

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté de Technologie



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Mater II
en Electrotechnique
Option : Electromécanique

Thème

Elaboration d'une politique de maintenance préventive :
Application à la chaine de production TCHIN-LAIT
CANDIA

Présenté par

Mr. MESSISSI Abdelmadjid

Encadré par

D^r MEDJOUJ Rabah

ANNEE 2012/2013

Résumé :

Aujourd'hui la maintenance n'est plus ce qu'elle a été autre fois, elle passe de la simple tâche de l'entretien et de réparation à une maintenance planifiée et réfléchie, ce que beaucoup d'industriels n'arrivent pas à mettre en place.

Ce mémoire a pour objectif de proposer une stratégie ou une politique de maintenance préventive conditionnelle basée sur la fiabilité et la redondance afin que cette gestion devienne dynamique et proactive et apporte une plus-value à l'entreprise TCHIN-LAIT.

Comme outils scientifique et mathématique soutient à cette stratégie, on a utilisé l'estimation de la fiabilité d'un équipement, suivit d'une étude de prévision sur le nombre d'arrêts. Ces outils seront intégrés dans un protocole de gestion de la maintenance.

Abstract :

Today maintenance is not any more what it was other time, it passes from the simple spot of maintenance and repair to a maintenance planned and reflected, which many industrialists do not manage to set up.

This memory aims to suggest a strategy or a policy of conditional preventive maintenance based on reliability and the redundancy so that this management becomes dynamic and proactive and brings one more been worth has company TCHIN - LAIT.

As tools scientist and mathematics supports with this strategy, one used the estimate of the reliability of equipment, followed of a study of forecast on the number of stops. These tools will be integrated in a protocol of management of maintenance.

Remerciements

Mes remerciements vont prioritairement au Docteur Rabah MEDJOU DJ, mon encadreur qui, à travers ses conseils et ses orientations, sa disponibilité et la confiance qu'il m'a accordée, ma conforté dans mes efforts et ma permis d'avancer à pas constant et à accomplir cette œuvre.

Les membres du jury qui auront l'aimabilité de lire et d'évaluer ce travail trouveront, ici, l'expression de ma considération et de mon respect.

Je tiens aussi à remercier vivement mon oncle Hacen, qui, aujourd'hui loin de nous, m'a soutenu et accompagné tout au long de mon parcours scolaire et universitaire.

Enfin, que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouve ici l'expression de mes sincères remerciements.

Dédicaces

A toute ma Famille

A tous mes Amis

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE	8
<i>Chapitre 01</i>	<i>11</i>
PRESENTATION DE L'ENTREPRISE TCHIN-LAIT	11
1.1. Historique de TCHIN-LAIT	12
1.2. Description de la chaine de production du lait.....	14
1.2.1. La reconstitution	14
1.2.2. Le traitement thermique	14
1.2.3. Conditionnement et suremballage	15
1.3. Présentation du plan de maintenance tel existant.....	16
1.3.1. Maintenance Curative.....	16
1.3.2. Maintenance préventive systématique	17
1.3.3. Maintenance préventive Conditionnelle.....	18
1.4. Expression du besoin en politique de maintenance.....	20
<i>Chapitre 02</i>	<i>22</i>
INTRODUCTION AUX METHODES DE MAINTENANCE.....	22
2.1. Différents types de maintenances	23
2.1.1. Maintenance corrective	25
2.1.2. Maintenance préventive.....	27
2.1.3. Caractérisation de la maintenance préventive	30
2.2. Les cinq niveaux de maintenance	31
2.3. Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité	32

<i>Chapitre 03</i>	36
EVALUATION DES INDICES DE PERFORMANCE.....	36
3.1. Fonction et valeurs moyennes usuelles pour l'expression de la FMD.....	37
3.1.1. Définitions	37
3.1.2. Modèles mathématiques de ses FMD	39
3.1.3. Valeurs moyennes	40
3.2. Principales lois utilisées en fiabilité des systèmes électromécaniques.....	42
3.2.1. Distribution exponentielle	42
3.2.2. Distribution de WEIBULL	43
3.3. Estimations des paramètres de la loi de Weibull et tests d'ajustements.....	44
3.3.1. Méthodes graphique	44
3.3.2. Méthode des moindres carrés	45
3.3.3. Méthode du maximum de vraisemblance	46
3.4. Validation des modèles.....	47
3.4.1. Test de Khi-deux.....	47
3.4.2. Test de Kolmogorov-Smirnov	48
<i>Chapitre 04</i>	50
APPLICATIONS ET ETUDE DE CAS	50
4.1. Architecture de la ligne de production :.....	51
4.2. Traitement statistique des données	52
4.2.1. Historique de données et stratégie de récoltes	52
4.2.2. Etude et Exploitation des données recueillis pour l'étude de cas.....	53
4.2.3. Estimation de la fiabilité.....	57
4.2.4. Test de Kolmogorov Smirnov :	60
4.2.5. Etude de prévision sur le nombre de pannes, appliquée à la conditionneuse.....	63
4.3. Proposition d'une Stratégie de maintenance	65
4.4. Objectifs :.....	67
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	70

ANNEXE 1 Préviation par la méthode de Box et Jenkins	71
ANNEXE 2 AMDEC	74
ANNEXE 3 Arbre de défaillance	77
ANNEXE 4 Stratégie de récoltes de données	80
ANNEXE 5 Algorithme d'intervention	82

Liste des figures

Figure 1-1 Traitement thermique.....	15
Figure 1-2 Chaîne de production.....	15
Figure 2-1 Déroulement chronologique des actions de maintenance	24
Figure 2-2 Actions palliative, curative.....	27
Figure 2-3 Evolution de la fiabilité d'un équipement en fonction du temps.....	34
Figure 3-1 Taux de défaillance en fonction de l'âge de l'équipement.....	38
Figure 3-2 Synthèse des durées moyennes durant le cycle de vie d'un équipement.....	41
Figure 3-3 Variation de la densité de probabilité de la fonction exponentielle.....	42
Figure 4-1 Historique de fonctionnement de la ligne de production A3/Speed.....	54
Figure 4-2 Répartition des temps de fonctionnement et d'arrêt de la ligne de production.....	55
Figure 4-3 Répartition des temps de fonctionnement et d'arrêt de la ligne de production	55
Figure 4-4 Courbe de fiabilité de la ligne de production.....	58
Figure 4-5 Courbe du taux de défaillance de la ligne de production	59
Figure 4-6 Evolution du nombre de panne de la conditionneuse	64
Figure 4-7 Objectifs pour l'année 2014	67
Figure 4-8 Objectifs au terme de l'année 2016	68
Figure 4-9 Décomposition de la série originale.....	72
Figure 4-10 Algorithme de construction d'un arbre de défaillance	77
Figure 4-11 Algorithme d'intervention	77

Liste des tableaux

Tableau 2-1 Evénements déclencheurs et actions de maintenance	24
Tableau 4-1 Données en heurs relatives aux fonctionnement et aux pannes	53
Tableau 4-2 Tests d'adéquations des modèles	60
Tableau 4-3 Répartition du nombre de pannes en semaines	71
Tableau 4-4 Exemple d'un tableau AMDEC Standard	76

INTRODUCTION GENERALE

La double exigence de maintien d'un niveau suffisant de sécurité des personnes et des biens et de la maîtrise des coûts a conduit naturellement les concepteurs et les exploitants de systèmes à intégrer d'emblée l'applicabilité des actions de maintenance dans les processus de production, de transformation et même de services. La notion d'applicabilité renseigne sur l'efficacité et la facilité d'une tâche de maintenance et cela doit être un préalable à toute proposition de plan de développement, car au jour d'aujourd'hui, cette thématique ne se limite pas à un entretien, mais elle constitue un concept, une discipline et une politique.

L'efficacité recouvre la capacité d'une action élémentaire de maintenance à contribuer à la pérennité d'une mission assignée à un système plus vaste que le matériel auquel elle s'applique, en contrepartie d'une applicabilité et d'un coût raisonnable. La finalité de la maintenance n'est donc pas tant la disponibilité du matériel lui-même que le maintien de missions d'ordre supérieur.

Il s'agit de ce qui suit :

- 1) Intégration de l'efficacité des actions de maintenance conduisant à raisonner en termes fonctionnels, ce qui introduit la notion de l'analyse fonctionnelle du système et de ses composants.
- 2) Interrogation sur la fréquence opérationnelle d'occurrence des modes de défaillance, ce qui oblige à traiter parallèlement le maximum d'informations issues du retour d'expérience.
- 3) Interrogation sur les coûts et l'applicabilité d'actions élémentaires de maintenance, ce qui conduit à prendre en compte la connaissance de la gravité de chaque mode de défaillance et l'avis des experts sur le terrain.

Les tâches de maintenance sont par la suite définies suivant des enjeux liés à la sécurité et à l'économie. Des plans d'intervention dits : renforcés, nominaux ou allégés selon les exigences de la production en termes de mise à disposition du produit à commercialiser sont développés et doivent être intégrés dans la politique de gestion de la maintenance au sein de l'entreprise TCHIN-LAIT.

La politique actuelle de maintenance **E3P (Entretien Périodique Préventif Programmé)** soutenue par la plus part des organismes et d'entreprises, s'avère onéreuse et ne répond plus aux rythmes des systèmes de production et surtout ne prend pas en considération l'hétérogénéité du stress subit par les composants d'une même chaîne de production. Il a été remarqué, que suivant ce procédé, une action de maintenance arrive dès fois très tôt sur certains composants et dès fois très tard sur d'autres. Dans le premier cas, elle n'apporte pas un plus et dans le deuxième cas, elle ne relève plus du préventif mais constitue une réparation. La maintenance systématique est déclinée par la méthode **OMF (Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité)** et connue sous son nom originel **RCM (Reliability Centered-Maintenance)**, devenue aujourd'hui un standard qui a fait ses preuves dans plusieurs domaines tels que : l'aéronautique, le nucléaire etc...

Le présent mémoire est subdivisé en quatre parties :

Le premier chapitre, traite de la description de l'usine, de la politique de maintenance employée actuellement, et de l'expression du besoin présentant néanmoins un déficit organisationnel.

Le deuxième chapitre définit les différents types de maintenances et leurs objectifs.

Le troisième chapitre définit les indices de performances, les lois de distributions de survie, ainsi que les méthodes d'estimation de paramètres et les tests d'ajustement.

Le quatrième chapitre traite de l'application et de l'étude de cas, en commençant par une analyse statistique des données de retours d'expérience, puis suivi par une estimation de la fiabilité de la ligne de production et une étude de prévision sur le nombre d'arrêts d'un équipement dans la même ligne de production. Enfin on proposera une stratégie de maintenance basée sur le constat observé en intégrant les outils scientifiques pour atteindre objectifs assignés.

Chapitre 01

PRESENTATION DE L'ENTREPRISE TCHIN-LAIT

Introduction :

De nos jours, la maintenance est beaucoup plus une politique, un ensemble de stratégie et non un simple entretien. Afin d'aborder cette thématique et de pouvoir l'exploiter dans l'usine de TCHIN-LAIT, il est utile de présenter cette entreprise, de mettre en évidence sa politique de maintenance actuelle, de choisir un système ou sous-système critique sur lequel on doit effectuer des applications et enfin exprimer les besoins de l'entreprise par rapport à cette thématique.

1.1. Historique de TCHIN-LAIT

Implantée sur l'ancien site de la limonaderie TCHIN-TCHIN, à l'entrée de la ville de BEJAIA, TCHIN-LAIT produit et commercialise le lait longue conservation UHT (Ultra Haute Température) sous le label CANDIA.

TCHIN-LAIT est une société privée de droit algérien, constituée juridiquement en SARL.

Tchin-Tchin était, à l'origine, une entreprise familiale, spécialisée dans les boissons gazeuses depuis 1952. Elle a, de ce fait, capitalisé une longue expérience dans le conditionnement des produits sous forme liquide.

L'arrivée des grandes firmes multinationales sur le marché des boissons gazeuses et la multiplication du nombre de limonadiers locaux l'a contraint à réviser sa stratégie ; d'où l'idée d'une reconversion vers le lait UHT, qui a donné naissance à TCHIN-LAIT.

Le lait constitue l'un des produits de base de notre alimentation. Il apparaît comme un produit indispensable à la santé, source de vie et de croissance, possédant des vertus nutritionnelles spécifiques et très bénéfiques, en particulier sa teneur en calcium.

Le lait représente l'un des plus importants marchés de l'univers alimentaire. L'Algérie est l'un des plus grands importateurs mondiaux de lait ; elle représente un marché de plus de 3 milliards de litres/an, soit 100 litres/habitant/an.

TCHIN-LAIT est une laiterie moderne, construite sur une superficie totale de 6.000m², comprenant :

- Un atelier de production : reconstitution du lait, traitement thermique et conditionnement.
- Un laboratoire : pour analyses micro biologiques et physico-chimiques du lait.
- Les utilités : Chaudières, station de traitement des eaux, compresseurs, groupes électrogènes, onduleurs, station de froid.
- Administration Générale (Direction générale et administration, Direction marketing et vente, Direction qualité, Direction achats et approvisionnements, Direction finances et comptabilité).
- Dépôt de stockage des produits finis, pouvant contenir près de 3 millions de litres. Ce dépôt sert aussi de plateforme d'expédition, pour la livraison des distributeurs, à travers tout le territoire national.

TCHIN-LAIT dispose de quatre lignes de production principales, chacune d'elles est dédiée généralement à un produit spécifique.

La technologie des lignes est conçue de manière à pouvoir interchanger et sélectionner les produits dérivés selon la demande.

La gamme de produits TCHIN-LAIT est constituée actuellement de :

- **Lait longue conservation** : Conditionné en emballage Tetra Pak ou Combibloc 1litre.
 - Lait stérilisé UHT (Ultra haute Température), partiellement écrémé, à dominante Bleue. Existe aussi en conditionnement 50cl.
 - Lait stérilisé UHT (Ultra haute Température), ENTIER, à dominante Rouge.
 - Lait stérilisé UHT Silhouette, écrémé (sans matière grasse), à dominante verte, enrichi en vitamine D.
 - Lait stérilisé UHT Viva, partiellement écrémé, enrichi en vitamines B1, B2, B3, B5, B6, B8, B9, B12, E, D.
- **Laits boissons:**
 - Lait stérilisé UHT au chocolat, dénommé « Candy Choco », en emballage 1l et 20cl.
 - Lait additionné de jus de fruits (Orange-Ananas et Pêche-Abricot), dénommé « Lait & Jus » et « Candy Jus », en emballage 20cl, avec paille.
- **Poudre Instantanée** :

Lait entier en poudre, enrichi en vitamine A et D. Contenance : étui de 500g.
- **Poudre infantile** :

Pour les nourrissons de la naissance à 6 mois (Baby 1) et de 6 à 12 mois (Baby 2).
- **Boissons aux fruits** : Conditionné en emballage Tetra Pak 20cl avec paille et en emballage Combibloc 1L
 - Boisson à l'Orange.
 - Cocktail de fruits.
 - Citronnade (Boisson au Citron) : disponible au format 1 litre seulement.

Les capacités de conditionnement actuelles sont comme suit :

- **Format 1l** : 740.000 litres/jour.
- **Format 20cl** : 96.000 litres/jour (480.000 emballages 20cl).

1.2. Description de la chaîne de production du lait

La production du lait de haute qualité exige un process complexe et comportant différents types d'équipement modernes et d'un fonctionnement technique de très haut niveau, intégrant un personnel qualifié essentiel à la production d'un label qualité.

La chaîne de production est constituée essentiellement de trois parties : la reconstitution, le traitement thermique et le conditionnement. Les utilités bien qu'ils soient vitaux pour le process, ils ne font pas partis de la chaîne de production. Ces utilités sont désignées comme :

- Génération de vapeur,
- Station d'eau glacée,
- Station d'air comprimé,
- Station de traitement des eaux,
- Groupes électrogène.

1.2.1. La reconstitution

Étape qui consiste à mélanger la poudre de lait à l'eau à un dosage bien précis définit par les normes et les recettes propres à l'entreprise. L'eau utilisée provient de la station de traitement des eaux ou elle subit les traitements physico-chimique et biologique.

1.2.2. Le traitement thermique

Le produit à environ 5°C est pompé de la cuve de stockage dans le bac tampon et de là, vers l'échangeur de chaleur par des pompes d'alimentation.

Le produit y est chauffé à environ 70°C, d'abord il passe par un dégazeur sous vide afin d'extraire l'air dissous et les bulles d'air finement dispersées (porteurs d'odeurs indésirable), ensuite par un homogénéisateur à une pression de (180 à 250 bars) qui fractionne les grosses globules.

Le produit préchauffé et homogénéisé regagne l'échangeur de chaleur pour être pasteurisé dans un premiers temps à 90°C pendant 30 secs, ensuite il sera stérilisé à 140 °C pendant 4 secs.

Enfin le produit subit un refroidissement par récupération d'abord par le circuit d'eau chaude, puis par le produit froid en entrée. En sortie, le produit à environ 25 °C gagne la ligne de conditionnement ou le tank stérile. Un schéma descriptif y est représenté dans la Figure1.1.

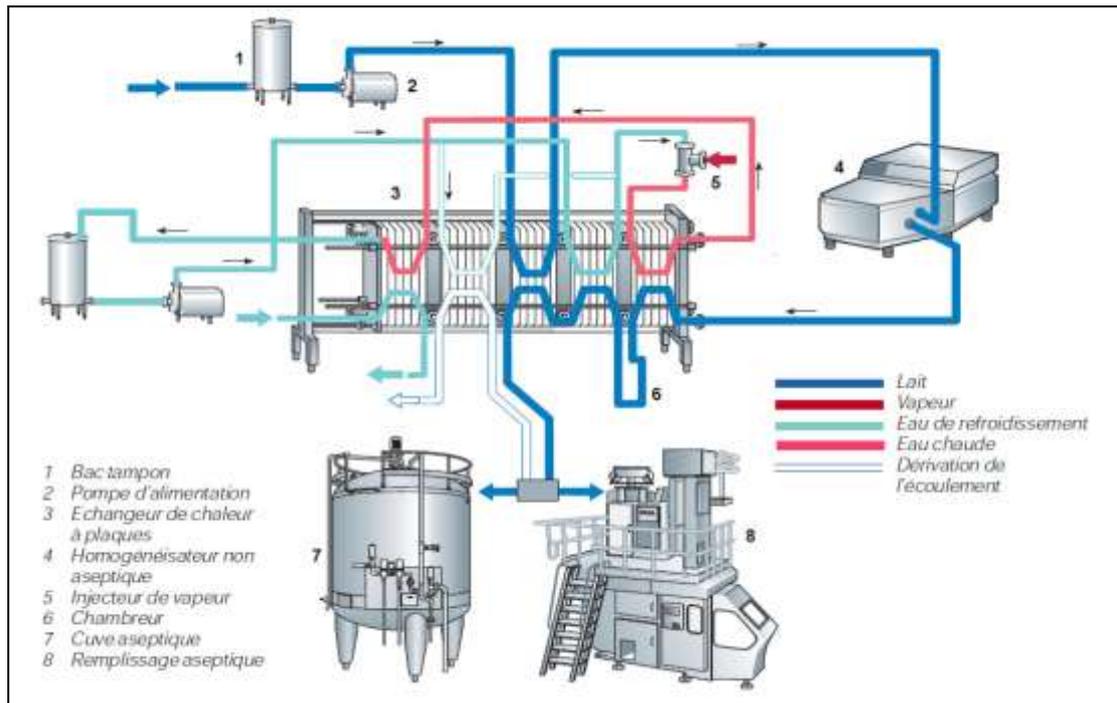


Figure 1-1 Traitement thermique

1.2.3. Conditionnement et suremballage

C'est la partie finale de la chaîne de production, dont le rôle consiste à remplir des briques de lait à l'aide d'une conditionneuse, suivi de la partie suremballage qui comprend :

- L'accumulateur
- Application du bouchon
- Regroupement dans des barquettes
- Application du film en plastique

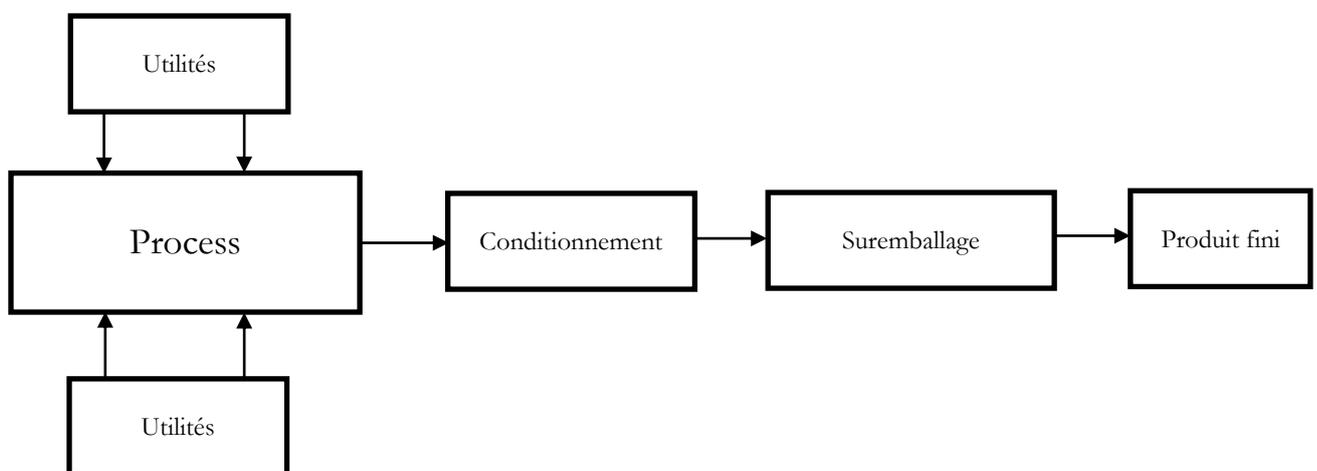


Figure 1-2 Chaîne de production

1.3. Présentation du plan de maintenance tel existant

La stratégie de maintenance chez TCHIN-LAIT se présente sous trois types de maintenances :

1.3.1. Maintenance Curative

L'action est déclenchée par un appel ou une demande d'intervention émise par le personnel de la structure exploitante suite à une panne constatée sur un équipement.

L'action d'intervention de maintenance curative se fait en trois étapes :

- **Préparation :**

Le technicien d'intervention :

- Etablit le diagnostic,
- Prévient la hiérarchie si nécessaire,
- Décide de l'intervention immédiate ou différée suivant la gravité de panne.

- **Exécution :**

Le technicien d'intervention :

- Rassemble les moyens humains et matériels (outillage, pièces de rechange et documentation),
- Prend les mesures de sécurités nécessaires,
- Réalise la réparation selon la documentation technique,
- Remet la machine dans les conditions de marche,
- Procède aux essais de fonctionnement avec l'opérateur.

- **Fin des travaux**

Après l'intervention, le technicien effectue les tâches suivantes :

- S'assure du bon fonctionnement de l'équipement réparé,
- Consigne le compte rendu d'intervention dans le registre de quart,
- Range l'outillage et la documentation,
- Restitue les pièces de rechange neuves non utilisées et les pièces usagées remplacées au magasin,
- Les pièces usagées sont vérifiées par les responsables concernés qui doivent décider de leur réintégration, envoi en réparation ou de leur rebut,
- Remplit, signe la demande d'intervention et la remet à la structure concernée.

1.3.2. Maintenance préventive systématique

La maintenance préventive systématique est réalisée systématiquement sur les équipements dont la défaillance entraînerait des non-conformités, des pertes importantes de produits ou de production. Le maintenancier responsable de l'équipement en question est munit d'un planning d'intervention établi à partir des gammes fournies par le constructeur.

- **Préparation**

Le responsable du service préparation, au vu des relevés des heures de fonctionnement des machines, programme les opérations de maintenance préventive systématique.

Pour cela, il :

- S'assure de la disponibilité des pièces de rechange,
- Programme avec la direction production l'arrêt de l'équipement,
- Rassemble la documentation et les gammes de maintenance,
- Transmet l'ordre de maintenance et les gammes nécessaires au responsable ou l'intervention est effectuée (Process, conditionnement, suremballage, utilités...).

- **Exécution**

Au jour programmé, le responsable des travaux :

- S'assure de l'arrêt de l'équipement,
- Exécute les consignes de sécurité pour la préservation du personnel et du matériel,
- Délimite sa zone de travail si nécessaire,
- Rassemble l'outillage, la documentation et les pièces de rechange,
- Réalise les travaux en suivant la gamme et en cochant sur celle-ci chaque opération effectuée,
- Relève et signale toute usure anormale ou anomalie constatée,
- Remet l'équipement en état de marche,
- Effectue les essais de fonctionnement avec l'opérateur,
- Procède au rangement de l'outillage, de la documentation et des pièces de rechange.

- **Fin des travaux**

Le responsable des travaux, à la fin des opérations de maintenance remplit les tâches suivantes :

- Remplit et vise la gamme d'entretien qui constitue le fichier historique de la machine.
- Communique au service préparation la liste des pièces de rechange utilisées (voir gamme d'entretien préventives en annexe).
- Soumet au responsable toute suggestion utile pour l'amélioration des opérations futures.

1.3.3. Maintenance préventive Conditionnelle

Où le terme conditionnelle, diffère de celui utilisé par les concepteurs de politique de maintenance. Il constitue le résultat d'une observation ou constat. On intervient à condition de constater ou de soupçonner une anomalie.

Ce type de maintenance est réservé aux équipements dont les défaillances, sont généralement progressives, ne se répercutent pas directement sur la qualité du produit et n'entraînent pas de pertes importantes.

Elles sont déclenchées suite à l'exploitation des relevés des conducteurs d'équipement ou à l'observation d'un dysfonctionnement (capteur de température, vibrations, capteur de pression...). Une fiche de suivi ou check liste est à la portée de l'opérateur qui reporte sur cette dernière certains paramètres clés du process.

L'action est programmée en concertation avec la structure exploitante, en fonction de l'urgence et du programme de production.

- **Préparation**

- Etudes des relevés de l'opérateur pour diagnostic et définition de l'urgence,
- Vérification de la disponibilité des pièces de rechange,
- Planification des travaux avec la direction production,
- Transmet au responsable concerné l'ordre de maintenance,
- Le responsable concerné désigne à son tour le responsable des travaux.

- **Exécution**

Au jour programmé, le responsable des travaux :

- S'assure de l'arrêt de l'équipement,
- Exécute les consignes de sécurité pour la préservation du personnel et du matériel,
- Délimite sa zone de travail si nécessaire,
- Rassemble l'outillage, la documentation et les pièces de rechange,
- Réalise les travaux en suivant la documentation du constructeur.
- Relève et note toute usure ou anomalie constatée,
- Remet l'équipement en état de marche,
- Effectue les essais de fonctionnement avec l'opérateur.

- **Fin des travaux**

Le responsable des travaux, à la fin des opérations de maintenance remplit les tâches suivantes :

- Procède au rangement de l'outillage, de la documentation et des pièces de rechange,
- Remet l'ordre de maintenance dûment rempli et signé au service préparation,
- Remet au service préparation les gammes et les relevés effectués,
- Communique au service préparation la liste des pièces de rechange utilisées (ne sont remplacées que les pièces défaillantes).
- Soumet au responsable toute suggestion utile pour l'amélioration des opérations futures.

Ces types de maintenance sont diffus dans des niveaux d'intervention tels que le présente le schéma suivant :

- Niveau 1

Réglages simples et échange standard d'éléments consommables accessibles. Ce type de travaux est effectué par l'opérateur ou le conducteur de l'équipement en suivant les instructions affichées sur site ou décrites dans le manuel opérateur ou le manuel d'utilisation.

- Niveau 2

Dépannage par échange standard des éléments et opérations mineures de maintenance préventive tel que le graissage, le changement de filtre. Ce type de maintenance est effectué par les techniciens d'intervention et les conducteurs d'utilités en suivant les instructions prévues dans les manuels de maintenance ou technique et dans les documents machines

- Niveau 3

Identification et diagnostic des pannes, réparation par changement des éléments fonctionnels, travaux de démontage et toute opération de maintenance préventive. Ce type de maintenance est réalisé au niveau de l'atelier de maintenance en utilisant l'ensemble des documents, l'outillage et les divers instruments nécessaires à la maintenance de l'équipement, suivant les cas, ces travaux seront effectués par :

- Les techniciens d'intervention
- Les équipes mécaniques ou électriques
- Les conducteurs utilités
- Les frigoristes

- Niveau 4

Tous les travaux importants de maintenance curative, de visites et de révisions préventives partielles ou complètes prévues dans le programme d'entretien préventif, sont effectués par les techniciens d'intervention.

Ces travaux sont pilotés par les chefs de services concernés et le service études et préparation, et peuvent recourir à l'assistance technique du fournisseur de l'équipement, (exemple Tetra Pack).

1.4. Expression du besoin en politique de maintenance

Au terme de ce qui a été développé dans la partie description de la planification de maintenance il ressort l'absence des outils et mécanismes à rajouter afin d'optimiser la fonction de veille intelligente et stratégique relevant du bureau méthodes.

- Analyse et traitement des données de retour d'expérience,
- Estimation et évaluation des indicateurs de performance,
- Cartographie du processus (chaîne de production + utilité),

Ces trois tâches nous permettront l'élaboration et la mise en place d'un dispositif mettant en œuvre une politique de gestion de la maintenance pouvant améliorer les performances des systèmes de production et adaptée aux exigences de la production.

Ce besoin a pour objectif la maîtrise et la réduction des temps d'arrêts des différents systèmes et équipements.

Le présent mémoire a pour objectif de présenter une approche nouvelle visant à :

- Réduire les temps d'arrêts des systèmes ;
- Planification de la maintenance systémique (basée sur les systèmes).

Cette approche a pour objectif l'augmentation de la disponibilité d'au moins 20 à 30 %.

Conclusion

On proposera une idée sur la redondance des éléments de second ordre qui auront certainement un impact positif et considérable sur la disponibilité des systèmes.

Cette dernière technique est très ancienne, mais elle reste méconnue de l'entreprise.

La connaissance de la hiérarchie de l'entreprise nous a révélé l'absence d'un service de maintenance proprement dit au niveau de cette dernière.

La décomposition de la chaîne de production, nous a permis de cibler l'élément critique de la chaîne et de voir les interdépendances entre sous-système pour une meilleure décision utile.

Ces deux points nous ont permis de réfléchir à une politique de maintenance basée sur les conditions de fonctionnement des équipements.

Chapitre 02

INTRODUCTION AUX METHODES DE MAINTENANCE

Introduction

Au-delà du vocabulaire à la mode, c'est en fait une réelle et profonde mutation que recouvrent les deux termes, Entretien et maintenance

- Entretien, c'est dépanner et réparer un parc matériel, afin d'assurer la continuité de la production. Entretien, c'est subir le matériel ;
- Maintenir, c'est choisir les moyens de prévenir, de corriger ou de rénover suivant l'usage du matériel, suivant sa criticité économique, afin d'optimiser le coût global de possession : Maintenir, c'est maîtriser.

L'esprit Maintenance se résume en deux mots-clés : **Maîtriser au lieu de subir**

2.1. Différents types de maintenances [1]

Au moment de la détermination de la politique de maintenance qui va être mise en œuvre sur un équipement ou une installation, l'homme de maintenance se trouve devant une alternative classique : doit-il attendre la défaillance du matériel et donc être amené à intervenir sur ce matériel qui n'assure plus tout ou partie de sa fonction requise, ou bien doit-il faire l'impossible pour éviter que cette défaillance ne se développe et entraîne la «panne» du matériel ?. Dans le premier cas on mettra en place une stratégie de maintenance corrective telle qu'elle sera définie ci-dessous, alors que dans le second on s'orientera vers une stratégie de maintenance préventive. Il peut paraître simple de répondre à cette question et une première analyse sommaire conduirait à privilégier la maintenance préventive en croyant, à tort, que cette maintenance préventive va supprimer totalement le risque de panne.

De fait il n'en est rien car la maintenance préventive ne fait que « réduire la probabilité d'apparition d'une défaillance ». Une analyse plus approfondie montre que le choix entre maintenance corrective et maintenance préventive demande la connaissance et l'examen d'un certain nombre de critères qui, selon le contexte, auront plus ou moins d'importance. Ces critères relèvent des aspects suivant :

- Techniques : fiabilité, maintenabilité, etc. ;
- Economiques : coûts de maintenance, d'indisponibilité, etc. ;
- De sécurité : des biens et des personnes ;
- De qualité.

Situation du problème :

A l'origine de l'action de maintenance se trouve la défaillance d'un bien.

La défaillance et la panne sont définies ainsi :

- Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise
- La panne est l'état du bien après défaillance

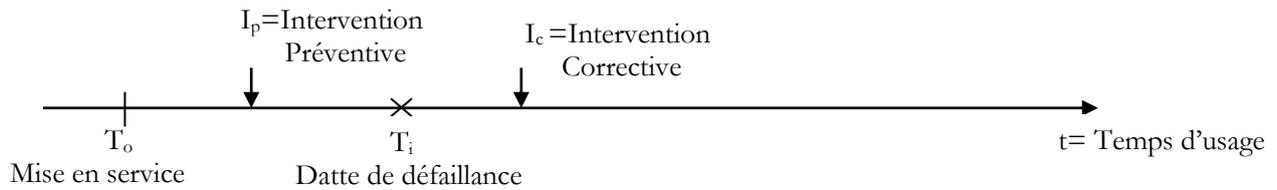


Figure 2-1 Déroulement chronologique des actions de maintenance

La Figure 2-1 montre que l'action exercée après une défaillance sera dite corrective et notée I_c (intervention corrective). L'action exercée avant une défaillance sera dite préventive et notée I_p (intervention préventive). Dans ce cas, la défaillance devient virtuelle, mais peut être associée à une probabilité notée $F(t)$ [2].

Le tableau suivant résume les deux types de maintenance associés à leur évènement déclencheur et aux actions de maintenance [3].

Tableau 2-1 : Evénements déclencheurs et actions de maintenance

Type de maintenance	Maintenance				
	Maintenance corrective		Maintenance préventive		
	Palliative	Curative	Systématique	Conditionnelle	Prévisionnelle
Evènement déclencheur	Défaillance	Défaillance	Date/Echéance	Franchissement limite ou seuil	Dérive tendance
Action de maintenance	Dépannage	Réparation	Remplacement systématique	Remplacement sous conditions	Interventions ciblées

2.1.1. Maintenance corrective

Définition AFNOR (norme X 60 – 010)

« Opération de maintenance effectuée après défaillance ».

Synonyme : Maintenance subie, fortuite, après défaillance, palliative (dépannage), curative (réparation)

La maintenance corrective correspond à une attitude de défense (subir) dans l'attente d'une défaillance fortuite, attitude caractéristique de l'entretien traditionnel.

Inévitable, la maintenance corrective, « exécutée après détection d'une panne est destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise » (telle que la définit la norme NF EN 13306 est une forme de maintenance que tout utilisateur d'un bien ou patrimoine est amené à mettre en œuvre. Son caractère inéluctable ne doit cependant pas faire oublier que cette maintenance doit faire l'objet d'une réflexion approfondie pour être optimisée. En effet c'est dans le cadre d'une politique de maintenance dûment réfléchie que l'on choisit d'attendre l'apparition d'une défaillance pour intervenir. Cela sous-entend que tout sera mis en œuvre pour intervenir dans les meilleures conditions **[2]** :

- Disponibilité des moyens nécessaires : documentation à jour, pièces de rechange nécessaires, outillages et moyens techniques, etc. ;
- Maîtrise par les intervenants d'une méthodologie d'intervention intégrant une méthodologie de diagnostic ; etc.

De la même façon, ces défaillances, dont on attend l'apparition, seront gérées en amont comme en aval de l'intervention et il sera nécessaire de bien définir la procédure de gestion en ce qui concerne **[1]** :

- La rédaction d'un compte rendu d'intervention ;
- La mise à jour des documents techniques : schémas, plans, etc. ;
- La rédaction et/ou l'optimisation de la gamme d'intervention ;
- L'optimisation du stock de pièces de rechange.

a. La maintenance curative

Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Cette remise en état du système est une réparation durable.

Les équipements réparés doivent assurer les fonctions pour lesquelles ils ont été conçus. Une réparation est une opération définitive de la maintenance curative qui peut être décidée soit immédiatement à la suite d'une défaillance, soit après un dépannage. Elle provoque donc une indisponibilité du système [3].

b. La maintenance palliative

La maintenance palliative revêt un caractère temporaire, provisoire. Elle est principalement constituée d'opérations qui devront toutefois être suivies d'opérations curatives (réparations). Le dépannage est une opération qui est destinée à remettre le système en état provisoire de fonctionnement de manière à ce qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises. Les opérations de dépannage sont souvent de courte durée et peuvent être nombreuses et récurrentes [3].

c. Evolution de la maintenance corrective [2]

La notion de « correction » après défaillance contient la notion « d'amélioration ». En effet, après détection d'une défaillance fortuite, en entretien traditionnel, on effectue un dépannage ou une réparation rétablissant la fonction perdue

En maintenance, nous effectuerons :

- Une analyse des causes de défaillance ;
- Une remise en état (dépannage-réparation) ;
- Une amélioration éventuelle (correction) visant à éviter la réapparition de la panne, ou à minimiser ses effets sur le système ;
- Une mise en mémoire de l'intervention permettant une exploitation ultérieure.

La détection du symptôme peut être suffisante dans une démarche de maintenance palliative, mais le diagnostic est indispensable à toute action de maintenance curative

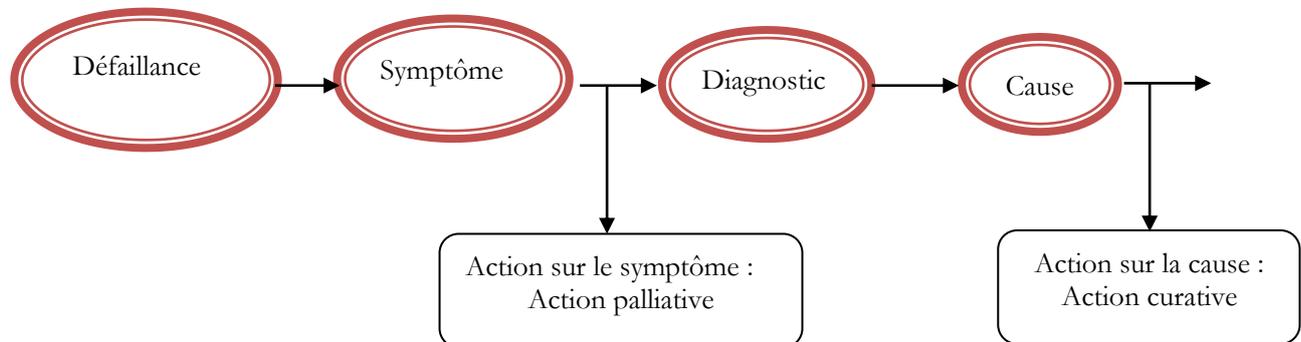


Figure 2-2 : Actions palliative, curative

2.1.2. Maintenance préventive

Définitions AFNORS X60-010

Maintenance ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage.

C'est une intervention de maintenance, prévue et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance [2].

À partir de cette définition générale on distingue trois variantes :

- Maintenance préventive systématique ;
- Maintenance préventive conditionnelle ;
- Maintenance préventive prévisionnelle.

a. Maintenance préventive conditionnelle

Cette maintenance est définie comme étant celle que l'on réalise uniquement lorsque l'état du bien le nécessite. La conséquence immédiate est qu'il est nécessaire de savoir mettre en place des techniques de surveillance de l'état du bien (faisabilité technique et économique) et surtout d'être capable de qualifier de façon précise l'état de ce bien. Un certain nombre de paramètres techniques, significatifs de l'état du bien, doivent donc être définis au cas par cas. Lorsque cela est possible (car ce n'est pas toujours le cas !) on arrive à optimiser les interventions de maintenance préventive en intervenant uniquement lorsque cela s'avère nécessaire. On peut schématiser ce processus en disant que l'intervention doit se réaliser lorsque le voyant rouge s'allume sur le tableau de bord. Cela pose cependant un autre problème qui est la définition des seuils acceptables pour chacun des paramètres précédemment définis.

C'est un écueil qui limite considérablement l'application de cette méthode donc réservée la plupart du temps à des biens dont la technologie et le comportement en exploitation sont parfaitement connus. Les exemples les plus classiques des techniques utilisées pour mettre en place la maintenance conditionnelle sont la thermographie infrarouge, l'analyse des lubrifiants et la mesure des vibrations. Ces techniques donnent lieu d'ailleurs à des articles approfondis dans le cadre de ce traité [1].

b. Maintenance préventive systématique

Fondée sur la connaissance que l'on peut avoir du comportement en exploitation du matériel et de ses composants, cette méthode de maintenance conduit à réaliser des interventions de surveillance (contrôle, remplacement de pièces) en fonction d'un échéancier exprimé en unités d'usage. C'est souvent la première stratégie de maintenance préventive qui est mise en place dans un secteur productif car c'est celle qui, a priori, paraît la plus simple à mettre en œuvre. Elle se heurte cependant à des obstacles majeurs qui, s'ils ne sont pas bien identifiés et si on n'y apporte pas de solution satisfaisante, peuvent faire échouer le projet de [1] :

- Détermination précise de l'échéancier d'intervention : cette détermination est basée essentiellement sur les données de fiabilité expérimentale des composants et/ou sous-ensembles concernés.

Elle nécessite de connaître suffisamment bien le comportement du bien en exploitation. En effet, intervenir trop tôt conduit rapidement à des coûts prohibitifs qui réduisent à néant les avantages que l'on peut espérer de cette maintenance. Mais intervenir trop tard rend inopérante la maintenance préventive et on se retrouve placé dans une stratégie de maintenance corrective ;

- Planification des interventions de maintenance systématique en fonction des arrêts de production planifiés : lorsque l'intervention prévue de maintenance systématique nécessite l'arrêt du bien, il est évident que, sauf circonstances particulières (fonctionnement à « feu continu », risques liés à la sécurité, ...) cet arrêt doit être coordonné avec un arrêt de production. Cette coordination indispensable conduit souvent :
 - soit à anticiper les interventions et dans ce cas on risque de perdre tout ou une partie des avantages de la maintenance systématique, avec en particulier une augmentation des coûts liés à une surconsommation de pièces de rechange par exemple,
 - soit à retarder la réalisation des interventions avec le risque, difficile à évaluer, d'une défaillance se produisant avant l'intervention. Ce scénario, qui conduit à effectuer de la maintenance corrective subie et non plus gérée est plus fréquent qu'on ne l'imagine et fait perdre toute crédibilité à la politique de maintenance préventive mise en place.

c. Maintenance préventive prévisionnelle

La dernière méthode de maintenance préventive utilisée, stade ultime de la maintenance, est la maintenance prévisionnelle (appelée à tort maintenance prédictive, car si l'on sait parfois prévoir en maintenance, en aucun cas on ne sait prédire !) qui est exécutée « en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation de paramètres significatifs de la dégradation du bien » (Norme NF EN 13306). Plus encore que pour la maintenance conditionnelle, il est nécessaire de maîtriser la technologie et le comportement du bien concerné dans ses conditions d'exploitation pour envisager l'application d'une telle stratégie de maintenance. Elle est en effet basée sur l'analyse de l'évolution des paramètres techniques qui permettent de qualifier l'état du bien et de déceler les dégradations potentielles dès leur

apparition. De façon plus précise que la maintenance conditionnelle, elle permet d'anticiper et de prévoir au mieux le moment où l'intervention devra être réalisée [1].

2.1.3. Caractérisation de la maintenance préventive

a. Objectifs visés par le préventif

Par définition, l'objectif de ce plan préventif est de réduire a priori la probabilité de certaines défaillances supposées de l'équipement, donc d'améliorer sa disponibilité et de réduire ses coûts de défaillance. Mais c'est aussi [2] :

- Générer une base de données permettant une prise en charge ultérieure, préventive systématique ou conditionnelle, ou les deux.
- Profiter des défaillances qui ne manqueront pas de survenir pour les diagnostiquer, voir les expertiser afin de pouvoir les prévenir. En effet, on ne peut vraiment prévenir les pathologies que lorsqu'on a compris leur mécanisme.
- Réduire et régulariser la charge de travail correctif, améliorer l'ordonnancement des travaux, donc les relations avec la production.
- Faciliter la gestion des stocks par la prévision des consommations de rechanges,
- Assurer la sécurité, car les interventions fortuites débouchent souvent sur des improvisations dangereuses.
- Améliorer le climat social, car le « fortuit » (survenant toujours au mauvais endroit et au mauvais moment, comme tout le monde peut le vérifier) génère souvent des tensions relationnelles.
- Augmenter la fiabilité d'un équipement, donc réduire les défaillances en service : réduction des coûts de défaillance, amélioration de la disponibilité.

b. Les principales difficultés inhérentes à la maintenance préventive [2]

- Intervenir sur un système en bon fonctionnement : par nature, prévenir une panne implique d'intervenir sur un système en bon fonctionnement, inactif ou actif. Dans ce dernier cas surtout, l'intervention est souvent mal perçue par les partenaires de production qui ont de « leur système » une perception à court terme. D'où une indispensable concertation sur les modalités de l'intervention préventive.

- La difficile justification économique de l'action préventive : l'intervention a un cout noté C_{ip} . La défaillance survenue a également un cout noté C_d . lorsque $C_d > C_{ip}$ il est facile de justifier a posteriori une politique préventive. Mais a priori ? dans ce cas, la défaillance évitée devient virtuelle. Son cout également. Mais combien aurait couté la défaillance que l'on a (probablement) évitée ? d'où l'intérêt de mettre en mémoire, puis d'exploiter les couts d'interventions correctives et préventives relatifs à un équipement pour justifier la politique préventive à partir de graphes d'évolution annuels.

2.2. Les cinq niveaux de maintenance [2]

La maintenance est caractérisée par une très grande variabilité des taches, en natures comme en durées. D'où l'utilité de jeter les bases de son organisation à partir d'une mise en famille a cinq niveaux, suivant la norme *AFONOR X 60-015* :

1er Niveau :

Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.

2e Niveau :

Dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventives (rondes).

3e Niveau :

Identification et diagnostic de pannes, réparation par échanges de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.

4e Niveau :

Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.

5e Niveau :

Travaux de rénovation, de reconstruction, ou de réparations importantes confiés à un atelier central.

2.3. Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité [4]

a. Définition :

On peut tenter de définir l'OMF en disant qu'il s'agit d'une méthode d'aide à la décision pour élaborer le programme de maintenance préventive d'une installation en respectant des contraintes et en optimisant des critères.

- Les critères sont généralement : la disponibilité, la qualité du produit ou du service rendu et les coûts d'exploitation.
- Parmi les contraintes, on trouve notamment la sécurité des personnes et la préservation de l'environnement.

Nous commencerons par énoncer les grands principes de cette méthode et présenter une description générale :

- **L'analyse fonctionnelle** qui fournit des représentations du fonctionnement des systèmes étudiés ;
- **L'analyse de dysfonctionnement** des systèmes qui permet d'identifier les modes de défaillance des matériels, ou des groupes de matériels, qui ont un rôle fonctionnel important et dont les défaillances sont jugées graves ;
- **L'analyse du retour d'expérience** qui fournit des données essentielles pour établir les choix de maintenance ;
- **L'analyse de dysfonctionnement** des matériels qui rassemble les informations nécessaires à l'évaluation de la criticité des modes de défaillance ;
- **La sélection des tâches de maintenance** qui conduit à proposer des tâches élémentaires justifiées pour couvrir les modes de défaillance significatifs et, après regroupement, à écrire le programme de maintenance préventive.

b. Principe :

La fiabilité des matériels quelquefois vue comme un objectif est reléguée au rang d'indicateur. Ce n'est plus la fiabilité maximale qui importe mais le meilleur compromis entre la disponibilité, les coûts et la qualité du produit ou du service rendu, sous respect des contraintes : sécurité des personnes, environnement, etc.

L'objectif n'est pas de rendre le plus fiable possible le matériel dont on a la responsabilité. L'idée maîtresse de l'OMF consiste précisément à changer ce point de vue qui est la tendance naturelle d'activités trop parcellisées. Il faut chercher à porter un regard global pour améliorer les objectifs d'ensemble quitte à laisser dans certains cas une place plus grande à la maintenance corrective. Il peut parfois être plus raisonnable d'attendre la défaillance que de chercher à l'éviter. Il est donc important de classer les défaillances selon le niveau d'inquiétude qu'elles suscitent, allant de « l'acceptable, faute de mieux » jusqu'à l'insupportable, en passant par « l'éventuellement et l'exceptionnellement tolérable », tâche qui est réalisée dans la partie AMDEC.

L'OMF est une démarche rationnelle qui vise à limiter au mieux les conséquences sur l'installation, de défaillances dont les origines sont matérielles. Elle permet de déterminer :

- Ou des actions préventives sont nécessaires (sur quels matériels);
- Quelles sont les actions à effectuer ;
- Quand (avec quelle fréquence) on doit les réaliser.

Pour cela, elle propose trois grandes phases :

- Une phase d'analyse du retour d'expérience qui consiste à rechercher ce qui s'est passé sur les matériels (en termes de fiabilité, de disponibilité et de coûts), et ce qui a été fait comme actes de maintenance ou comme modifications.
- Une phase d'évaluation des risques qui consiste à envisager les événements graves qui pourraient se passer (le possible), et qui met en œuvre les techniques d'analyse du fonctionnement et du dysfonctionnement. Le possible et l'observé permettent d'envisager le probable. C'est pour prévenir les défaillances qui présentent une gravité et qui ont des chances de se produire qu'il faudra envisager d'effectuer des tâches de maintenance préventive.

- Une phase d'optimisation de la maintenance qui détermine les tâches à effectuer et leur fréquence en envisageant éventuellement des améliorations ou des modifications.

Les applications et bénéfices potentiels tirés de l'utilisation des techniques de Maintenance Basée sur la Fiabilité nous permettront de:

- Développer un calendrier de maintenance planifiée pour les systèmes et équipements qui apporteront un niveau de fonctionnement acceptable, avec un niveau de risque acceptable et qui puisse être réalisé de manière efficace et rentable.
- Evaluer l'adéquation de la maintenance préventive et déterminer l'intervalle de maintenance optimal.
- Mettre en place des processus d'analyse qui soient plus efficaces et performants, en utilisant le retour d'expérience issu d'analyses rigoureuses.

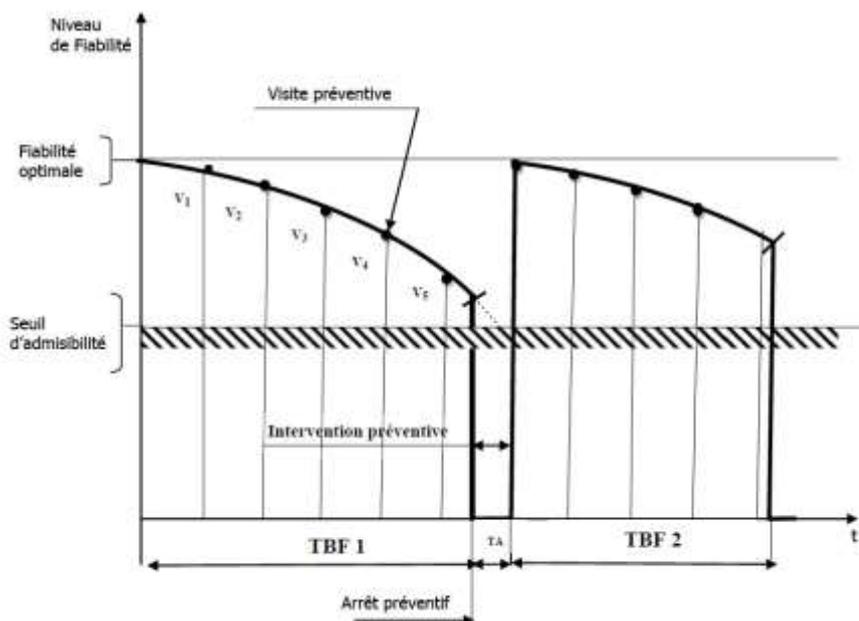


Figure 2-3 Evolution de la fiabilité d'un équipement en fonction du temps

Selon l'objectif fixé par la direction en termes de production, on associe un niveau de fiabilité à des équipements. Donc un seuil au deçà duquel on ne peut pas descendre, à l'intervalle prévu de la prochaine maintenance, on simule le niveau de fiabilité. Si ce dernier sera inférieur à la fiabilité seuil alors, on décide sur l'action de maintenance à effectuer sinon on laisse le système fonctionnel.

Conclusion

Une optimisation de la rentabilité d'un système et de ses équipements implique à l'évidence le passage d'une maintenance traditionnelle réactive basée sur la réparation (réagir à chaud) à une maintenance proactive basée sur la fiabilité pleinement intégrée dans les activités générales de l'usine. Cette évolution du réactif au proactif avec une intégration des systèmes d'aide à la décision industrielle permet souvent de faire passer la maintenance d'un centre de cout à un centre de profit.

La maintenance proactive, qui est une maintenance en temps réel, a pour objectif d'étendre la durée de vie de la machine par la surveillance de l'état, du comportement de celle-ci et par la correction de l'origine des causes de défaillance.

Chapitre 03

EVALUATION DES INDICES DE PERFORMANCE

Introduction :

L'utilisation des indicateurs de performance doit permettre de fixer des objectifs tant au niveau économique que technique et d'analyser leurs écarts par rapport à la réalité. Ils constituent des éclairages incontournables pour une gestion efficace de l'outil de production et de la maintenance associée : amélioration de la productivité, détermination et suivi des objectifs, mise en évidence des points faibles et des points forts et aides à la décision. Ils motivent, infirment ou confortent des choix et sont un excellent outil d'échange avec les autres responsables et décideurs.

Les indicateurs de performance en maintenance en particulier le MTBF et le MTTR sont parmi les indicateurs les plus utilisés. Ils se réfèrent à des notions de fiabilité, de maintenabilité et de disponibilité (FMD). La maîtrise de ces valeurs passe obligatoirement par leurs définitions et leurs modélisations.

3.1. Fonction et valeurs moyennes usuelles pour l'expression de la FMD

3.1.1. Définitions

a. Fiabilité

La fiabilité est la probabilité qu'un produit fonctionne correctement sans panne dans des conditions d'utilisation données pendant une durée spécifique. Elle s'exprime en probabilités. La fiabilité (« Reliability » en anglais) représente la probabilité qu'un dispositif fonctionne à l'instant t. C'est encore assimilable à une probabilité de survie [5],[2].

b. Disponibilité :

Caractéristique d'un système réparable mesurée par la probabilité que le système fonctionne correctement à un instant quelconque, lorsqu'il est utilisé et entretenu dans les conditions spécifiées [6].

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

c. Maintenabilité

Les concepteurs recherchent toujours la performance maximum du produit et négligent parfois l'hypothèse de la panne. Il est difficile quand on fait tout pour que le système fonctionne de se demander ce qu'il adviendra en cas de panne. Pourtant cette interrogation est indispensable. Pour qu'un système soit disponible, il doit défaillir le plus rarement possible mais il est tout aussi important qu'il soit très rapidement réparé. On entend ici par réparation l'ensemble de la remise en service incluant les délais logistiques. L'aptitude d'un système à être réparé est mesurée par la maintenabilité [7].

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

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

Par analogie avec la fiabilité, il est possible de lui donner une définition probabiliste : « C'est la probabilité de rétablir un système dans des conditions de fonctionnement spécifiées, en des limites de temps désirées, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions et avec des moyens prescrits » [2].

d. Défaillance :

Les défaillances sont à la maintenance ce que les pathologies humaines sont à la médecine : leur raison d'exister. Or, toute défaillance est le résultat d'un mécanisme pathologique rationnel et explicable, dû à une ou plusieurs causes à identifier.

Défaillance : « Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise ». Après une défaillance, le bien est en panne [2].

e. Taux de défaillance [2]

La probabilité qu'un système tombe en panne entre l'âge t qu'il a déjà et l'âge $t + dt$ est représentée par la probabilité conditionnelle qu'elle tombe en panne entre t et $t + dt$, sachant qu'il a survécu jusqu'à t .

La figure 3-1 illustre l'évolution du taux de défaillance d'un équipement durant sa période d'exploitation allant de la date de mise en service jusqu'à son obsolescence

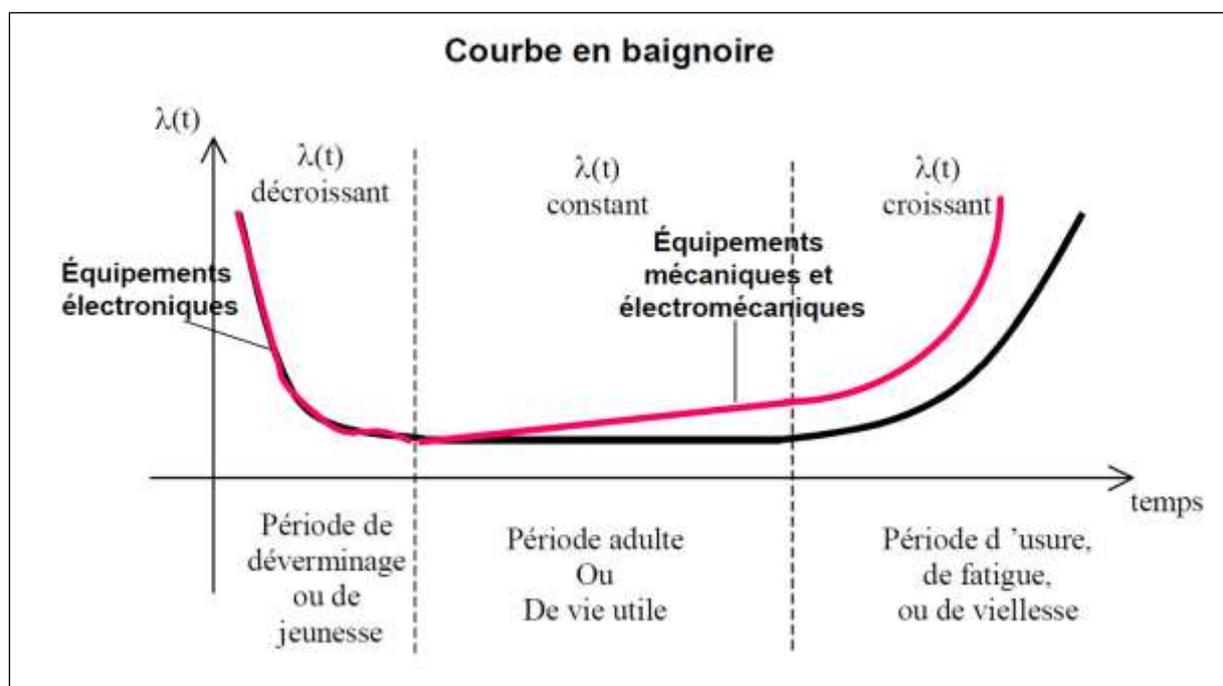


Figure 3-1 Taux de défaillance en fonction de l'âge de l'équipement

On remarque 3 zones :

1. La zone de rodage (jeunesse)

Le premier segment correspond à la phase de développement du produit ou encore à celle dite de la mortalité infantile ou jeunesse.

Le taux de défaillance décroît avec le temps ; le but d'un bon programme de fiabilité est de s'assurer que le produit qui parvient à l'utilisateur n'est plus dans cette phase de défaillance à taux décroissant.

2. La zone de maturité

Le deuxième segment correspond à la phase de vie utile du produit.

Le taux de défaillance est quasi constant dans le temps c'est le segment auquel s'intéresse le plus le programme de fiabilité.

Cette zone s'applique habituellement aux équipements mécaniques ou électromécaniques.

3. La zone d'obsolescence ou d'usure (vieillesse)

Le troisième segment correspond à la phase de fin de vie utile du produit.

Le taux de défaillance est croissant dans le temps. La zone obsolescence (vieillesse ou d'usure), est la plus intéressante car s'applique aux éléments mécaniques d'un équipement. On tend à augmenter la vie de l'équipement en prévoyant les bris causés par l'usure.

3.1.2. Modèles mathématiques de ses FMD [2]

a. Fonction de fiabilité d'un système :

$R(t)$ est la probabilité que le système n'ait pas de défaillance avant l'instant t .

$$R(t) = P(T > t) = 1 - P(T \leq t) = 1 - F(t)$$

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = \int_t^{\infty} f(t)dt$$

b. Fonction de défaillance d'un système :

T est la variable aléatoire qui a tout dispositif associe son temps de bon fonctionnement ou sa durée de vie avant une défaillance.

La densité de probabilité de T , notée $f(t)$ est appelée la densité de défaillance.

$$F(t) = Prob(T \leq t) = \int_0^t f(t)dt$$

c. La maintenabilité :

La maintenabilité est la probabilité pour qu'une opération donnée de maintenance active puisse être effectuée pendant un intervalle de temps donné $[t_1, t_2]$

$$M(t) = \int_0^t \mu e^{-\mu t} dt$$

Elle peut être confondue avec la réparabilité.

Avec μ : taux de réparation.

d. La disponibilité :

La disponibilité dépend de la fiabilité et de la maintenance, suivant la relation :

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

Afin de maximiser la disponibilité, il est donc nécessaire d'agir sur le MTBF et le MTTR. Ce dernier doit être le plus réduit possible. Pour ce faire, il faut s'équiper de systèmes d'alerte, de diagnostic et d'assistance proches de l'installation. Des pièces détachées critiques à disposition ainsi qu'une conception soignée du système permettent un accès facilité aux composants pour un remplacement rapide.

On peut aussi inclure que dans certains cas, la disponibilité et la maintenabilité s'oppose ; c'est-à-dire qu'il faut maintenir juste ce qu'il faut. Par contre la maintenabilité renforce la fiabilité

3.1.3. Valeurs moyennes [6]

La vie d'un équipement industriel comprend une alternance d'arrêt et d'opération (bon fonctionnement). On peut l'illustrer par :



TBF	Temps de bon fonctionnement
TA	Temps d'arrêt

Le temps d'arrêt est décomposé en trois, d'abord le temps nécessaire à la préparation de l'intervention de maintenance (délais D_1), le temps de l'intervention proprement dite (TTR ou temps technique de réparation) et le temps de remise en marche (délai D_2)



TTR : temps technique de réparation

D : délais

À partir des temps de bon fonctionnement et des temps d'arrêt, il est possible de calculer les indices MTBF, MTTR et la disponibilité d'un équipement.

MTBF : Réservé aux équipements réparables, (Mean Time Between Failure) traduit en temps moyen entre deux panne est une caractéristique de la fiabilité exprimé souvent en heurs, correspond à l'espérance mathématique de la variable aléatoire T , date d'apparition d'une panne ou l'intégrale de la fiabilité. Son expression mathématique :

$$MTBF = E(T) = \int_0^{+\infty} R(t)dt.$$

Dans le cas où le système est non réparable on utilise le MTTF.

MTTR: (Mean Time To Repair) traduit en moyenne des temps de réparation, caractérise la maintenabilité.

MUT : (Mean Up Time) pour durée moyenne de fonctionnement après réparation

MDT : (Mean Down Time) pour durée moyenne d'indisponibilité, elle comptabilise le temps de détection de la panne, le temps de réparation et de la remise en service

La Figure 3-2 synthétise les différents temps moyens :

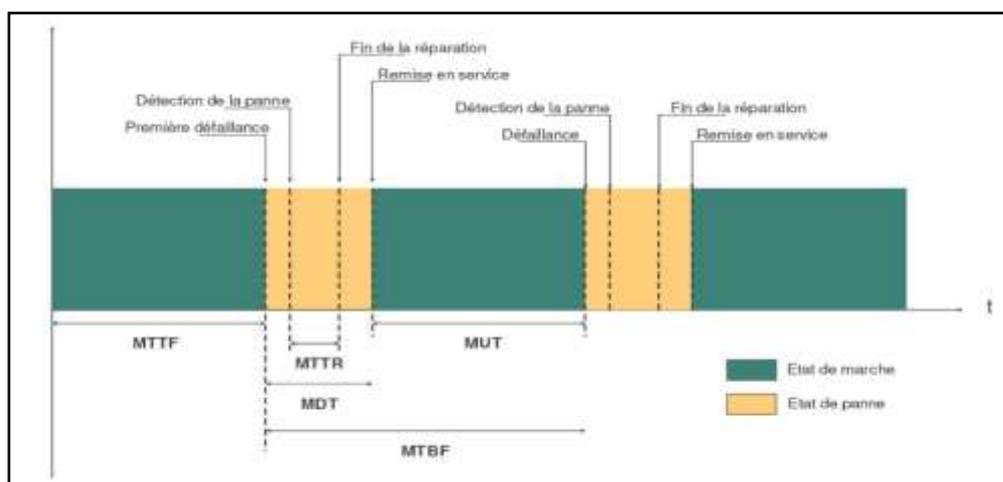


Figure 3-2 Synthèse des durées moyennes durant le cycle de vie d'un équipement

3.2. Principales lois utilisées en fiabilité des systèmes électromécaniques

3.2.1. Distribution exponentielle [2]

Cette loi a de nombreuses applications dans plusieurs domaines. C'est une loi simple, très utilisée en fiabilité dont le taux de défaillance est constant. Elle décrit la vie des matériels qui subissent des défaillances aléatoires et dont le taux est presque constant.

Il est à noter que dans le cas d'une distribution exponentielle, la maintenance préventive est inadéquate.

La loi exponentielle est la loi suivie par la variable aléatoire T lorsque le taux d'avarie est constant. Autrement dit, pour tout $t \geq 0$ $\lambda(t) = \lambda$

Elle est caractérisée par :

La fonction de fiabilité est définie pour tout $t \geq 0$ par :

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

La fonction de défaillance est définie pour tout $t \geq 0$ par :

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

La densité de probabilité de la variable aléatoire T est définie pour tout $t \geq 0$ par :

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

Sa représentation graphique est illustrée dans la figure 3-3.

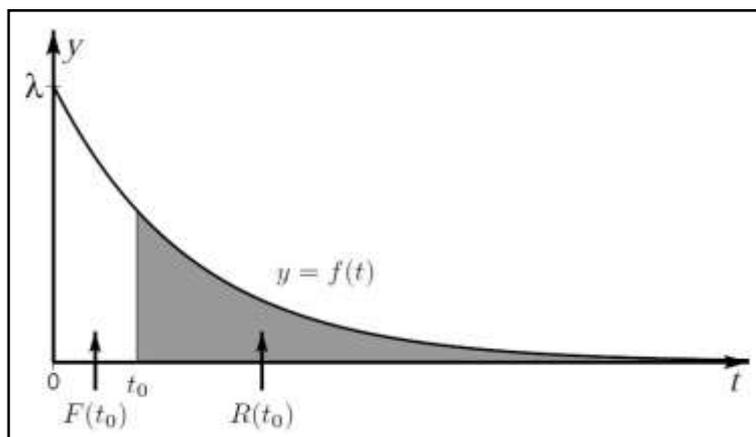


Figure 3-3 Variation de la densité de probabilité de la fonction exponentielle

3.2.2. Distribution de WEIBULL [2]

C'est la plus populaire des lois, utilisée fréquemment dans le domaine de la fiabilité des équipements mécaniques. Elle a l'avantage d'être très souple et de pouvoir s'ajuster à différents résultats d'expérimentation. Elle caractérise le comportement du système dans les trois phases de vie : période de jeunesse, période de vie utile et période d'usure ou vieillissement. Dans sa forme la plus générale, la distribution de Weibull dépend des trois paramètres suivants : β , η et γ Ou :

β : Paramètre de forme, réel positif sans dimension qui traduit l'allure de dégradation du matériel

η : paramètre d'échelle, réel positif en unité d'usage dont la valeur dépend de l'unité choisie

γ : paramètre de position, valeur en unité d'usage

- Nulle si les défaillances peuvent débutées à l'âge 0 (ou au nombre 0 d'unité d'usage)
- Valeur positif si les défaillances ne peuvent se produire avant l'âge γ , c'est-à-dire qu'il y a nécessairement survie entre l'âge 0 et l'âge γ
- Valeur négative si les défaillances ont débuté avant l'origine des temps choisis pour effectuer les mesures.

Elle est caractérisée par :

- Fonction de fiabilité :

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

- Taux de défaillance :

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

- Densité de probabilité :

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

Le paramètre β est le plus important des trois car il permet de contrôler la forme de la distribution.

Le taux de défaillance est soit décroissant ($b < 1$) soit constant ($b=1$), soit croissant ($b > 1$). La distribution de Weibull permet donc de représenter les trois périodes de la vie d'un dispositif décrites par la courbe en baignoire

3.3. Estimations des paramètres de la loi de Weibull et tests d'ajustements

Il est fort probable que l'on assimile une tendance ou une forme de courbe à une distribution à priori. Mais quel que soit le degré d'approche, la validation de ce choix ne peut être justifiée que par des tests d'ajustement.

Un des problèmes essentiels est l'estimation des paramètres (β, η, γ) de la loi de Weibull. Pour cela, nous disposons de plusieurs méthodes : analytique et graphique

3.3.1. Méthodes graphique [2],[8]

Cette méthode est à utiliser lorsque l'on désire vérifier que des points expérimentaux obéissent à une loi de Weibull.

En utilisant le graphique d'ALLAN Plait :

Le graphique à échelle fonctionnelle est gradué de la façon suivante :

- En ordonnée, on a : $Y = \ln \ln \left(\frac{1}{1-F(t)} \right)$ (logarithme népérien).
- En abscisse, on a : $X = \ln(t)$

1. Cas ou $\gamma = 0$

Hypothèse que l'origine est bien connue et qu'elle coïncide avec les données expérimentales :

$$\text{On a } R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \text{ et } \ln \ln \frac{1}{1-F(t)} = \beta \ln(t) - \beta \ln(\eta)$$

$$\text{On pose } B = -\beta \ln(\eta) \text{ et } A = \beta$$

$$\text{D'où on a } Y = AX + B$$

Alors, si les données correspondent à une loi de Weibull de paramètre $\gamma = 0$, elles doivent s'aligner suivant une droite dans le graphique d'Allan plait.

- Estimation de β

β Représente la pente de la droite. Pour l'obtenir, on fait passer une droite parallèle à la droite réelle par le point 1 et on lit la valeur de β sur l'échelle β

- Estimation de η

η se lit à l'intersection de la droite tracée et la ligne 63,2% du papier d'Allan plait.

2. Cas où $\gamma > 0$ (estimation par itération)

Dans ce cas, les données ne se linéarisent pas et on obtient une courbe qui admet une asymptote verticale. L'intersection de l'asymptote et de l'abscisse permet une première estimation de γ , $\hat{\gamma} = t$

Lorsqu'on estime γ , on fait la correction : $t' = t - \gamma$

Où t' = nouveau temps et t = ancienne estimation.

Ensuite, on reporte les nouvelles valeurs et on doit obtenir une courbe qui se rapproche d'une droite. Si ce n'est pas le cas, on recommencera l'opération, ceci au maximum trois fois, et si l'on a toujours pas une droite, alors on peut en conclure que l'on n'a pas une loi de Weibull ou que l'on peut avoir des lois Weibull à origine différentes ou mélangées

3. Cas où $\gamma < 0$ (estimation par itération) :

Dans ce cas, on obtient une courbe qui admet une asymptote horizontale. Une façon d'estimer γ est de procéder par essais successifs jusqu'à ce que la courbe soit redressée.

3.3.2. Méthode des moindres carrés [8]

La méthode des moindres carrés consiste à imposer à ce que l'erreur quadratique :

$$\sum_{i=1}^n \xi_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \text{ soit minimale}$$

Tel que les Y_i représentent les valeurs de la fonction à étudier et les \hat{Y}_i représentent les valeurs de la fonction analytique.

En posant :

$$X = \ln(t - \gamma), Y = \ln \ln \left(\frac{1}{R(t)} \right)$$

$$A = \beta, B = \beta \ln(\eta)$$

On retrouve ainsi l'équation de la droite de la méthode graphique : $Y = AX + B$

On cherche donc à minimiser la somme des carrés des écarts :

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Où : $Y_i = AX_i + B$, $X_i = \ln(t_i - \gamma)$, les t_i représentent les instants de pannes.

$$\hat{Y}_i = \ln \ln \left(\frac{1}{\hat{R}(t_i)} \right), \hat{R}(t_i) : \text{Fiabilité expérimentale obtenue à partir de l'échantillon.}$$

On a : $\sum_{i=1}^n \xi_i^2 = \sum_{i=1}^n (AX_i + B - \hat{Y}_i)^2 = F(A,B)$

Le minimum est atteint pour : $\frac{\delta F(A,B)}{\delta A} = \frac{\delta F(A,B)}{\delta B} = 0$

Ce qui donne le système d'équation :

$$\begin{cases} A \sum_{i=1}^n X_i^2 + B \sum_{i=1}^n X_i - \sum_{i=1}^n X_i \hat{Y}_i = 0 \\ A \sum_{i=1}^n X_i + nB - \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i = 0 \end{cases}$$

Dont la résolution donne :

$$B = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i \hat{Y}_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2}$$

$$\eta^\beta = \exp \left| - \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i \hat{Y}_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \right|$$

3.3.3. Méthode du maximum de vraisemblance [8]

La fonction de répartition d'une loi de weibull standard, $F(x)$ peut être définie par un seul paramètre θ (θ étant un vecteur dans ces conditions) :

$$F(x) = e^{(-x)^\theta}$$

D'où sa densité de probabilité :

$$f(x) = \theta x^{(\theta-1)} e^{(-x)^\theta}$$

La fonction de vraisemblance pour n observations, et X_i étant l'instant de panne de l'élément i est :

$$L(x; \theta) = \theta^n \prod_{i=1}^n x_i^{(\theta-1)} \exp[-\sum_{i=1}^n x_i^\theta]$$

En prenant le log de vraisemblance :

$$\ln L(x; \theta) = \ln \theta^n + (\theta-1) \sum_{i=1}^n \ln x_i - \sum_{i=1}^n x_i^\theta$$

La méthode du maximum de vraisemblance consiste à prendre comme estimateur $\hat{\theta}$ de θ qui rend maximale la vraisemblance. Cet estimateur doit donc vérifier la condition :

$$\frac{\sigma L(x; \hat{\theta})}{\sigma \theta} = 0 \Rightarrow \frac{\sigma \ln L(x; \hat{\theta})}{\sigma \theta} = 0$$

L'estimateur de θ est alors solution de l'équation :

$$\hat{\theta} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n (x_i^\theta - 1) \ln x_i}$$

Equation de type $x=f(x)$ que l'on peut calculer par itérations successives, ou par résolution numérique.

3.4. Validation des modèles

Les modèles que l'on peut établir sont issus d'un échantillon de population, puis on pose l'hypothèse qu'ils suivent une loi particulière. Ainsi, il reste à vérifier la validité de cette loi. Pour cela, on admet un risque « α » petit, α étant le niveau de signification [8].

3.4.1. Test de Khi-deux

Soit X_1, X_2, \dots, X_n un n – échantillon issu d'une véritable aléatoire X .

On partage le domaine D de la véritable X , partie de l'ensemble de réels \mathcal{R} , en r classes C_1, C_2, \dots, C_r .

Généralement, on prend $r \approx \sqrt{n}$

$$K_n^2 = \sum_{i=1}^r \left(\frac{n_i - np_i}{np_i} \right)^2$$

Où, n_i : L'effectif de la classe C_i .

p_i : Probabilité de se trouver de la classe C_i .

np_i : Effectif théorique de la classe C_i .

K_n^2 suit asymptotiquement une loi de χ^2 à u degrés de liberté avec $u=r-K-1$ est le nombre de paramètre à estimer pour le modèle théorique.

Règle de décision :

Si $K_n^2 < \chi^2(r - K - 1, \alpha)$, on accepte l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

Si $K_n^2 > \chi^2(r - K - 1, \alpha)$, on rejette l'ajustement de la variable aléatoire X par la loi choisie.

3.4.2. Test de Kolmogorov-Smirnov

Le test d'ajustement de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique qui permet de tester l'hypothèse H_0 selon laquelle les données observées sont engendrées par une loi de probabilité théorique considérée comme étant un modèle convenable.

Mais contrairement au test Khi-deux, la loi théorique doit ici être continue et entièrement spécifiée, sans paramètre inconnu.

Dans ce test, les calculs sur les lois de probabilité se font sur les fonctions de répartition : on mesure l'écart entre la fonction de répartition théorique et la fonction de répartition observée.

On considère ainsi une variable aléatoire X de fonction de répartition F , que l'on veut comparer à une fonction de répartition théorique F_0 continue.

On souhaite tester :

— l'hypothèse $H_0 : F = F_0$,

Contre :

— l'hypothèse $H_1 : F \neq F_0$

Si (X_1, \dots, X_n) est un n -échantillon de X , la fonction de répartition empirique associée à cet échantillon est :

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{k=-\infty}^{n=+\infty} 1_{]-\infty, x]}(X_k)$$

$F_n(x)$ est la proportion des observations dont la valeur est inférieure ou égale à x .

L'écart entre les valeurs observées et les valeurs théoriques du modèle déduites de la fonction de répartition F_0 peut donc être mesuré par la variable aléatoire :

$$\Delta_n = \text{Sup} |F_n(x) - F_0(x)|$$

Qui sera la variable de décision, ou fonction discriminante du test.

Conclusion :

Les définitions et les modèles mathématiques développés dans ce chapitre sont utiles pour l'analyse statistique des données issues du retour d'expérience. Leurs applications seront exprimées dans le chapitre 4.

Chapitre 04

APPLICATIONS ET ETUDE DE CAS

Introduction :

Dans ce qui suit, on va aborder le traitement statistique des données. Cette opération est précédée par un stage en entreprise TCHIN-LAIT, dont l'objectif étant la familiarisation avec les équipements, la collecte des données et la sélection de celles jugées utiles pour la thématique traitée.

Ensuite, une estimation de la fiabilité a été réalisée et les modèles retenus ont été implémenté dans un logiciel de calcul, le Weibull++.

Une tentative sur l'élaboration des modèles de prévision a été effectuée, dont on conclue de l'inefficacité de cette opération.

Alors, le traitement statistique a été orienté vers l'estimation des paramètres des lois de distribution.

Il a été observé que la méthode actuelle utilisée par l'entreprise doit être revue et des recommandations ont été émises.

Le choix de l'équipement à étudier s'est porté sur la ligne de production A3/Speed- (TETRAPAK- 1L). Il a été motivé de par la particularité de la ligne à occuper deux états (Fonctionnement ou Panne), sa position stratégique dans la chaîne de production ainsi que son importante cadence de production soit 15000L/h. Le produit conditionné étant du lait, requiert une stérilisation complète de la conditionneuse, cette dernière se voit très affectée par des arrêts fréquents.

Les registres de production et de maintenance ont révélé qu'elle a subi beaucoup d'arrêts. Cette ligne est très sollicitée et travaille à flux tendu. D'où la nécessité de maîtriser les temps d'arrêts.

Toutes ces considérations ont contribué à orienter notre choix d'étude sur cette dernière.

4.1. Architecture de la ligne de production :

a. La conditionneuse :

C'est une machine aseptique qui a pour tâche le remplissage des briques.

- Type : Tetra Brik ASEPTIQUE A3/Speed
- Version : 030V avec pull tab
- Cadence : 15000 L/h

b. L'accumulateur :

Il sert à stocker momentanément les briques de lait qui sort de la conditionneuse et offre du temps pour une éventuelle intervention en aval de la ligne en cas de problèmes.

- Type : Helix 30
- Version : ACHX30 120m

1- Applicateur de bouchon :

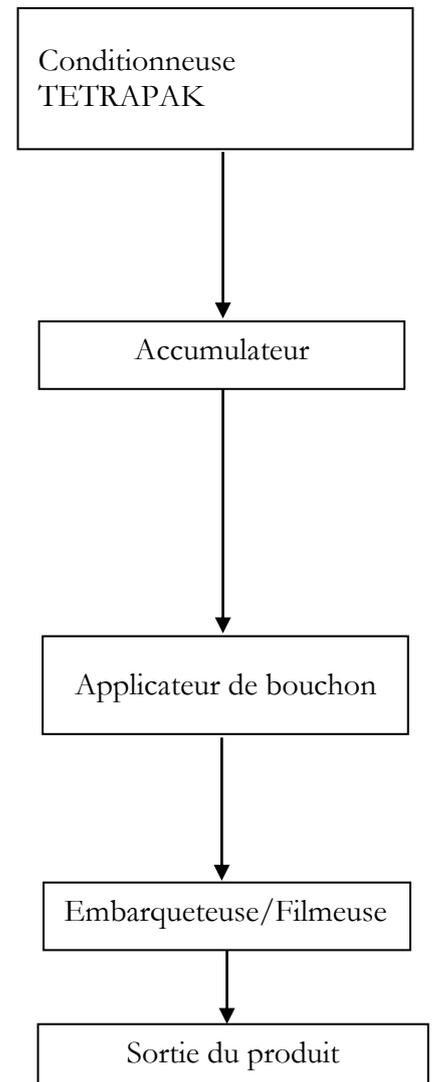
Une fois que la brique de lait sortie de la conditionneuse elle passe par la machine qui applique le bouchon sur la brique

- Type : CAP30

2- Fardeleuse/Filmeuse :

Les briques de lait sont regroupées en fardeau de 2x6, ensuite mises en barquette de carton puis un film en plastique vient recouvrir le fardeau

- Type Polypack
- Cadence : 15000 L/h



4.2. Traitement statistique des données

Avant tout traitement statistique des données, on se fixe des objectifs à atteindre et la démarche à suivre.

En général, on se confronte à une multitude de données, consignées dans des registres à toutes fin utiles.

Les questions récurrentes que l'on se pose sont :

- Quelles sont les données utiles à notre étude ?
- Quels moyens statistiques doit-on utiliser pour exploiter ces données ?
- Quels outils de traitement statistique à utiliser ? pour interpréter les résultats obtenus et leurs donner une signification mathématique.

L'une des premières opérations est le dépouillement, puis suit le classement et après l'exploitation.

4.2.1. Historique de données et stratégie de récoltes

Chaque opérateur dispose de fiches techniques ainsi que de registre de bord sur lesquels, il mentionne l'heure et la durée de l'arrêt de la machine, la cause et les différentes observations relatives à l'intervention. Ces données sont reprises par un agent des méthodes qui fait la saisie sous outil informatique (Excel).

Par ailleurs, Seul la conditionneuse embarque un logiciel de fabricant par lequel le responsable a accès pour lecture des temps de fonctionnement et des temps d'arrêts de la conditionneuse qu'il soit endogène ou exogène.

4.2.2. Etude et Exploitation des données recueillis pour l'étude de cas

Nous avons à disposition l'historique journalier de pannes de la ligne de production A3/Speed sur une période de 14 mois, puis on a classé et organisé les données selon le tableau suivant :

Tableau 4-1 Données en heurs relatives aux fonctionnement et aux pannes

	Nombre de panne conditionneuse	Durée de la panne (h) conditionneuse	Arrêts induits (h)		Temps de bon fonctionnement (h)	Temps de fonctionnement idéal (h)
			annexe	S.Emballage		
Janv-2012	141	110,21	199,7	130,08	291,9	532,2
Fev-2012	146	218,93	241,6	63,08	163,85	445,86
Mars-2012	143	126,18	178,96	78,55	348,56	553,3
Avril-2012	160	137,95	173	109,13	282,95	530,03
Mai-2012	21	10,78	70	21,86	102,61	135,3
Juin-2012	102	83,83	99,68	87,15	150,8	321,78
Juil-2012	57	57,93	240,23	118,8	314,2	490,93
Aout-2012	59	44,3	193,03	226,4	272,45	543,13
Sep-2012	74	57,58	201,16	173,93	286,75	518,3
Oct-2012	121	90,96	237,13	120,53	282,78	494,28
Nov-2012	42	50,1	233,85	148,46	262,86	461,43
Dec-2012	62	71,2	214,98	134,1	317,4	522,7
Janv-2013	103	77,05	231,06	102,75	323,6	503,4
Fev-2013	146	96,76	147,2	88,51	319,55	504,83

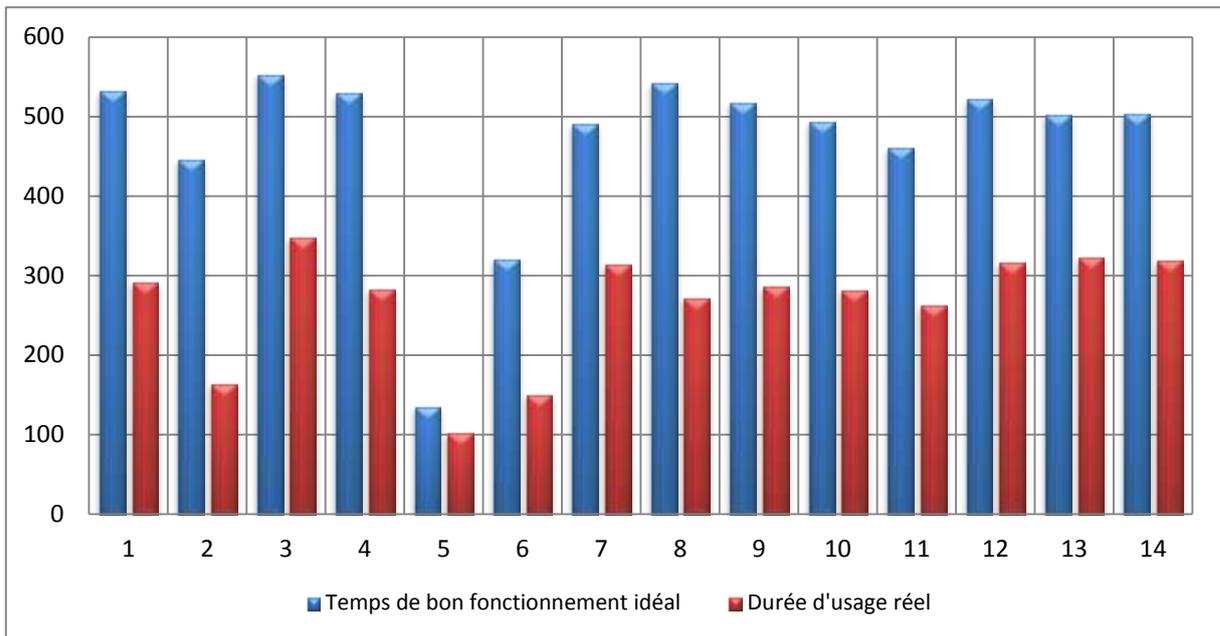


Figure 4-1 Historique de fonctionnemnt de la ligne de production A3/Speed

Le graphe de la figure 4.1 est un histogramme groupé à 2 paramètres qui représente les temps de bon fonctionnement idéals (souhaités) et le temps de bon fonctionnement réel de la ligne de production (A3/Speed 1L) répartis sur 14 mois de l'année 2012.

Le graphe tel que représenté met en évidence l'écart entre le temps de bon fonctionnement souhaité représenté en bleu et le temps de bon fonctionnement réel représenté en rouge, cet écart, représente l'association de la durée des pannes de la conditionneuse et de la partie suremballage.

Nous avons synthétisé les données relatives aux temps de fonctionnement et aux arrêts de la ligne de production (A3/Speed 1L). Pour une analyse fonctionnelle du système nous avons répartis les temps d’arrêts de production en identifiant les causes.

Notre base de calcul repose sur un temps de fonctionnement de 24h/24, 7j/7 et 365j/an. Les heures de temps de fonctionnement et des arrêts ont été extraites à partir des registres auprès des opérateurs. Les données compilées sous forme de graphe font remonter le constat suivant ; inspiré de la figure 4.3

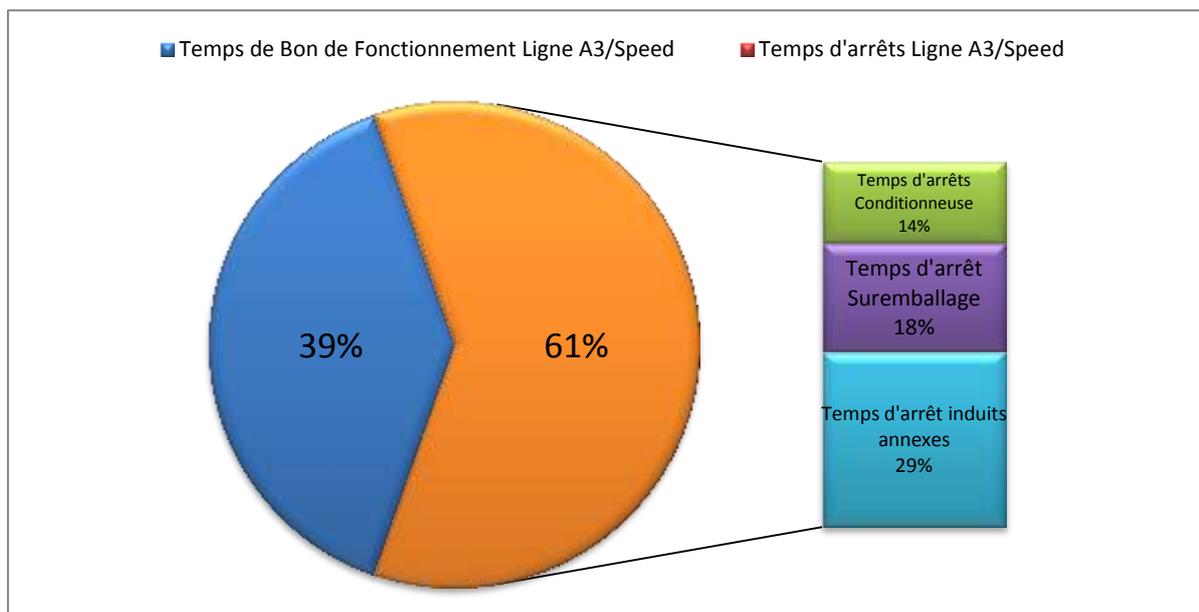


Figure 4-3 Répartition des temps de fonctionnemnt et d’arrêt de la ligne de production

La ligne de production a fonctionnée	La ligne de production a été arrêté suite à des pannes propre à
(3077 h) soit 39%	La conditionneuse pendant (1059 h) soit 14%
	La partie suremballage (1412 h) soit 18%
	La partie utilité et systèmes annexes (2283 h) soit 29%

Il convient de constater que le temps de fonctionnement de la ligne est en dessous des objectifs et loin d’atteindre l’efficacité dédiée à une ligne de production supposée fonctionner en continue pour une capacité nominale de 15000L/h, qui au final cette ligne ne produit pas plus de 600 à 800L/h. il y a lieu de constater aussi que la conditionneuse qui est un élément clé de notre chaine n’a eu que 14% d’arrêts.

Ce qui est plus tôt satisfaisant pour la conditionneuse en elle-même.

Il est clair que l'indisponibilité d'un système, du point de vue équipement est engendrée d'une part, par un arrêt non voulu d'un système monobloc dans les limites physiques et dimensionnelles sont connues (équipement de la partie Suremballage), et d'autre part, par une multitude d'éléments non visibles car non définis comme équipements stratégiques au cœur du process. Ces éléments sont généralement situés dans les circuits utilités et annexes.

Il a été prouvé que la ligne de production a été mise en échec en grande partie par des sous-systèmes exogènes à cette ligne de production. Aucune approche n'a été faite pour déterminer les mises en cause pour la simple raison qui fait qu'on ne s'intéresse rarement aux équipements annexes de petites dimensions ou physiquement éloignés du champs de vision des équipements de production.

Ce qui rend la maintenance complexe c'est le changement des cadences et des réglages, inhérents aux changements de gamme de produit, sur la même ligne de production. Aussi certains équipements à l'origine n'ont pas été conçus pour ces diversités de contenant. L'alignement des cadences étant difficile, beaucoup d'arrêts ont été occasionné par ces conflits.

4.2.3. Estimation de la fiabilité

Dans le domaine de l'électromécanique, en plus de ce qui se fait dans les sciences fondamentales, la fiabilité constitue un objectif à atteindre par le producteur et le prestataire de service.

L'analyse de la fiabilité est un outil très important pour :

1. Caractériser le comportement de l'équipement dans les différentes phases de vie.
2. Mesurer et améliorer ses performances tout au long de sa mission.

La finalité de cette estimation est d'avoir une expression mathématique de la fiabilité à partir d'un échantillon de données de temps de bon fonctionnement, qui nous permettra de calculer les différents indices de performance.

Nous allons à présent estimer la fiabilité de la ligne de production en question en utilisant deux lois de survie : Weibull et Exponentielle. Puis, pour déterminer à quelle loi de survie obéit notre échantillon de données, on utilisera le test d'ajustement de Kolmogorov Smirnov.

Pour estimer les paramètres des lois de distributions, utiles à l'expression de la fiabilité, nous avons exploité un nouveau logiciel de fiabilité (**Weibull++**) qui utilise la régression des rangs mais également l'estimation du maximum de vraisemblance (EMV). Les utilitaires intégrés permettent d'obtenir les résultats de calcul rapidement (tels que la fiabilité pour un temps donné) à partir des données d'analyse et celles saisies. Des bornes de confiance peuvent être définies, si nécessaire pour tous les paramètres.

a. Estimation des paramètres de la loi de Weibull

En introduisant les données des temps de bon fonctionnement, le logiciel calcul et estime les paramètres, le rapport final est donné ci-dessous :

Rapport de résultats rapides	
Paramètres	
Distribution:	Weibull-2P
Analyse:	EMV
Méthode de BC:	VRA
Bêta	5,051903
Êta (h)	290,652659
Valeur VR	-78,632284
Fin de rapport de résultats rapides	

On obtient au final la fonction de fiabilité de la ligne ainsi :

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{290,65}\right)^{5,05}} \quad (1)$$

On note qu'il s'agit d'une distribution de Weibull à 2 paramètres vu que le paramètre de position est supposé nul ($\gamma = 0$), signifiant qu'on étudie le comportement du système à l'instant $t=0$ (dès sa mise en service).

La courbe de fiabilité et du taux de défaillance sont représentés dans les figures 4.4 et 4.5

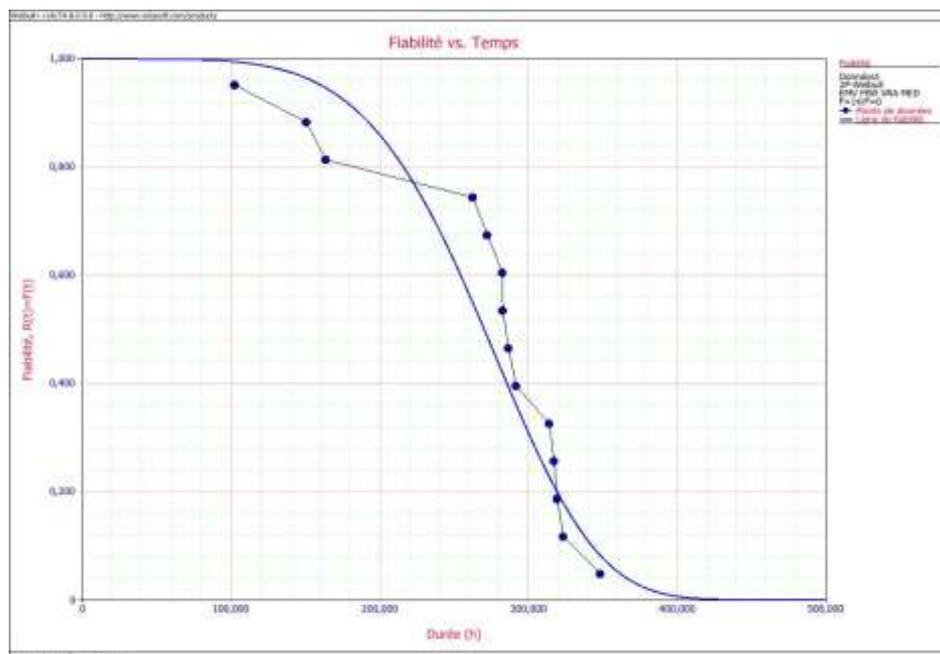


Figure 4-4 Courbe de fiabilité de la ligne de production

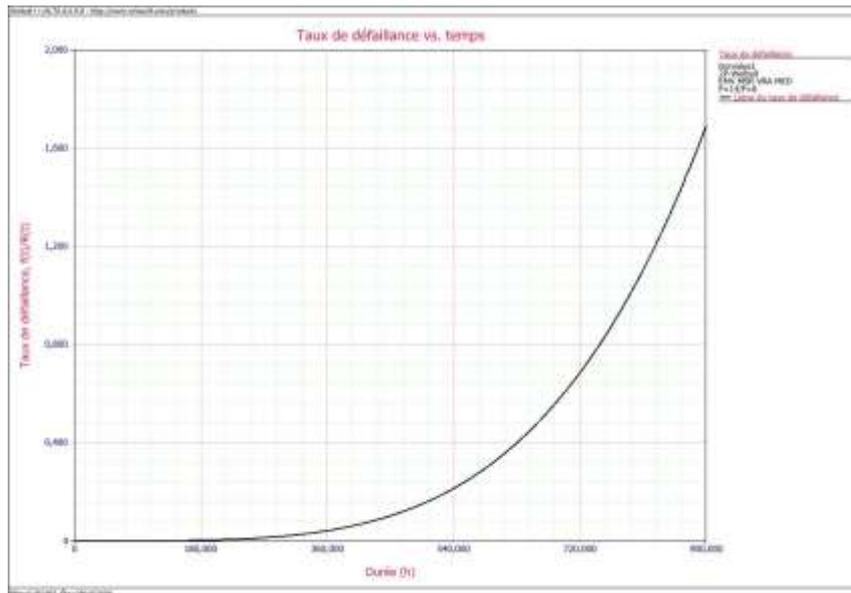


Figure 4-5 Courbe du taux de défaillance de la ligne de production

On remarque que le taux de défaillance est croissant en fonction du temps, ceci est confirmé par le paramètre de forme de la loi de Weibull $\beta > 1$.

b. Estimation des paramètres de la loi Exponentielle

L'objectif de cette estimation, nous renvoie à la méthode actuelle utilisé par le service méthode de l'entreprise. On signale que ce dernier fait appel à la statistique descriptive mettrait en exergue l'utilisation de la moyenne arithmétique d'un point de vue statistique plusieurs hypothèses simplificatrices sont émises et cela se rapproche de l'utilisation de la loi exponentielle dans le calcul des indices.

Rapport de résultats rapides	
Paramètres	
Distribution:	Exponentielle-1P
Analyse:	EMV
Méthode de BC:	VRA
Classement en cours:	MED
Durée moyenne (h)	265,732857
Fin de rapport de résultats rapides	

Durée moyenne = $\frac{1}{\lambda} = 265,73 \text{ h} \rightarrow \lambda = 0.0037 \text{ def/h}$

$$R(t) = e^{-0,0037t}$$

4.2.4. Test de Kolmogorov Smirnov :

Afin de valider l'un des modèles de fiabilité précédemment obtenus on utilise le test de Kolmogorov Smirnov pour lequel :

On pose les conditions suivantes :

Si $D_{\max} < D_{n,\alpha} \rightarrow$ le modèle est accepté.

Si $D_{\max} > D_{n,\alpha} \rightarrow$ le modèle est rejeté.

Où D_{\max} exprime le plus grand écart entre la fonction de répartition empirique et la fonction de répartition théorique.

Tableau 4-2 Tests d'adéquations des modèles

Données TBF (h)	Effectifs cumulés	Fonction de répartition empirique	Fonction de répartition théorique (loi EXP)	Ecart	Fonction de répartition théorique (loi Weibull)	Ecart
102,61	1	0,071	0,316	-0,244	0,005	0,066
150,8	2	0,143	0,428	-0,285	0,037	0,106
163,85	3	0,214	0,455	-0,240	0,055	0,159
262,86	4	0,286	0,642	-0,356	0,454	-0,169
272,45	5	0,357	0,635	-0,278	0,515	-0,158
282,78	6	0,429	0,649	-0,220	0,582	-0,154
282,95	7	0,500	0,649	-0,149	0,583	-0,083
286,75	8	0,571	0,654	-0,082	0,608	-0,036
291,9	9	0,643	0,660	-0,018	0,640	0,003
314,2	10	0,714	0,687	0,027	0,772	-0,058
317,4	11	0,786	0,691	0,095	0,789	-0,003
319,55	12	0,857	0,693	0,164	0,800	0,057
323,6	13	0,929	0,698	0,231	0,820	0,109
348,56	14	1,000	0,725	0,275	0,916	0,084

A partir de la table de Kolmogorov, pour $n = 14$ (nombre d'échantillon) et une précision $\alpha = 5\%$, la valeur seuil de l'écart entre la fonction de répartition empirique et la fonction de répartition théorique est 0,34

- Pour la loi exponentielle :

Le plus grand écart est observé pour la 4^{ème} donnée ou :

$$|D_{\max}| = 0,356$$

$|D_{\max}| = 0,356 > 0,34$, La différence observée est significative (au seuil de 5 %).

- Pour la loi de Weibull :

Le plus grand écart est observé pour la 4^{ème} donnée ou :

$$|D_{\max}| = 0,169$$

$|D_{\max}| = 0,169 < 0,34$, La différence observée n'est pas significative (au seuil de 5 %).

D'après le test, la loi de Weibull est la loi retenue, ajustant le mieux la variable « temps de bon fonctionnement » de la ligne de production.

Compte tenu des résultats d'analyses précédemment obtenu, deux enseignements se présentent :

- 1- Le taux de défaillance est croissant, cela veut dire que notre équipement se situe dans la zone d'obsolescence, et cela confirme le fait qu'elle est très sollicitée, par conséquent elle subit beaucoup d'arrêts.

Envisager une maintenance préventive conditionnelle basée essentiellement sur la surveillance et le diagnostic.

- 2- Le test d'ajustement effectué nous renseigne sur l'imprécision des méthodes de calcul qu'utilise l'entreprise.

Sachant que le MTBF est obtenu par l'intégrale de la fonction de fiabilité que cette dernière nécessite un outil mathématique pour valider le modèle adéquat, il est impossible qu'on puisse remplacer cette formulation mathématique par une moyenne arithmétique.

Cette méthode se rapproche plus de la distribution exponentielle. Nous avons démontré, en prenant comme exemple la ligne de production, que la distribution de Weibull est plus adéquate.

On peut définir le moment d'intervention pour des actions de maintenances selon le seuil de fiabilité fixé à priori par les exigences de la production.

L'imposition d'un niveau de fiabilité avoisinant les 98% exige des intervalles d'intervention estimée à 160h soit une intervention hebdomadaire, ce résultat est extrapolé à partir du modèle de fiabilité obtenu dans l'équation (1) du paragraphe 4-3-1.

Le niveau de fiabilité dépend essentiellement des objectifs fixés par la production.

Cette étude de fiabilité servira d'exemple pour les équipements qui constituent l'ensemble de la ligne de production, intégrant un programme de maintenance basé sur la fiabilité dans le but de générer une dynamique. Ce concept pourra être élargi sur l'ensemble des équipements de l'usine produisant une interaction sur l'environnement de l'entreprise.

4.2.5. Etude de prévision sur le nombre de pannes, appliquée à la conditionneuse

L'étude de prévision aide beaucoup le service méthode maintenance ainsi que le service production dans le choix des décisions à prendre concernant le moment et le type d'intervention en maintenance à envisager ainsi que les quantités à produire.

Suite à une étude de prévision, on peut imaginer trois scénarios possibles quant à la tendance du nombre pannes :

1. Dans le cas où la tendance serait **croissante** :

On préconisera de renforcer la stratégie de maintenance appliquée actuellement et d'investir en efforts et en moyens afin d'éviter les situations critiques dans lesquelles les équipements en question ainsi que les systèmes annexes pourront forcément se retrouver.

2. Dans le cas où la tendance serait relativement **constante** :

La constance du nombre de pannes est relativement liée aux objectifs fixés par la production, cependant si cette dernière se voit satisfaite par les résultats, alors on maintient la stratégie de maintenance.

3. Dans le cas où la tendance serait **décroissante** :

Cela revient à dire que les efforts employés dans le but de réduire et de maîtriser les pannes évolue dans le bon sens et par conséquent on observera une augmentation de la disponibilité de l'équipement.

Nous utiliserons la méthode de box et Jenkins pour faire une prévision sur le nombre de pannes de la conditionneuse en utilisant le logiciel **(R)**. La procédure est détaillée dans l'annexe 1.

Le graphe suivant nous montre l'évolution du nombre de panne de la conditionneuse sur une période de 14 mois réparti en semaine, auquel on a rajouté les valeurs prédites

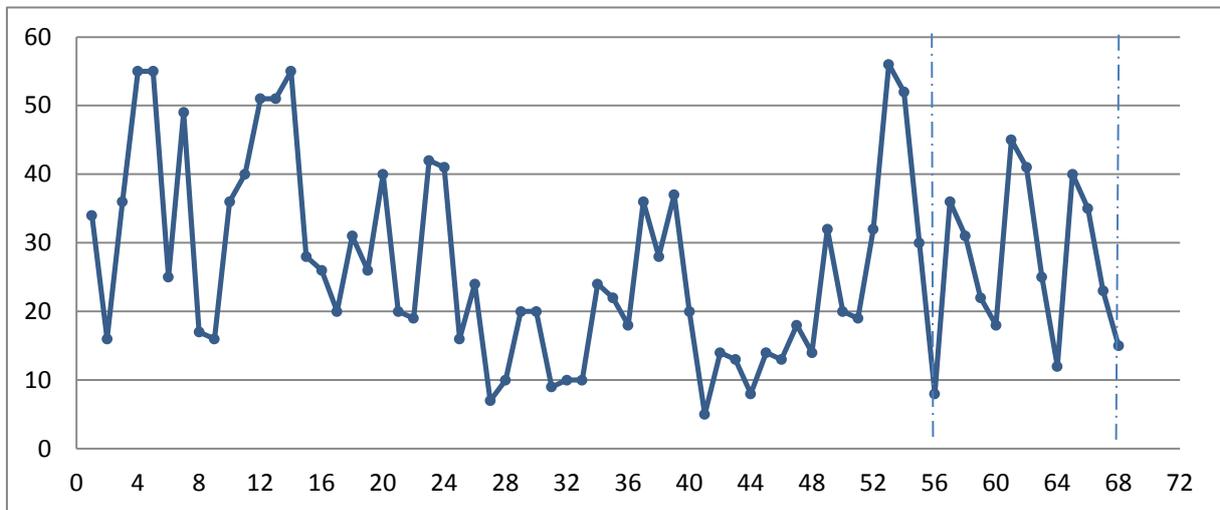


Figure 4-6 Evolution du nombre de panne de la conditionneuse

L'analyse du graphe de la figure 4.6 nous montre l'évolution aléatoire de la période prédictive de trois mois rejoignant de manière identique la période antérieure. En conséquence nous pouvant déduire que l'étude réalisée n'a aucun résultat exploitable et devient inopérante.

Ce qui peut nuire à l'intégrité d'un protocole de calcul de prévision et le rendre inexploitable c'est précisément une mauvaise identification, un mauvais choix ou simplement la non prise en compte de certains types de données en termes de collecte d'informations. Dans notre cas on citera :

- La durée de l'intervention de la maintenance ;
- La nature de l'intervention (inspection, remplacement, réglage,...) ;
- La nature de la défaillance (mécanique, électrique, pneumatique,...) ;
- Site ou localisation de la défaillance ;
- La durée d'arrêt programmée et voulu (machine disponible) ;

4.3. Proposition d'une Stratégie de maintenance

Le déficit organisationnel de TCHIN-LAIT du point de vue maintenance est occasionné du fait que cette gestion de maintenance est focalisée sur les chaînes de production pour lesquelles des gammes de maintenance sont fournies par le fabricant.

Ce n'est pas le cas des utilités qui se présentent d'une façon indépendante au point de vue process, pour lesquels il n'y a pas de planification de maintenance au même titre que la chaîne de production.

Or on a constaté que la production en elle-même est affectée de façon significative suite à la non disponibilité de ces mêmes utilités et au manque de contrôle.

Il ne suffirait pas d'agir de manière ponctuelle en temps et en espace pour maintenir l'ensemble du système pour une disponibilité désirée pour la raison suivante :

- Un process se définit sous forme de plusieurs sous-systèmes série et parallèle. Les éléments constituant ce système sont caractérisés par des indices de fiabilité, de criticité, et de disponibilité.
- La différence dimensionnelle et les complexités technologiques font que les modalités de maintenance ne seraient pas les mêmes.

Aussi il est communément facile de se tromper de logique de maintenance vu qu'implicitement on se focalisera sur les systèmes monoblocs de grande dimension et complexes dont le coût d'investissement serait représentatif du process.

On a vu précédemment dans le calcul de fiabilité, que le temps d'interventions, l'identification, le choix et la sélection des données doivent être judicieux afin qu'ils soient représentatifs et qu'ils intègrent un protocole de calcul.

Il serait judicieux d'adopter une démarche structurelle et décisionnelle pour ramener l'ensemble des systèmes à une position d'importance relative. Cette notion sera définie comme degrés d'intégration et de pertinence d'un élément quelconque.

La démarche implique au départ une décomposition du complexe en différents systèmes et sous-système, suivie d'un inventaire exhaustif de l'ensemble des équipements. L'analyse des défaillances des matériels critiques nous permettra de hiérarchiser les équipements en faisant une AMDEC et en utilisant la méthode de l'arbre de défaillance dont la définition et la démarche sont données dans l'annexe 2 et 3.

Ceci nous ramène à établir un niveau de maintenance pour chaque sous-système en tenant compte d'une part, du paramètre temps (échéance) d'où l'importance des données et d'autre part, de la nature d'intervention (électrique, mécanique, inspection,...).

Ainsi chaque sous-système serait guidé par une maintenance documenté sous forme de manuel d'intervention. Les gammes fournies par le constructeur seront la référence de base ainsi que le retour d'expérience (collecte de données) pour la constitution de chacun de ces manuelles.

Au final on aboutit à une schématisation de la démarche de la maintenance basée sur la décomposition du process en système indépendant.

Toutefois cette approche serait non productive et sujette à erreurs sans de prime abord une démarche rationnelle de collecte, d'archivage et d'analyse de données relatifs aux arrêts et aux pannes. C'est ce qui a été développé en annexe 4, et cela nécessite une sensibilisation du personnel, la mise en place et le suivi d'un ensemble de fiches et d'indicateurs. Le retour d'expérience doit donner lieu à des traitements et d'analyses de données.

Un modèle d'intervention sous forme d'algorithme est proposé dans l'annexe 5, montrant comment faire le choix du type de la maintenance à appliquer en fonction de la nature de la défaillance.

Il y a lieu de souligner que le programme actuel existant au niveau de l'entreprise se base essentiellement sur la maintenance systématique.

Dans un système complexe, les équipements ne sont pas soumis aux mêmes efforts, certains sont plus sollicités que d'autres. Dans le cadre d'une maintenance systématique on intervient de la même manière et au même moment, il en résulte :

- Une intervention anticipée, donc inutile,
- Une intervention tardive, donc corrective et non préventive.

C'est pourquoi l'OMF décline la maintenance systématique classique.

4.4. Objectifs :

Notre travail sera d'identifier les éléments sur lesquels on devrait concentrer une politique de gestion de la maintenance pour les objectifs suivant :

a. Objectif 2014 :

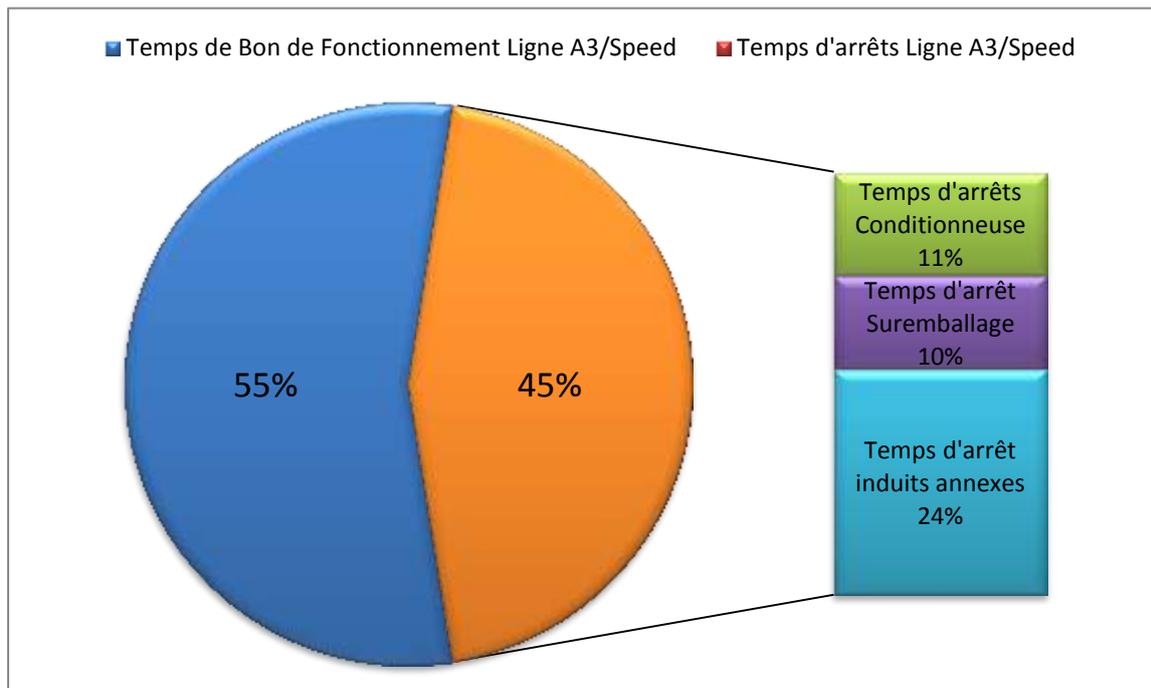


Figure 4-7 Objectifs pour l'année 2014

Nous souhaitons augmenter de 16% la disponibilité de la ligne de production soit (1262 h) ou 10 Millions d'unités en terme de production. Cette objectif peut être atteint avec une maintenance ciblée principalement sur :

- La conditionneuse en ramenant le pourcentage d'arrêts de 14 à 11%.
- La partie suremballage de 18 à 10%
- Les systèmes Annexes de 29 à 24%

Il est essentiel de se concentrer sur la section suremballage vu qu'elle présente un rapport de panne important par rapport à la dimension physique de cette section ; en effet cette section se compose de (l'accumulateur, la poseuse de bouchon, la fardeuse/filmeuse) chacun d'eux peut être assimilé comme étant un équipement indépendant.

On peut exploiter le résultat de l'étude de fiabilité faite dans le paragraphe 4.3 pour garantir une fiabilité de 98%, ça nécessite une intervention hebdomadaire obtenu par extrapolation. Un historique par type et localité de pannes détaillé nous aurait grandement aidés à cibler notre intervention sur l'un des équipements du suremballage.

On peut proposer aussi d'augmenter la capacité de l'accumulateur de façon à ce qu'il soit en mesure de mettre en attente les briques de lait sans pour autant arrêter la conditionneuse, en attendant d'intervenir sur les autres équipements en aval

b. Objectifs au terme de l'année 2016 :

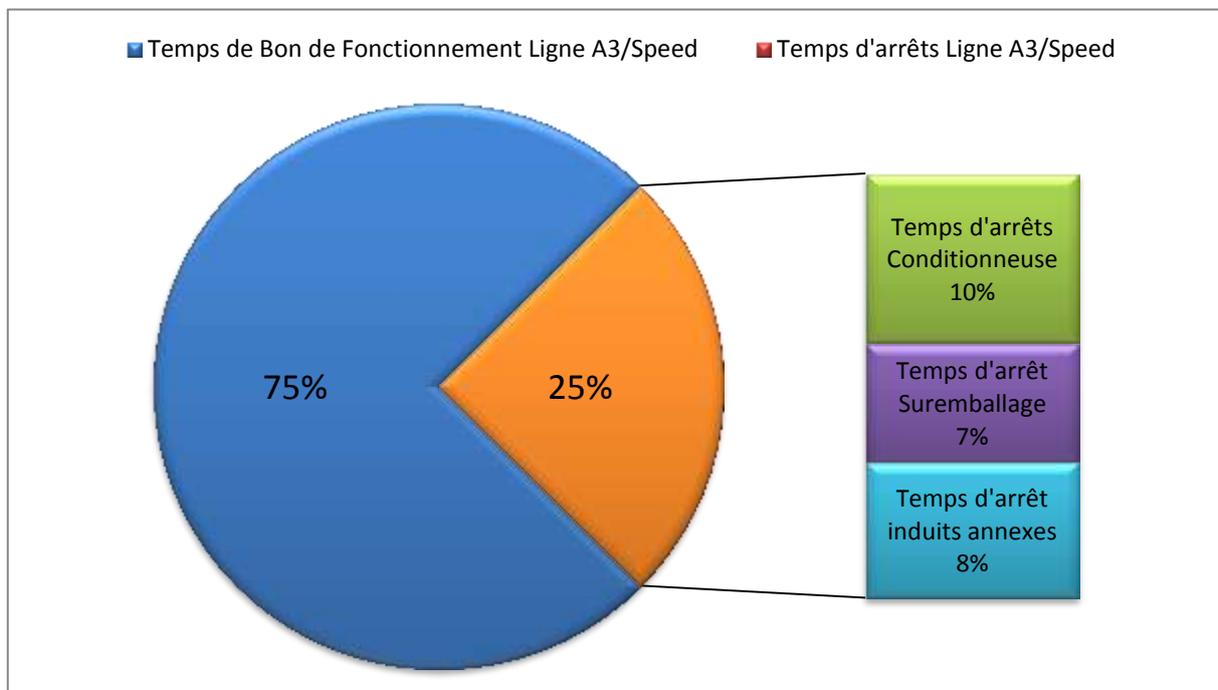


Figure 4-8 Objectifs au terme de l'année 2016

Une ligne de production efficace dans un cadre normale d'activité est supposée présenter un temps de fonctionnement de 75% pour un temps non productif de 25%.

La notion de temps non productifs comprend essentiellement les temps d'intervention en maintenance, le temps de nettoyage, temps d'inspection.

Notre objectif final, au terme de l'année 2016, est d'atteindre un temps fonctionnement de la ligne de production de 70 à 75%.

Augmenter de 55 à 75% le temps de fonctionnement de la ligne de production soit (1262 h) ou 10 Millions d'unités en terme de production.

Cette objectif peut être atteint avec une maintenance ciblée principalement sur :

- La conditionneuse en ramenant le pourcentage d'arrêts de 11 à 10%.
- La partie suremballage de 10 à 8%.
- Les systèmes Annexes de 24 à 8%.

Pour atteindre cet objectif au terme de l'année 2016 et pour le stabilisé, il faudrait impérativement que les réflexions en la matière soient posées durant l'année 2014 et que les plans d'actions débutent dès l'année 2015, les méthodes doivent être structurés dans cet objectif-là.

Pour maintenir cette stabilité nous proposons la notion de redondance entre systèmes qui aura pour effet de garantir la disponibilité d'un système lors d'une défaillance quelconque, On se concentrera sur les utilités, tel le groupe de froid, pompe d'eau chaude, Les circuits pompent entre systèmes.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Une politique de gestion de la maintenance a des répercussions directes sur l'exploitation d'un système, la production et les charges financières. A chaque instant de l'exploitation du système le décideur responsable de la maintenance doit faire un choix face aux interventions possibles sur le système afin de déterminer l'action à effectuer. Ce choix doit permettre de satisfaire au mieux les objectifs fixés a priori permettant une exploitation optimale du système.

Cette méthode vise à organiser la maintenance des équipements autour d'objectifs de fiabilité sous contrainte de coût. Son application au cas de l'entreprise TCHIN-LAIT doit être encouragée. En réfléchissant à la maintenance conditionnelle, elle aura pour objectif de déclencher une maintenance sur constat d'un défaut ou la planifier à l'aide d'indicateurs. Ce type de maintenance est aujourd'hui préféré à la maintenance préventive systématique. Elle contribue à l'optimisation de la maintenance et améliore la disponibilité des équipements. Une surveillance appliquée aura pour mission d'apporter une aide à cette dernière. Les données de surveillance doivent être interprétées en exploitant des connaissances de l'équipement, ses défauts potentiels et leurs symptômes. C'est à dire qu'elle permet l'insertion des acquis antérieurs dans le domaine de la fiabilité et de la maintenance appuyé par une organisation du retour d'expérience. Cette démarche incite à réfléchir à la création d'une structure de projet interdisciplinaire spécifique au niveau de l'entreprise TCHIN-LAIT.

Compte tenu de l'étude relative à la politique de gestion de la maintenance traitée et développée dans ce mémoire, ayant pour objectif l'optimisation de la maintenance, on voudrait pour résultat, sa traduction et son inscription au programme de maintenance au sein de TCHIN-LAIT, et pourrait ainsi être enrichie et améliorée.

ANNEXE 1 : Prévisions par la méthode Box et Jenkins

Voici ci-dessous un tableau récapitulatif des nombre de pannes sur une durée de 14 mois, nous avons divisé chaque moi en 4 semaines afin d'avoir un d'échantillonnage important et qui nous permettra de prédire le 15ieme et 16ieme mois.

Tableau 4-3 Répartition du nombre de pannes en semaines

	Semaine1	Semaine2	Semaine3	Semaine4
Jan-2012	34	16	36	55
Fev-2012	55	25	49	17
Mars-2012	16	36	40	51
Avr-2012	51	55	28	26
Mai-2012	20	31	26	40
Juin-2012	20	19	42	41
Juill-2012	16	24	7	10
Aou-2012	20	20	9	10
Sep-2012	10	24	22	18
Oct-2012	36	28	37	20
Nov-2012	5	14	13	8
Dec-2012	14	13	18	14
Jan-2013	32	20	19	32
Fev-2013	56	52	30	8

On a introduit les valeurs précédentes de manière à obtenir un classement par semaine et par mois en utilisant la commande suivante :

```
s= ts(u, start = c(1,1), end = c(14,4), frequency = 4)
```

```
> plot(decompose(s))
```

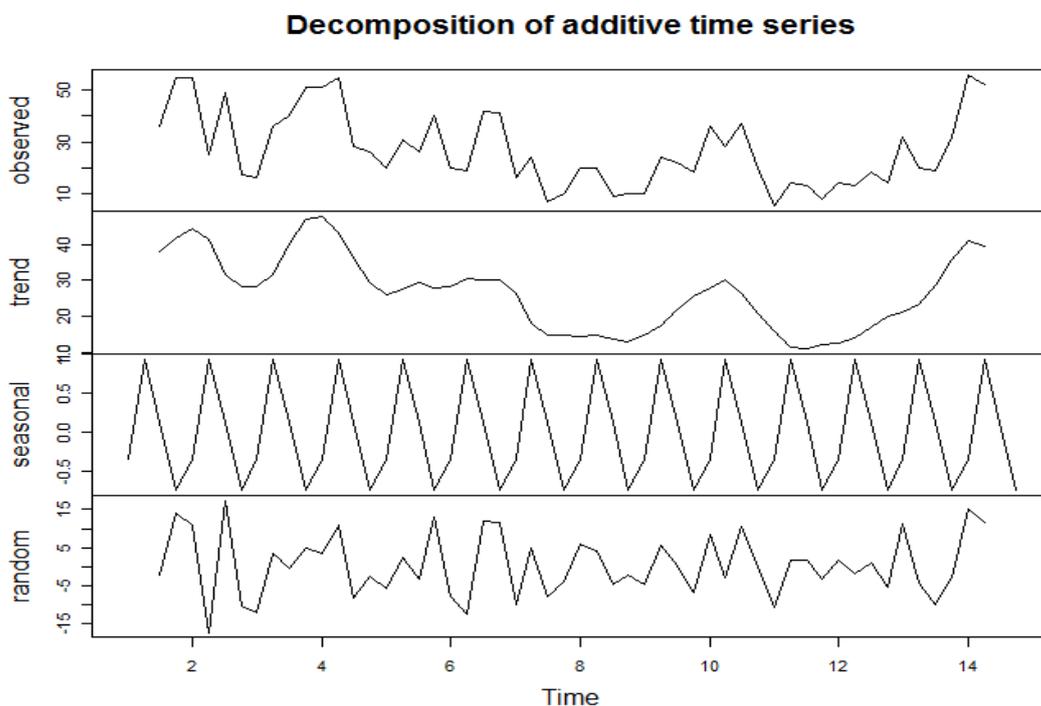


Figure 4-9 Décomposition de la série originale

Cette décompositions nous montre que notre série possède une saisonnalité et une tendance,

On applique une différence première ordinaire et une différence première saisonnière d'ordre 12, et une transformation logarithmique :

```
> st=diff(diff(log(s),lag=12))
```

NB : Log(s) permet d'homogénéiser la série.

La commande qui nous permet de faire un modèle SARIMA sur le R est la suivante :

```
m=arima(s,order=c(1,1,1),seasonal=list(order=c(1,1,0),period=4))
```

Validation du modèle :

Voici un tableau qui donne les estimateurs du modèle et leurs variances :

	Φ_1	θ_1	θ_2
Estimateur	0.4748	-1.00	-0.5119
Variance	0.1290	0.0843	0.1269

Test de H_0 " $\theta_1 = 0$ " contre H_1 " $\theta_1 \neq 0$ ". Ce test est basé sur la statistique : on possède 56 observations et 3 paramètres donc à partir de la table de « student », $t_{(50,0.05)} = 2.0086$

$$T_1 = \frac{|\hat{\phi}_1|}{\hat{\sigma}(\hat{\phi}_1)} \rightarrow t(T - 3, \frac{\alpha}{2})$$

$$t1 = \frac{0.4748}{0.1290} = 3.68 > t_{(50,0.05)} = 2.0086$$

Test sur θ_1 :

$$t1 = \frac{1.00}{0.0843} = 11.86 > t_{(50,0.05)} = 2.0086$$

Test sur θ_2 :

$$t3 = \frac{0.5119}{0.1269} = 4.03 > t_{(50,0.05)} = 2.0086$$

Les trois estimateurs sont significatifs.

Prévisions :

En utilisant la commande suivante on obtient des prévisions sur les douze (12) semaines à venir, soit trois (3) mois ;

```
> pe = predict(m,n.ahead=8)
```

	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4
Mars-2013	36	31	22	18
Avril-2013	45	41	25	12
Mai-2013	40	35	23	15

La validation des paramètres du modèle se fait sur la base des Box-Ljung et par les comportements des ACF et PACF.

ANNEXE 2 : AMDEC

L'Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité (AMDEC) est une méthode d'analyse prévisionnelle de la fiabilité qui permet de recenser systématiquement les défaillances potentielles d'un dispositif puis d'estimer les risques liés à l'apparition de ces défaillances, afin d'engager les actions de maintenances à apporter au dispositif.

L'AMDEC, par l'évaluation de la criticité des conséquences des défaillances, permet de les classer par importance et de préparer un plan d'action visant à optimiser le moyen de production et, ainsi, à réduire la criticité (actions sur la probabilité d'apparition de la défaillance et/ou sur la gravité de la conséquence) [9].

La Hiérarchisation des défaillances avec la cotation de la criticité va permettre d'estimer, pour chaque défaillance, trois critères de définition :

- La fréquence d'apparition de la défaillance (indice F) ;
- La gravité des conséquences que la défaillance génère (indice G) ;
- La non-détection de l'apparition de la défaillance, avant que cette dernière ne produise les conséquences non désirées (indice D).

Chacun de ces critères sera évalué avec une table de cotation établie sur 5 niveaux, pour le critère de gravité, et sur 4 niveaux, pour les critères de fréquence et de non-détection. Les tableaux **1**, **2** et **3** présentent un exemple de barème de cotation de la criticité.

L'**indice de criticité** est calculé pour chaque défaillance, à partir de la combinaison des trois critères précédents, par la multiplication de leurs notes respectives :

$$C = F \times G \times D$$

Indice de Fréquence :

Il représente la probabilité que la cause de défaillance apparaisse et qu'elle entraîne le mode potentiel de défaillance considéré. Il faut donc tenir compte simultanément de la probabilité d'apparition de la cause et de la probabilité que cette cause entraîne la défaillance. La note F correspond alors à la combinaison de ces deux probabilités. Le barème de cotation varie entre 1 et 4

Indice de gravité :

Les barèmes de cotation, variant de 1 à 5 (Tableau), se basent sur les effets provoqués par la défaillance, en terme :

- de **Temps d'Intervention** (TI) qui correspond au Temps Actif de Maintenance Corrective (diagnostic + réparation ou échange + remise en service),
- de **qualité** des pièces produites,
- de **sécurité** des hommes ou des biens.

L'indice sanctionne uniquement l'**effet le plus grave produit** par le mode de défaillance, même lorsque plusieurs effets ont été identifiés.

La note **G = 5** est automatiquement attribuée :

- lorsque l'effet peut impliquer des problèmes de sécurité des personnes, en dysfonctionnement ou en intervention,
- ou, lorsque l'effet peut entraîner une non-conformité dans les opérations aval et, éventuellement, un dysfonctionnement pour le client final, si cette non-conformité n'est pas détectée dans le process.

Indices de non détection D :

C'est la probabilité que la cause ou le mode de défaillance supposés apparus provoquent l'effet le plus grave, sans que la défaillance ne soit détectée au préalable. Le barème de cotation varie entre 1 et 4

Tableau 4-4 Exemple d'un tableau AMDEC Standard

AMDEC													Folio/					
Fournisseur : Système :			Rédacteur : Service : Date :			Criticité Indices nominaux					Action corrective		Criticité Indices Finaux					
Composant	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Ti	F	G	D	C	Action	Résp/Délai	Ti	F	G	D	C	

L'utilisation de l'AMDEC peut paraître fastidieuse; cependant, les gains qu'elle permet de réaliser sont très souvent bien plus importants que les efforts de mise en œuvre qu'elle suggère. La mise en œuvre de l'AMDEC offre une garantie supplémentaire pour l'entreprise industrielle de l'amélioration de ses performances.

Son utilisation très tôt en phase de conception révèle la volonté de l'entreprise d'anticiper les problèmes potentiels plutôt que d'en subir les conséquences à terme.

ANNEXE 3 : Arbre de défaillance

L'arbre de défaillance constitue un formalisme d'étude de la sûreté de fonctionnement, au même titre que les réseaux de Petri et les graphes des états.

Cette méthode déductive (de l'effet vers ses causes) a pour objet la recherche de toutes les combinaisons de défaillances élémentaires pouvant aboutir à un évènement redouté, parfois identifié par une AMDEC. A partir de cet « évènement sommet », on construit une arborescence (schéma graphique en forme d'arbre inversé) représentant l'enchaînement logique des « évènements intermédiaires » jusqu'à la mise en cause des « évènements élémentaires » (défaillance d'un composant). Cela par utilisation des symboles logiques de l'algèbre de Boole. Il est ainsi possible d'identifier toutes les défaillances élémentaires pouvant conduire à l'évènement redouté, puis de quantifier celui-ci par son taux de défaillance λ obtenu à partir des taux de défaillances λ_i de chaque composant mis en cause.

Ce type d'analyse permet, dans le domaine de la maintenance de faire un diagnostic rapide de prévoir une meilleure logistique.

Objectifs :

- La recherche des événements élémentaires, ou leurs combinaisons qui conduisent à un évènement redouté
- Analyse qualitative: cette analyse permet de déterminer les faiblesses du système. Elle est faite dans le but de proposer des modifications afin d'améliorer la fiabilité du système. La recherche des éléments les plus critiques est faite en déterminant les chemins qui conduisent à un E.R. Ces chemins critiques représentent des scénarios qui sont analysés en fonction des différentes modifications qu'il est possible d'apporter au système. L'analyse des scénarios qui conduisent à un E.R. est faite à partir des arbres de défaillances, il est alors possible de disposer des "barrières de sécurité" pour éviter les incidents.
- Enfin, il est possible d'évaluer la probabilité d'apparition de l'E.R. connaissant la probabilité des événements élémentaires. C'est l'analyse quantitative qui permet de déterminer d'une manière quantitative les caractéristiques de fiabilité du système étudié.

La construction d'un arbre de défaillance se fait selon l'algorithme suivant :

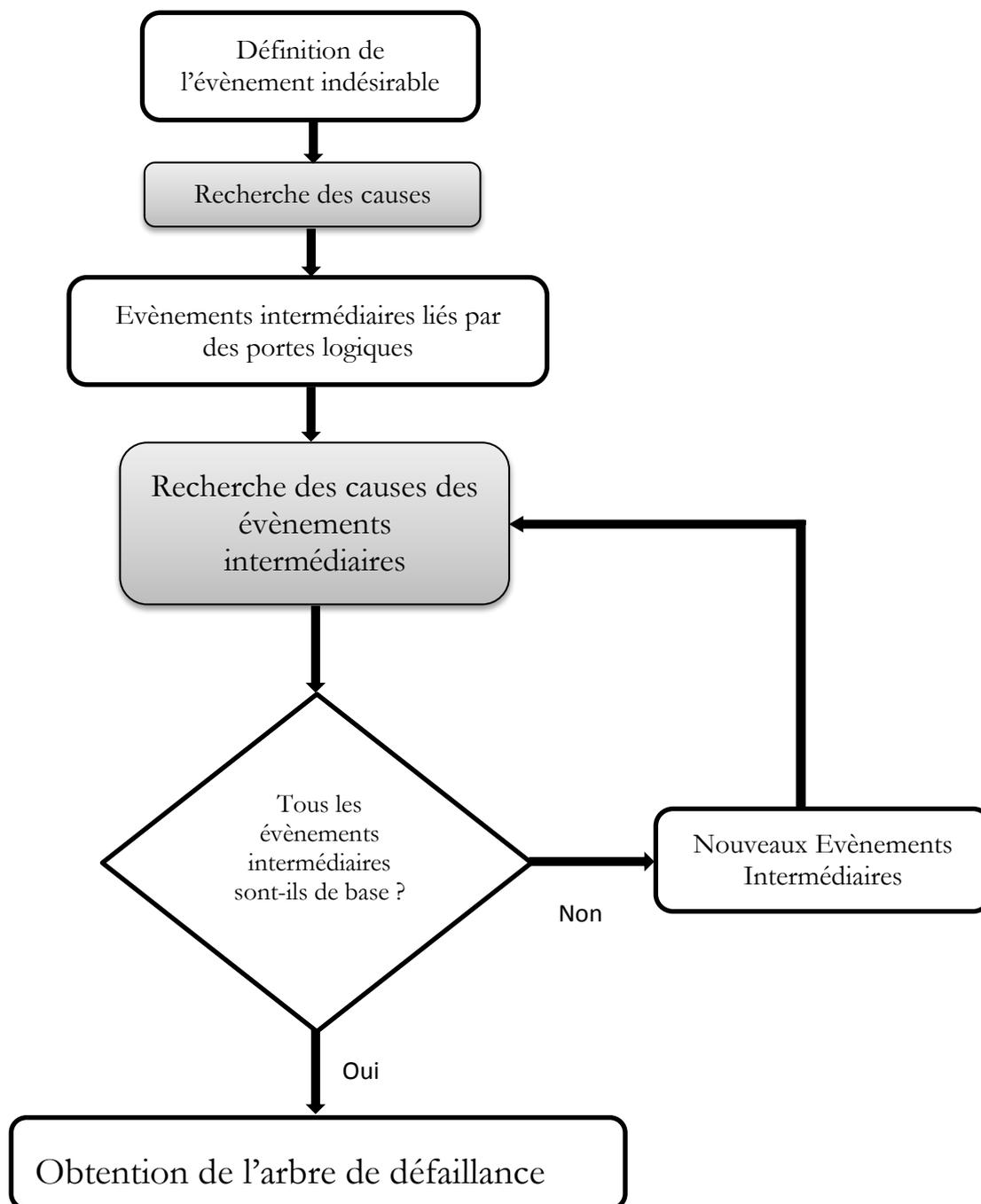


Figure 4-10 Algorithme de construction d'un arbre de défaillance

Nous proposons un exemple dans la figure 4.10, un arbre de défaillance appliqué à un sous-système de la conditionneuse A3/Speed.

ANNEXE 4 : Stratégie de récolte de données

Pour progresser et arriver à mettre en place une politique de gestion de maintenance, il est nécessaire que la collecte des faits techniques soit aussi complète que possible et contienne les éléments suivants [4]

- **Les données qui localisent l'événement ou l'intervention (dans le temps et dans l'espace) :**
 - Date de l'événement ou/et de l'intervention ;
 - Nom de l'installation ;
 - Nom du système ;
 - Repère du matériel ;
 - Sous-ensemble, composant, ou partie du matériel affecté.

- **Les données qui caractérisent l'événement et l'état du matériel :**
 - Défaillance (complète ou partielle) ;
 - Mode de défaillance ;
 - Dégradation (niveau : qualitatif ou quantitatif) ;
 - Cause de défaillance ou de dégradation (maladie) ;
 - Etat de l'installation (en arrêt d'exploitation, en production, démarrage, en disponibilité...) ;
 - Etat du matériel (arrêt, fonctionnement, sollicitation) ;
 - Situation du matériel (fonctionnement normal, essai de qualification, entretien, attente) ;
 - Temps de bon fonctionnement du matériel depuis sa mise en service ou depuis sa dernière réparation ;
 - Nombre de sollicitations depuis sa mise en service ou sa dernière réparation ;
 - Améliorations ou modifications effectuées sur le matériel et leur date.

- **Les données qui caractérisent l'intervention :**
 - Type de maintenance (corrective, préventive systématique, préventive conditionnelle) ;
 - Type de tâche effectuée (petit entretien, graissage, surveillance en fonctionnement, inspection externe (ronde), contrôle interne, remplacement, réparations) ;
 - Durée de l'intervention ;
 - Nombre d'heures de travail et nombre d'intervenants ;
 - Pièces de rechange utilisées ;
 - Coût des pièces de rechange ;

- **Les données qui déterminent les conséquences de l'événement ou/et de l'intervention sur les performances globales :**
 - Indisponibilité à la sollicitation du matériel, du système, de l'installation ;
 - Durée d'indisponibilité du matériel, du système et de l'installation;
 - Production perdue;
 - Effets sur la santé ou l'intégrité des personnes (arrêt de travail, dosimétrie...);

Pour accroître la crédibilité des données, il faut essayer de constituer un échantillon rassemblant des matériels dont les caractéristiques technologiques et les conditions de fonctionnement sont suffisamment proches pour justifier d'un comportement similaire.

ANNEXE 5 : Algorithme d'intervention

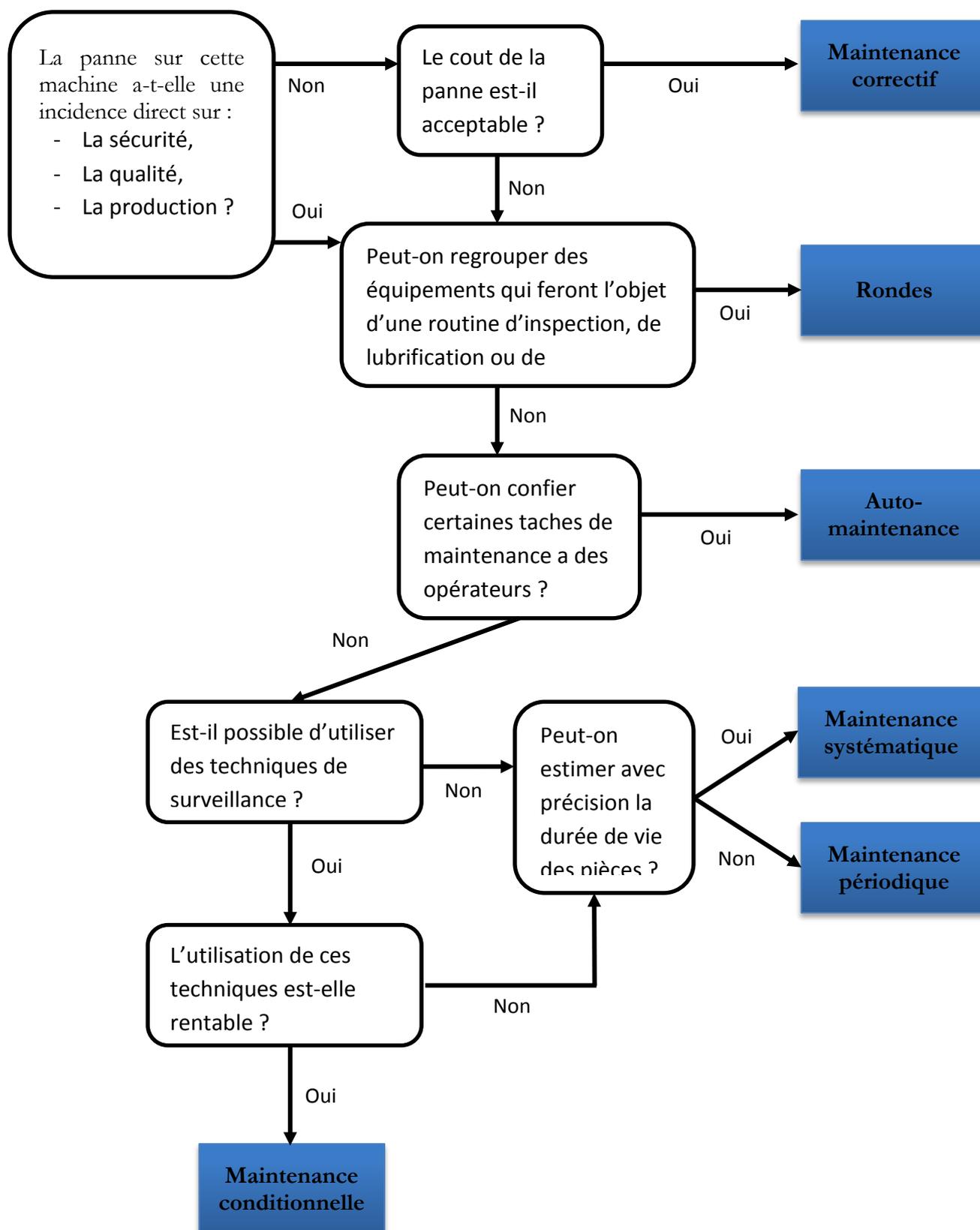


Figure 4-11 Algorithme d'intervention

Références Bibliographiques

- [1] Bernard MECHIN, Technique de l'ingénieur, *Introduction aux méthodes de maintenance* (mt9280).
- [2] François Monchy, Jean pierre vernier, *Maintenance méthodes et organisations*.
- [3] Pauline RIBOT, « Vers l'intégration diagnostic/pronostic pour la maintenance des systèmes complexes », Thèse de doctorat, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 2009.
- [4] Antoine DESPUJOLS, Technique de l'ingénieur, *Optimisation de la de maintenance par la fiabilité* (mt9280).
- [5] Pierre CHAPOUILLE, Technique de l'ingénieur, *Fiabilité maintenabilité* (T4300).
- [6] Cahiers Techniques Schneider, Introduction à la conception de la sureté de fonctionnement-CT144.
- [7] Cahiers Techniques, Merlin Gerin, N° 144
- [8] ADJABI S. Cours de probabilités et de la statistique mathématique, Département RO, Université de BEJAIA 2006/2007.
- [9] Michel RIDOUX, Technique de l'ingénieur, *AMDEC-Moyen*, (AG4220)