de cas maintenance planifiée des équipements électriques

**Maintenance planifiée** peut être effectué sur la base de l'opération de la pièce d'équipement électrique lui-même. Par exemple, il convient d'examiner si tous les moteurs électriques doivent être nettoyés et inspectés périodiquement, en veillant à ce que la saleté et la poussière ne gênent pas le refroidissement automatique du moteur et à ce qu'il n'y ait pas de fuite d'huile dans ses enroulements.

**Fig. 1.29** Exemple moteurs inspectés périodiquement.



**Fig. 1.29** *Exemple moteurs inspectés périodiquement*

### 1.21.4 Un exemple de classification

Le premier élément de classification consiste à mettre une priorité sur une ligne tableau 1.2 ou un équipement. La grille ci-dessous permet de faire cette évaluation [7].

Critères d'évaluation	Classe A	Classe B	Classe C	Graphique de décision
<b>Sécurité et environnement S</b>	Une défaillance causerait de grands problèmes de sécurités et d environnement	Une défaillance causerait de grands problèmes de sécurités et d environnement	Une défaillance causerait de grands problèmes de sécurités et d environnement	
<b>Qualités de rendement Q</b>	La défaillance engendre des produits défectueux et un impact négatif sur le rendement	La défaillance a un faible impact sur la qualité et réduit légèrement le rendement	La défaillance n impact ni la qualité ni le rendement	
<b>Utilisation U</b>	Opération 24H	Opération 7H a 14H	Utilisation Irrégulier	
<b>Taux de retard T</b>	la défaillance engendre un arrêt complet d'équipement	la défaillance engendre un arrêt partiel de d'équipement	la défaillance couverte par un système redondant d'équipement	
<b>Fréquence F</b>	Les défaillances produisant régulièrement supérieures deux fois par ans	Les défaillances produisant Occasionnellement Une fois par ans	Les défaillances produisant Rarement mois deux par ans	
<b>Maintenabilités M</b>	Temps de réparation supérieur a 4H	Temps de réparation 1H a 4H	Temps de réparation inférieur 1H	
	Cout de réparation supérieur 1500 €	Cout de réparation entre 3500 et 1500 €	Cout de réparation Inférieur 1500 €	

**Tableau 1.2** Exemple de classification [7]

### 1.21.5. Déférence entre maintenance planifier et non planifier

Le maintien [6] des équipements de production est un enjeu clé pour la productivité des usines aussi bien que pour la qualité des produits. C'est un défi industriel impliquant la remise en cause des structures figées actuelles et la promotion de méthodes adaptées à la nature nouvelle des matériels. Fig. 1.30.

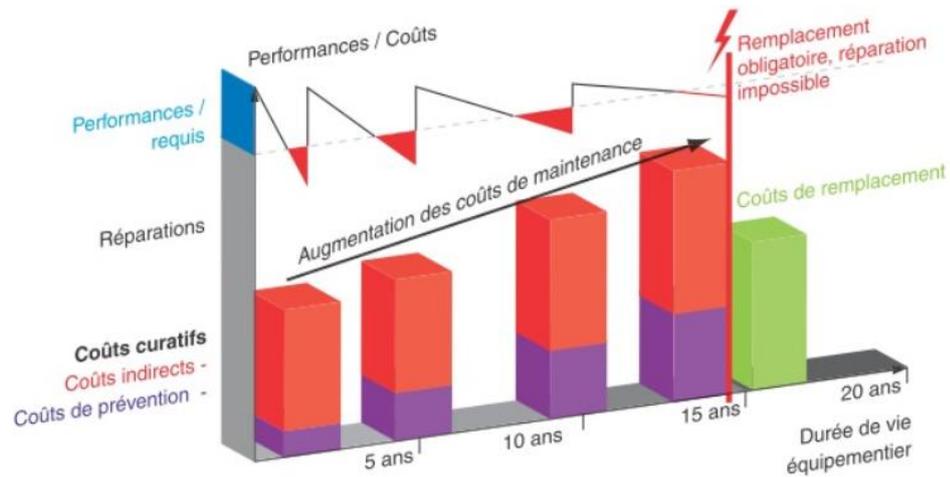


Figure 1.30 Sans maintenance planifiée

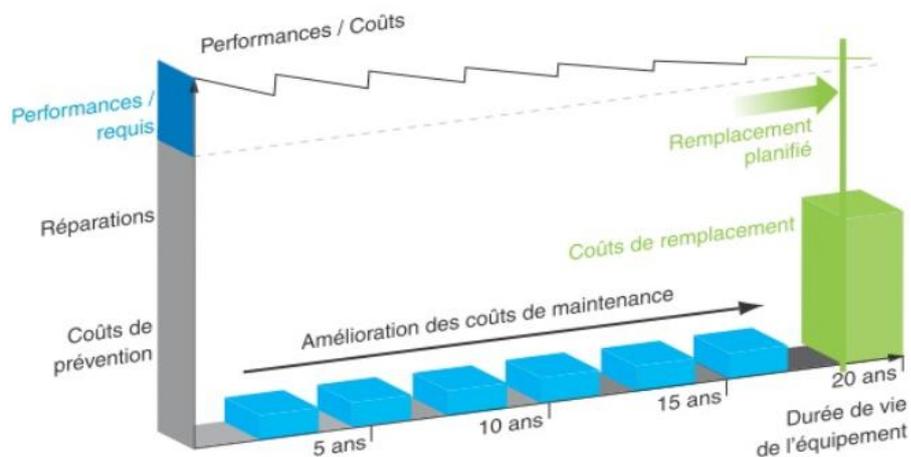


Figure. 1.31 Avec maintenance planifiée

Une maintenance planifiée fig. 1.31 permet à la production d'organiser [7] la fabrication en tenant compte d'arrêts de maintenance prévus à l'avance. Les deux activités, maintenance et production, ne sont plus concurrentes mais partenaires pour l'utilisation de la ligne. Une maintenance planifiée permet également une meilleure gestion du stock de pièces de rechange : celles-ci ne sont approvisionnées qu'au moment voulu pour effectuer l'intervention.

2.1 Introduction

La maintenance est une fonction [6] [7] essentielle des entreprises. Elle contribue à maintenir dans un état optimal de fonctionnement des équipements de plus en plus complexes et coûteux, à préserver voire améliorer la productivité, la qualité et la conformité des produits/services, et enfin à garantir la sûreté des systèmes et la sécurité des personnels. Elle concerne tous les secteurs d'activités et toutes les entreprises et peut être internalisée ou externalisée.

2.2 Structure des ateliers spécialisés dans le dépannage des convertisseurs électromécaniques

2.2.1 Méthodologie de la maintenance centralisée

Une maintenance centralisée permet d'assurer la cohérence [6] [23] de l'ensemble des activités diversifiées, éparpillées entre les sites de production et l'atelier central, et opérées par des techniciens de qualifications différentes. Cette centralisation est assurée par le bureau des méthodes, centre vital du service, mais aussi par l'existence d'un atelier central de maintenance regroupant des installations fixes et de taille importante, de moyens de test, d'un personnel qualifié et d'un stock de pièces de rechange figure 2.1.

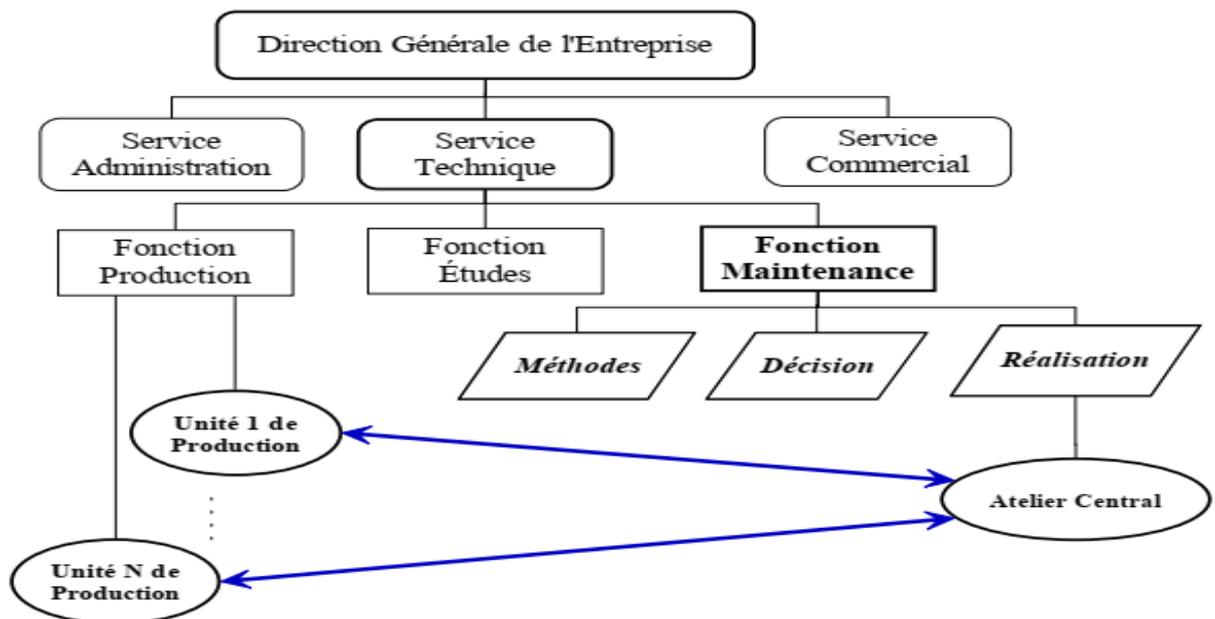


Fig. 2.1 Organigramme fonctionnel d'une entreprise avec une maintenance centralisée [23]

### 2.2.2 Fonctions de l'atelier de maintenance

Les fonctions de l'atelier de maintenance [7] [23] sont réparties en trois services avec la classification schématique illustrée par la figure. Ces fonctions interagissent entre elles pour assurer une gestion des activités production/maintenance permanente et surtout pour améliorer le rendement de ces activités fig. 2.2

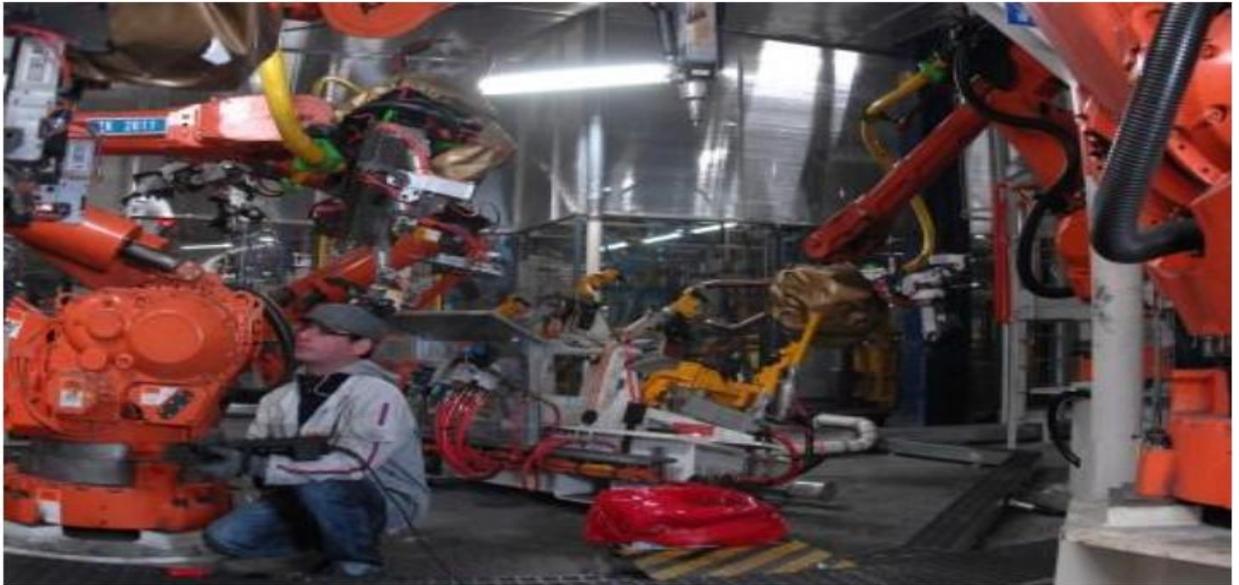


Fig. 2.2 Fonctions de l'atelier de maintenance

#### a. Méthode

- ❖ Analyse des tâches
- ❖ Préparation des activités
- ❖ Gestion des coûts
- ❖ Analyse des retours d'expériences
- ❖ Proposition des améliorations

#### b. Décision

- ❖ Prévision des charges
- ❖ Planification des activités
- ❖ Réparations et suivi du travail
- ❖ Gestion des moyennes logistiques

#### c. Réalisation

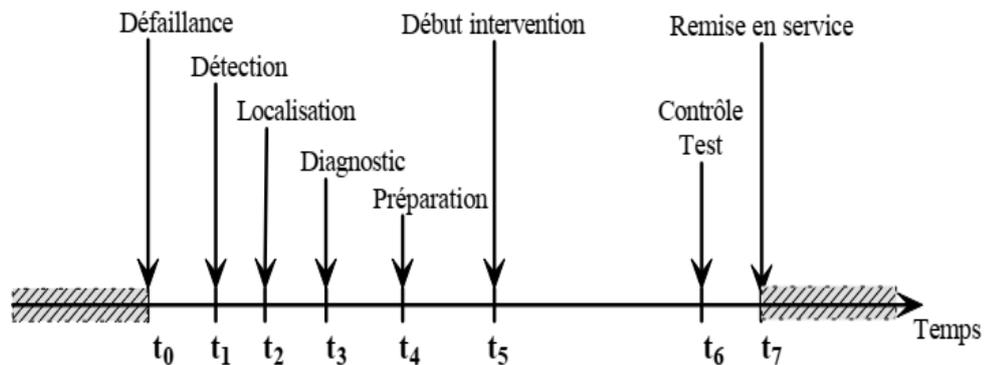
- ❖ Intervention préventive
- ❖ Intervention correctives
- ❖ Mise à jours des données techniques
- ❖ Retours des activités

Nous définissons un [23] atelier de maintenance comme étant un ensemble de ressources (techniciens, postes d'intervention, outillage, pièces de rechange) destiné à garantir la pérennité des machines de production. Son rôle est de détecter l'origine des défaillances sur une machine défectueuse et de rétablir son fonctionnement (maintenance corrective). Afin de réduire la probabilité d'occurrence des défaillances et augmenter le cycle de vie de ces machines, des interventions régulières sont programmées (maintenance préventive systématique). La mission de l'AdM est alors de prévenir et empêcher l'interruption des opérations de production et maintenir la machine dans un état tel qu'elle puisse opérer le plus longtemps possible avec des coûts d'intervention les plus faibles.

Concevoir un atelier de maintenance revient à déterminer, dans une première phase, les types de postes d'intervention et les compétences des techniciens nécessaires au cycle de réparation des machines de production et, dans une seconde phase, organiser les ressources (en postes, techniciens et en pièces de rechange) en tenant compte des différentes politiques de maintenance

### 2.3 Organisation structurelle du service maintenance

Comme l'atelier de maintenance [23] est destiné à rétablir le fonctionnement des machines défectueuses et à réduire la probabilité d'occurrence de ces défaillances, il est nécessaire de détailler les différentes phases de réparation de tout équipement défectueux. Le processus de déroulement d'une maintenance corrective de tout équipement peut être schématisé d'une manière globale, par la figure 2.3.

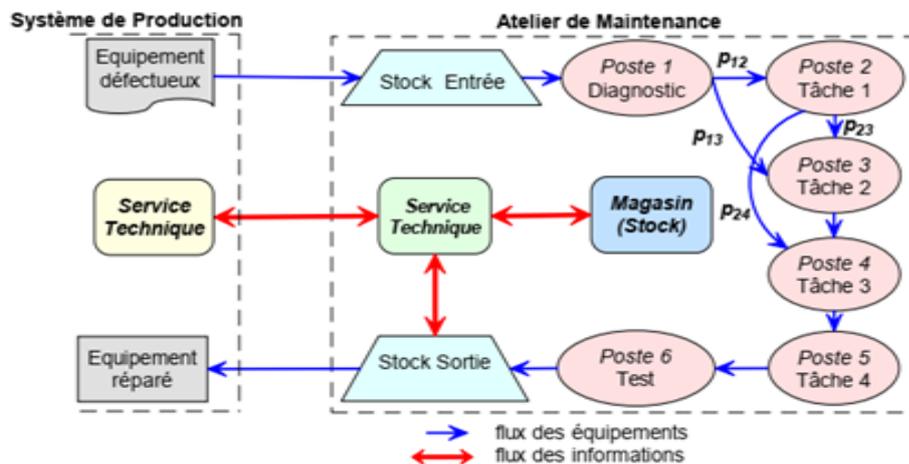


**Fig. 2.3** Processus de déroulement d'une maintenance corrective d'un équipement [2] [23]

La durée ( $t_5 - t_0$ ) est consacrée à la détection, localisation, diagnostic et à la préparation pour l'intervention. Pour améliorer la productivité, c'est cette durée qu'il faudra minimiser par une gestion efficace des ressources de l'AdM et une analyse du retour d'expérience du programme de maintenance

Le passage d'un poste  $i$  vers un poste  $j$  s'effectue alors avec une probabilité de réparation  $P_{ij}$  sur le poste  $j$  ( $i, j = 1, \dots, N$ ,  $N$  étant le nombre de postes). Une fois la réparation terminée, une phase de test est nécessaire pour valider l'intervention.

Dans le cas d'intégration d'un AdM, le cycle de réparation d'un équipement défaillant d'une manière générale, illustre par la figure 2.4.



**Fig. 2.4** Cycle de réparation d'un équipement défectueux dans un AdM [7] [23]

L'atelier de maintenance permet [23] ainsi d'améliorer les performances du système de production par la diminution des temps d'indisponibilité des machines défectueuses, dans le cas de la maintenance corrective. Les différentes phases du processus de réparation des équipements sont détaillées dans l'organigramme de la figure 2.5 Suite à une panne d'une machine constatée dans le système de production, l'équipement est transféré vers l'AdM. Après une phase de diagnostic, l'équipement est acheminé vers l'un des postes de réparation selon le type de défaillance. Enfin, le test permet de vérifier la remise en état de marche de l'équipement. Si ce n'est pas le cas, il est mis au rebut et une commande est lancée. Notons toutefois que si l'équipement ne peut être déplacé, une équipe polyvalente de techniciens se déplace pour effectuer la maintenance corrective sur le site de production. Afin de déterminer les types de postes d'intervention, on établit une étude structurelle du SdP pour classer les machines par ordre de priorité et déterminer les ressources de maintenance appropriées aux machines sélectionnées.

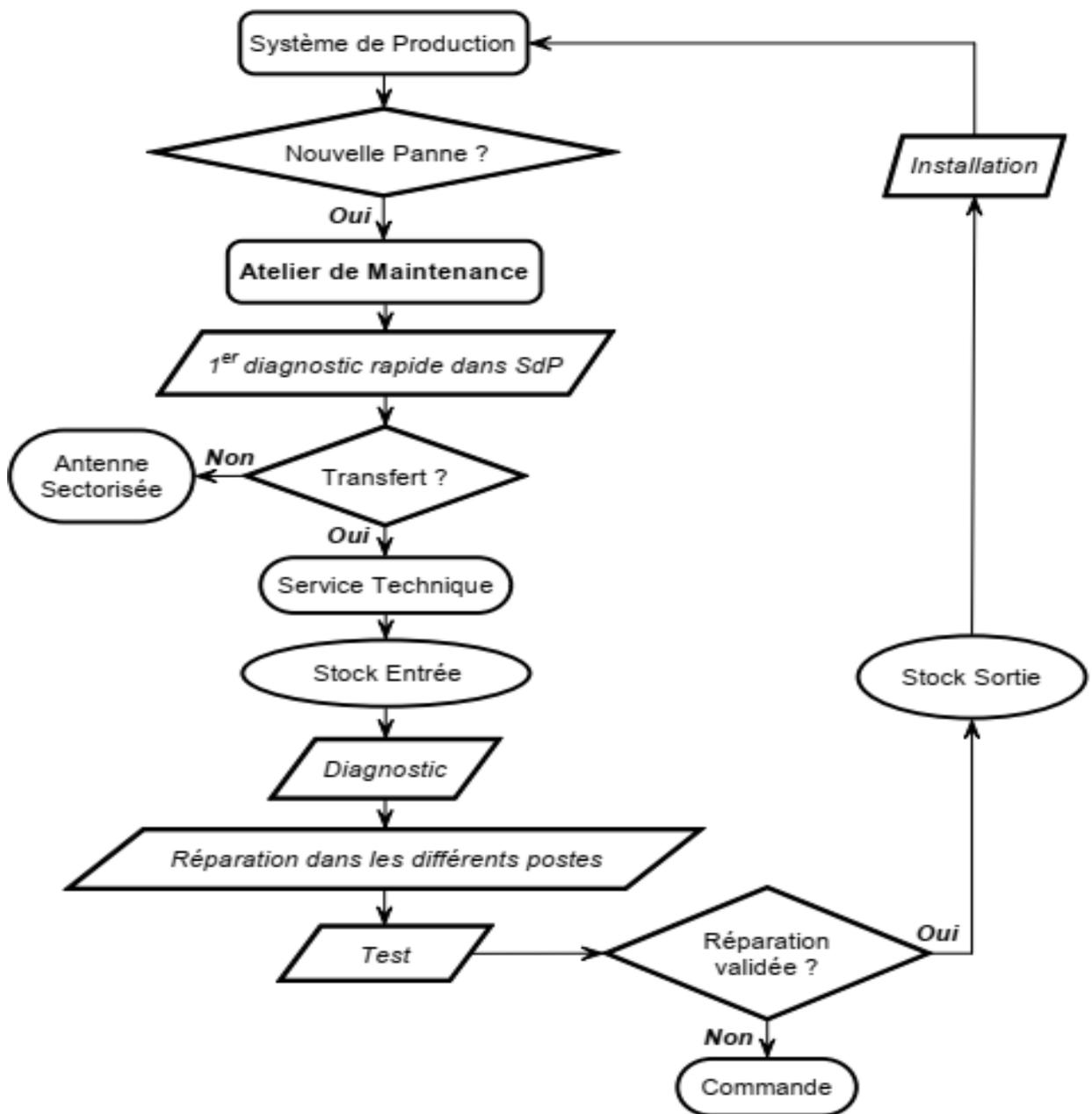


Fig. 2.5 Cycle de réparation des équipements [2] [23]

## **2.4 Etapes de conception d'un atelier de maintenance**

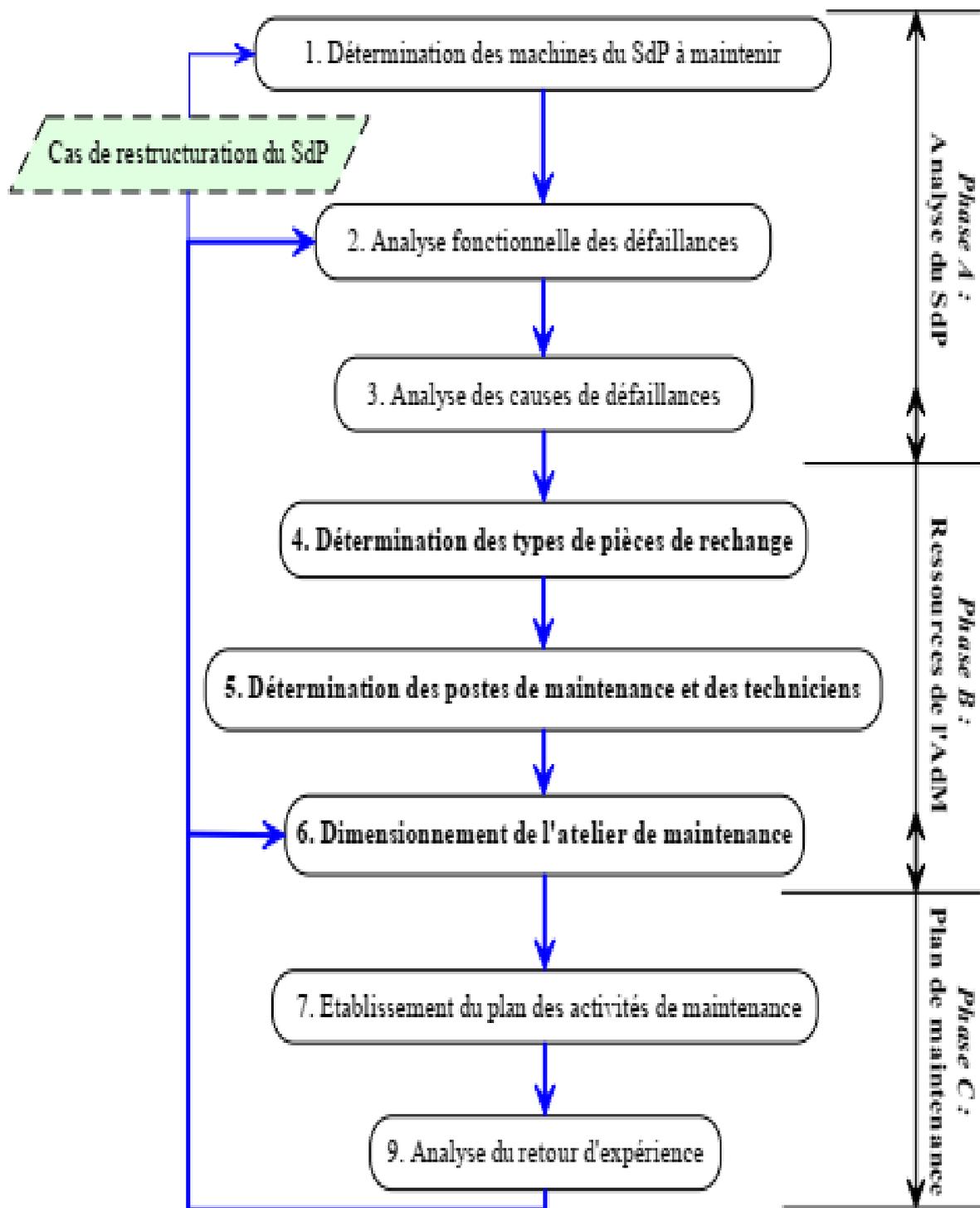
Évidemment, le maintien de la productivité dépend de la qualité et de la quantité, Les outils de production utilisés et l'efficacité de la maintenance de [7] [23] ces outils Par conséquent, la maintenance est un domaine d'action privilégié qui cherche à améliorer Performance d'entreprise. Cependant, les méthodes et techniques d'entretien Ce n'est pas unique et universel. Selon le type de processus La nature du système industriel à entretenir et du système et des sous-systèmes ou équipements, Il est nécessaire de prendre en compte la technologie pour mettre en œuvre des méthodes spécifiques d'éployées selon les cas :

- Systèmes mécaniques dynamiques : moteurs, pompes.
- Systèmes numériques programmes.
- Systèmes hydrauliques ou thermo hydrauliques.
- Systèmes électriques ou électroniques.

L'analyse du système de production s'avère nécessaire. Afin de déterminer qualitativement les ressources de l'AdM .Notre démarche de conception [23] d'un AdM est schématisée par la Figure 2.6 Le budget d'investissement dans les ressources de l'AdM est limité un classement des machines par ordre de priorité est alors réalisé selon un ensemble de critères Pour les équipements qui ont des pannes assez rares ou ceux qui ne peuvent pas être déplacés vers l'AdM, les interventions sont réalisées par les équipes d'antennes sectorisées. Chacun de ces systèmes assure une ou plusieurs fonction(s) grâce `a ses composants ou ´équipements. Ces fonctions sont hiérarchisées en termes d'importance, et avant d'appliquer une méthode de maintenance, il convient d'analyser ces systèmes et de s'interroger sur les aspects technico-économiques pour déterminer la politique de maintenance à appliquer. Pour cela, il est nécessaire d'identifier :

- les fonctions du système à maintenir en distinguant les missions principales et secondaires et leurs importances relatives,
- la structure du système en analysant ses modes de fonctionnement et les caractéristiques des équipements, l'inventaire des moyens de mesure et d'intervention

Dans la démarche de conception d'un atelier de maintenance, nous distinguons trois phases principales [7] [23]:



**Fig. 2.6** Etapes de conception d'un Atelier de Maintenance [7] [23]

- **Phase A : Analyse du SdP (poste de production)**

Elle a pour but de déterminer quelles sont les machines à privilégier pour l'étude. Elle correspond à l'étude de l'ensemble des machines de production. Les défaillances fonctionnelles des machines sélectionnées sont analysées du point de vue mode de défaillance

- **Phase B : détermination des ressources de l'AdM**

L'organisation structurelle de l'AdM est alors définie. Les ressources qui composent l'atelier de maintenance en termes de postes d'intervention, de techniciens et de pièces de rechange pour le remplacement.

- **Phase C : Elaboration du plan de maintenance**

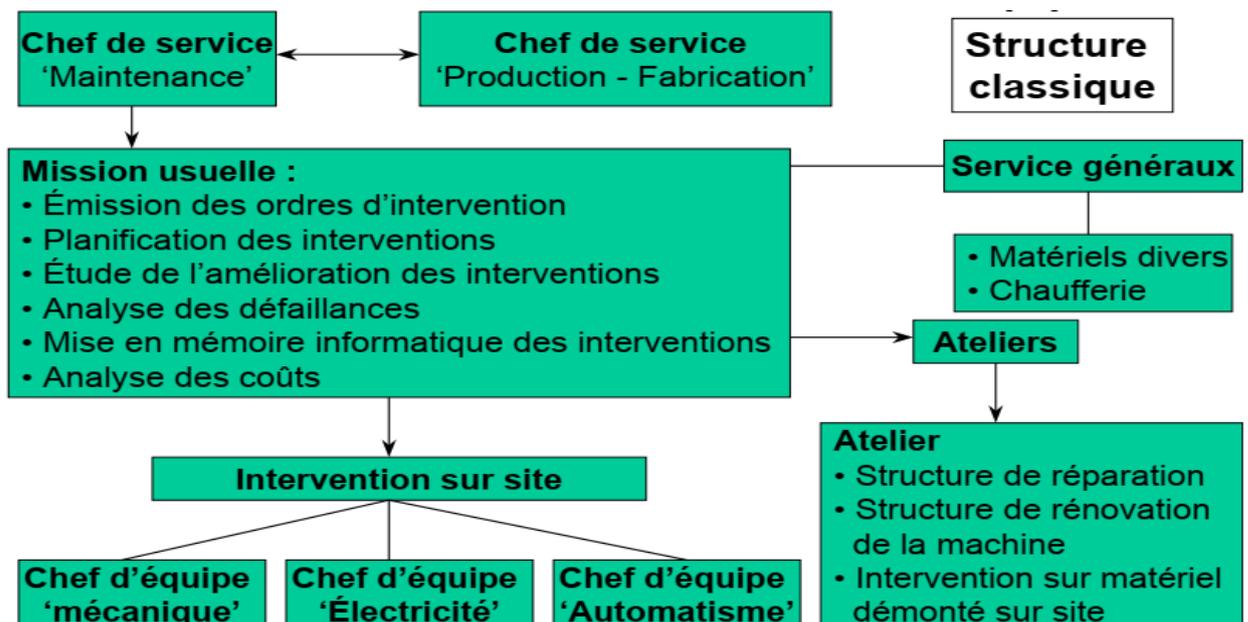
Ceci conduit à l'élaboration d'un planning initial des différentes tâches de maintenance. Pour améliorer le programme de maintenance au cours du temps faut utiliser un retour d'expérience au niveau de l'analyse des défaillances fonctionnelles

Dans la démarche de conception d'un atelier de maintenance, nous distinguons trois phases principales :

## 2.5 Organisation des opérations de maintenance

### 2.5.1 Relations Entre Maintenance Et Autres Fonctions De L'entreprise

Le service maintenance : Est responsable du maintien du [11] bon fonctionnement technique de tous les moyens de production (machines, outils, moyens de contrôle, commandes, équipement de manipulation, engins de transport). Pour mener à bien cette tâche, la fonction maintenance doit être en concertation régulière avec d'autres fonctions de l'entreprise fig. 2.7.



**Fig. 2.7** Organisation des opérations de maintenance [11]

### 2.5.2 Organisation niveaux d'intégration 1 :

Activité directement intégrée [8] sous la responsabilité de « l'homme » production : Dans ce cas, ce dernier devra être particulièrement attentif dans ses choix et dans son raisonnement, à avoir une vue globale de son activité et à considérer sa responsabilité maintenance à égalité avec sa responsabilité

production. Il sera donc conduit à analyser les problèmes importants sous les deux aspects avant de faire le choix optimal qui s'impose

### 2.5.3 Organisation niveaux d'intégration 2 :

Activité maintenance distincte, mais ayant un responsable chargé d'activités complémentaires.

- Dans ce cas, un homme ou une petite équipe aura la responsabilité de l'ensemble des fonctionnalités maintenance..
- PMI assez importantes, ou petites unités décentralisées de groupes importants.
- Structure fortement répandue en maintenance hospitalière et de grands ensembles (hôtels, bâtiments publics...)

Activité maintenance distincte et structurée :

- Unités importantes de production de masse ou process.
- Maintenance centralisée ou décentralisée.

### 2.5.4 Organisation avantages centralisation /décentralisation de la maintenance

Organisation avantages centralisation /décentralisation de la maintenance est indiquer dans le tableau 2.1.

CENTRALISATION	DECENTRALISATION
Standardisation des matériels et des méthodes facilitée,	Facilité de constitution d'équipes polyvalentes
Uniformisation des procédures, des codifications des systèmes de gestion de l'information	Facilité des contacts maintenance production
Utilisation des investissements lourds (en outillage) facilitée	Amélioration de la motivation et de la responsabilité du personnel de maintenance
Optimisation de l'emploi des ressources plus aisée	Incitation à la " fixation " de la compétence,
Suivi budgétaire global plus rapide	Meilleure mise en œuvre de la TPM (Total Productive Maintenance)

**Tab.2.1** Avantages centralisation /décentralisation de la maintenance [8]

### 2.5.5 La maintenance corrective

La maintenance corrective est, d'après la norme AFNOR X60-010 [6], la maintenance effectuée après apparition d'une défaillance. Celle-ci étant de nature aléatoire, les tâches correspondant à cette forme de maintenance sont subies, et ne sont pas planifiables.

Ces tâches comprennent les opérations suivantes :

- ✚ détection et signalisation des anomalies,
- ✚ localisation de la panne (effet) et diagnostic (cause),
- ✚ réparation,
- ✚ test, puis remise en production,

- ✚ rapport d'intervention (éventuellement à l'aide d'un outil informatisé de saisie). Ce rapport est indispensable pour renseigner les bases de données sur les statistiques de fiabilité / disponibilité et sur les coûts

L'efficacité des actions de maintenance corrective est liée à de nombreux facteurs, touchant à la fois à la **maintenabilité** des équipements, à la **compétence** et à la **disponibilité** des personnes, et à l'**organisation** de la **logistique de maintenance**. Toute faiblesse dans ces facteurs se traduit par une perte de temps d'intervention, donc par une perte de production et un surcroît de coût. En ce qui concerne la localisation des pannes et le diagnostic, quelques observations essentielles peuvent être formulées :

- une bonne analyse est basée sur une méthode de diagnostic préalablement définie, et nécessite une qualité d'information élevée (documents techniques, outils de recherche des pannes, etc.).
- la logique de recherche des défaillances d'un équipement n'est pas la même que sa logique de fonctionnement.
- pour un dépannage rapide, les informations suivantes sont notamment nécessaires
  - visualisation des états en cours de la machine
  - visualisation des états antérieurs à l'anomalie
  - historique des interventions déjà effectuées sur cette machine
  - documentation technique et fonctionnelle de la machine
  - outils d'aide au diagnostic et / ou procédures d'intervention préétablies, voire logiciel du type système expert.

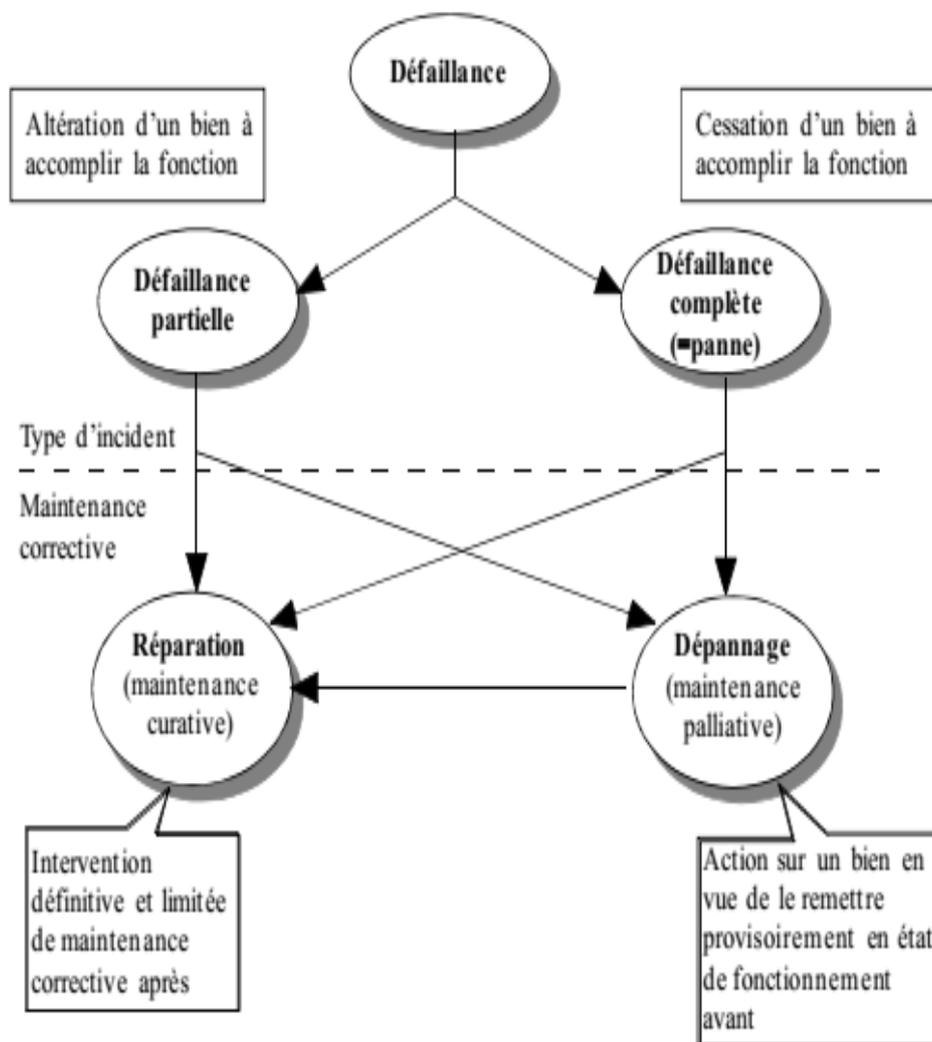
Enfin, un langage commun entre agents de maintenance et opérateurs de fabrication est essentiel pour un dépannage rapide. Tab.2. 2.

Opération de maintenance	Nature du besoin	Nature du besoin		
		information	Matériel	Organisation
Identification de la machine en panne + Diagnostic de la panne	Localisation de la machine Dossier technique Outil de diagnostic	+	+	
Recherche des opérations de maintenance déjà effectuées sur cet équipement	Historique des incidents et opérations effectuées. Pièces de rechange utilisées	+		+
Consultation de la gamme des opérations de maintenance (estimation du travail)	Manuel de maintenance de la machine	+		
Recherche des pièces de rechange dans le stock  Actualiser l'inventaire	Pièces de rechange Système de gestion de stock	+	+	+
Procéder à la réparation (après diagnostic), tester, remettre en route	Outillage de dépannage et de test		+	
Actualiser le dossier d'entretien machine.	Dossier d'entretien machine Système de gestion de stock	+		+

Réapprovisionner des pièces		+		+
-----------------------------	--	---	--	---

**Tab.2. 2** Besoins associés à la réparation d'une machine [8]

La maintenance [8] corrective ne consiste pas nécessairement à effectuer la réparation complète d'un équipement défectueux (**maintenance curative**). En effet, une défaillance peut être partielle, et provoquer seulement l'altération d'un bien à accomplir la fonction requise, et non sa cessation (panne). D'autre part une réparation peut être parfois différée, pour diverses raisons. C'est pourquoi une action peut être entreprise en vue de remettre l'équipement défaillant provisoirement en état de fonctionner. Il s'agit alors de dépannage, plutôt que de réparation, et l'action entreprise relève alors d'une opération de **maintenance palliative** fig2.8.



**Figure 2.8** Les différentes formes de la maintenance corrective (palliative et curative) [8]

Bien que la maintenance [8] préventive attire plus d'intérêt aux industriels, il est évident qu'on aura toujours des pannes donc on fait toujours recours à la maintenance corrective. On a vu ici que la

maintenance corrective peut être organisée d'une façon rationnelle et logique, certainement pas autant que la maintenance préventive, puisqu'elle ne peut pas être programmée à une date  $t$  comme le cas de la préventive

## 2.6 Etapes principales de technologie de dépannage [24][25] des machines électriques

### A. Les réparations qui peuvent se présenter dans les parties électriques d'une machine proviennent [24][25] [26]:

- d'un court-circuit entre lames du collecteur.
- de l'usure du collecteur (que l'on rafraîchira au tour).
- du débordement des micas entre les lames du collecteur (que l'on supprime avec une fraise ou une lame de scie à métaux).
- de sections en court-circuit.
- d'un défaut d'isolement entre sections ou entre le bobinage et la masse métallique du moteur.
- d'une coupure dans le bobinage ou entre le bobinage et le collecteur

### B. Le démontage d'une machine électrique doit toujours être précédé d'un certain nombre de précautions, telles que [24][25] [26]:

- **Vidange des paliers**, s'il s'agit d'une machine à coussinets.
- Repérage de la position des flasques par rapport au bâti. Pour cela, on donne un léger coup de pointeau, face à face, entre les deux parties qui devront retrouver leur place exacte au remontage
- Sortie des balais de leur cage.
- **Démontage de la poulie ou du manchon d'accouplement** Pour démonter la poulie, deux procédés peuvent être employés:
- se servir d'un arrache-poulie (cas d'une petite poulie) (fig. 2.9a); se servir de deux goujons filetés, vissés dans le moyeu de la poulie; l'autre extrémité des goujons traverse une plaque en acier placée en bout d'arbre. Deux écrous vissés sur les goujons feront office d'arrache-poulie (fig. 2.9b)

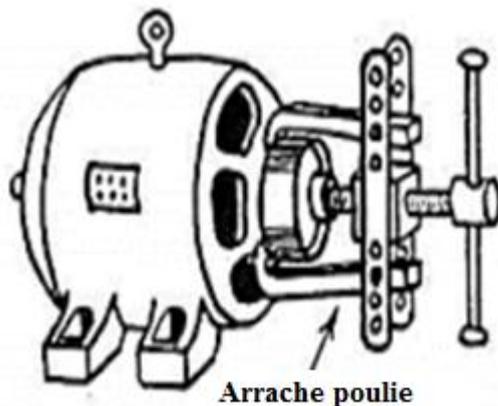


Fig 2.9 a

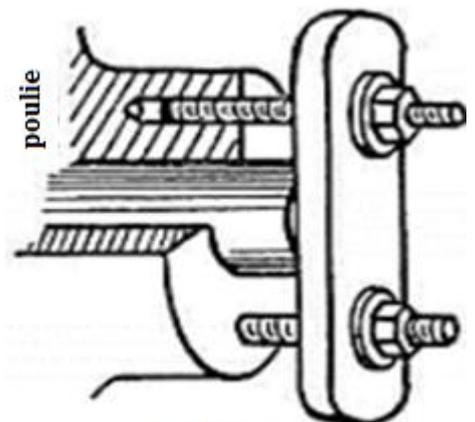


Fig 2.9 b

Fig 2.9 a. Démontage d'une poulie avec un arrache-poulie Fig 2.9 b. Démontage d'une poulie à l'aide de deux goujons filetés [24][25] [26]

### C. *Démontage des flasques* [24][25] [26]:

- Dévisser et déboulonner tous les assemblages, puis donner des coups de marteau obliques sur le rebord des flasques en se servant d'une cale de bois dur comme intermédiaire. Les flasques en fonte risqueraient de se briser au contact du marteau.
- On commence par sortir un flasque avec l'induit ou sans celui-ci, selon que le serrage est plus important sur un flasque que sur l'autre. Si l'induit est demeuré en place, on veillera à ne pas fausser l'arbre du côté où il est retenu, en supportant l'autre extrémité de l'arbre.
- Pour sortir l'induit, on aura soin de le centrer, afin d'éviter que les tôles du tambour ne frottent sur le stator ou sur les pôles.

### D. *Remontage du moteur* [24][25] [26]:

- On commence par fixer un flasque en se basant sur les repères que l'on avait faits avant le démontage. On est ainsi certain de ne pas inverser le côté des flasques par rapport à la carcasse.
- On glisse l'induit dans le stator, en ayant soin de relever la bague de coussinet, s'il s'agit d'un moteur à coussinets, ainsi que les balais si la machine en possède.
- On met en place le deuxième flasque en le tournant de 180° par rapport à sa position normale (cas d'un moteur à coussinets). De cette façon, la bague de graissage n'obstrue pas le passage de l'arbre. Dès que le flasque est à sa place, on met les repères face à face et on bloque les vis ou les boulons.
- Pour trouver le logement exact du flasque, on est souvent obligé d'avoir recours à quelques petits coups de marteau que l'on appliquera toujours par l'intermédiaire d'une cale en bois dur

### E. *Vérification mécanique* [24][25] [26]:

- Le moteur remonté, l'induit doit tourner à la main sans effort. Si cela n'est pas le cas, il faut desserrer un flasque, puis l'autre si c'est nécessaire et leur trouver une position qui donne satisfaction. On obtient souvent un bon résultat en serrant progressivement et alternativement les vis de fixation diamétralement opposées et en frappant légèrement sur le rebord des flasques avec l'extrémité du manche d'un marteau.
- Les flasques étant en place, on met les balais dans leurs cages et on règle leur pression. Celle-ci doit être la même pour tous. Leur entretien est assez réduit, car il se limite:
- au renouvellement de la graisse pour les paliers à roulements à billes et au niveau d'huile dans les paliers à coussinets;
- au dépoussiérage, qui peut être fait au soufflet, à l'air comprimé et à l'aide de chiffons ou d'étoffe pour les parties accessibles;
- à la propreté du collecteur, que l'on peut entretenir en utilisant soit une pierre ponce, soit du papier de verre à grain fin;

- à la vérification des charbons des balais, tant au point de vue de leur pression sur le collecteur ou les bagues que de leur usure. S'il y a lieu de les remplacer, il faut choisir les balais de même composition que les anciens;
- à la vérification du serrage des fils d'arrivée à la plaque à bornes;
- à la vérification de la tension de la courroie ou du serrage du manchon d'accouplement.
- Si le moteur est à coussinets, on fait le plein avec une huile spéciale (pour moteur électrique), à l'exclusion des huiles pour auto ou de l'huile de lin. Pour effectuer le remplissage de la boîte, on retire la vis qui donne le niveau maximale on la remet en place dès que l'huile coule par cet orifice.
- Si le moteur est à roulements à billes ou à rouleaux, on utilise une graisse consistante neutre, exempte de toute impureté abrasive et dont le point de goutte est d'environ 110°C,
- Avant de remettre le moteur en service, il faut veiller à ce que les bagues de graissage soient à leur place,
- Pour remonter la poulie, on se sert d'un marteau et d'un morceau de bois dur, afin de ne pas marquer ou fendre la poulie qui est généralement en fonte. Selon le type de clavette, celle-ci se place avant ou après le remontage de la poule.

**F. Vérification électrique avant le remontage du moteur certaines vérifications peuvent être faites [24][25] [26]:**

- Vérification de l'isolement entre la masse et le bobinage de l'induit et l'inducteur. Cette vérification peut s'effectuer soit avec une lampe témoin en série avec une source de courant, soit avec un voltmètre, ce qui est beaucoup plus précis, soit avec un ampèremètre et une résistance réglable en série avec une source basse tension. On peut utiliser aussi un ohmmètre.
- L'isolement du collecteur peut également avoir un défaut et occasionner une mise à la masse.
- Si les connexions à la plaque à bornes ont été démontées, on doit les remettre correctement en place, de manière que le sens de rotation soit celui que l'on désire

**G. Réparation du défaut**

Il arrive que la mise à la masse soit facilement réparable. Quand elle est accessible, il suffit de placer un isolant (mica, léathéroïd) entre la masse et le bobinage. Lorsqu'il s'agit d'une partie accessible du collecteur, il existe des ciments spéciaux que l'on coule dans la partie détériorée. Dans tous les cas où le défaut est caché, il est nécessaire de démonter le collecteur ou le bobinage.

**H. La méthode de diagnostic [24][25] [26]:**

Le diagnostic **fig. 2.10** est une phase importante de la maintenance corrective. De sa pertinence et de sa rapidité dépend l'efficacité de l'intervention dans l'entreprise. Il est précédé par deux actions :

 **La détection :**

Qui décèle au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant ;

 **La localisation :**

Qui conduit à rechercher précisément l'(les) élément(s) par le(s) quel(s) la défaillance se manifeste .Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires. La conduite d'un diagnostic nécessite un grand nombre d'informations saisies.

- ✓ Auprès des utilisateurs de la machine ;
- ✓ Dans les documents des constructeurs ;
- ✓ Dans les documents du service technique ;
- ✓ Dans les documents des méthodes de maintenance.

La méthode générale du diagnostic comporte:

1. ***L'inventaire des hypothèses :***

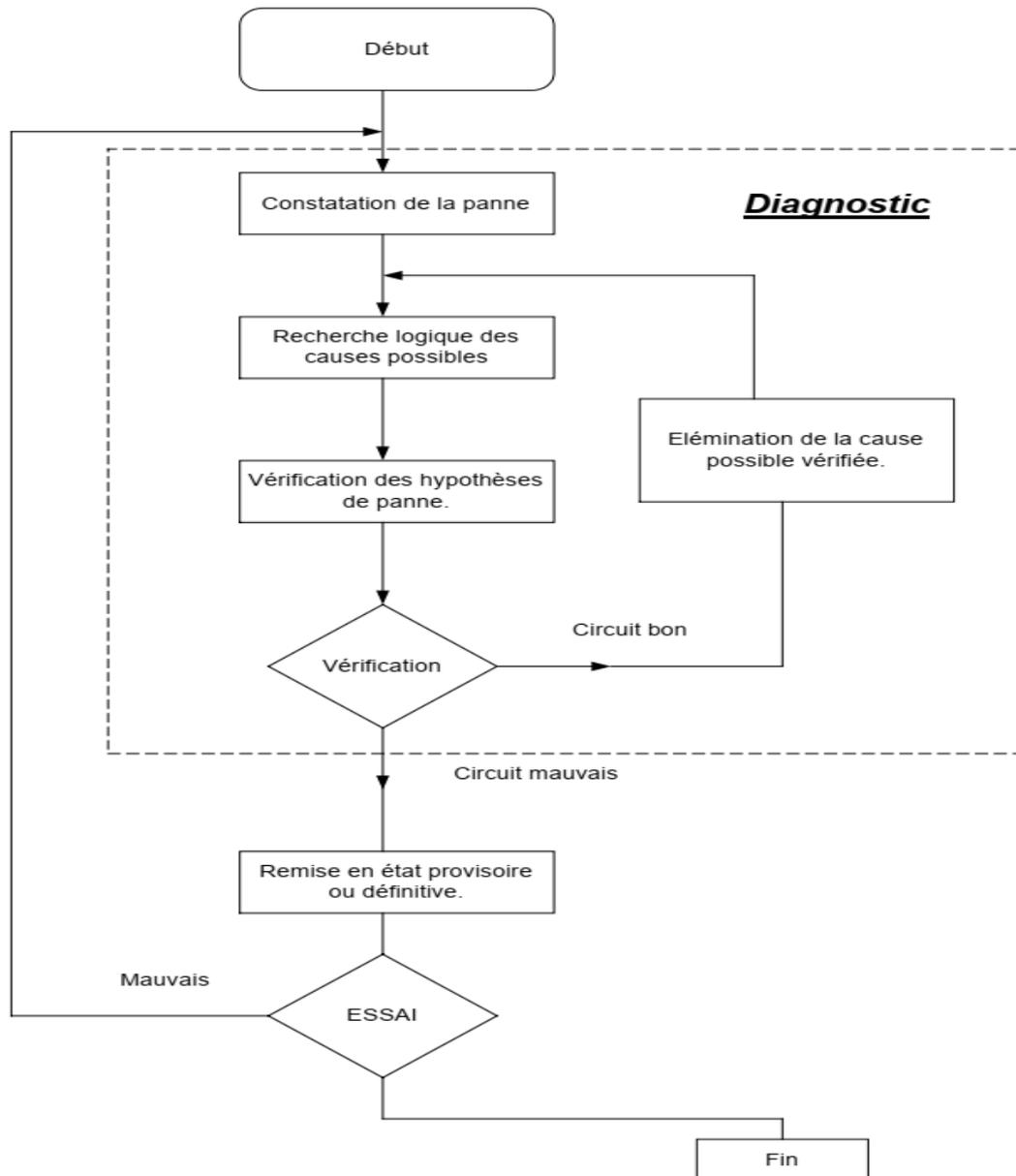
- Le diagnostic doit identifier les causes probables de la défaillance ;
- L'efficacité du diagnostic doit conduire à hiérarchiser les hypothèses par rapport à deux grands critères : leur probabilité de se révéler vraies et la facilité de leur vérification.

2. ***La vérification des hypothèses retenues***

- En les prenant dans l'ordre de leur classement chaque hypothèse doit être vérifiée.
- L'enchaînement de ses vérifications jusqu'à la constatation d'un essai Bon.
- La recherche d'une panne dans un circuit électrique ou électronique relève d'un raisonnement logique faisant appel aux étapes suivantes :

**Les vérifications à effectuer sont faites à l'aide des appareils de contrôle tel que:**

- Lampe-test à source auxiliaire pour vérifier la continuité des circuits ;
- Lampe néon et ohmmètre à magnéto pour la détection de mise à la masse ou à la terre;
- Contrôleur universel à fonctionnement en ampèremètre, voltmètre et ohmmètre (exemple : Instrument Metrix) ;
- Oscilloscope, contrôleur universel numérique ou analogique pour la vérification des circuits électroniques de puissance.



**Fig. 2.10** *Methorde general d un diagnostic [24][25] [26]*

## **2.7 Etude des différentes pannes des machines électriques et méthodes de leur détection.**

Les raisons de défaillances dans les machines tournantes électriques ont leur origine dans la conception, la tolérance de fabrication, l'assemblage, l'installation, l'environnement de travail, nature de la charge et le calendrier de maintenance. D'après [24][25] [26] les défauts peuvent être classés selon leurs origines en deux catégories : interne et externe. Les défauts internes sont provoqués par les constituants de la machine (bobinages du stator et du rotor, circuits magnétiques, cage rotorique, entrefer mécanique, etc.). Les défauts externes sont causés par le type d'alimentation, la charge mécanique ainsi que par l'environnement d'utilisation de la machine. Une classification des défauts qui existent dans les machines électriques selon leurs origines est présentée comme suit.

### 2.7.1 Défaillances Des Machines Electriques Selon Leur Origine Interne

#### A. Mécanique

- ✚ Contact entre le stator et rotor
- ✚ Défaut de roulements
- ✚ Excentricité
- ✚ Mouvement des enroulements et des tôles

#### B. Electrique

- ✚ Défaillance au niveau de l'isolation
- ✚ Rupture de barre
- ✚ Défaillance au niveau du circuit magnétique

### 2.7.2 Défaillances Des Machines Electriques Selon Leur Origine Externe

#### C. Mécanique

- ✚ Charge oscillante
- ✚ Surcharge de la machine
- ✚ Défaut de montage

#### D. Electrique

- ✚ Fluctuation de la tension
- ✚ Sources de tensions déséquilibrées
- ✚ Réseau bruité

#### E. Environnemental

- ✚ Humidité
- ✚ Température
- ✚ Propreté

Des multiples études statistiques sur des machines ont été effectuées depuis les années 80 jusqu'à présent. Toutes ces statistiques mentionnées dans [6 7 13 15] concernent les machines asynchrones de moyenne et grande puissance exploitées dans l'industrie.

Une étude effectuée sur des machines asynchrones de grande puissance de 100kW à 1MW dans les années 90 par Thomson [27] [28]. fig. 2.11 ont montré que sur cette gamme de puissance certains panne sont les plus fréquentes sont de type mécanique et la majorité d'entre eux se situent dans les enroulements.

Une étude statistique récente faite par Bonnet sur les machines asynchrones de grande puissance exploitées dans l'industrie pétrochimique [27] [28].

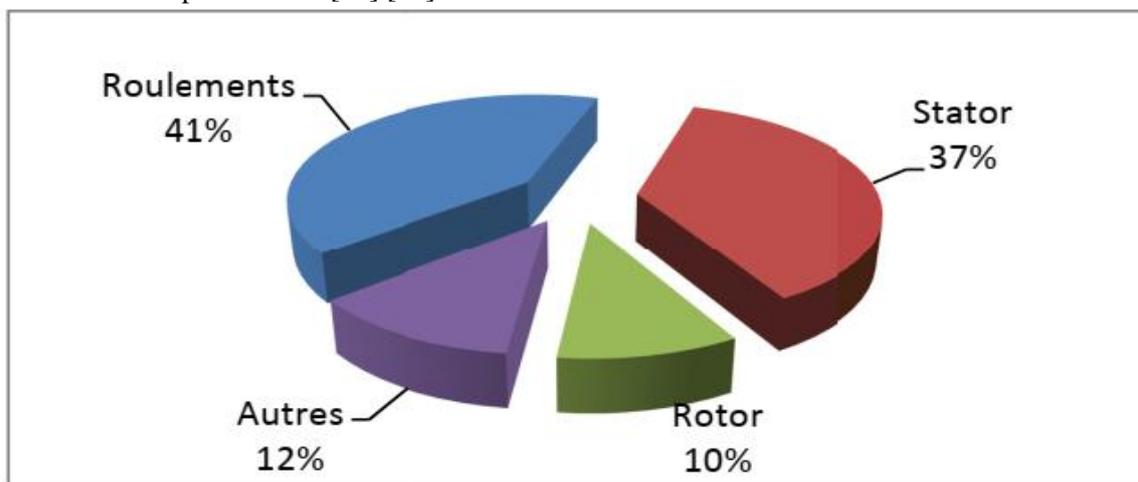
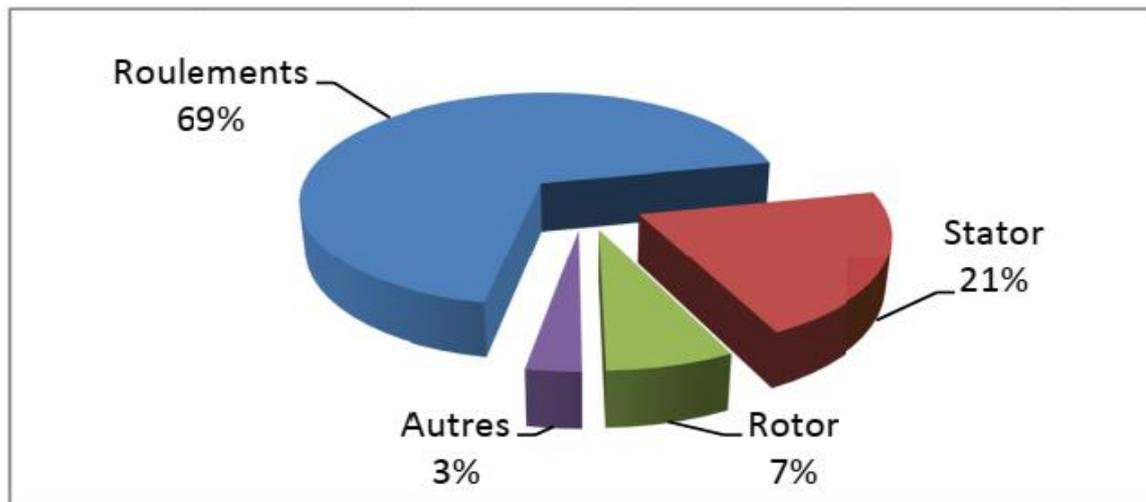


Fig. 2.11. Étude statistique Thomson 1999 [27] [29].



**Fig. 2.12** Étude statistique Bonnett 2008 [27] [30].

Il est noté que la technique d'alimentation des machines électriques provoque aussi des défaillances par exemple les enroulements sont excités par des tensions comprenant des fronts raides ce qui accélère le vieillissement de l'isolation du bobinage statorique. Les causes des défauts au stator et au rotor sont multiples les plus fréquents d'entre eux sont énumérés ci-dessous :

### 2.7.3 Défauts statoriques :

- court-circuit entre spires : surtension, température excessive, vibration, humidité ;
- court-circuit entre phases : haute température, alimentation déséquilibrée, défaut d'installation ;
- défaut d'isolation : démarrage fréquent, décharge partielle, condition, température et humidité extrême ;
- défaut entre le stator et carcasse : cycle thermique, abrasion de l'isolant, encrassement des spires par la carcasse, présence des points anguleux dans les encoches, choc ;
- déplacement des conducteurs : démarrage fréquent, vibration de tête de bobines ;
- défaillance des connecteurs : vibration excessive ;
- vibration de la carcasse : mauvaise installation, déséquilibre magnétique, déséquilibre d'alimentation, surcharge, mouvement des enroulements, contact avec le rotor.

L'apparition d'un défaut au niveau des circuits électriques statoriques de la MAS peut avoir des origines diverses. Nous pouvons citer, par exemple, les défauts de type court-circuit entre-spires qui apparaissent à l'intérieur des encoches statoriques. Ce type de défaut peut être causé par une dégradation des isolants des spires du bobinage statoriques. Nous pouvons citer aussi le court-circuit apparaissant entre une phase et le neutre, entre une phase et la carcasse métallique de la machine ou encore entre deux phases statoriques. Ces défauts ont le plus souvent une origine mécanique. En effet, des vibrations excessives peuvent mener à un desserrement des boulons de la plaque à bornes de la machine créant ainsi le court-circuit. Une cosse mal serrée à la jonction du câble d'alimentation et des bornes de la machine peut être à l'origine d'une ouverture de phase. Le défaut le plus couramment rencontré reste encore la fusion d'un fusible de protection. Ces défauts peuvent être détectés par une analyse harmonique des courants absorbés par la machine. [31]

#### 2.7.4 Défauts rotoriques:

- défaut de roulements : mauvaise installation, déséquilibre magnétique, haute température, perte de lubrifiant, charge déséquilibrée, corrosion ;
- rupture de barres : cycle thermique, régime transitoire à longue durée ; déséquilibre magnétique;
- rupture d'une portion d'anneau : cycle thermique ;
- excentricité : mauvaise installation, déséquilibre magnétique, défauts des roulements;
- désalignement des roulements : défaut de couplage, mauvaise installation, surcharge ;
- défaut du circuit magnétique : défaut de fabrication, surcharge, cycle thermique ;
- déséquilibre mécanique : mauvais alignement, mouvement des anneaux de court-circuit.

##### a. Défauts rotoriques roulements

Deux types de défaillances peuvent apparaître au rotor d'une machine asynchrone à cage d'écureuil. La cage étant composée de barres et d'anneaux de court-circuit d'aluminium ou de cuivre, une rupture partielle ou totale d'un de ces composants peut être considérée comme un défaut électrique rotorique. L'apparition de ce type de défaut peut être d'origine diverse. En effet, la rupture d'une barre ou d'un segment d'anneau de court-circuit peut être due à plusieurs phénomènes qui sont souvent indépendants les uns des autres. Nous pouvons citer par exemple une mauvaise utilisation de la machine asynchrone (charge trop importante) ou encore l'environnement hostile dans lequel elle fonctionne. [31]

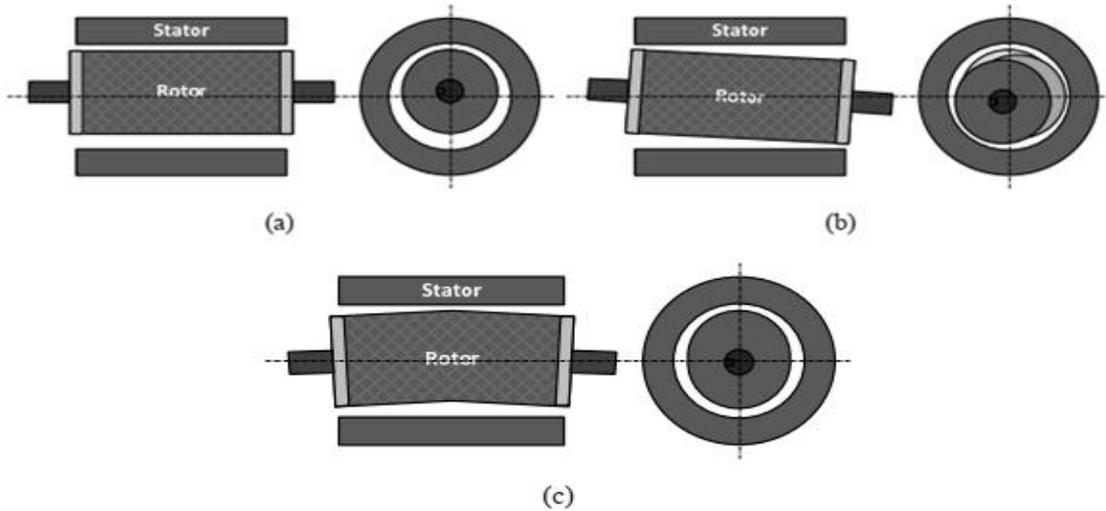
##### b. Défauts rotoriques Excentricité

Parfois, la machine électrique peut être soumise à un décentrement du rotor, se traduisant par des oscillations de couple (décalage entre le centre de rotation de l'arbre et le centre du rotor, Fig. 2.13 a, b et c. Ce phénomène est appelé excentricité (statique, dynamique et mixte) dont l'origine peut être liée à un positionnement incorrect des paliers lors de l'assemblage, à un défaut de roulement (usure), à un défaut de charge, ou à un défaut de fabrication (usinage). Trois cas d'excentricité, sont généralement distingués [31]

- L'excentricité statique (Figure 2.13. (a)) – le rotor est déplacé du centre de l'alésage stator mais tourne toujours autour de son axe
- L'excentricité dynamique (Figure 2.13. (b)) – le rotor est positionné au centre de l'alésage mais ne tourne plus autour de son axe
- 'excentricité mixte (Figure 2.13(c)) – mixte qu'on pourrait qualifier de 'mixte', associant les deux cas précédemment cités

Comme il est indiqué sur la **Figure 2.12**, la majorité des défauts dans les machines électriques concernent les défauts de roulements qui ont de nombreuses causes telles que l'écaillage de fatigue, la contamination du lubrifiant, une charge excessive [32] ou des causes électriques comme la circulation de courants de fuite induits par les onduleurs [33].

Les défauts de roulements entraînent de manière générale plusieurs effets mécaniques dans les machines tels qu'une augmentation du niveau sonore et l'apparition de vibrations par les déplacements du rotor autour de l'axe longitudinal de la machine [34]. Ce type de défaut induit également des variations (oscillations) dans le couple de charge de la machine asynchrone. Le point ultime de roulements défectueux est le blocage du rotor.



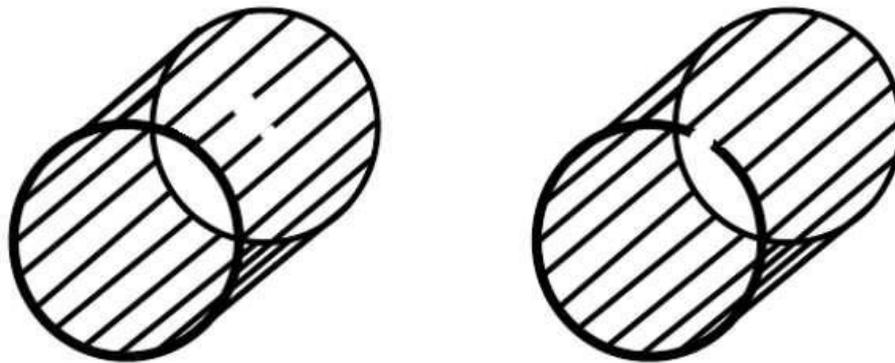
**Figure 2.13** Types d'excentricité : (a) statique ; (b) dynamique ; (c) mixte [31]

### c. L'effet de cassures de barres

La cassure de barres [34] est un des défauts les plus fréquents au rotor. La détérioration des barres entraîne une augmentation de la résistance rotorique, diminution de la résistance statorique et réduction dans la valeur moyenne du couple électromagnétique et augmentation d'amplitude des oscillations. L'effet de la cassure de barres croît rapidement avec le nombre de barres cassées. La grande amplitude des oscillations accélère la détérioration de la machine et des composants de la chaîne de traction. [35] En effet, lors de l'apparition d'une rupture de barre, des harmoniques de flux sont produits et induisent des harmoniques de courant dans l'enroulement statorique aux fréquences :

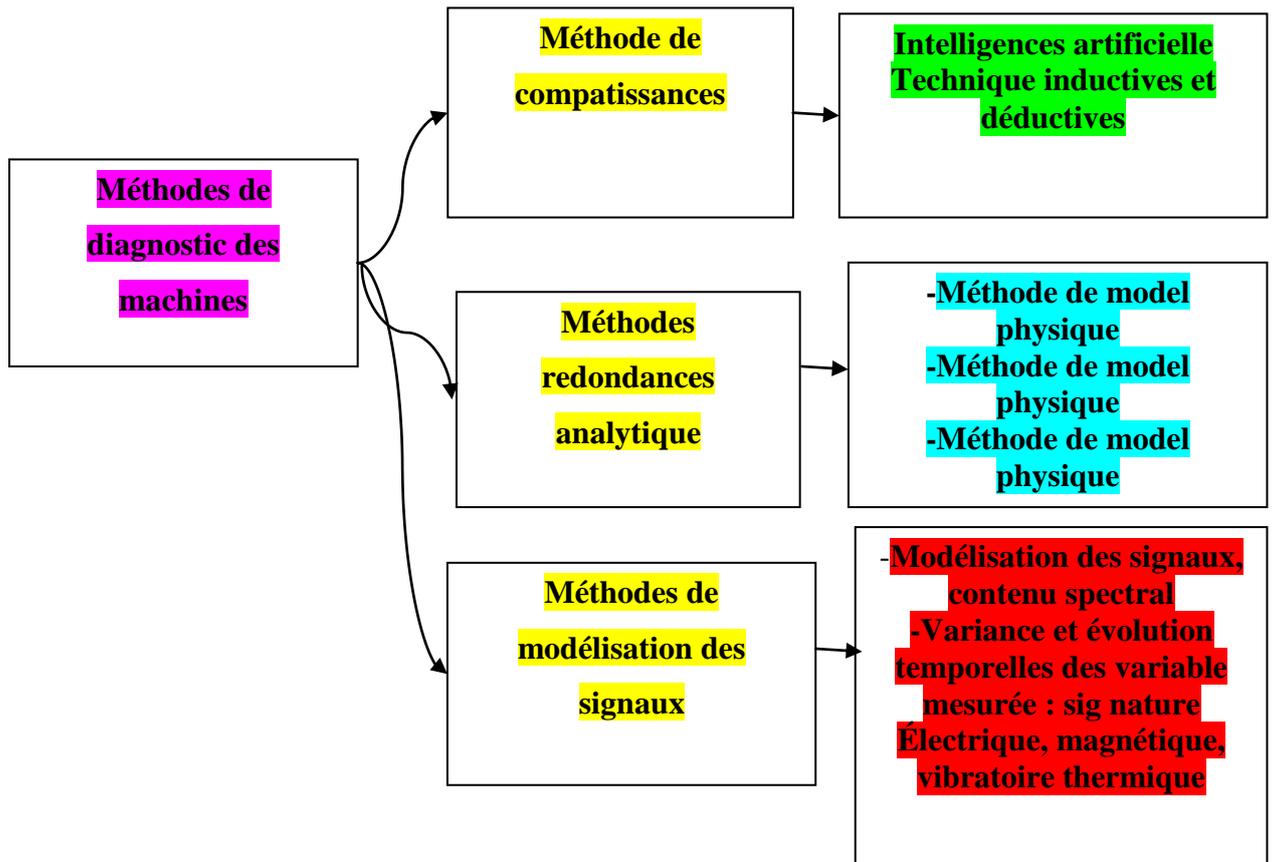
$$f_d = f_s(1 \pm 2kg) \quad (2.1)$$

De plus les amplitudes des raies dans ces bandes latérales du fondamental augmentent avec le nombre de barres défectueuses.



**Figure 2.14** Défaut de rupture de barres et d'anneau de court-circuit [27 [28] [31]

Le diagnostic des défauts des machines électriques comporte trois comme indiquer sur la figure 2.15 méthodes principales sont :



**Figure 2.15** Diaporama des méthodes de diagnostic d'une machine électrique [27] [28] [31]

✚ **Méthodes de connaissances :**

N'utilisent pas de modèle mathématique pour décrire les relations de cause à effet. La seule connaissance [27] [28] repose sur l'expérience humaine confortée par retours d'expérience. Dans la littérature sont présentées plusieurs techniques de détection défauts par ces méthodes. Les techniques basées sur l'intelligence artificielle mettent en œuvre la reconnaissance de formes, les systèmes experts, les réseaux de neurones et la logique floue, qui peuvent être utilisés de manière indépendante ou combinés amélioré leur efficacité. Les méthodes inductives ou déductives ne s'appliquent pas directement au diagnostic, mais peuvent y aider. Elles sont essentiellement utilisées pour définir les causes du défaut en utilisant des modèles de pannes. Il est à noter que ces méthodes davantage du ressort des automaticiens que des électrotechniciens

✚ **Méthodes de redondances analytiques :**

Se basent sur une modélisation quantitative du système et exploitent les relations entre les variables [27] [28] du système considéré pour identifier les paramètres physiques à surveiller. On y distingue trois classes les méthodes de modèles physiques, les méthodes d'identification de paramètres et les méthodes d'estimation du vecteur d'état.

✚ **Méthodes de modélisation des signaux :**

Sont des méthodes basées sur une modélisation des signaux, le contenu spectral, la variance et l'évolution temporelle des variables mesurées. Ces méthodes exploitent essentiellement les signatures électrique magnétique, vibratoire, thermique [27] [28] ou la puissance instantanée.

## 2.8 Propositions de causes possibles de pannes et des vérifications correspondantes

Exemples de causes possibles [36] de pannes et vérifications correspondantes à effectuer :

Causes possibles des pannes	N°	Vérifications pour détecter ces causes
1) Pannes provoquées par le grippage d'un organe en mouvement, ce grippage pouvant provenir lui-même:  - d'un manque de graissage - d'un lubrifiant mal adapté - d'un lubrifiant sale - d'une fuite - d'une charge exagérée - d'un mauvais fonctionnement du refroidissement	101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114	- Vérifier les divers points à graisser - Vérifier les pleins à faire - Vérifier les échauffements des paliers - Contrôler les caractéristiques des lubrifiants employés - Effectuer les vidanges nécessaires - Nettoyer les filtres à huile - Nettoyer les réservoirs à lubrifiants - Effectuer des prélèvements à fin d'analyse - Vérifier les excès de graissage - Rechercher les fuites éventuelles - Contrôler les pressions d'huile - Contrôler les charges accidentelles sur paliers - Vérifier les pompes de circulation - Contrôler l'entartrage
2) Pannes provoquées par le desserrage des pièces d'assemblage des organes mécaniques et électriques ( <i>boulons, clavettes, coins, attaches de courroie</i> )	200 201 202 203 204	- Resserrer les écrous et les vis - Remettre en place coins et clavettes - Ausculter le bruit et les vibrations - Vérifier les attaches de courroie - Vérifier les câbles d'embrayages
3) Pannes provoquées par :  - l'usure - l'érosion - l'oxydation - les coups de feu - la corrosion chimique - l'amorçage d'un arc	301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317	- Vérifier les Ferodo - Contrôler les plaques d'usure - Vérifier l'usure des galets - Vérifier l'usure des rails ou chemins de roulement - Vérifier l'usure des bagues et coussinets - Contrôler l'usure des arbres - Vérifier l'usure des coulisseaux - Contrôler les pignons, barbotins et crémaillères - Vérifier l'usure des fourchettes et doigts - Vérifier l'usure des chaînes de transmission - Vérifier les cardans - Vérifier les manchons d'accouplement - Contrôler l'usure des clavettes - Contrôler l'usure des bandes transporteuses - Exécuter les contrôles géométriques nécessaires - Rattraper les jeux des organes de réglage - Contrôler l'état de peinture et de corrosion
4) Pannes provenant du vieillissement de certains matériaux comme les isolants électriques	401 402 403	- Vérifier les pièces isolantes des contacteurs - Vérifier les revêtements de câbles - Faire les contrôles d'isolement
5) Dérailements, renversements ou autres accidents provenant d'un défaut des chemins de roulement	501 502 503 504 505 506	- Vérifier l'écartement des rails - Vérifier le niveau des chemins de roulement - Vérifier les butoirs de fin de course - Vérifier l'ancrage aux rails - Vérifier le calage - Vérifier l'observation des consignes

6)	Pannes provoquées par la flexion, l'allongement ou la rupture intempestive d'un organe soit par :  - mauvaise utilisation du matériel - fatigue de matériaux - défaut de conception - accident imprévisible	601	- Examiner les pièces fragiles
		602	- Vérifier les pièces flexibles
		603	- Contrôler l'emploi correct des machines
		604	- Vérifier les câbles et chaînes de levage
		605	- Contrôler les crochets et leurs sécurité
		606	- Vérifier les manilles
		607	- Exécuter les contrôles statiques et dynamiques
		608	- Retendre les courroies et les chaînes

Causes possibles des pannes		N°	Vérifications pour détecter ces causes
7)	Pannes provoquées par des défauts d'alimentation tels que surtension ou sous-tension	701	- Exécuter les contrôles de puissance
		702	- Exécuter les contrôles de vitesse
8)	Détérioration des systèmes commande :  - électrique - pneumatique - hydraulique	801	- Vérifier l'état des contacts électriques
		802	- Vérifier les ressorts de contact
		803	- Vérifier la mise à la terre
		804	- Vérifier la protection des transformateurs
		805	- Contrôler les jeux de roulements des moteurs
		806	- Contrôler l'empoussiérage des moteurs
		807	- Faire fonctionner les électro-freins
		808	- Faire fonctionner les diverses sécurités
		809	- Vérifier l'état des fils d'alimentation
		810	- Contrôler le serrage des bornes
		811	- Vérifier l'état des balais, bagues, collecteurs
		812	- Vérifier l'état diélectrique huile des transformateurs
		813	- Vérifier les bougies
		814	- Vérifier les vis platinées
		815	- Vérifier les pleins d'huile de commande
		816	- Vérifier les fuites éventuelles de fluide
817	- Vérifier le fonctionnement des clapets		
818	- Nettoyer les carters d'huile de commande		
9)	Pannes provoquées par l'eau, l'humidité ou l'introduction d'un corps étranger ce qui peut provoquer:  - courts-circuits - encrassement de butées - filtres inefficaces - embrayages gras - freins gras ou humides - blocage des sécurités	901	- Nettoyer les butées
		902	- Nettoyer les glissières
		903	- Nettoyer les arbres
		904	- Signaler les machines sales
		905	- Vérifier les soupapes de sécurité
		906	- Vérifier les arrêts automatiques
		907	- Faire fonctionner les limiteurs de pression
		908	- Vérifier les parachutes
		909	- Contrôler les freins
		910	- Contrôler les protections thermiques

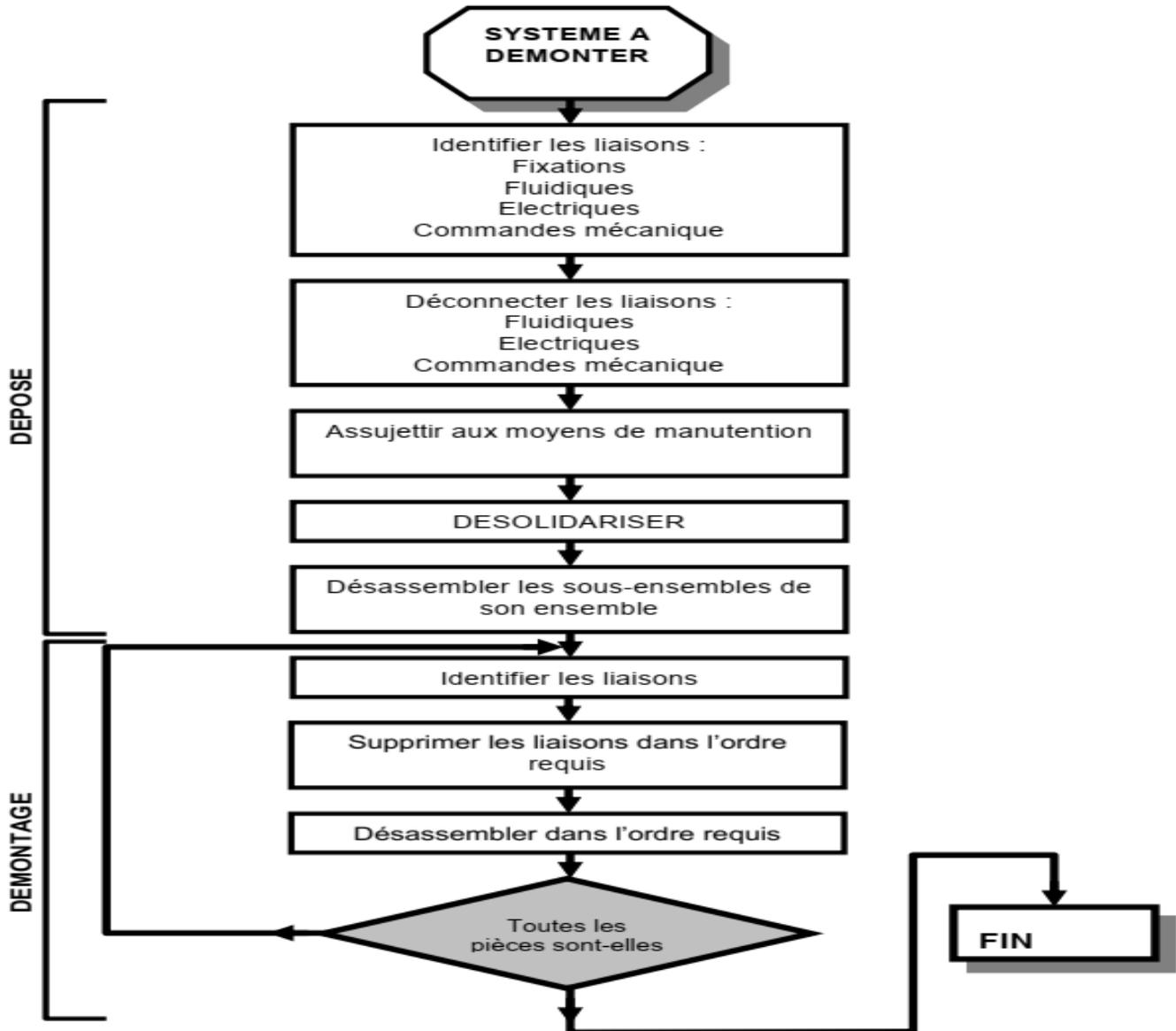
Tableau 2.1 causes possibles de pannes et des vérifications correspondantes [36]

## 2.9 Technique de démontage et de remontage

### 2.9.1 Introduction :

En maintenance, il est possible de classer l'action de démontage en 2 catégories : **démontage total** lors de la révision complète d'une installation et **démontage partiel ou ciblé** pour remplacer un composant défectueux. Cette dernière catégorie nécessite [7] [37] la dépose d'un minimum de pièces afin

de réduire le temps d'intervention. C'est pourquoi il est souhaitable de préparer l'intervention et d'établir à cet effet une gamme de démontage qui fera apparaître l'ordre chronologique des opérations et les outillages nécessaires et éventuellement à réaliser. Pour le remontage, l'ordre est souvent l'inverse de celui du démontage. Il est cependant nécessaire de préciser les opérations de contrôle et de réglage à réaliser lors de ces opérations fig2.16.



**Figure 2.16** Opérations de contrôle et de réglage à réaliser lors de ces opérations [7][37]

## 2.9.2 Game de démontages

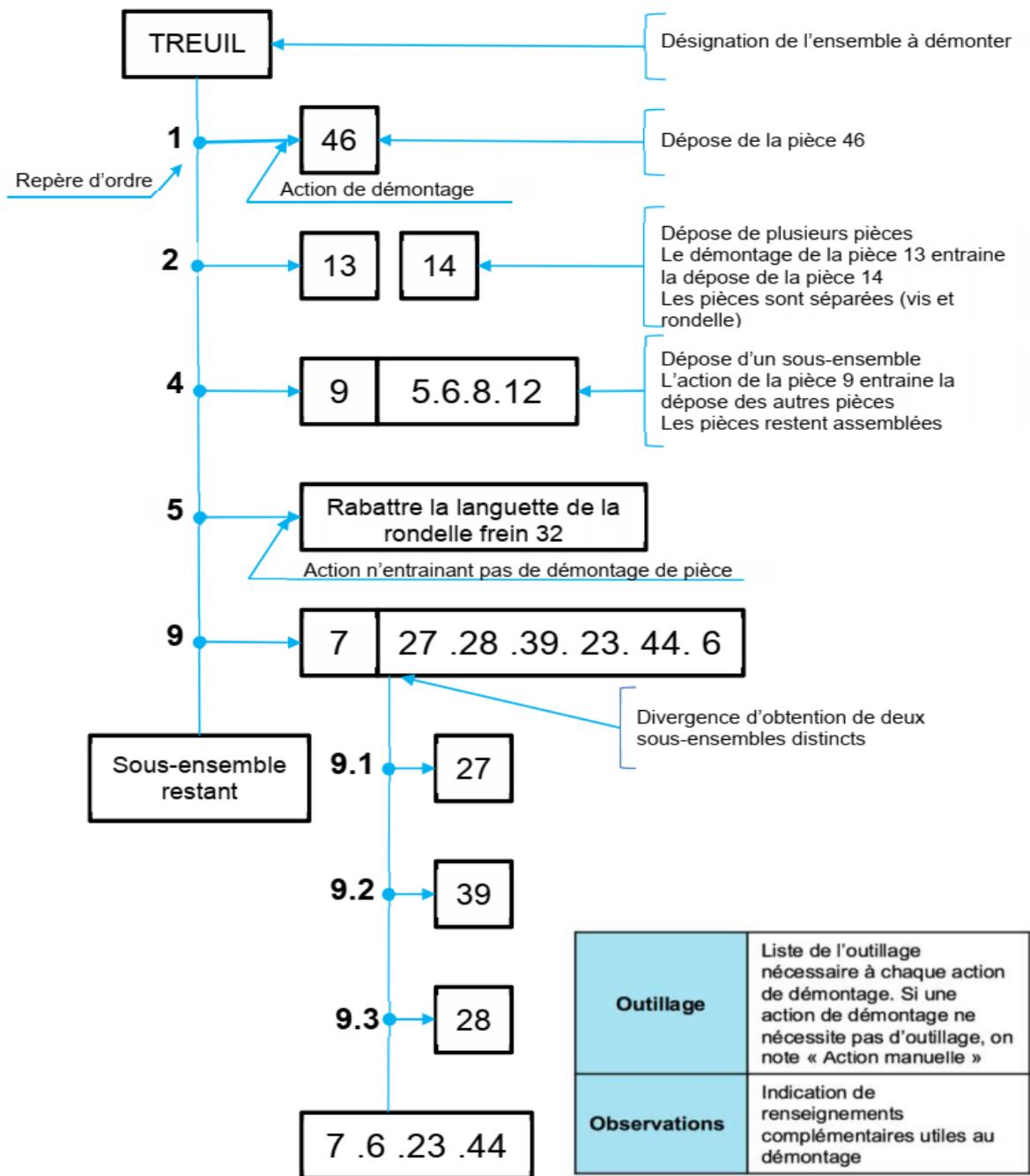


Figure 2.17 Exemple de présentation d'une gamme de démontage [7][37]

## 2.9.3 Méthodologie :

1. Etudier le dessin d'ensemble
2. Localiser l'élément à démonter dans le cas d'un démontage partiel
3. Rechercher les éléments de liaison (vis goupilles, etc.)
4. Repérer les sous-ensembles indépendants
5. Etablir la gamme de démontage fig. 2.18.
6. Repérer la position des pièces entre elles au cours du démontage si nécessaire
7. Utiliser les outils appropriés

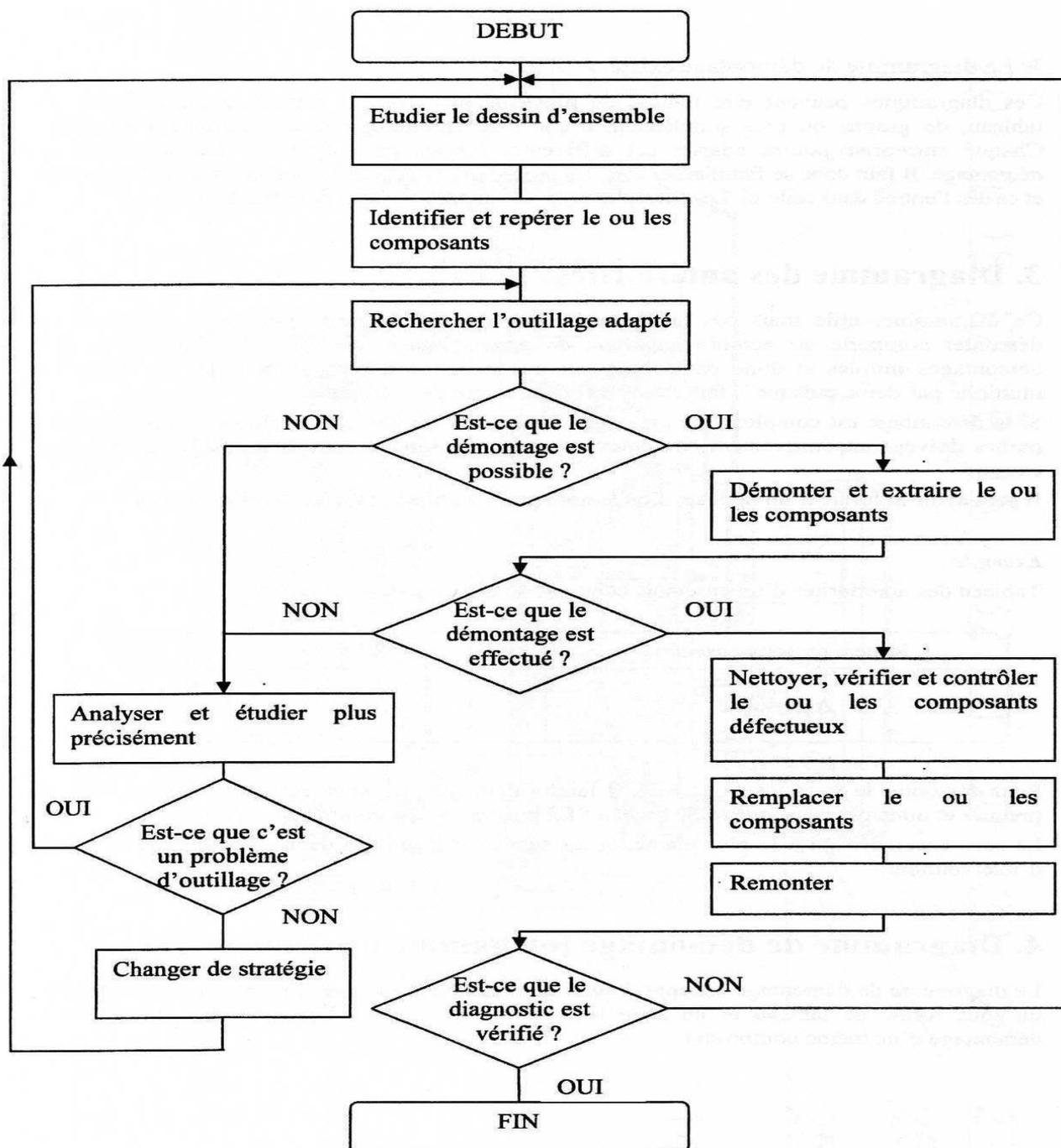


Figure 2.18 L'organigramme de démontage [7][37]

#### 2.9.4 Exemple : vérin hydraulique [7] [37].

Remise en état d'un vérin hydraulique double effet à simple tige version CTH avec tirants, d'alésage de  $\varnothing 80\text{mm}$ , de tige de  $\varnothing 45\text{mm}$  et d'une course de 100mm. Remplacement des joints de piston repères 07 et 06 et de tige repères 01 et 26 à l'aide des pochettes de joints SER JL prévus par le constructeur .L'intervention s'effectue à l'atelier de maintenance

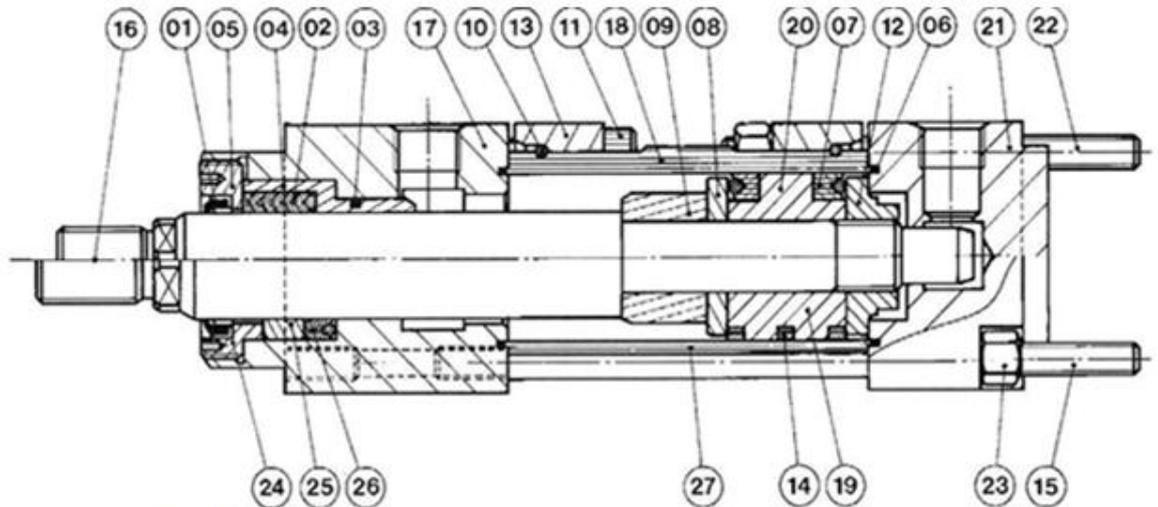


Fig2.19 Vérin hydraulique double effet : CPOAC version CTH et CBH

NOMENCLATURE

Repère	Désignation	Repère	Désignation	Repère	Désignation
01	Joint racleur de tige	10	Jonc d'arrêt	19	Piston segment
02	Joint chevron de tige	11	Vis d'assemblage (CBH)	20	Piston joint à lèvres
03	Joint de guide/fond	12	Écrou de tige	21	Fond arrière
04	Cartouche guide avant	13	Contre-bride (CBH)	22	Vis d'assemblage (CBH)
05	Bouchon tige normale	14	Segment de piston	23	Écrou de tirant
06	Joint de cylindre	15	Tirant d'assemblage (CTH)	24	Bouchon tige différentielle
07	Joint à lèvres de piston	16	Tige	25	Cale de joint à lèvres
08	Contre-plaque de piston	17	Fond avant	26	Joint à lèvres de tige
09	Bague d'amortissement	18	Cylindre (CBH)	27	Cylindre (CTH)

Tableau 2.2 Nomenclature

POCHETTE  
DE JOINTS  
DE RECHANGE

Composition des pochettes : SER JL de piston : 2 (07) + 2 (06).  
SER JL de tige : 1 (26) + 1 (01).  
SER JC de tige : 1 (02) + 1 (01).

ENCOMBREMENT

Vérin nu  
série CTH  
simple tige  
code : 30

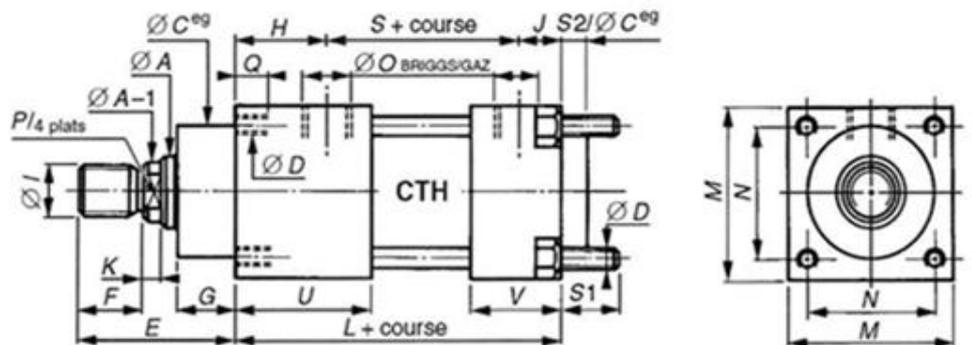
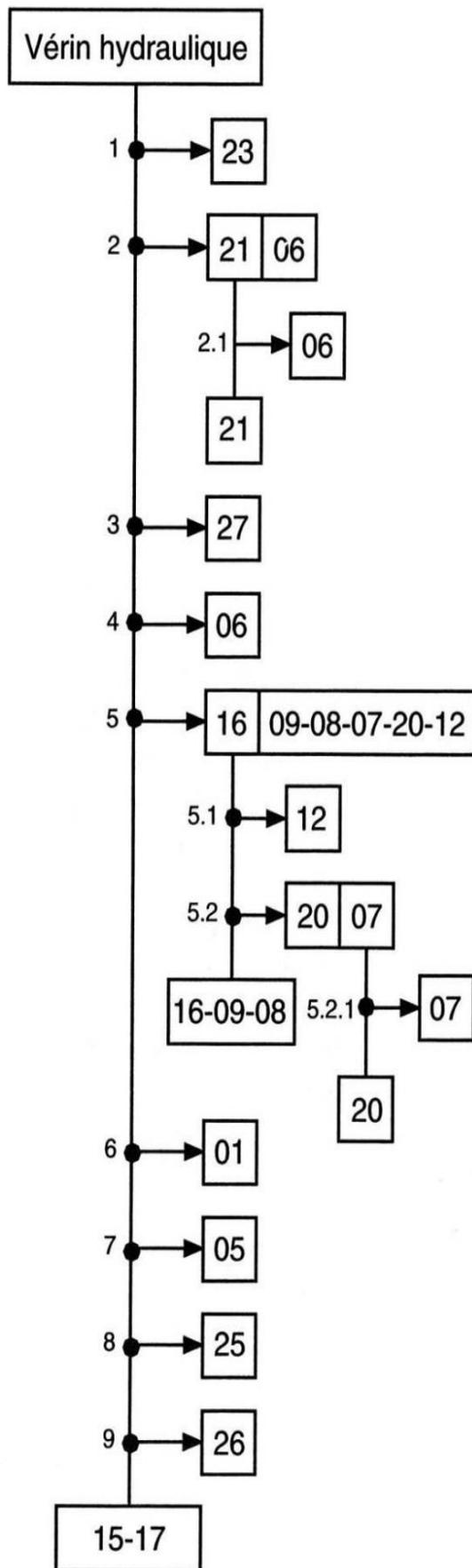


Fig2.20 Encombrement



Outillage	Observations
Clé plate de 24	Déposer les quatre écrous
Action manuelle	Dépose du fond arrière
Tournevis	Joint à changer
Action manuelle	Dépose du cylindre
Tournevis	Joint à changer
Action manuelle	Dépose de la tige
Clé plate de 36	Prévoir deux clés
Action manuelle	Dépose du piston
Action manuelle	Dépose de deux joints Joints à changer
Outillage spécial	Joint à changer
Clé à ergots	Dépose du bouchon
Action manuelle	
Outillage spécial	Joint à changer

Figure 2.21 Exemple de vérin hydraulique d'une gamme de démontage [7] [37]

### 2.9.5 Précautions

Le montage et le démontage sont [7] [37] des opérations de finition. Ils doivent être effectués par des opérateurs soigneux, observateurs, capables d'initiative et de raisonnement. Pour cela, ces derniers devraient disposer du dossier machine :

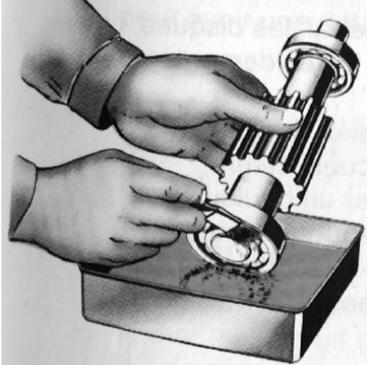
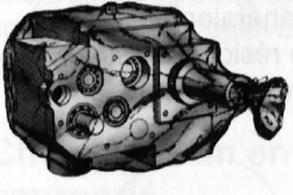
- Dessin d'ensemble, précisant la position relative des pièces ou éléments à assembler.
- Nomenclature, indiquant le nom et le nombre des pièces.
- Cahier des charges, spécifiant les conditions de fonctionnement de la machine, la caractéristique des produits fabriqués, la cadence de production.

### 2.9.6 Règles à Respecter

- Éviter l'emploi du marteau et proscrire la clé à molette, utiliser les outils et instruments appropriés.
- Ne jamais forcer sur un élément dont vous n'êtes pas certain de la fonction (sens de dévissage si le pas est gauche)
- Repérer la position des pièces soit réglées, alignées ou calées.
- Prendre garde à ne pas détériorer les joints et les remplacer s'ils sont abîmés
- Nettoyer les pièces au fur à mesure du démontage et au besoin enlever les bavures provenant d'un matage éventuel.
- Ranger les pièces au fur à mesure et si possible dans des caisses en plastique.
- Replacer les vis en les engageant seulement sur quelques filets. Cette opération facilitera le remontage

**Nota :** En début de gamme de démontage, écrire la procédure de consignation. En fin de gamme de remontage, écrire la procédure de déconsignation. Effectuer le démontage avec le maximum de prudence et de réflexion afin d'éviter tout risque d'erreur pouvant aggraver l'importance de la réparation

Ne pas oublier les mesures de propreté telles que le nettoyage et l'emballage des pièces dès que possible fig.2.22

Nettoyage des pièces	Couverture totale de la pièce démontée	Couverture partielle
		

**Fig.2.22** Nettoyage des pièces Couverture totale de la pièce démontée Couverture partielle [7] [37]

## 2.9.7 Vocabulaire

### a. Vocabulaire du Démontage :

#### Mise en Sécurité

Prendre connaissance et appliquer les Procédures de Consignation ou Mise en Sécurité des Personnes et des Biens :

- ❑ Apposer la Pancarte ARRET MAINTENANCE
- ❑ Consigner le Système (Cadenas, Sectionneurs)
- ❑ Purger le Système (Air comprimé, Huile)
- ❑ Neutraliser les mouvements en litant les systèmes de transmission (courroies, chaînes, accouplements)

#### Vidanger

Vider le contenu d'un mécanisme des produits de lubrification usés (Huile, Graisse)

#### Nettoyer

Oter les impuretés de façon à permettre l'examen d'éléments ou de sous-ensembles et en faciliter la manipulation

#### Repérer

Marquer par de légers coups de pointeau la position des éléments entre eux avant démontage ou dépose

#### Dévisser

Utiliser un outil de démontage afin de libérer un élément (généralement un élément fileté, vis ou écrou) sans pour cela le déposer

#### Déposer

Retirer et poser sur un support un élément ou sous-ensemble

Dévisser

#### Chasser

Pousser à l'aide d'un outil approprié un élément ou sous-ensemble hors de son logement

#### Extraire

Action d'utiliser un extracteur

#### Déplier

Rabattre un élément en tête afin de le ramener à sa position initiale (Rondelles MB servant au réglage du jeu de fonctionnement des Roulements) L'élément déplié est à remplacer pour des raisons de sécurité

### b. Vocabulaire du remontage [7] [37] :

#### Engager

Replacer un élément ou sous-ensemble sur un Arbre ou dans un Logement

#### Visser

Actionner un élément fileté pour l'amener en contact avec une autre pièce du Mécanisme sans pour cela bloquer cet élément (Réglage)

#### Visser

Bloquer -Amener l'élément fileté en contact d'une autre pièce du mécanisme et l'immobiliser pour le freiner (Couple de serrage)

#### Remettre à Niveau

Introduire un lubrifiant neuf dans le mécanisme en respect tant les Caractéristiques et Quantités préconisées par (le Constructeur)

#### Reposer

Replacer un sous-ensemble dans la position qu'il occupait avant la Dépose

**Régler**

Mettre au point le Fonctionnement d'un Ensemble ou, sous-ensemble

**Essayer**

Faire fonctionner l'Ensemble ou le Sous ale de façon à parfaire les Réglages afin de rendre le Système performant

**Contrôler**

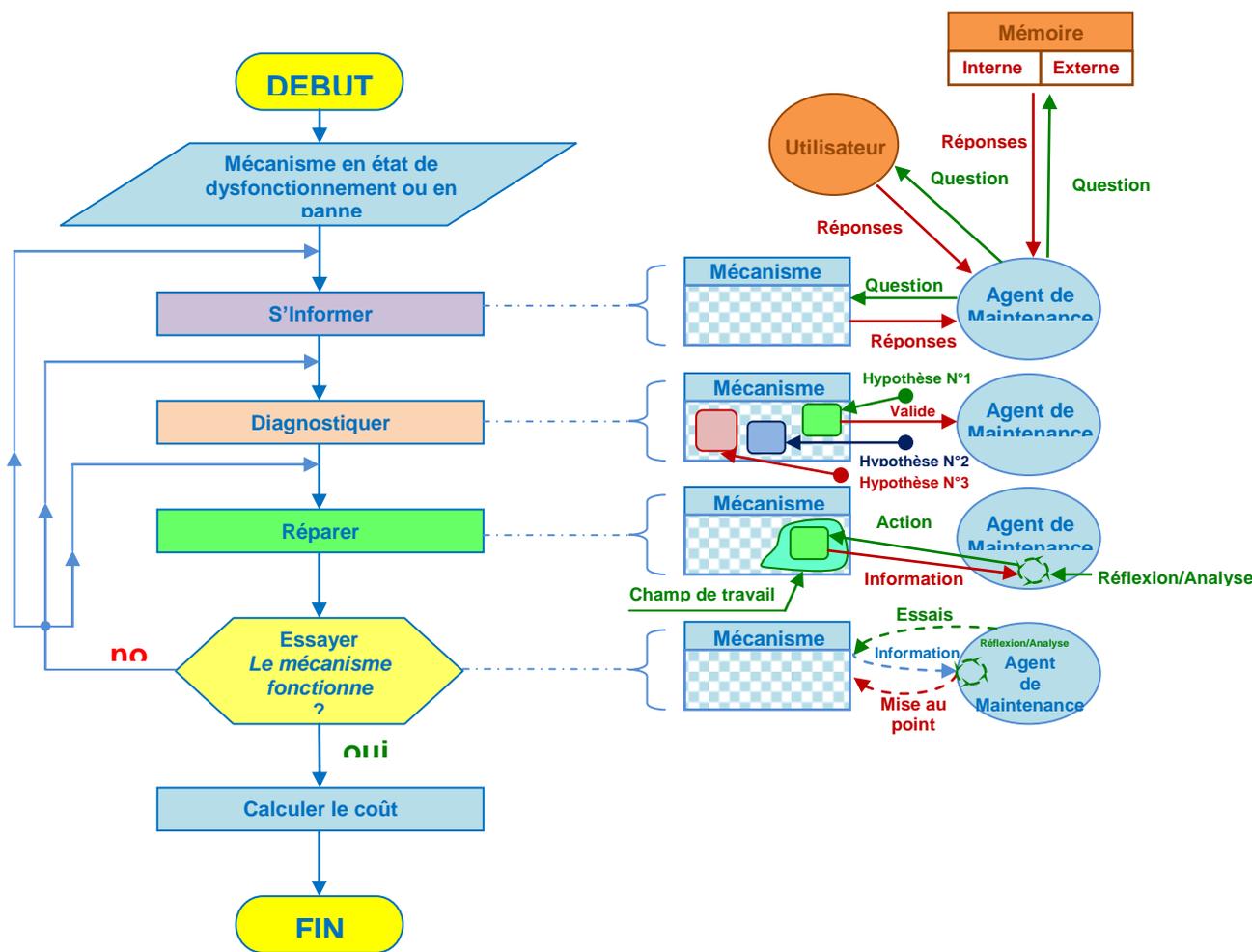
Vérifier ou Mesurer les performances au s'assurer de la conformité d'un élément (Pièce de Rechange

**2.10 Essais et diagnostics avant le dépannage**

**2.10.1 Méthode de recherche de panne.**

**a. Organisation générale de l'intervention.**

Pour faciliter la [16] [20] [21] recherche de causes de pannes nous allons utiliser plusieurs organigrammes appelés également algorithmes de dépannage. Cette activité impose de communiquer avec l'environnement. Fig. 2.23.

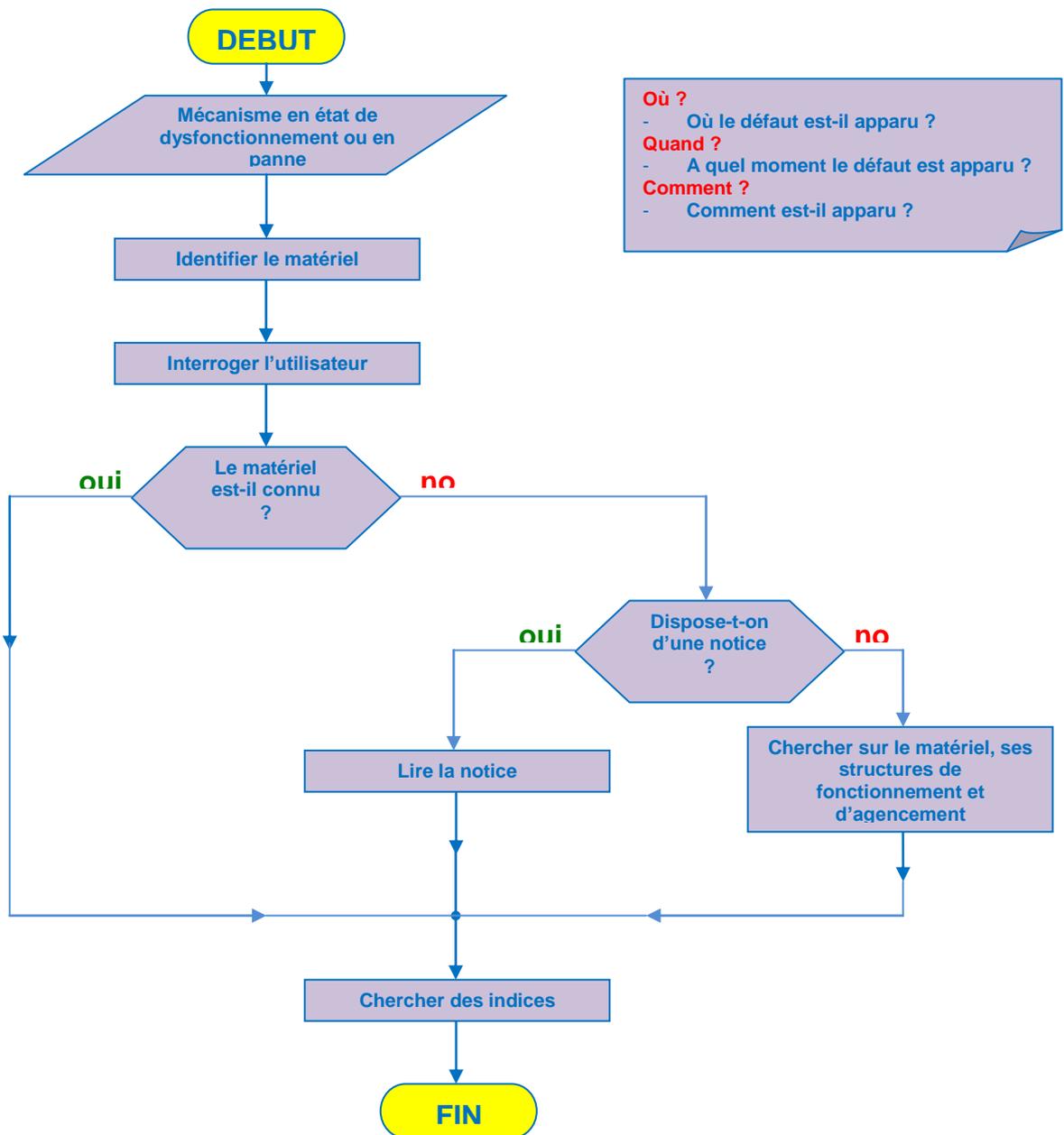


**Figure 2.23** Organisation générale de l'intervention. [20] [21]

- On commencera par interroger l'utilisateur : « Que s'est-il passé au moment où la panne est survenue ? (On orientera nos questions en fonction des réponses obtenues).
- Puis nous interrogerons la machine : « A quel niveau de fonctionnement la machine s'est elle arrêtée ? » (Historique de fonctionnement, programme de l'automate en mode Diagnostic...).

### b. S'informé

- Il est important de noter toutes les informations que nous pouvons recueillir car elles seront nécessaires à l'élaboration du raisonnement logique et structuré qui nous amènera à la panne. [25] [36] [37]
- Il faudra rechercher la cause de la panne pour éviter de la reproduire à la remise en service après dépannage ou réparation. Il ne faut pas négliger les conséquences que cette panne aura pu provoquer sur d'autres éléments du mécanisme ou du système.



**Figure 2.24** Raisonnement logique et structuré qui nous amènera à la panne. [36]

### c. Diagnostiquer.

Algorithme permettant d'organiser le Diagnostic.

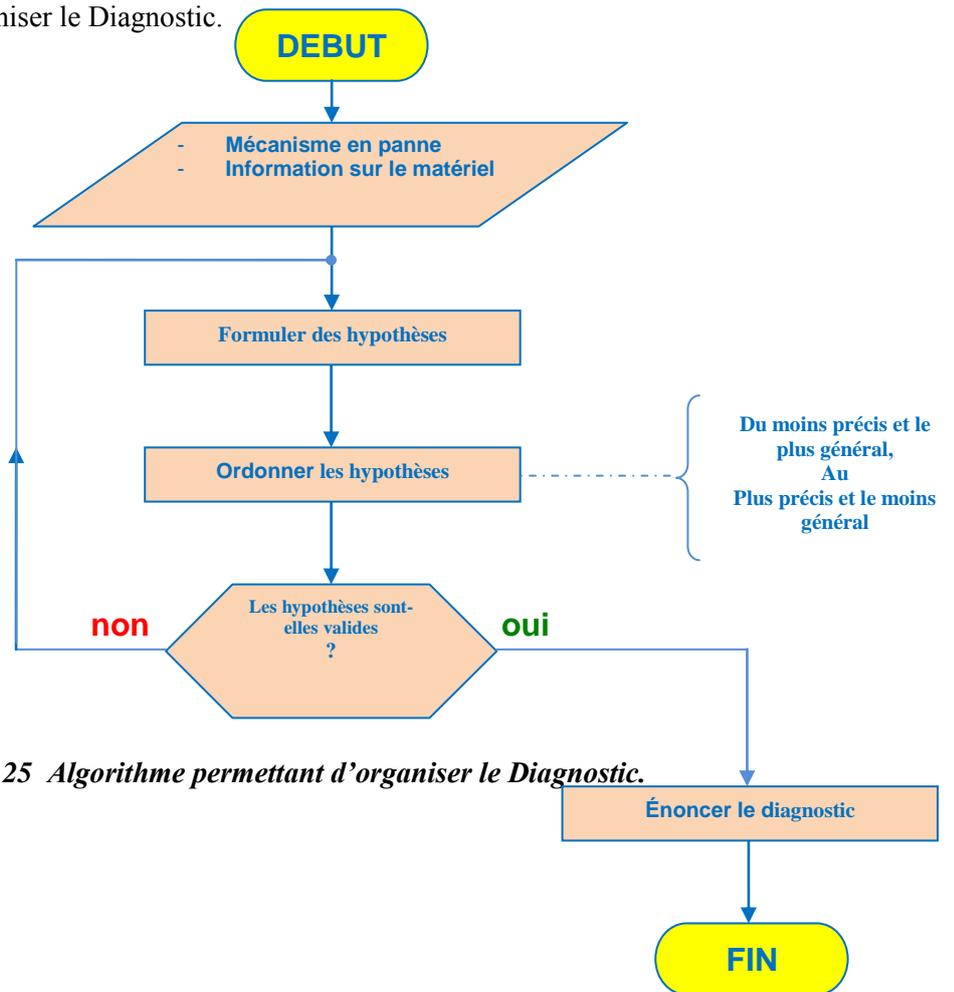


Figure 2.25 Algorithme permettant d'organiser le Diagnostic.

#### Démarche :

- 1 → - Pour une défaillance donnée il faut énumérer toutes les causes possibles (hypothèses).
- 2 → - Classer les hypothèses :  
Ce classement sera réalisé en fonction de critères jugés prioritaires, qui seront par exemple à choisir parmi les critères suivants :
  - probabilité de la cause (fréquence d'apparition supposée),
  - rapidité de l'intervention,
  - type de matériel disponible pour établir le diagnostic.
- 3 → - En fonction du critère de probabilité retenu il faudra hiérarchiser les hypothèses du moins précis et le plus général vers le plus précis et le moins général
- 4 → - Vérifier chacune des hypothèses en utilisant des appareils de contrôle adaptés pour situer précisément la panne. **Attention, cette activité se fait sous tension, il faudra être équipé d'un Equipement de Protection Individuelle et être vigilant sur la sécurité.**

d. Fiche facilitant le Diagnostic.

<p>Symptômes de la défaillance :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<b>Fiche de Diagnostic</b>				
<p>Émettre les hypothèses</p>	<p>Hypothèses :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>				
<p>Les classer</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> </tr> </table>	<p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p>		
<p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p>				
<p>Oui</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;"> <p>Défaut Identifié</p> </td> <td style="width: 15%; text-align: center;"> <p>Non</p> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> <td style="width: 15%; padding: 5px;"> <p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> </tr> </table>	<p>Défaut Identifié</p>	<p>Non</p>	<p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>Défaut Identifié</p>	<p>Non</p>	<p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p>		
<p>Oui</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;"> <p>Défaut Identifié</p> </td> <td style="width: 15%; text-align: center;"> <p>Non</p> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> <td style="width: 15%; padding: 5px;"> <p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> </tr> </table>	<p>Défaut Identifié</p>	<p>Non</p>	<p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>Défaut Identifié</p>	<p>Non</p>	<p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p>		
<p>Oui</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;"> <p>Défaut Identifié</p> </td> <td style="width: 15%; text-align: center;"> <p>Non</p> </td> <td style="width: 50%; padding: 5px;"> <p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> <td style="width: 15%; padding: 5px;"> <p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> </tr> </table>	<p>Défaut Identifié</p>	<p>Non</p>	<p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
<p>Défaut Identifié</p>	<p>Non</p>	<p>Hypothèses N° :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Contrôle / Mesure / Vérification</p> <p>_____</p> <p>_____</p>		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; padding: 5px;"> <p>Défaillance :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> <td style="width: 33%; padding: 5px;"> <p>Causes :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> <td style="width: 33%; padding: 5px;"> <p>Conséquence :</p> <p>_____</p> <p>_____</p> </td> </tr> </table>	<p>Défaillance :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Causes :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Conséquence :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>		
<p>Défaillance :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Causes :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>Conséquence :</p> <p>_____</p> <p>_____</p>			

Figure 2.26 Fiche facilitant le Diagnostic.

### e. Réparer

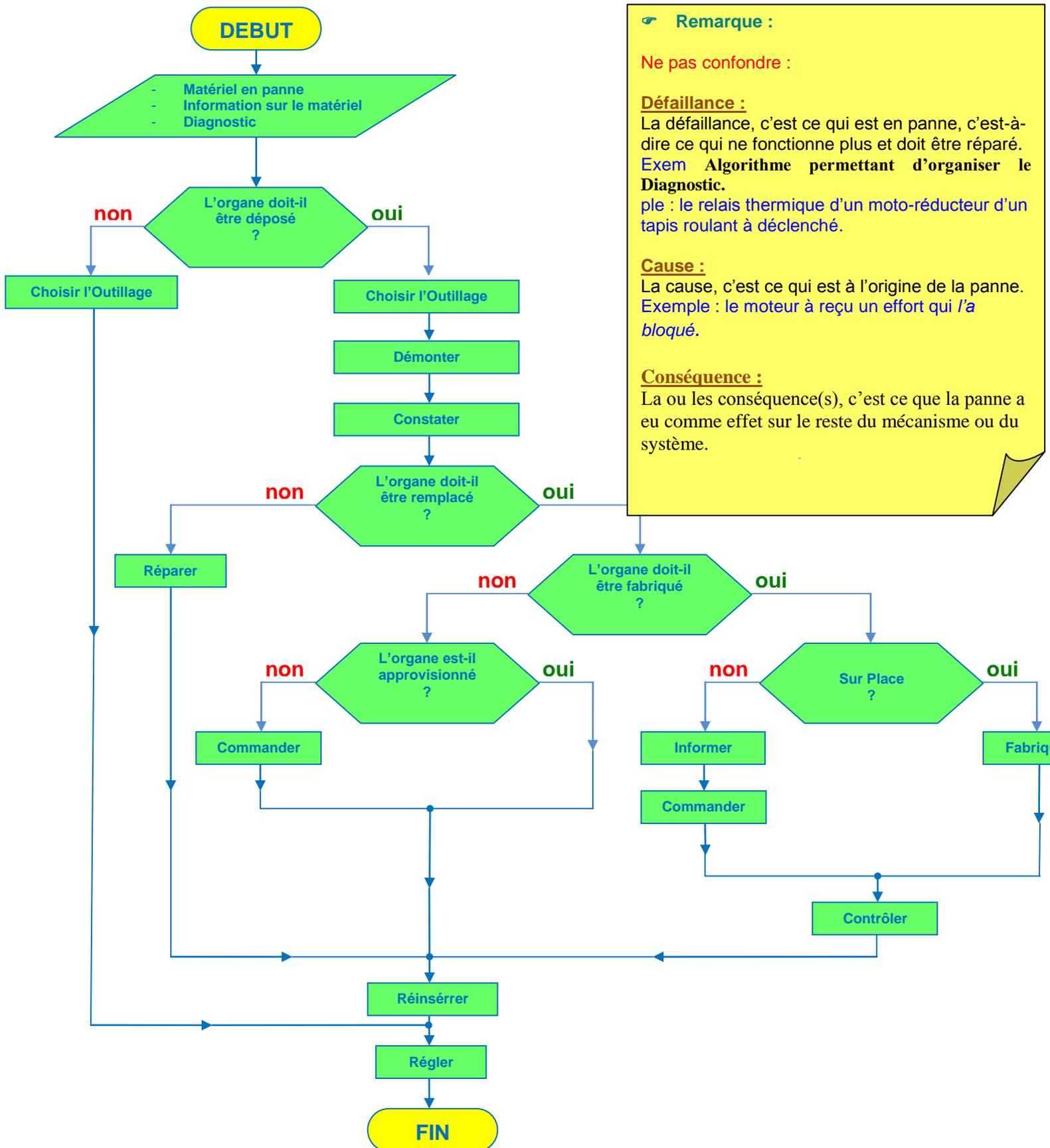
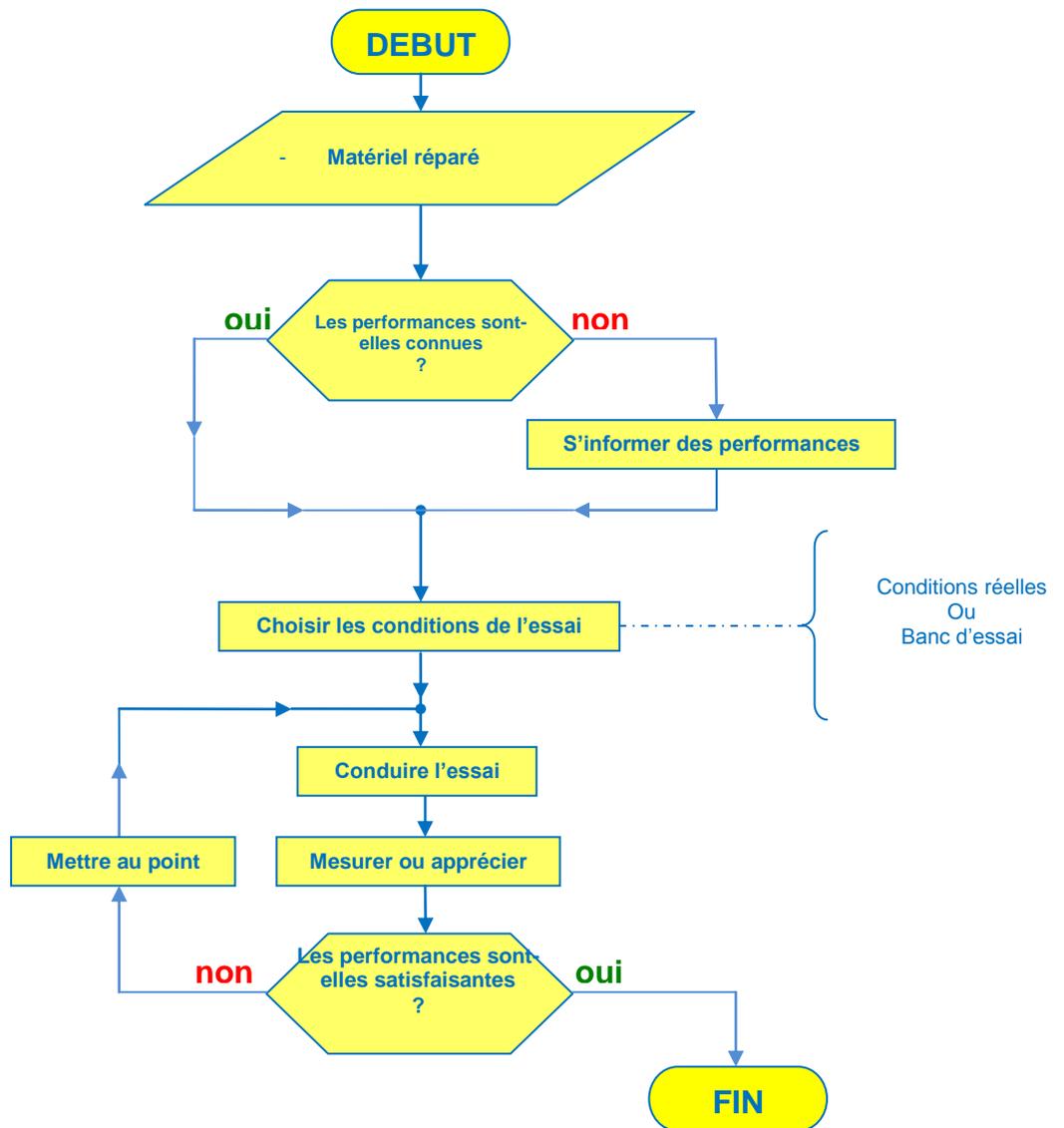


Figure.2.27 Algorithme permettant d'organiser le Diagnostic. (Réparé)

*f. Essayer.*

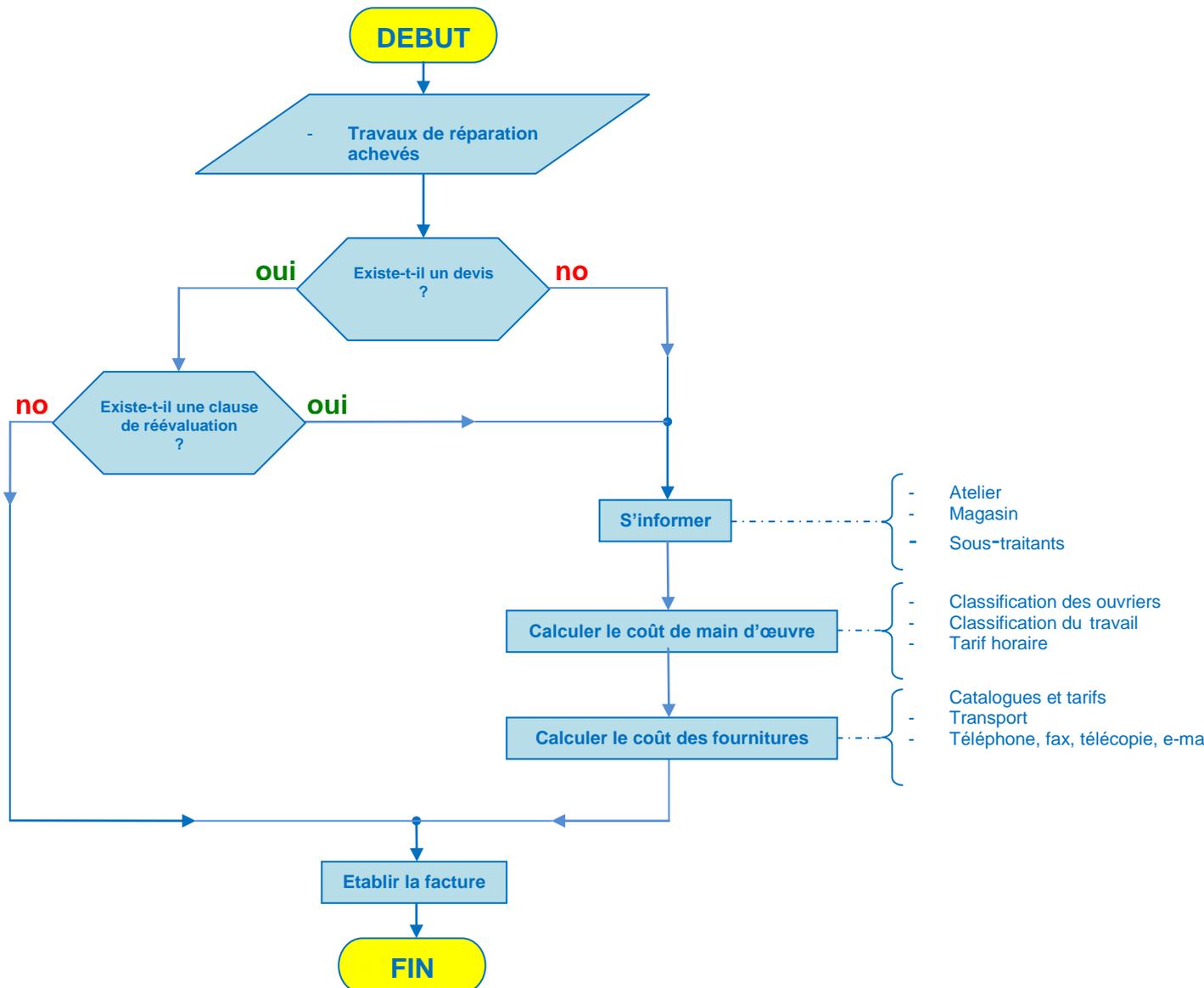


**Figure. 2.28** Algorithme permettant d'organiser le Diagnostic. (Réparé)

**Attention :**

- Les essais doivent être faits suivant une procédure de sécurité qui protège les personnes puis le bien.
- On vérifiera la conformité du cycle, en tenant compte des réglages.
- Enfin, on vérifiera la qualité du produit, et on corrigera les réglages si celui-ci n'est pas conforme.
- Lorsque le système est au point, on le remettra à l'opérateur ou au client, en le faisant fonctionner en sa présence et en lui faisant signer un document de réception de système. C'est la garantie pour le technicien de maintenance qu'il a fait son travail correctement.

**g. Calculer le coût.**

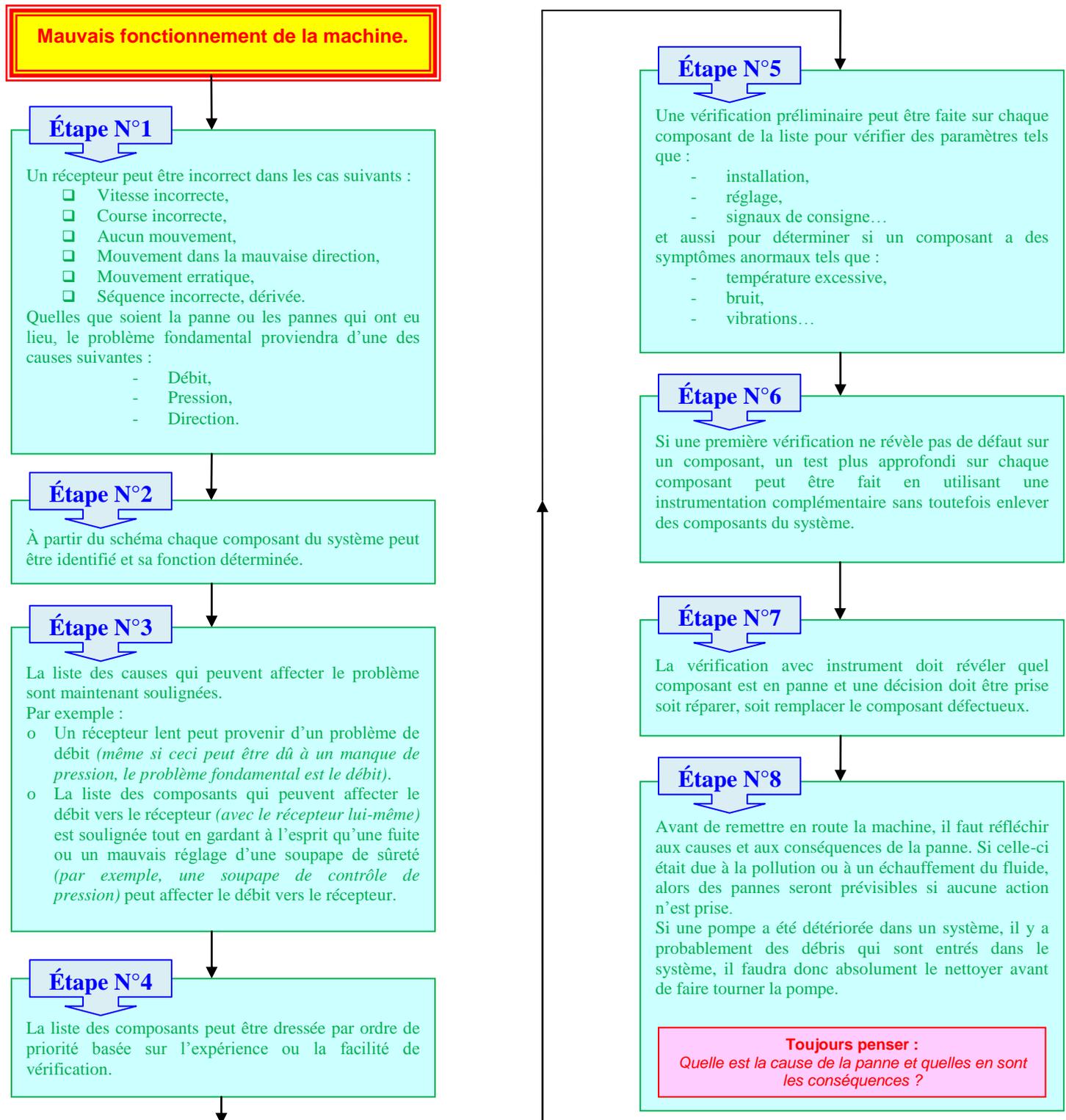


**Figure. 2.29** Algorithme permettant d'organiser le Diagnostic. (Calculer le coût.) [25] [36] [37]

☞ **Remarque :**

Un organigramme peut faire appel à un autre, qui ensuite peut en appeler un suivant, et ainsi de suite...

## 2.11 Procédures d'analyse du mauvais fonctionnement des machines. [25] [36] [37]



**Figure 2.30** Procédures d'analyse du mauvais fonctionnement des machines. [25] [36] [37]

Le diagnostic pour la recherche de causes de pannes se présente sous forme de diagramme.

Il a pour avantage de remplacer plusieurs organigrammes

## Chapitre 3 Dépannage Des Différentes Parties De Machines Electriques

### 3.1 Introduction :

Les moteurs sont présents dans tous [38] les environnements industriels fig. 3.1 et sont de plus en plus complexes et techniques, ce qui rend parfois difficile leur exécution optimale. Il est important de comprendre que les causes de problèmes moteur et d'entraînement ne sont pas limitées à un domaine [39] de compétences unique. En effet, aussi bien les problèmes mécaniques qu'électriques peuvent mener à des pannes moteur. Il est donc important de s'armer de bonnes connaissances pour éviter les périodes coûteuses d'indisponibilité et améliorer la disponibilité des ressources

### 3.2 Dépannage de la partie mécanique, dépannage de la partie électrique d'une machine électrique

Les ruptures de [21] l'isolement des enroulements et l'usure des roulements sont les deux principales causes de panne moteur, mais ces problèmes résultent eux-mêmes de raisons très différentes. Le présent document explique comment identifier les 13 causes les plus fréquentes de rupture [21] [26] de l'isolement des enroulements et de dysfonctionnement des roulements. Fig.3.1.

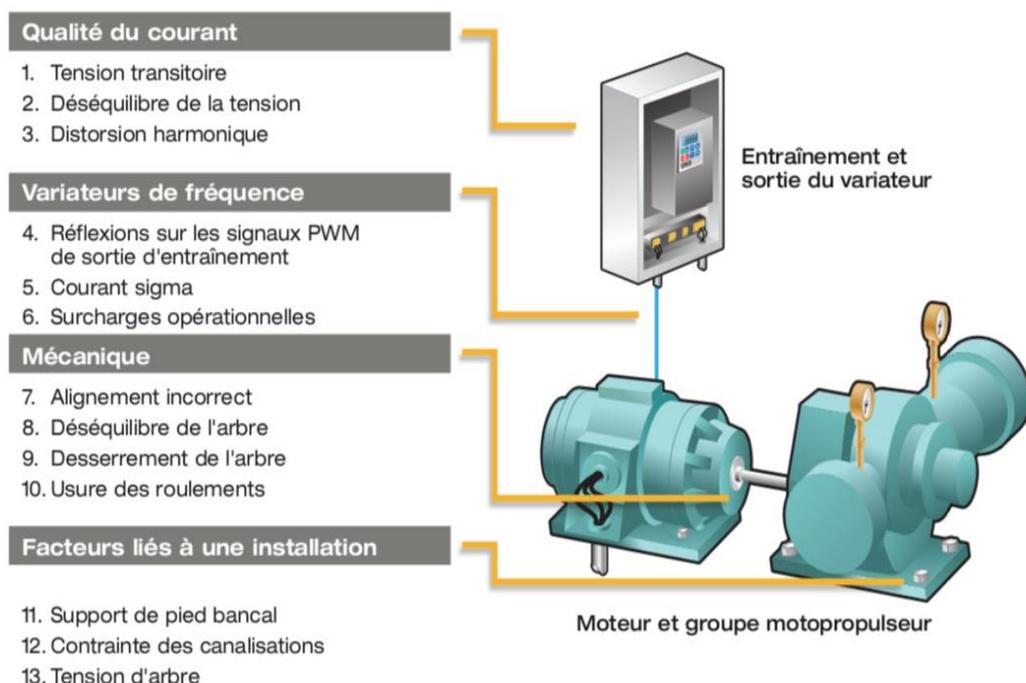


Fig.3.1 Moteur et groupe motopropulseur [39]

## Chapitre 4 *Généralités sur la maintenance assistée par ordinateur(MOA)*

### 4.0 *Introduction :*

Le terme « informatique industrielle » désigne la branche de l'informatique [42] regroupant l'ensemble des techniques de conception, d'analyse et de programmation des systèmes informatiques à vocation industrielle. Constituant un domaine très vaste, elle trouve de multiples applications dans l'industrie. Mais quels sont les secteurs et les métiers en informatique industrielle?

À l'heure où ce sont de plus en plus les robots qui travaillent en usine sur les chaînes de montage, l'informatique industrielle a plus que jamais sa place dans le domaine, que ce soit par le biais de :

- **FAO**, fabrication assistée par ordinateur, qui permet de programmer et piloter les outils de production
- **GPAO**, ou gestion de production assistée par ordinateur, qui offre un suivi du cycle complet de la production depuis l'achat des matières premières jusqu'à la livraison du produit fini
- **MAO**, maintenance assistée par ordinateur

C'est donc grâce à l'informatique industrielle que l'on programme les automates affectés à la production, mais également que l'on détecte leurs pannes et que l'on planifie leur maintenance. Bien souvent, c'est même la chaîne de fabrication, voire l'usine entière qui est pilotée par l'outil informatique, que ce soit un seul ordinateur central ou un réseau d'ordinateurs reliés ensemble.

### 4.1 *Informatique Industrielle : Une Conception Assistée Par Ordinateur*

Les installations et les équipements industriels [42] devenant de plus en plus complexes et les coûts d'intervention sur le site étant de plus en plus élevés, différents fabricants ont mis au point des logiciels de Maintenance Assistée par Ordinateur. Le but principal de ces logiciels de MAO est d'économiser l'énergie gaspillée par une maintenance préventive systématique tout en réduisant les opérations de maintenance correctives.

Le logiciel de MAO indique journallement aux responsables de l'entretien de l'installation ou de l'équipement sur quelles parties ils doivent intervenir, en leur précisant les outils et les pièces de rechange nécessaires et en leur donnant les consignes et procédures à appliquer pour la maintenance et l'entretien.

C'est également l'informatique industrielle qui permet de réaliser la conception assistée par ordinateur (CAO) et le dessin assisté par ordinateur (DAO). Les logiciels et les techniques de modélisation géométrique contribuent à élaborer des produits et des outils pour les fabriquer, puis à les tester virtuellement. On utilise ces technologies dans de nombreux domaines notamment en :

#### **4.1.1 Mécanique**

Dont la mécanique de précision, pour modéliser [42] de nombreuses contraintes liées entre autre aux différents matériaux utilisés. Les logiciels modernes permettent de concevoir les objets en trois dimensions, de plier virtuellement les matériaux, de percer les pièces ou encore de faire des retouches.

#### **4.1.1 Electronique,**

Pour concevoir des circuits électroniques [42] et des microprocesseurs. La suite de logiciels permet de réaliser la saisie schématique du circuit, la simulation, le placement des composants et le routage. La CAO est particulièrement utile dans le cas des circuits imprimés, notamment lorsque le tracé des pistes doit être effectué sur plusieurs couches.

#### **4.1.2 Electrotechnique,**

Pour élaborer les plans de câblage [42] électrique pour la distribution d'énergie, l'industrie, l'automobile ou encore l'aéronautique. L'outil informatique permet de gérer le projet dans son ensemble, aussi bien les plans que les liens entre les composants, les borniers ou les faisceaux de câblage. Les logiciels d'électronique offrent deux types de conception : le mode symbolique, et depuis plus récemment, le mode objet. Cette technique permet d'effectuer des modifications d'appareils et de câbles ainsi que des mises à jour sur le projet en temps réel et ce, sans se soucier de devoir régénérer, par exemple des nomenclatures ou des borniers.

#### **4.1.3 Architecture,**

Notamment dans le cadre des gros projets. Les présentations des dossiers auprès des décideurs se font souvent au moyen de dessins en 3D.

#### **4.1.4 Urbanisme Et La Planification Urbaine,**

Afin de concevoir des bâtiments et des quartiers entiers grâce à la modélisation en trois dimensions. Les logiciels 3D permettent en outre d'intégrer des éléments [42] provenant de sources hétérogènes telles que les sociétés d'autoroute, les collectivités locales ou les entreprises de travaux publics.

#### **4.1.5 Médecine.**

Dans le secteur médical, l'informatique industrielle trouve [42] des applications aussi bien dans la conception de matériel orthopédique que dans le domaine moléculaire, grâce à la CAO moléculaire qui permet de numériser des molécules existantes mais également d'en concevoir de nouvelles.

L'informatique industrielle est de nos jours couramment utilisée dans de nombreux domaines. Étroitement liée à l'avenir de l'industrie, il s'agit d'un secteur en constante expansion qui recrute régulièrement: une branche prometteuse où les postes à pourvoir et les rémunérations offertes sont souvent parmi les plus intéressants sur le marché des emplois en informatique

La Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur est constituée [8] d'une base de données (historique) qui est alimentée par le personnel de maintenance via un formulaire. Des pannes sont mises en mémoire pour certains équipements (date, temps passé, intervenant, matériel remplacé, etc.). La base de l'historique est l'inventaire des équipements: appelé découpage fonctionnel. Chaque GMAO est personnalisée selon les besoins spécifiques d'exploitation de l'historique ou le fonctionnement d'un site

## **4.2 Notion Générale De MAO (Maintenance Assistée Par Ordinateur)**

Étant donnée la masse d'informations qu'il est nécessaire de manipuler dans le cadre d'une activité de maintenance, la présence d'outils informatiques de saisie, de stockage, et de traitement de ces informations s'avère indispensable. De nombreux logiciels existent donc sur le marché, que l'on peut classer en 5 catégories.

La Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur est constituée [8] d'une base de données (historique) qui est alimentée par le personnel de maintenance via un formulaire. Des pannes sont mises en mémoire pour certains équipements (date, temps passé, intervenant, matériel remplacé, etc.). La base de l'historique est l'inventaire des équipements : appelé découpage fonctionnel. Chaque GMAO est personnalisée selon les besoins spécifiques d'exploitation de l'historique ou le fonctionnement d'un site

## **4.3 Les Fonctions Essentielles D'un Logiciel De GMAO**

GMAO est l'acronyme [43] de gestion de maintenance assistée par ordinateur. Il s'agit d'un logiciel qui aide l'équipe de maintenance d'une entreprise dans sa tâche quotidienne. Basiquement on pourrait imaginer réaliser une GMAO avec un simple tableur (Excel), mais il existe une panoplie de logiciels plus ou moins bien faits qui facilitent cette intégration. Les fonctions essentielles d'un logiciel de GMAO sont:

- ✚ La gestion des équipements: dénomination, arborescence, liens entre eux, localisation, gestion d'informations dédiées (PDF, informations sur une même famille, ...), ...
- ✚ La gestion des articles et des stocks: magasins, quantités en stock (min, max, de réapprovisionnement), lien avec un OT, lien avec un équipement, fournisseurs, ...
- ✚ La gestion de la maintenance: demande d'intervention, gestions des demandes, rapport d'intervention, routes, ...
- ✚ La gestion des achats: gestion des factures, commandes automatiques, réceptions,

## **4.4 Caractéristiques Générales :**

Un logiciel de GMAO permet [6][7] [8] de construire une base de données dans laquelle on retrouvera :

- ✚ Les articles du magasin,
- ✚ Les fournisseurs,
- ✚ La gestion des entrées et sorties des articles,
- ✚ La gestion des achats,
- ✚ La gestion des actifs (équipements et sous ensembles),
- ✚ La gestion des interventions correctives,
- ✚ La gestion des interventions préventives,
- ✚ La gestion des demandes d'interventions,
- ✚ Les analyses financières et le suivi des indicateurs de maintenance,
- ✚ La gestion des contacts clients et la facturation

## **4.5 Intérêt De La MAO**

Les logiciels les plus connus en Europe [43] sont : **CARL Master, Coswin, Maximo, OptiMaint, ... Senergy** n'y est pas encore très implanté et arrive sur un marché déjà bien en place. Une entreprise n'a pas les mêmes besoins qu'une autre et un logiciel conviendra peut-être à une alors qu'une

autre entreprise fera un autre choix. Il faut réfléchir avant de prendre un logiciel pour ne pas se retrouver avec une GMAO qui ne conviendrait pas à l'entreprise (perte de temps et d'argent).

Dans notre cas, le choix n'a pas été nécessaire puisque c'est le partenaire qui apporte le logiciel, il faudra s'y adapter si une fonctionnalité requise n'est pas présente.

- ✚ la diminution de la consommation globale d'énergie (un matériel bien Entretenu consomme moins d'énergie);
- ✚ la réduction du temps consacré à la maintenance préventive (meilleure planification);
- ✚ la diminution des heures supplémentaires (panne réparée en dehors des heures normales);
- ✚ la diminution du temps consacré au correctif;
- ✚ la diminution des pertes de production due aux pannes;
- ✚ la diminution du temps consacré à la gestion administrative du service maintenance
- ✚ prolongation de la durée de vie des matériels due à une maintenance préventive mieux faite;

#### **4. 6 Elaboration D'un Plan MAO**

L'élaboration d'un plan dans ce [6][7] [8] domaine consiste à structurer le système d'information et d'organisation du service maintenance en vue de divers objectifs fondamentaux.

##### **1. Création de systèmes d'élaboration de la politique de maintenance**

- Définition des politiques de maintenance,
- Programme de base de la maintenance,
- Gamme de maintenance.

##### **2. Fiches de maintenance**

Création de systèmes liés au déclenchement des interventions [6][7] [8] préventives ou correctives:

- diagnostic, recherche de l'origine de la panne et peut-être de sa cause,
- gestion des demandes des travaux correctifs et d'amélioration,
- déclenchement des interventions préventives.

##### **3. Création de modules liés à l'exécution des travaux**

- préparation des interventions,
- planification des interventions et des ressources,
- lancement,
- suivre l'exécution des travaux,
- créer une banque de données maintenance (historique)

La mise en place de tels systèmes se fait par deux démarches complémentaires;

##### **4. une sur le site «production» :**

- connaissance des réseaux d'informations,
- des données liées au matériel,
- des rapports d'intervention,
- connaissance des stocks pièces de rechange,
- connaissance des limites des interventions,

##### **5. une au niveau de la direction ou de siège:**

- connaissance des informations provenant des autres sites de production,
- des normes en vigueur dans la société,
- des objectifs liés à la maintenance, (amélioration de la disponibilité, extension de l'expérience pour s'autres unités).

6. ***Une stratégie informatique devra en découler en proposant des priorités :***

- codification (nomenclature),
- création de banques de données,
- utilisation des moyens informatiques existants, acquisition de nouveaux,
- suivi des résultats

#### ***4.7 Réussir sa GMAO (gestion de la maintenance assistée par ordinateur)***

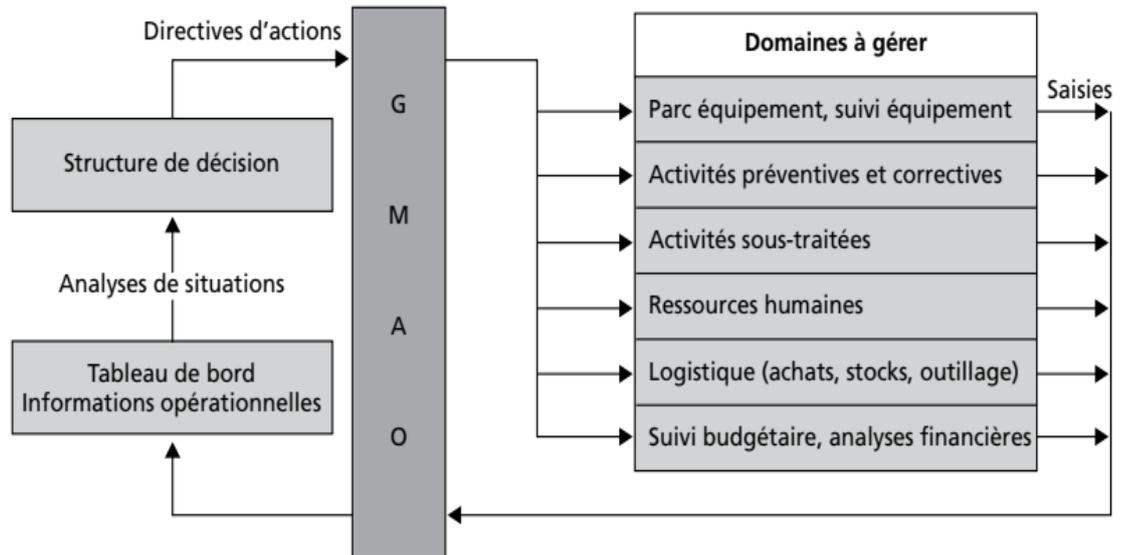
##### ***4.7.1 La fonction gestion : avant de parler GMAO, parlons gestion***

**« Gérer, c'est prendre des décisions en connaissance de cause »**

Si l'on accepte cette définition, on constate [6][7] [8] que chaque individu est naturellement appelé à gérer, au minimum, son propre budget et son emploi du temps. Dans l'entreprise, la gestion n'est plus l'apanage du « chef » : elle est très décentralisée et répartie sur plusieurs niveaux hiérarchiques aussi bien que sur chacune des fonctions. De plus, la gestion peut être une responsabilité individuelle ou une prise de décision collective. Chaque fonction obéit à des techniques de gestion spécifiques : on ne gère pas les stocks avec les mêmes outils que le personnel ou que le budget. L'essentiel de la gestion se faisant au niveau du bureau des méthodes et au niveau de la direction du service, avec ou sans l'aide d'une GMAO. Le modèle itératif « Observer, Réfléchir et Agir » Il est important de noter qu'il contient une potentialité de progrès, à partir de l'observation des résultats de l'action.

##### ***4.7.2 Application à la gestion du service maintenance***

Gestion itérative de la maintenance [6][7] [8] (avec support d'une GMAO) Fig.1.4 montre que les phases « productives » sont l'action, la connaissance et la décision ! Les structures d'analyse des informations puis de prise de décisions sont réparties entre le bureau des méthodes, le bureau d'ordonnancement et de logistique et la direction du service, en fonction de l'organisation en place. Les structures d'analyse des informations puis de prise de décisions sont réparties entre le bureau des méthodes, le bureau d'ordonnancement et de logistique et la direction du service, en fonction de l'organisation en place



**Figure 4.1** Gestion itérative de la maintenance (avec support d'une GMAO) [6].

#### 4.7.3 Les tendances évolutives des architectures des systèmes informatiques

##### a. Les tendances évolutives des Architecture client-serveur

Nous pouvons opposer deux architectures [6][7] de systèmes d'informatique :

- ✚ l'architecture centralisée, correspondant à une volonté de contrôler toute décision et toute information dans un mode de management fortement hiérarchisé (et peu compatible avec une maintenance efficace) ;
- ✚ la prolifération anarchique d'outils informatiques individuels (*personnel computer*) où chacun génère sa propre base de données et ses logiciels

##### b. Architecture Web

Dans ce type d'architecture, il n'y a plus de programmes exécutables installés au préalable sur les PC « clients » ce qui facilite leur maintenance informatique. Il y a deux serveurs (parfois regroupés physiquement dans un seul, mais logiquement distincts) : L'architecture Web facilite les communications à longue distance. [1]

##### c. Architecture type Citrix, Network Computing

Elle permet entre autres fonctions de transformer des applications client serveur en architecture Web.

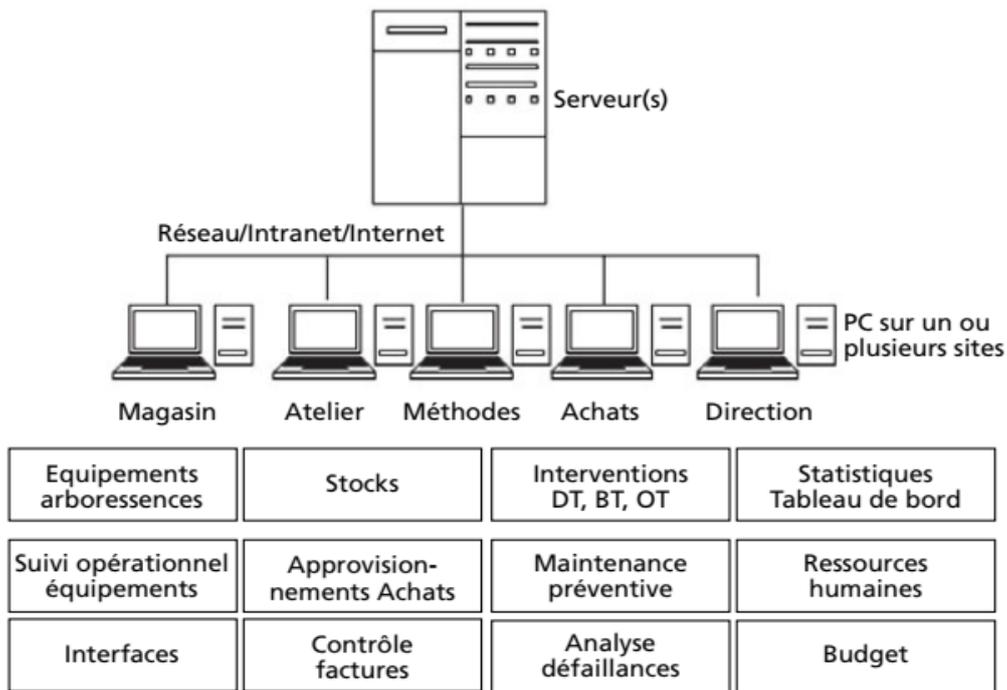
##### d. Systèmes de gestion des bases de données (SGDB)

Les premiers systèmes de GMAO ne comportaient pas [6][7] [8] de SGDB, les données étant alors réparties sur plusieurs fichiers. Aujourd'hui, les bases de données de type « relationnel » sont des systèmes complexes ayant pour fonction de *conserver*, de *gérer* et de *protéger* les données entrées dans un ordinateur, grand système ou micro-ordinateur. Pour les grands systèmes, la base de données la plus diffusée est Oracle. Citons aussi IBM, SQL Server. Pour les micro-ordinateurs, citons Access. Pour l'exploitant, au niveau de l'entreprise, le choix du SGDB est difficilement réversible car les logiciels applicatifs en comptabilité, finances, GPAO et GMAO ne communiquent que s'ils partagent la même

base de données. D'où l'importance des critères de « capacité d'évolution » et de « pérennité » de l'éditeur lors du choix d'un SGDB

#### 4.7.4 Les progiciels de GMAO : analyse des différents modules fonctionnels

Tous les progiciels de GMAO [6][7] ont en commun la même structure modulaire proposant les mêmes fonctions. Mais, selon les logiciels, les fonctions remplies sont diversement dénommées, diversement réparties et diversement organisées. Prenons comme exemple Sirlog, la première GMAO développée en France et dont la composition reste représentative. Figure 4.2



**Figure 4.2** Exemple de structure modulaire d'une GMAO [6]

La gestion par exploitation des modules analysés. Le « cahier des charges » proposé pour chaque module chaque service de maintenance a ses propres critères. Les modules analysés sont les suivants :

1. gestion des équipements ;
2. gestion du suivi opérationnel des équipements ;
3. gestion des interventions en interne et en externe ;
4. gestion du préventif ;
5. gestion des stocks ;
6. gestion des approvisionnements et des achats ;
7. analyses des défaillances ;
8. gestion du budget et suivi des dépenses ;
9. gestion des ressources humaines ;
10. tableaux de bord et statistiques ;
11. . autres modules et interfaçages possibles

#### 4.7.5 Processus gestion de la maintenance

Le système de gestion de la maintenance présenté comporte quatre étapes aussi importantes les unes que les autres.

- La première étape concerne la réception du matériel et la documentation.
- La deuxième est relative au choix du type de maintenance à effectuer en fonction des paramètres choisis (préventive conditionnelle, systématique, ou corrective).
- Dans la troisième étape, nous précisons les étapes du processus de maintenance telles que la planification des interventions, l'exécution et le suivi de l'intervention.
- La quatrième étape et la dernière concerne la réalisation et le suivi de l'opération de maintenance.

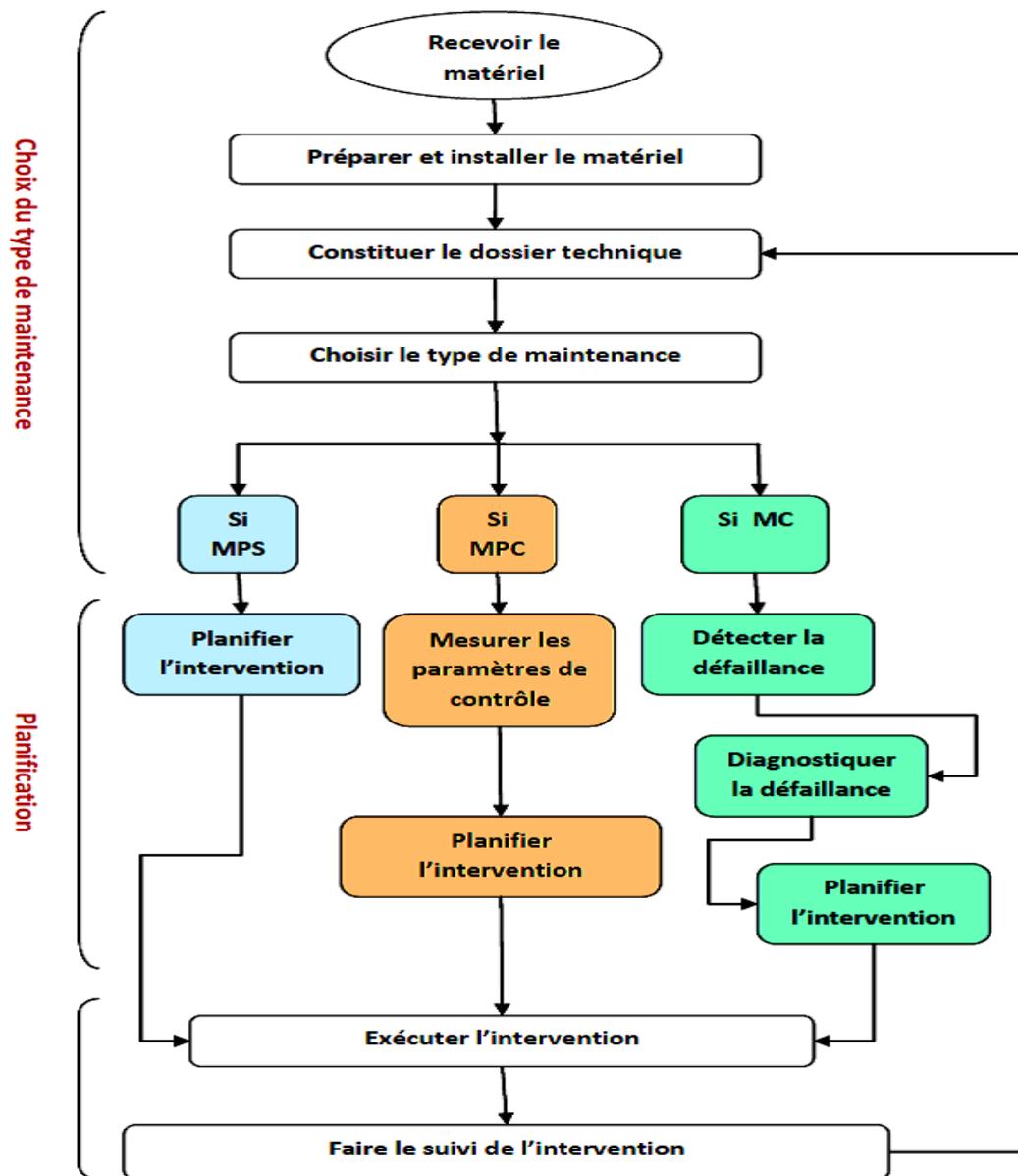


Fig. 4.3 Processus gestion de la maintenance [6]

## 4.8 Présentation D'un Logiciel De GMAO : Exemple Newmaint

### 4.8.1 Qualités d'un logiciel de GMAO

Le logiciel doit être simple, convivial, il doit correspondre à la logique de fonctionnement du service maintenance. [44][8]

Le logiciel de GMAO doit pouvoir [44][8]fonctionner en réseau (Windows NT, 2000, Novell, etc.) de façon à pouvoir évoluer avec les besoins du service. Internet est en général la solution des techniciens mobiles. C'est aussi aujourd'hui la solution pour la mise en route de solution à faible investissement, il est ainsi possible de juste payer les heures d'utilisation. Une formation doit être prévue pour apprendre rapidement les commandes du logiciel et la méthodologie de mise en œuvre dans le service maintenance. Un contrat de maintenance annuel qui donne droit à une aide téléphonique et aux évolutions des logiciels doit être souscrit. Pour des raisons de budget ou de faible disponibilité des techniciens, il peut être utile de démarrer avec une solution légère, puis de l'étoffer en fonction des besoins et des moyens. New Maint dispose d'une version EVOLUTION qui permet de démarrer le projet d'informatisation du service maintenance pour ensuite éventuellement l'étendre vers une version en réseau mono ou multi sites très performante.

### 4.8.2 Fonctions d'un logiciel de GMAO

#### a. Gestion du patrimoine de l'entreprise

OptiMaint s'adapte [44][8][43] et assure le suivi de tous les actifs (type industriel ou tertiaire). La gestion des actifs doit être à la fois simple et puissant pour que les utilisateurs renseignent et trouvent facilement les informations désirées. La gestion des actifs permet de :

- Structurer l'ensemble des caractéristiques des moyens à maintenir dans une base de données
- Définir tous les niveaux d'imputation et d'analyses techniques et financières

#### b. La Maintenance Curative à partir d'un bon travail

Elle est très souvent [44][8]gérée dans l'urgence. Avec OptiMaint, la saisie des bons de travaux et des fiches activités est rapide et simple. La maintenance curative peut se faire à partir soit d'une demande d'intervention, d'un bon de travail ou tout simplement sans aucune demande au préalable Figure 4.4.



Figure 4.4 Gestion de la maintenance curative par une GMAO [44][8]

### c. La Maintenance Curative hors bon travail

La maintenance curative peut se faire également hors B.T. (au titre de petites interventions). Suite ou non à une demande d'intervention (1) et après être intervenu, le ou les intervenants enregistrent leur fiche d'activité (2). C'est le processus le plus court Figure 4.4.



Figure 4.5 La Maintenance Curative hors bon travail [44][8]

### d. Les demandes d'intervention

Les demandes d'intervention (1) peuvent être faites depuis n'importe quel PC équipé ou non d'OptiMaint (internet / intranet ou non). La gestion des demandes d'intervention est à la fois souple, simple et puissante ! Cette étape n'est pas obligatoire. La phase de prise en compte (2) permet d'accepter (3) ou de refuser (4) la demande. Une fois acceptée, la demande peut être convertie en B.T. Dans un but de simplicité et de gain de temps, des fiches activités (5) peuvent être saisies sans passer par la création d'un B.T. Il est également possible de créer un B.T. (6) directement depuis une ou plusieurs D.I. sans passer par la phase de prise en compte Figure 4.6.



Figure 4.6 Les demandes d'intervention [44][8]

### c. La Maintenance Préventive

OptiMaint génère automatiquement [8][43] les bons de travaux pour toutes les interventions qui doivent être réalisées régulièrement en fonction, par exemple d'une planification calendaire ou selon des compteurs Figure 4.7.



**Figure 4.7** Gestion de la maintenance préventive par une GMAO [44][8]

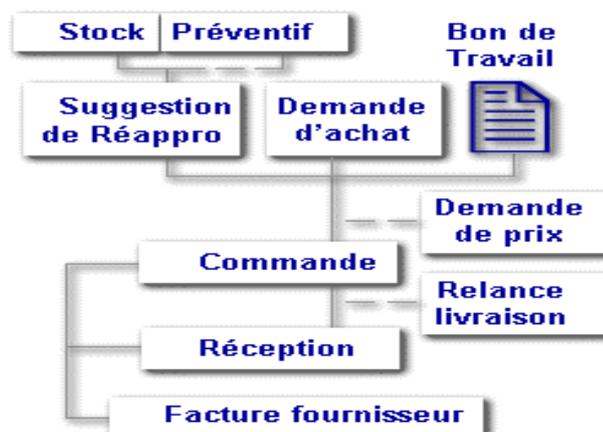
#### *d. La Maintenance Conditionnelle*

En fonction des relevés de mesures et de conditions préalablement définies, OptiMaint génère automatiquement les bons de travaux. [44][8] [43]

#### *e. Gestion des achats*

OptiMaint permet [8][43] de gérer tous types d'achats Figure 4.8 La commande peut être établie directement sans aucune étape au préalable. Mais elle peut être également générée depuis :

- la suggestion de réapprovisionnement qui tient compte du stock et éventuellement du préventif
- une ou des demandes d'achat
- ou un bon de travail



**Figure 4.8** Gestion des achats curatifs par une GMAO [44][8]

#### *f. Gestion de stock*

OptiMaint prend [8][43] en charge la gestion globale de tous les stocks avec la possibilité de renseigner Figure 4.9:

- les paramètres de gestion des stocks (unité de stock, stock minimum, maximum, point de commande ...)
- les caractéristiques commerciales des articles (fournisseurs, PMP, TVA, délai de livraison, remise ...)

- les aspects techniques avec la possibilité de définir des champs de saisie propres à l'entreprise afin de personnaliser OptiMaint aux besoins

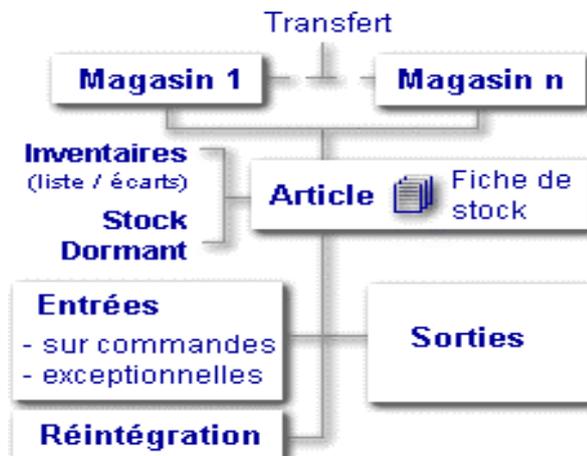


Figure 4.9 Gestion des stocks par une GMAO [44][8]

#### g. Gestion du budget

OptiMaint permet de définir [44][8] [43] des budgets annuels (avec possibilité de détailler par mois) pour Figure 4.10.

- ☰ un centre de frais (atelier, centre de coûts etc.)
- ☰ ou un équipement Pour chacun de ces niveaux, on peut détailler ou non le budget par :
  - + main d'œuvre
  - + articles
  - + et factures au titre du :
    - Préventif
    - Curatif
    - et divers

#### h. Gestion des projets d'investissement

OptiMaint assure la gestion [44][8] [43] des nouveaux projets d'investissement (travaux neufs) hors budget de fonctionnement (projets d'amélioration, de conception etc.). Tout nouveau projet, peut être rattaché à une division (secteur, etc.) ou un centre de frais (atelier, centre de coût, etc.) au titre éventuellement d'une rubrique Figure 4.9.

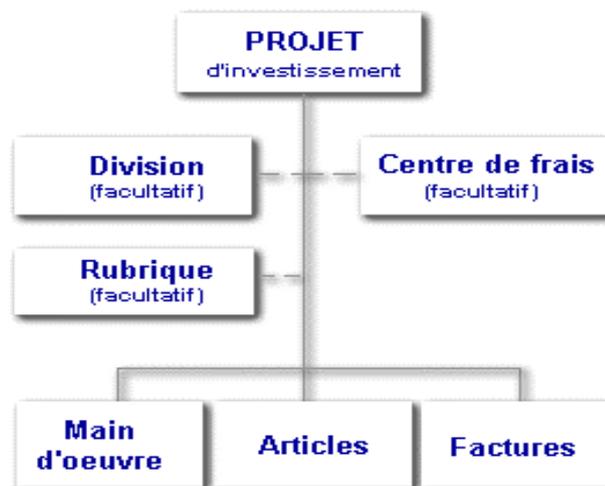


Figure 4.10 Gestion de projets d'investissement par une GMAO [44][8]

#### **4.9 Le choix d'un outil GMAO bien adapté**

Le choix d'un outil GMAO passe par son adéquation :

- à la stratégie globale du système informatique de l'entreprise problème de l'intégration ;
- aux besoins exprimés du service maintenance : problème du cahier des charges et problème du paramétrage (personnalisation).

##### **4.9.1 Intégration de la GMAO dans le système d'information de l'entreprise**

La réduction de [6][7][8] l'hétérogénéité des matériels, des langages et des systèmes d'exploitation, la suppression des redondances et les doubles saisies passent par l'intégration de la GMAO à la cohérence d'un système informatique global. Trois types d'intégration sont possibles :

- ✚ Installation d'un logiciel GMAO complet dont l'interfaçage se limite à un échange de mouvements avec le logiciel de comptabilité
- ✚ Installation d'un module GMAO propre à un ERP (Enterprise Ressources Planning) qui est un logiciel complet de gestion et dont les modules achats et stocks sont communs à la production et à la maintenance. de longs et coûteux paramétrages pour donner une satisfaction souvent mitigée.
- ✚ Assemblage de divers logiciels : partie travaux de la GMAO, logiciels stocks, achats différents et interfacés

##### **4.9.2 Importance du paramétrage : la « flexibilité » d'une GMAO**

L'outil GMAO doit proposer [6][7][8] des propriétés de modules et un paramétrage pour pouvoir s'adapter à l'entreprise, à son organisation, à son évolution prévisible et à son vocabulaire.

##### **4.9.3 Importance du cahier des charges**

La démarche interne de rédaction d'un cahier des charges, préalable indispensable à l'acquisition d'une GMAO et à son acceptation par les acteurs de son exploitation [6][7][8].

#### **4.10 La conduite d'un projet GMAO**

##### **4.10.1. Importance de l'aspect humain dans la réussite du projet**

Le projet GMAO est pour [6][7][8] le service maintenance un projet « structurant » remettant en cause des habitudes de travail, donc susceptible de modifier en profondeur l'état d'esprit et la motivation des acteurs. C'est une opportunité pour réorganiser un secteur, pour optimiser des procédures, pour élever le niveau de sensibilité à la gestion de tous les acteurs, pour en promouvoir certains.

##### **4.10.2 Étapes du projet**

Elles seront différentes [[6][7][8] suivant que le projet est « intégré » à un programme informatique conduit au niveau de l'entreprise, ou qu'il est « autonome » car conduit au niveau du seul service maintenance. Dans ce cas, la maintenance aura davantage de liberté, mais aussi le poids de la maîtrise du projet.

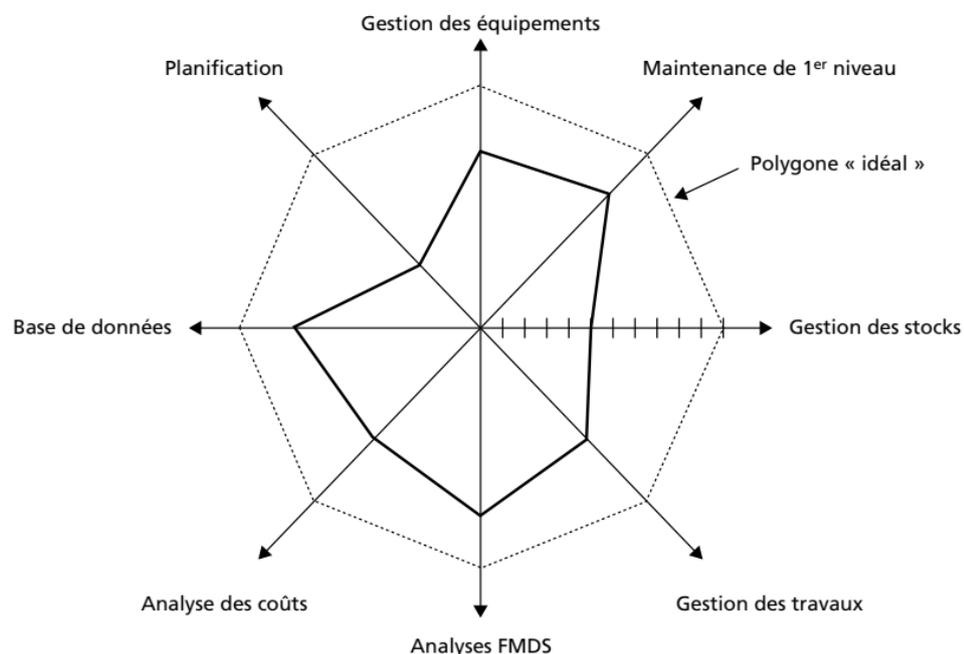
##### **4.10.3 Préalables**

Dans tous les cas, comme pour tout projet d'ailleurs, une forte implication de la direction est indispensable. Elle se manifestera par un plan de communication interne, la rédaction de directives

encadrant le projet, dont le partage entre les ressources internes et externes allouées. La nomination du chef de projet entouré à temps partiel d'un groupe de pilotage et l'affectation de moyens (salle de travail équipée en informatique) sont indispensables

#### 4.10.4 Étude de faisabilité

Elle passe par le [6][7][8] dimensionnement du projet en termes de ressources matérielles, humaines et financières, menée si nécessaire avec l'aide d'un consultant expérimenté en GMAO. L'étude de faisabilité doit surtout s'appuyer sur un audit du type proposé dans (ADE 94), visant à établir une photographie de la fonction maintenance « à l'origine », à identifier ses points faibles et en déduire si le projet d'informatisation est pertinent. L'audit peut se matérialiser par un « graphe en radar » donnant l'image de l'organisation de départ, et les axes sur lesquels la GMAO doit apporter des « plus », suivant l'exemple ci-après. fig.4.11.



**Figure 4.11** Image de la fonction maintenance (d'après ADE 94)

Dans le profil du cas présenté, une réorganisation préalable à la prise en charge informatique de la gestion des stocks et de la planification des travaux s'avère indispensable. La GMAO devra être un vecteur de progrès pour les autres axes, ce qui sera vérifiable en refaisant l'autodiagnostic en cours de projet, puis à la fin.

#### 4.10.5 Rédaction du cahier des charges de consultation

Il ne suffit pas d'établir un cahier des charges technique et gestionnaire de la fonction (voir la liste des modules et de leurs propriétés), mais de prendre en compte [[6][7][8] des critères :

- d'intégration immédiate et à moyen terme dans l'informatique de l'entreprise ;
- de qualité du conseil, du service client et de l'assistance ;
- de pérennité du fournisseur et du produit ;
- de transferts de compétence vendeur → client, installateur → utilisateur pour une autonomie rapide ;
- de formation : plan de formation quantitatif et qualitatif ;

- d'évolution, d'interfaçage et de paramétrage ;
- de convivialité et d'ergonomie ;
- d'implantation (exemple d'une borne tactile en libre service à proximité des dépanneurs)

#### 4.10.6 Choix de l'outil GMAO et des modules nécessaires

##### a. Présélection

La sélection du logiciel doit [6][7][8] suivre un certain formalisme pour être efficace. Cela ne sert à rien d'assister à des démonstrations non préparées. Pour une sélection rationnelle, il est conseillé de suivre le déroulement suivant. Rédaction et envoi du CCDC, de l'appel d'offres, dépouillement des réponses.

Des éditeurs selon trois aspects analysés successivement :

- ✘ Techniques informatiques : SGBD, OS, architecture (Web, Client/serveur, autre...).  
Remarque : Certains aspects sont éliminatoires et interdisent l'analyse de la phase suivante.
- ✘ Organiques : conception du logiciel, fonctions de paramétrages nécessaires pour personnaliser le logiciel selon le CDC. Remarque : Certains aspects sont éliminatoires et interdisent l'analyse de la phase suivante.
- ✘ Fonctionnelles : analyse des fonctions GMAO offertes.

##### b. Implantation, plan de formation et démarrage

L'implantation [6][7][8] suit en général le déroulement suivant. Installations.

- ✘ Surveillance et validation de l'installation des réseaux, du SGBD et du logiciel.
- ✘ Vérification du fonctionnement du logiciel.
- ✘ Recette d'installation. Paramétrage
- ✘ Organisation et formation du groupe de projet.
- ✘ Paramétrage réalisé par l'éditeur selon les procédures et le CDC.
- ✘ Réalisation d'une maquette par l'éditeur.
- ✘ Validation de la maquette en une ou plusieurs séances jusqu'à obtention d'un consensus des représentants des utilisateurs.
- ✘ Recette du paramétrage

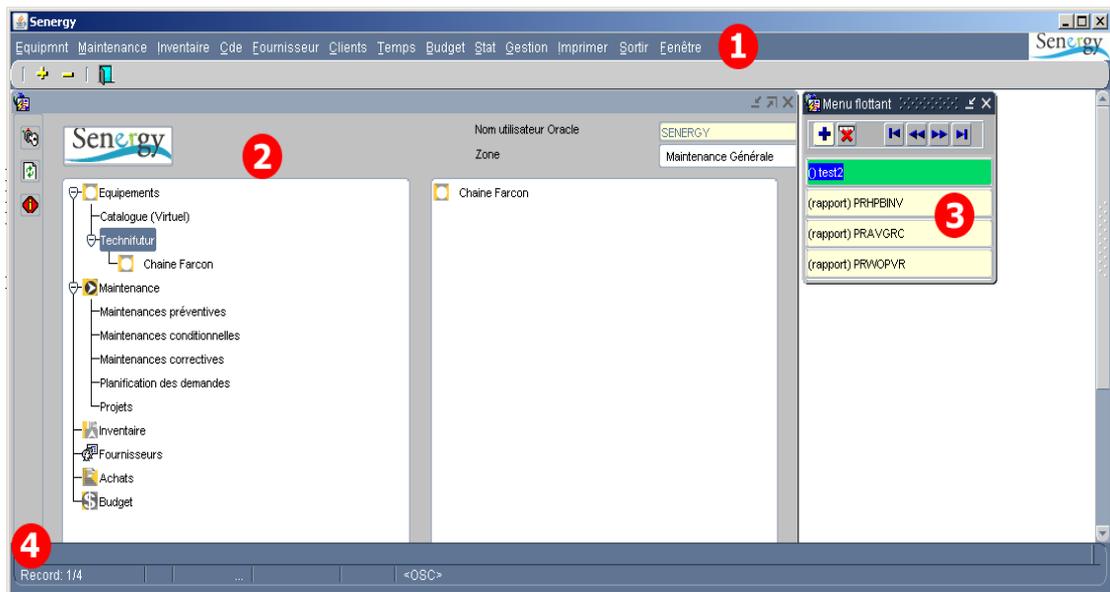
### 4.11. Gestion de la maintenance assistée par ordinateur(GMAO), à l'aide du logiciel

#### Senergy

Exemple Gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO), à l'aide du logiciel Senergy appliqué sur une chaîne d'emballage pharmaceutique de marque Farcon. Lubrification toutes les 1000h [43]

##### 4.11.1 Démarrage du logiciel [43]

Senergy est un logiciel web-based, c'est-à-dire qu'il est accessible via un navigateur internet (par exemple : Internet Explorer, Firefox, ...). Il suffit de connaître l'adresse sur laquelle le logiciel est hébergé pour y accéder. Ensuite tout est géré via une applet Java. Une fois fait, le logiciel s'ouvre automatiquement.



**Fig 4.12** Fenêtre principale du logiciel senergy [43]

[1] Le menu de Senergy

[2] L'écran principal de Senergy,

[3] Le menu flottant

[4] Cette zone est très utilisée dans Senergy, plutôt que d'ouvrir une fenêtre de confirmation sur laquelle il faut cliquer, les messages de confirmation ou d'erreur sont affichés dans cette zone.

#### 4.11.2 Menu d'outils [43]

En fonction des écrans le menu d'outils suivant peut apparaître :



**Fig 4.13** le menu d'outils[43]

**+** Dans le cas où on a une liste d'éléments (tableau), ce bouton permet d'ajouter une ligne pour un enregistrement supplémentaire lorsqu'il n'y a plus de place.

**X** Dans le cas d'une liste d'éléments, ce bouton permet de supprimer une entrée définitivement.

**Imprimer** Permet d'imprimer un rapport en fonction de la fenêtre dans laquelle on se trouve.

**Fenêtre** Permet de quitter la fenêtre en cours.

**Effacer** Permet d'effacer l'élément sélectionné dans la fenêtre. Ceci n'influence pas l'enregistrement qu'on efface, seul l'écran est nettoyé, pas les informations dans la base de données, à ne pas confondre avec **X**.

**Requête** Mode requête, ce bouton permet de se mettre dans le mode de recherche, quelque soit la fenêtre et le champ.

**Requête** Une fois la requête entrée, il suffit de cliquer sur ce bouton pour faire apparaître la première occurrence.

**Navigation** Les flèches permettent de passer d'une occurrence.

▼ Ce bouton permet d'afficher une liste de valeurs configurées dans Senergy

### 4.11.3 Création des équipements [43]

L'élément de base de Senergy est l'équipement, la liste des différents équipements comprend les différentes machines et outils qui se trouvent dans l'entreprise et sur lesquels on doit procéder à la maintenance. il faut se rendre dans :

**Senergy ► Menu Equipment ► Créer/Editer**

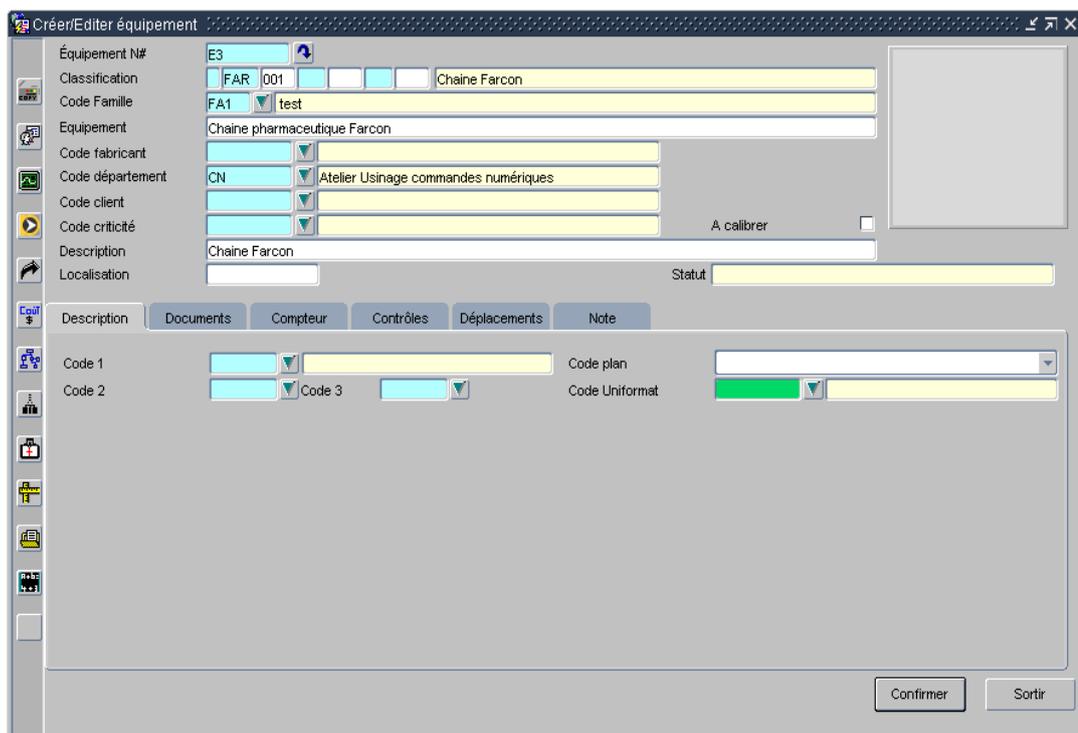
#### a. Logique de découpe machine [43]

Dans une GMAO il faut découper l'équipement principal en sous équipements. On découpe l'équipement en blocs, ou on le découpe en fonctions..

La découpe en fonction elle sépare bien l'usage, par exemple : avance de la courroie, réglage de la courroie, châssis. On peut également ajouter des fonctions : électricité, pneumatique, ....

#### b. Fenêtre des équipements [43]

Voici la fenêtre qui permet de gérer les équipements, elle permet d'éditer l'équipement sélectionné ou d'en créer un nouveau.



**Fig. 4.14** Ecran des équipements de Senergy[43]

#### c. Numéro de l'équipement [43]

Les numéros des équipements seront donc dans notre cas une simple suite numérique : 1, 2, 3, 5, ... Pour assurer que ce numéro soit complètement unique, nous utiliserons le préfixe E pour les équipements : E1, E2, ... De cette manière, il ne sera pas confondu avec un article, un OT (ordre de travaux), etc. ...

#### d. Classification des équipements [43]

Senergy prévoit la classification suivant trois niveaux :

- ✘ Les équipements principaux (niveau 1)
- ✘ Les sous-équipements qui sont attachés aux équipements (niveau 2)
- ✘ Les sous-sous-équipements qui sont attachés aux sous-équipements (niveau 3)

Ceci donne par exemple pour un équipement donné la classification suivante : "ABC 123 DE 234 EF 789". Ici, "ABC 123" représente la classification niveau 1, "DE 234" la niveau 2, "EF 789" le niveau 3.

Pour définir les classifications, il faut se rendre dans :

[Senergy](#) ▶ [Gestion](#) ▶ [Equipements](#) ▶ [Classification](#)

#### f. Famille d'équipements [43]

Pour définir les codes familles, il faut se rendre dans :

[Senergy](#) ▶ [Gestion](#) ▶ [Equipements](#) ▶ [Familles](#)

Pour définir les champs descriptifs d'une famille :

[Senergy](#) ▶ [Gestion](#) ▶ [Equipements](#) ▶ [Champs descriptifs](#)

#### g. Nom de l'équipement [43]

Le nom de l'équipement est sans doute le plus important, dans la pratique une recherche se fera principalement sur ce champ

#### 4.11.4 Département [43]

Senergy permet de séparer les ateliers en département, les différents équipements sont ainsi clairement localisés. Pour définir les départements, il faut se rendre dans :

[Senergy](#) ▶ [Gestion](#) ▶ [Equipements](#) ▶ [Départements](#)

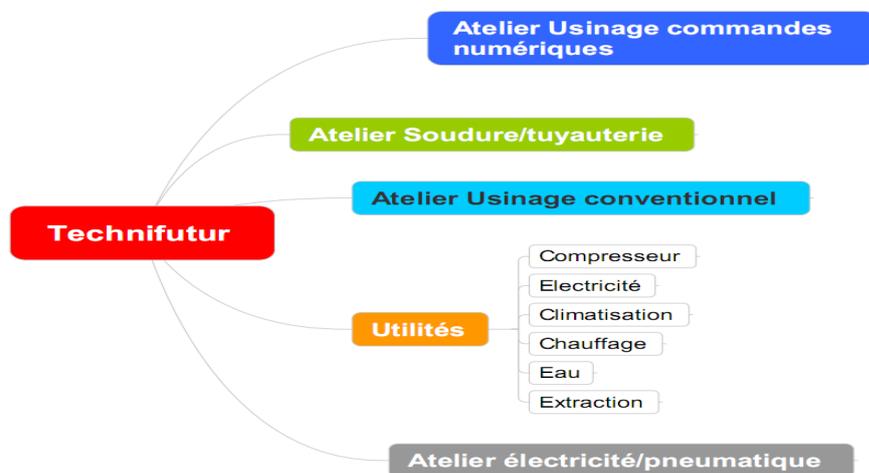


Fig. 4.15 Exemple de découpe réalisée avec Mindmanager[43]

#### 4.11.4 Documents [43]

Senergy permet de référencer la liste des documents relatifs à un équipement pour permettre à l'employé de maintenance de les retrouver facilement. Ces documents sont stockés dans des armoires, bibliothèques, etc. ... Le but étant de les retrouver facilement.

#### 4.11.5 Compteurs [43]

On peut encoder les différents compteurs d'un équipement dans Senergy afin de planifier les actions de maintenance conditionnelles.

#### 4.11.6 Actions associés à un équipement [43]

Il y a sur la gauche de la fenêtre des équipements un menu vertical qui permet de réaliser quelques actions associées à l'équipement ouvert.

##### a. Copie d'un équipement [43]

Lorsque l'on copie un équipement, un nouveau numéro est automatiquement généré depuis une séquence, on peut le modifier à sa guise. L'écran des copies ressemble à celui de l'équipement si ce n'est l'absence de quelques onglets. On termine la copie en confirmant l'écran.



Fig. 4.16 Copie d'un équipement [43]

##### b. Associer équipements

On valide les changements en confirmant l'écran. Cette fenêtre est également accessible via le menu :

Senergy ► Equipements ► Composants

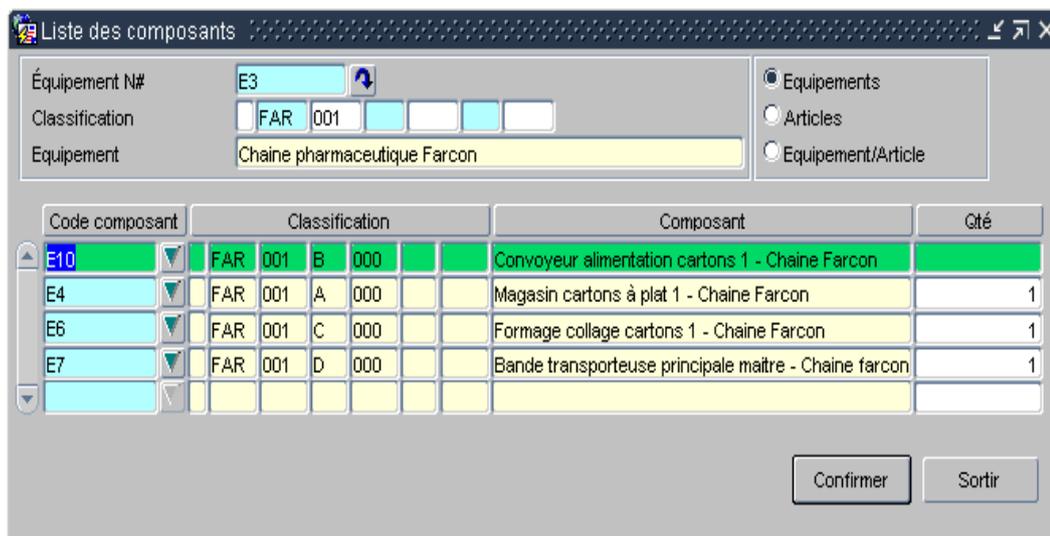


Fig. 4.17 Associer équipements [43]

##### c. Ensemble d'équipements [43]

A l'inverse de la liste des composants, cet écran permet d'afficher la liste des équipements pour lesquels l'équipement sélectionné

#### **d. Garantie d'équipements [43]**

Il est possible d'entrer les garanties sur un équipement, si l'équipement est sous garantie, il le sera mentionné sur le bon de travail. il faut se rendre dans :

[Senergy](#) ▶ [Gestion](#) ▶ [Général](#) ▶ [Fichiers externes](#) ▶ [Transfert de fichiers](#)

#### **4.11.7 Créations d'articles [43]**

Si un article était fortement stocké par son ancien propriétaire, c'est qu'il était peut-être critique. il faut se rendre dans : [Senergy](#) ▶ [Inventaire](#) ▶ [Créer/Editer](#)

Code m...	Magasin	Local	Qté	Qté min.

**Fig. 4.18 Fenêtre des articles [43]**

- Pour définir les codes familles des articles, il faut se rendre dans :  
[Senergy](#) ▶ [Gestion](#) ▶ [Inventaire](#) ▶ [Familles d'articles](#)
- Pour définir les champs descriptifs d'une famille :  
[Senergy](#) ▶ [Gestion](#) ▶ [Inventaire](#) ▶ [Champs descriptifs](#)
- Pour créer un magasin, il faut se rendre dans :  
[Senergy](#) ▶ [Gestion](#) ▶ [Inventaire](#) ▶ [Magasins](#)
- Pour faire une prise d'inventaire, il faut se rendre dans : [Senergy](#) ▶ [Inventaire](#) ▶ [Prise d'inventaire](#)

#### **4.12 Créations de tâches de maintenance [43]**

Le bon de travail, c'est la tâche à accomplir unique, on l'effectue, puis on ferme le bon. Après il ne bouge plus, c'est valable pour une intervention. Dans Senergy, il y a différents moyens d'arriver **au bon de travail**, il y a bien sûr le bon de travail à proprement parler, mais il y a aussi des actions de maintenance et des demandes d'interventions.

##### **4.12.1 Les différents type d'actions de maintenance [43]**

###### **a. La maintenance préventive :**

La maintenance préventive de Senergy reprend tout ce qui est basé sur le calendrier, donc la maintenance préventive systématique calendaire. Tous les X jours on fait une action. Elle est amenée à ce

répéter, c'est par ce chemin qu'on planifie la maintenance préventive systématique exemple **la maintenance d'arrêt**, elle se comporte comme la maintenance préventive.

### *b. Création d'une action de maintenance préventive ou conditionnelle [43]*

La maintenance conditionnelle reprend tout ce qui est basé sur un compteur ou une mesure, ça peut donc être du préventif compteur ou du conditionnel mesuré. Si on a un compteur horaire sur une machine, on peut faire une action de maintenance toutes les X heures (préventif systématique). Mais on peut prévoir un compteur sur l'équipement qui serait en fait une mesure de capteur, donc une condition pour une action de maintenance (préventif conditionnel). Tout dépend de ce qu'on mettra réellement dans le compteur

Pour créer une action préventive ou conditionnelle, le cheminement est identique. Il faut toujours commencer par créer l'action dans le dictionnaire de maintenance. Dans ce dictionnaire seront reprises les différentes actions types que l'on pourra rencontrer pour les différents équipements.

Le dictionnaire est accessible via le menu :

*Senergy ► Maintenance ► Superviseur ► Dictionnaire*

Ici dans l'exemple, on identifie une lubrification toutes les 1000h sur la chaîne Farcon [43] .Ce sera donc une action type avec un mode opératoire type qui sera utilisée juste pour cette chaîne.

Code action	33
Titre de l'action	Lubrification - Farcon - 1000h
Zone	GEN Maintenance Générale
Code équipe	Mecanicien
Editer action   Equipements associés   Note	
Heures prévues	
# employés nécessaires	1
Code Facturable	
Date initialisation	
Type maintenance	Préventif
Période	88
Priorité	DANS LA SEMAINE
Condition	
Catégorie	Préventif systématique calendaire
État d'équipement	Arrêt complet hors énergie
Description action	Point à lubrifier (voir documents associés): [ ] Point - type de graisse  Mode opératoire : [ ] S'assurer qu'aucun opérateur ne peut intervenir sur la machine [ ] Mettre la chaîne Farcon à l'arrêt en phase [ ] Appuyer sur le bouton d'arrêt d'urgence [ ] Ouvrir la protection dans la zone en question
Confirmer   Sortir	

**Fig. 4.19** Dictionnaire d'actions de Senergy [43]

### *c. Conclusion*

Le plan de maintenance préventive a été proposé pour l'amélioration de la lubrification. Senergy est un logiciel qui permet beaucoup de libertés et il s'adapte assez facilement à une logique donnée si on le connaît bien et qu'on l'a bien en main. Il faut du temps et de l'investissement personnel pour bien le maîtriser, mais une fois fait, il se révèle être un outil puissant.

## Références bibliographiques

### REFERENCES

- [1] Abdelhamid Rachidi, abdennebi talbi, abdellah khatory " la maintenance industrielle une fonction en mutation et des compétences en évolution," congrès international en génie industriel et management des systèmes (CIGIMS 2012).
- [2] Laurent Giraud Daoud Ait-Kadi Élise Ledoux Joseph-Jean Paque Sébastien Tanchoux ," La maintenance État de la connaissance et étude exploratoire Étude set recherches ," Rapport R-578
- [3] Fisli Samir," Organisation De La Maintenance D'un Système Hydraulique (Centrale Hydraulique D'un Concasseur Model Gp120) ," Mémoire De Master Promotion : Juin 2018 Université Badji Mokhtar Annaba
- [4] [http://staff.univbatna2.dz/sites/default/files/djenane\\_abdellah/files/chapitre\\_i\\_generalites\\_et\\_definition\\_de\\_la\\_maintenance2.pdf](http://staff.univbatna2.dz/sites/default/files/djenane_abdellah/files/chapitre_i_generalites_et_definition_de_la_maintenance2.pdf).
- [5] Addoun Abdelkrim,"Optimisation de la maintenance par la méthode AMDEC appliquée au ventilateur de l'entreprise ALZINC,"Diplôme De Master Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –Faculté De Technologie2015
- [6] François Monchy Jean, Pierre Vernie " maintenance méthodes et organisations"3e édition Dunod, Paris, 2000, 2003, 2010 ISBN 978-2-10-055061-6.
- [7] Meghni bilbel , "Maintenance Industrielle université," Kasdi Merbah – Ouargla Faculté Des Sciences Appliquées Département Génie Electrique Année Universitaire 2017/2018.
- [8] K.Bourouni , "Maintenance Industrielle Cours ," Ecole Natoinal D Ingenieur De Tunis 2004.
- [9] Édité et diffusé par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) 3e tirage 2003-12-F [www.afnor.fr](http://www.afnor.fr).
- [10] Mme Benaïcha Halima, "Analyse Des Stratégies De Maintenance Des Systèmes De Production Industrielle,"these de doctorat en electrothnique 2015 Faculté De Génie Electrique département d'Electrotechnique Université Des Sciences Et De La Technologie d'Oran Mohammed.
- [11] Frédéric Tomala," Cours De Maintenance," Département Management Des Systèmes HEI Hautes Etudes D'ingénieur bureau : A607.
- [12] Ahmed Bellaouar, " Fiabilité Maintenabilité Disponibilité,"cours faculté des sciences de la technologie département génie des transports Année Académique 2013-2014
- [13] Chapouille, Pierre. ,"Fiabilité. Maintenabilité "Ed. Techniques Ingénieur, 1980
- [14] Louail Moussa, "Etude de la maintenance industrielles application de dattes de Tolga,"de l'Université de Biskra Mémoire De Master Sciences et Techniques samedi 26 septembre 2020.
- [15] Faïgner H.,"Organisation de maintenance,"BTMS promotion 2020/2022.
- [16] Fatima Benbouzid, Fahima Nader, Cristophe Varnier, Nouredine Zerhoun Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels 3e Conférence Francophone de Modélisation et Simulation MOSIM'01 – du 25 au 27 avril 2001 – Troyes (France)
- [17] Jean Buffernele , "guide le la TPM Total Productive Maintenance ,"Éditions d'Organisation Groupe Eyrolle, 2006 ISBN : 2-7081-3723-9s, bd Saint-Germain 75240 Paris cedex 05[www.editions-organisation.com](http://www.editions-organisation.com) [www.editions-eyrolles.com](http://www.editions-eyrolles.com).
- [18] Jean Heng,"Pratique De La Maintenance Préventive,"4 édition Dunod, 2002, 2005, 2011, 2017 Paul Bert, 92247 Malakoff [www.dunod.com](http://www.dunod.com) ISBN 978-2-10-076316-0.
- [19] Monchy, François. "maintenance, Méthodes et Organisation, dunod." (2000).
- [20] Gilles Zwingelstein, " La maintenance préventive Méthodes et technologies," Techniques-Ingénieur Référence Internet MT9571parution Juillet 2019
- [21] Dominique Serre, " Installations électrique BT Vérifications et entretien," Techniques-Ingénieur Référence Internet D5048 parution Aout 2007
- [22] <https://download.schneider-electric.com › file PDF Stratégies de maintenance des équipements de distribution électrique>
- [23] Rosa Abbou,"Contribution A La Mise En Œuvre D'une Maintenance Centralisée : conception et ' optimisation d'un atelier de maintenance," thèse Pour Obtenir Le Grade de docteur de L'UJF Université Joseph Fourier - GRENOBL Le 21 Octobre 2003.

## Références bibliographiques

- [24] Preben Christiansen, Easa, "Dépannage sur place d'un moteur à courant continu," ingénieur conseil 2003.
- [25] <https://fac.umc.edu.dz> > ista > pdf > cours > Entret... Entretien et Dépannage des Machines Électriques.
- [26] Gilles Duchemin , "Maintenance des machines et des moteurs ,"Techniques-Ingénieur Référence Internet BM4188 parution Juillet 2007
- [27] Gazzam Abdelhak,Safsafa Chouaib, "Diagnostic Des Défauts Rotorique Des Machines Asynchrones A Cage Par Différentes Techniques ,"de traitement mémoire master en électromécanique faculté de technologie département d'électrotechnique université Amar Telidji De Laghouat soutenu le 2018.
- [28] Andrian Ceban , "Methode Globale De Diagnostic Des Machines Electriques ,"Université Lille de Nord de France – École doctorale SPI Université d'Artois – Laboratoire Systèmes Électrotechniques et Environnement2012.
- [29] A. H. Bonnett and C. Yung, "Increased Efficiency Versus Increased Reliability," Industry Applications Magazine, IEEE, vol. 14, pp. 29-36, 2008.
- [30] W. T. Thomson, "A review of on-line condition monitoring techniques for three-phases quirlrelcage induction motors–past, present and future," in 2nd IEEE International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives -SDEMPED '99, Gijon, Spain, 1999, pp. 3-17.
- [31] G. Didier, "Modélisation et diagnostic de la machine asynchrone en présence de défaillances," These de doctorat de l'université Henri Poincaré, Nancy-I, 2004.
- [32] M. Blodt, P. Granjon, B. Raison, and G. Rostaing, "Models for Bearing Damage Detection in Induction Motors Using Stator Current Monitoring," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 55, pp. 1813-1822, 2008.
- [33] D. F. Busse, J. M. Erdman, R. J. Kerkman, D. W. Schlegel, and G. L. Skibinski, "The effects of PWM voltage source inverters on the mechanical performance of rolling bearings," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 33, pp. 567-576, 1997.
- [34] B. Vaseghi, "Contribution à l'étude des machines électriques en présence de défaut entre spires," Thèse de doctorat, GREEN - Groupe de Recherche en Electrotechnique et Electronique de Nancy, Nancy Université - Institut National Polytechnique de Lorraine, 2009.
- [35] A. Houssam, "Etude comparative des indicateurs des défauts rotoriques dans les MAS à cage,"Mémoire de Fin d'Etudes2014 En vue de l'obtention du diplôme de master, 2014 Université Mohamed Khider Biskra Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Electrique.
- [36] Didier Volat , " Gestion du Travail - Étude des Interventions de Maintenance – Le Diagnostic - Différentes formes de maintenance ,"numero de Page 40 Document imprimé le07/09/2008 .
- [37] Faigner H," Organisation De Maintenance,"BTSM.Promotion2020/2022.
- [38] Alain Boulenger , "Maintenance conditionnelle par analyse des vibrations ,"techniques-ingénieur Référence Internet MT9285 parution avril 2006.
- [39] <https://www.fluke.com/fr/apprendre/blog/moteurs-variateurs-pompes-compresseurs/13-causes-frequentes-de-panne-de-moteur>.
- [40] Gilles Duchemin , "Maintenance des machines et des moteurs ,"Techniques-Ingénieur Référence Internet BM4188 parution Juillet 2007
- [41] Tojo Tolotra Heritiana, " manuel d'entretien et de dépannage des machines électriques, " mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de licence es sciences technique école supérieure polytechnique Antananarivo Date de soutenance : 03 Juillet 2010.
- [42] <https://blogue.genium360.ca/article/professionnel/informatique-industrielle-quels-sont-les-differents-domaines-dapplication/>
- [43] Jeremy Dombier, " Élaboration d'un plan de maintenance préventive et mise à exécution au travers d'une GMAO," [http://dombier.be/jeremy/tfe/tfe\\_jeremy\\_dombier.doc](http://dombier.be/jeremy/tfe/tfe_jeremy_dombier.doc).
- [44] Manuel de prise en main<https://pdfcoffee.com/manuel-de-prise-en-main-2-pdf-free.html>