

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université A. Mira - Bejaia
Faculté de technologie
Département Génie électrique
Spécialité Electromécanique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master en
électromécanique

Sous le thème

Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité OMF en industrie

Réalisé par : Nassim YOUSFI

Encadré par : Rabah MEDJOU DJ

Co-encadré par : Fairouz IBERRAKEN

Soutenu devant un jury composé de :
LAGGOUNE. R / MCA. Université de Bejaia
BOURAINÉ.M / MAA. Université de Bejaia

2013 / 2014

Dédicace ...

*Je dédie ce modeste travail
néanmoins ambitieux à tous
ceux que j'estime.*

KN

Remerciements...

*Je remercie tous ceux qui ont
cru en ma bonne volonté et
m'ont soutenu dans mes études.*

*Je remercie tout particulièrement
KOUHOU pour son soutien
infaillible.*

Table des matières

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre I : Introduction à l'OMF et de ses outils

Avant-propos	4
1. La fonction maintenance	5
1.1. Représentation fonctionnelle de la maintenance	5
1.2. Découpage structurel et organisationnel de la fonction maintenance	6
2. Les enjeux de l'OMF	6
3. La méthode OMF, Origine et applications	7
3.1. Présentation de la méthode	7
3.2. Principe de base	8
3.2.1. La fiabilité au rang d'indicateur	8
3.2.2. Les phases de l'OMF	9
3.3 Choix du sujet d'étude.....	9
4. Retour d'expérience pour l'OMF	12
Remarque	13
4.1. Retour d'expérience et cycle de vie	13
4.2. Le retour d'expérience, un processus d'amélioration continu	13
4.3. Qualité des données	14
4.4. Constitution d'une base de données	15
5. Analyse fonctionnelle.....	15
5.1. Décomposition fonctionnelle.....	16
5.2. Décomposition sur un système	17

5.3. Décomposition matérielle	17
-------------------------------------	----

Chapitre II : Stage en entreprise, récolte de données et leur structuration

Introduction	20
1. Présentation de l'entreprise	20
1.1. Principaux produits	20
1.2. Procédé du tréfilage	21
2. OMF spécifique à STS	21
2.1. Description de l'activité de maintenance dans l'entreprise STS	22
a. La politique de maintenance adoptée	22
b. Le service de maintenance	23
c. Le retour d'expérience de l'installation de STS	23
2.2. Récolte des données et leur traitement	23
3. Exemple d'analyse fonctionnelle	24
3.1. Analyse fonctionnelle par les flux du compresseur	25
3.2. Arborescence fonctionnelle	25
3.3. Arborescence matérielle	26
4. Autre exemples	28
5. Conclusion	30

Chapitre III : traitement des données et outils d'analyse

Introduction	32
1. La disponibilité, le critère à optimiser	32
2. Analyse du retour d'expérience	33
2.1. Objectif de l'analyse de l'historique de pannes	33
2.2. Présentation de la loi de PARETO	33

2.2.1. Mise en application de la loi de Pareto à la maintenance.....	34
2.2.2. Principe	34
2.2.3. Application de la loi de Pareto	
a. Quantification de l'indisponibilité des machines	34
b. Diagrammes des valeurs cumulées (diagrammes de Pareto)	36
c. Interprétation des diagrammes de Pareto	39
3. Exploitation des données, étude de cas	40
3.1. Les tréfileuse.....	40
3.2. Les machines, VITARI	42
4. AMDEC	43
4.1. Analyse de dysfonctionnement du système	43
4.2. Concepts utilisés dans l'analyse de dysfonctionnement	43
4.2.1. Défaillance et panne	43
4.2.2. Mode de défaillance	44
4.2.3. Évidence de la défaillance	44
5. Mise en application	44
5.1. Choix du système à étudier	44
5.2. Les modes de défaillance principaux et leurs effets	45
5.3. Arbres de défaillance	46
5.4. Tableaux de gravité	50
5.5. Tableaux de criticité	51
6. conclusion	52

Chapitre IV : actions de maintenance et apports à l'étude OMF

1. Les compresseurs ATLAS COPCO A 37+	54
2. Les tréfileuses	55
3. La machine VITARI	57
4. Les machines TSR01 TSR 02	58
5. Autres apports	59
5.1. Base de données, application avec DELPHI	59
5.2. Présentation de l'application	60

Conclusion générale

Liste des figures

Figure – 1 : Décomposition fonctionnelle de la maintenance	5
Figure – 2 : Décomposition structurelle	6
Figure - 3 : Retour d’expérience, processus en boucle	14
Figure – 4 : organigramme de l’étude OMF	22
Figure – 5 : schéma des transformations subies par le fluide	25
Figure – 6 : Changements subit par l’air dans le compresseur	25
Figure – 7 : Arbre fonctionnel du compresseur ATLASCOPCO	26
Figure – 8 : Arbre matériel du compresseur ATLASCOPCO	27
Figure - 9 : arbre fonctionnel de la machine à pointe VITARI	28
Figure - 10 : arbre matériel de la machine à pointe VITARI	29
Figure - 11 : diagramme de Pareto de TSR 01, l’indisponibilité en fonction de la nature de panne (Octobre 2013 - Mars 2014)	36
Figure - 12 : diagramme de Pareto de TSR 01, l’indisponibilité en fonction de la nature de panne (Octobre 2013 - Mars 2014)	36
Figure - 13 : diagramme de Pareto de la machine PML, l’indisponibilité en fonction de la nature de panne (Octobre 2013 - Mars 2014)	37
Figure - 14 : diagramme de Pareto de la machine TSR 01, l’indisponibilité en fonction de la nature de panne (Avril 2014 – Août 2014)	37
Figure -15 : diagramme de Pareto de la machine TSR 02, l’indisponibilité en fonction de la nature de panne (Avril 2014 – Août 2014)	38
Figure - 16 : diagramme de Pareto de la machine PML, l’indisponibilité en fonction de la nature de panne (Avril 2014 – Août 2014)	38

Figure - 17 : causes diagnostiquées de la rupture de la matière pendant le tréfilage	41
Figure - 18 : arbre de défaillance compresseur ; premier mode de défaillance (C)	47
Figure - 19 : arbre de défaillance compresseur, deuxième mode de défaillance (E)	48
Figure - 20 : arbre de défaillance compresseur ;troisième mode de défaillance (C)	49
Figure - 21 : interface de l'application	60
Figure - 22 : Machine à enregistrer	61
Figure - 23 : informations sur la machine sélectionnée	62
Figure - 24 : Enregistrer une panne	63
Figure - 25 : Interface pour visionner les schémas	64

Liste des tableaux

Tableau - 1 : Fiche technique du compresseur	24
Tableau - 2 : Nombre d'heures d'arrêts en fonction de la nature de la panne et de la machine (Octobre 2013 - Mars 2014)	35
Tableau - 3 : Nombre d'heures d'arrêts en fonction de la nature de la panne et de la machine (Avril 2014 – Août 2014)	35
Tableau - 4 : gravité pour le premier mode de défaillance	50
Tableau - 5 : gravité pour le deuxième mode de défaillance	50
Tableau - 6 : gravité pour le troisième mode de défaillance	50
Tableau - 7 : criticité pour le Premier mode de défaillance	51
Tableau - 8 : criticité pour le deuxième mode de défaillance	51
Tableau - 9 : criticité pour le troisième mode de défaillance	52
Tableau - 10 : Plan de maintenance préventive des compresseurs ATLAS COPCO	54
Tableau - 12 : Plan de maintenance préventive des tréfileuses EUROWALL et AWM... ..	75

Introduction générale

On assigne souvent à la maintenance le rôle de limiter au mieux les effets de (vieillesse, usure, fatigue, et autres altérations physico-chimiques), cette vision peut être réductrice, car elle est plus centrée sur la recherche des moyens d'éviter des dégradations « le comment » que sur les raisons de le faire « le pourquoi ». Ainsi, elle semble parfois s'intéresser plus à trouver la façon d'améliorer la fiabilité des biens, alors qu'il faut d'abord identifier ce qu'il faut améliorer, car maintenir ne veut plus dire entretenir en bon état, mais atteindre des objectifs.

La première approche a été de pratiquer une maintenance systématique sur l'ensemble d'une installation, basée sur des intervalles de maintenance, tout en respectant les exigences des constructeurs.

Mais il s'avère que sur une même installation, les équipements ne sont pas soumis aux mêmes stress, on court alors le risque de dépenses excessives ou d'indisponibilités inutiles.

Aussi, les exigences de fiabilité varient en fonction de du rôle que jouent les différents matériels y compris dans un même système.

Devant cette situation, la maintenance ne doit plus se contenter de surveiller et de réparer, mais envisager des stratégies. C'est dans ce contexte que la maintenance s'est dotée de méthodes qui considèrent à la fois, et plus ou moins, la technique et l'organisation, alliant une évaluation des risques, une analyse du retour d'expérience, et une logique de sélection de tâches de maintenance. L'Optimisation de la Maintenance par la Fiabilité (OMF) est le nom qui a été donné à la méthode aujourd'hui utilisée par le secteur industriel européen.

La problématique est « comment ? » bâtir un programme de maintenance préventive optimisé d'une installation, cela en tenant compte des contraintes à respecter et des critères à optimiser communs à la maintenance et spécifiques à chaque d'étude.

En plus du but visé par L'OMF, nous avons voulu voir dans quelle mesure la méthode OMF est applicable et la manière dont on peut exploiter les différents outils disponibles

C'est pourquoi, nous avons choisis de faire notre stage dans une entreprise faisant partie d'un échantillon représentatif des moyennes industries possédant un matériel moyennement entretenu, une absence de stratégie de maintenance préventive et des moyens économiques et organisationnels relativement modestes.

Après avoir fait l'état d'art de la méthode OMF et de ces différentes phases pour notre sujet d'étude dans le premier chapitre, suit son application en suivant des étapes avec une chronologie adaptée à notre installation.

La récolte des données nécessaires à notre étude et leurs structures fait l'objet du second chapitre, quant à l'exploitation des données pour diagnostiquer les zones où se concentreront les tâches de maintenance préventive, cette partie constitue le troisième chapitre.

Le quatrième chapitre se consacre à l'étude de cas pratiques, qui serviront d'exemples relatifs au stage pratiqué durant un mois dans l'entreprise STS (société de tréfilerie de la Soummam).

Le cinquième et dernier chapitre est dédié à aux moyens d'assurer la traçabilité de cette étude et de réorganiser entre le retour d'expérience et la maintenance en général.

Chapitre I

Introduction à L'OMF et de ses outils

Avant-propos

Il est essentiel avant de commencer à traiter notre sujet à proprement dit, de prendre de la hauteur afin de saisir les multiples emboitements et nous situer dans un environnement industriel très diversifié, ainsi, voir à quelle échelle notre étude interagit.

Le but ici, est précisément de révéler le caractère fonctionnel que joue la maintenance dans une installation et la dépouiller de toute entrave qui pourrait la limiter à une vision réductrice du seul aspect matériel, c'est pourquoi, dans un premier temps, nous avons choisis cette approche fonctionnelle de la maintenance indépendamment des organisations humaines, puis dans un deuxième temps, nous nous intéresserons aux sous fonctions de la maintenance et plus particulièrement, à la maintenance préventive, de son optimisation.

1. La fonction maintenance

Cette terminologie utilisée communément dans la profession, est révélatrice du fait que la maintenance occupe une place déterminante dans le fonctionnement d'une entreprise, Il s'agit même d'une fonction vitale puisque, sans maintenance, tout processus industriel cesse, généralement à brève échéance, de produire les biens ou les services pour lesquels il a été conçu ; la dénomination de « fonction de maintenance » est notamment le titre du fascicule de documentation X60 – 000 édité par AFNOR des normes françaises de maintenance industrielle [5].

1.2. Représentation fonctionnelle de la maintenance

Cette représentation de la fonction maintenance en forme d'arborescence s'appuie sur la nature des actions à mener et sur les principales sous fonctions qui les constituent, en mettant l'accent sur celles qui nous intéressent.

En rouge, les activités à caractère « opérationnel », à commencer par les études qui analysent l'historique pour élaborer les programmes de maintenance préventive et déterminer les ressources nécessaires en moyens logistiques, la préparation et l'ordonnancement permettent ensuite de décrire et d'organiser les interventions en gérant les temps et en utilisant les moyens les mieux adaptés, la réalisation des différentes interventions de maintenance, accompagnée de la collecte du retour d'expérience constitue l'aboutissement de cette chaîne d'activités.

En bleu, celle qui s'appuient sur les données de base à caractère « générique » établies en principe une fois pour toutes comme l'identification des matériels, les analyses de fonctionnement et de dysfonctionnement, l'organisation des ressources etc.

En vert, celles qui appartiennent au domaine du «soutien logistique», comme la fonction d'approvisionnement qui sert à commander et à distribuer les pièces de rechanges et les matières nécessaires aux interventions ainsi qu'à négocier présentations extérieures, en lien avec l'approvisionnement, la gestion technique et budgétaire permet de fournir et de surveiller les ressources requises. Enfin, une fonction de «management» orchestre l'ensemble et détermine la politique et la stratégie de maintenance. Cette représentation est illustrée sur la figure 1.

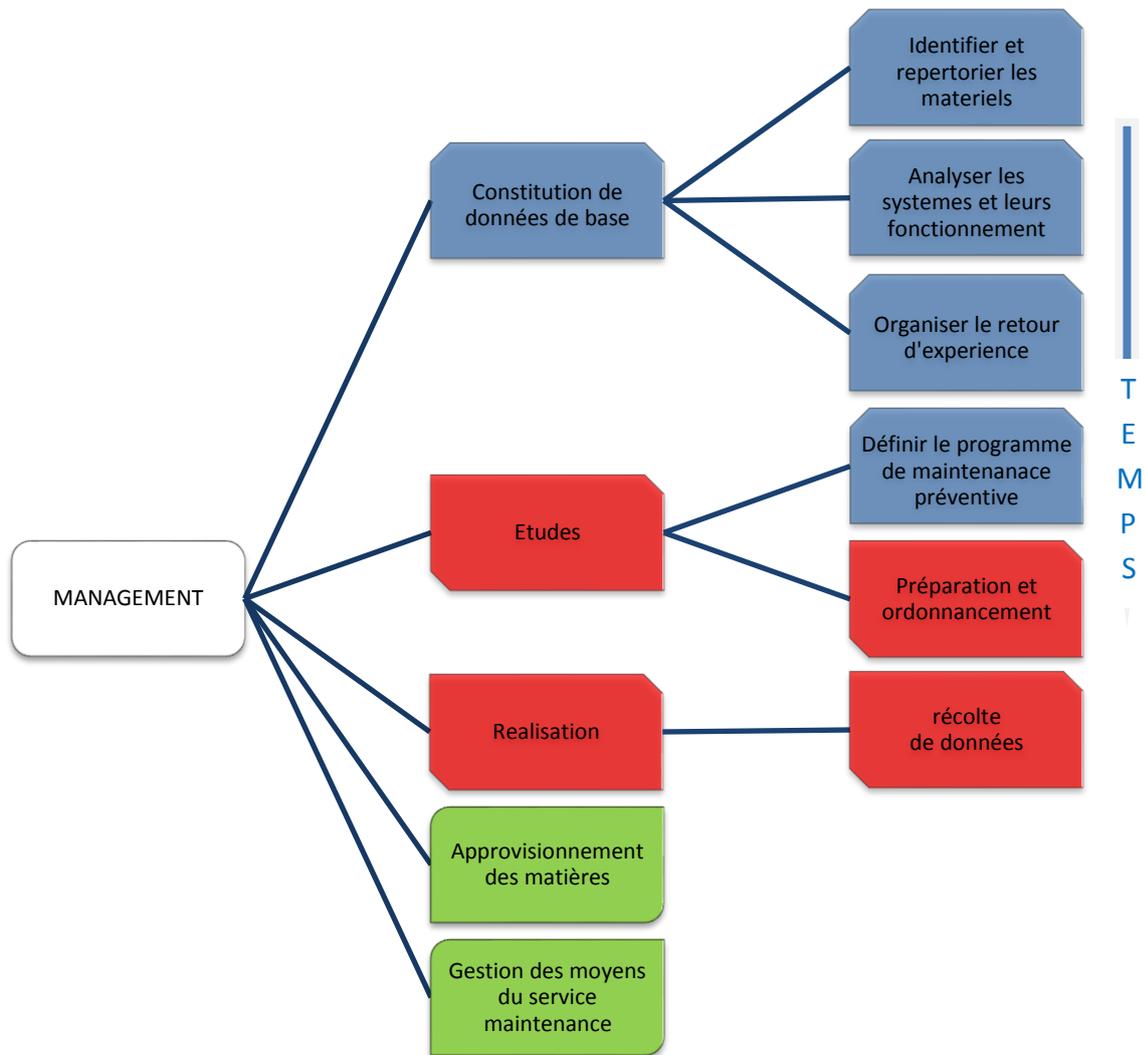
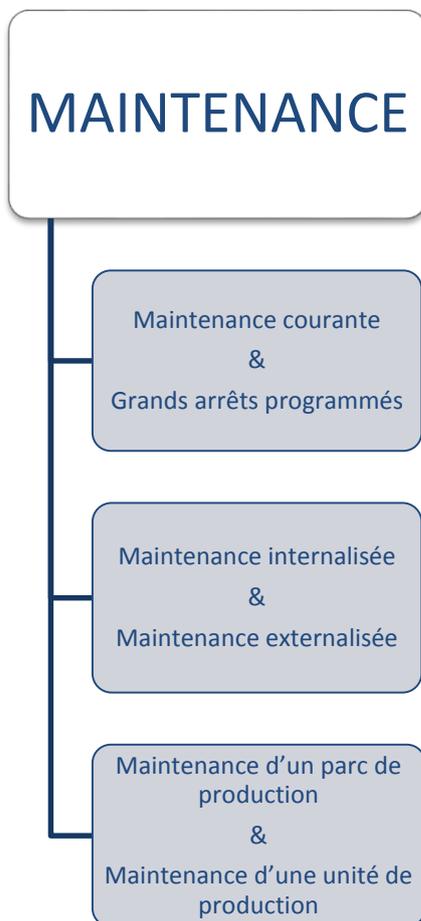


Figure – 1 : Décomposition fonctionnelle de la maintenance

1.3. Découpage structurel et organisationnel de la fonction maintenance

L'intérêt de cette décomposition, est qu'elle dépend du fonctionnement de l'installation, de l'organisation de l'entreprise et de ses choix stratégiques. Aussi pour différencier des domaines dont les caractéristiques conduisent à des activités de maintenance différentes, elles ne permettent pas d'avoir une vue globale de la fonction, mais présentent une complémentarité intéressante avec la représentation précédente qui ne souligne pas ces aspects. On peut ainsi distinguer sur la figure 2 :



- La maintenance courante et la maintenance effectuée durant les grands arrêts programmés. Il s'agit ici de distinguer les activités en fonction de la période durant laquelle la production est requise ;
 - La maintenance «internalisée», exécutée par le personnel de l'entreprise, et la maintenance sous-traitée ou Co-traitée. La classification porte sur l'appartenance, ou non, des intervenants à l'entreprise, le travail du personnel de l'entreprise change de nature, passant de l'exécution des tâches à leur contrôle ;
 - Les activités de maintenance effectuées au niveau d'un parc de production, par exemple celles qui sont à la charge des services centraux, et les activités de maintenance qui sont réalisées au niveau d'une usine [5].

Figure - 2 : Décomposition structurelle

2. Les enjeux de l'OMF

Nous devons le cycle de vie d'un investissement dès le début d'un projet en tenant compte de l'ensemble des frais liés aux activités de maintenance, de manière à ne pas engager des dépenses dont les bénéfices seraient mal évalués, donc maîtriser les coûts et trouver la meilleure efficacité possible pendant la phase de production. Ainsi, la maintenance doit nécessairement être orientée par les objectifs généraux de l'entreprise, et se réguler à partir de l'écart entre les performances attendues et celles qui sont observées.

On entend par « réguler », optimiser, et en permanence, car l'optimum varie et n'est autre qu'un compromis entre différents critères et contraintes, elles-mêmes évolutives, et de ce fait il reste empreint d'une certaine subjectivité. Le poursuivre oblige à une recherche continue d'améliorations. Pour cela, les différentes fonctions de l'entreprise sont sollicitées et la fonction maintenance tout spécialement.

C'est pourquoi il est utile de considérer toutes les sous-fonctions qui composent la fonction maintenance pour pouvoir faire converger l'ensemble vers l'objectif fixé. Il convient donc d'analyser tous les reliefs de la fonction maintenance, munis des outils cités précédemment.

3. La méthode OMF, Origine et applications

3.1. Présentation de la méthode

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...

C'est le secteur aéronautique qui a été précurseur en élaborant la méthode MSG (Maintenance Steering Group) à la fin des années 1960 pour définir les programmes de maintenance préventive des avions. Elle est à l'origine de la RCM (Reliability Centered

Maintenance) développée aux États-Unis pour l'aviation militaire, puis reprise et adaptée par les exploitants de centrales nucléaires. Une norme de la CEI [2], en a repris les principes sous l'appellation francisée de MBF (Maintenance Basée sur la Fiabilité) pour en assurer une large diffusion à l'ensemble des secteurs industriels.

C'est en 1990 que, sur la base du MSG et de la RCM, EDF a commencé à développer la méthode d'optimisation de la maintenance par la fiabilité (OMF) pour réviser la maintenance préventive de ses centrales. Les premières études pilotes ont eu des résultats encourageants en montrant la faisabilité et les avantages de cette méthode. Elles ont donc conduit à prendre la décision de l'appliquer sur une grande échelle à l'ensemble des installations. Ensuite, l'analyse de nombreux systèmes a permis de démontrer l'intérêt économique de ces études. La méthode n'est pas restée cantonnée au nucléaire et, après avoir subi diverses adaptations, elle a été appliquée aux lignes de transport d'électricité et aux turbines à gaz. Puis la démarche a été complétée pour y inclure une analyse des matériels « passifs » tels que les tuyauteries et les supports. Cette approche qui tient compte des particularités de ce type de matériel est appelée « OMF-structures ».

L'intérêt suscité par ces développements a fait tache d'huile et la méthode a été à nouveau adaptée pour être appliquée aux centrales conventionnelles, aux micro-turbines à combustion, aux éoliennes, aux aménagements hydrauliques, aux systèmes de compression d'air, etc. Enfin, les principes de l'OMF ont été utilisés pour considérer la maintenance et le soutien logistique dans la phase de conception des futurs réacteurs nucléaires.

Les résultats de ces travaux sont devenus des recueils d'informations qui peuvent servir à alimenter de nouvelles études comme par exemple la définition des stocks de pièces de rechange, les effets sur la maintenance de nouveaux modes d'exploitation, la prévision de la durée d'exploitation de matériels ou de systèmes, etc. [1].

3.2. Principe de base

3.2.1. La fiabilité au rang d'indicateur

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, 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 ».

3.2.2. Les phases de l'OMF

L'OMF permet de déterminer : où 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.

Ce travail, qui se rapproche de celui du concepteur, est ensuite complété par une prise en compte de l'historique de maintenance plus proche de la vision de l'exploitant. 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.

3.3. Choix du sujet d'étude

La partie de l'installation qui est le sujet de l'étude peut être un ensemble de systèmes (par exemple une unité de production de vapeur), un système ou un sous-système (par exemple un

système de compression d'air), un gros matériel (un moteur ou une motopompe). Pour s'assurer le meilleur rapport entre les résultats obtenus et le coût de l'étude, il est nécessaire de choisir convenablement le sujet. Un premier tri s'impose dès le départ et une hiérarchisation des sujets possibles permettra d'aborder en priorité les études les plus prometteuses. Pour cela, il convient de considérer les différents aspects suivants :

Les conséquences que les défaillances peuvent avoir sur les enjeux considérés. On pourra ainsi proposer de noter les systèmes en fonction des conséquences qu'ils peuvent avoir sur la disponibilité, les coûts, la qualité, etc.

Les améliorations potentielles qui peuvent être apportées au programme de maintenance existant. Par exemple, il n'est peut-être pas pertinent d'engager l'analyse d'un programme qui vient tout juste d'être révisé.

L'évolution du nombre de défaillances et de dégradations constatées à travers le retour d'expérience. Si ce nombre augmente (ou diminue) significativement, c'est le signe de gains potentiels importants.

Les changements de mode d'exploitation qui peuvent affecter les mécanismes de dégradation et les risques de défaillance. Le programme de maintenance doit dans ce cas être remanié et la mise en œuvre de la méthode OMF sera profitable. Mieux vaut classer les systèmes et s'attaquer d'abord à ceux dont les performances sont les plus sensibles aux actions de maintenance.

Nous allons voir les différents outils servant à produire les données indispensables à l'étude OMF, le retour d'expérience et les conditions de son efficacité, et l'analyse fonctionnelle pour les données de type génériques réutilisables qui assure la traçabilité de l'étude.

Remarque

Les trois phases constituent en théorie le corps de la méthode OMF, mais cela est insuffisant pour la mettre en œuvre, organiser la maintenance et maximiser les investissements, il nous faut aussi réfléchir à l'applicabilité de la méthode OMF aux milieux industriels et contextes économiques différents, de moindre envergure notamment que les

centrales nucléaire européennes ou les réseaux électrique d'EDF, comme c'est le cas par exemple des installations en Algérie de type Sarl.

En effet, sur le terrain, les industries qui sollicitent le plus souvent une optimisation de la maintenance préventive, sont d'abord celles qui font face à de lourds coûts de maintenance, donc un matériel vieillissant et un budget trop serré pour un renouvellement, toujours dans un souci de pragmatisme face aux réalités, il est nécessaire de mettre au point une formule d'étude OMF plus adaptable aux entreprises, et qui contourne les entraves que rencontre généralement un ingénieur en maintenance.

L'étude OMF suggère tout un travail en amont, de préparation de terrain, et une étude rétrospective en aval pour d'éventuels ajustements organisationnels et de gestion technico-économique, qui sont affectés aux différents services de l'entreprise (service méthode, process etc.)

Evidemment, cela sous-entend une bonne coordination et une communication fluide entre les différents services, sur le terrain, la maintenance pâtit du manque organisationnel des entreprises et d'une faible prise d'initiatives devant la production, qui a une vision plutôt limitée du matériel, en plus du fait que les organisations humaines sont irrégulières et différent selon les entreprises et le personnel, elles restent aussi empreintes d'une certaine subjectivité.

C'est pourquoi nous avons choisis cette approche fonctionnelle sans préjuger des organisations humaines qui peuvent être mises en place, et une organisation de la maintenance qui donne l'initiative au plus proche du matériel, aussi, décroiser les métiers et montrer à chacun la part que prennent ses actions dans l'atteinte d'objectifs globaux pendant l'application de la méthode.

Nous utiliserons les représentations présentées précédemment comme base de réflexion à l'application de la méthode OMF en industrie, et nous prendrons le cas d'une première étude dans une unité de production industrielle.

Le découpage structurel, d'après le fonctionnement de l'installation, de l'organisation de l'entreprise et de ses choix stratégiques nous aidera à connaître la nature des activités de maintenance à définir et éventuellement, les améliorations à faire.

Dans un deuxième temps, nous nous pencherons sur les étapes nécessaires selon les différents moyens disponibles dans l'entreprise, nécessaires à notre étude et ainsi définir le plan de travail, ajoutons que l'entreprise où se déroule notre stage servira d'exemple pratique pour les différents choix que nous serons amenés à faire.

4. Retour d'expérience pour l'OMF

L'étude OMF est une méthode d'aide à la décision de la stratégie de maintenance à mener, elle sollicite le bon sens, mais cela ne suffit pas, on a aussi besoin de données quantitatives pour appréhender les problématiques de maintenance d'un point de vue pragmatique.

Etant toujours amenés à justifier une politique de maintenance vis-à-vis de la production, et à montrer que l'investissement encourue est raisonnable économiquement (d'où le mot optimisation), on a besoin d'avoir un outil en main objectif et fiable tout en sachant optimiser son exploitation.

La réalité est que l'aspect économique est fondamental et ne peut être contourné dans un environnement de concurrence et de performance, pour exemple, même si l'on veut à priori augmenter la sécurité des personnes ou la protection de l'environnement au-delà des normes et législations, en parallèle, cet investissement doit profiter à l'image de marque de l'entreprise en question sans quoi, ces efforts seront jugés inutiles; d'où l'importance de l'étude technico-économique pour une stratégie de maintenance convaincante, « et on doit s'appuyer sur des chiffres » qu'on puisera du retour d'expérience.

Le retour d'expérience technique s'intègre donc dans le système d'information et dans le management des entreprises, et est un point clé stratégique de la sûreté de fonctionnement industrielle. Le retour d'expérience n'est pas une fin en soi, mais un moyen contribuant à ces enjeux qui sont en somme, la maîtrise du matériel, et précisément :

- De la sûreté et l'environnement ;
- la disponibilité ;
- la qualité du produit ;

- les coûts de maintenance ;
- la durabilité et la prolongation et la durée d'exploitation ;
- Et l'aide à la conception des installations future.

Certaines de ces caractéristiques vont, bien entendu, s'avérer antagonistes. On commencera donc par déterminer à l'aide de la méthode OMF celles dont il faut se préoccuper en priorité, celles qui interviennent comme des contraintes incontournables et qui ne doivent pas être dégradées, et celles pour lesquelles on peut tolérer une dégradation.

Notons aussi que, dans l'industrie, le retour d'expérience intervient pendant tout le cycle de vie d'un produit ou d'une installation, de l'avant-projet sommaire à la fin de vie, pour ainsi dire, un processus d'amélioration continu.

4.1. Retour d'expérience et cycle de vie

Pendant la démarche OMF, la collecte des données, la mise au point de leur base de données et performer le retour d'expérience est une tâche difficile et coûteuse en temps, en un sens, elle représente le plus gros du travail et elle s'inscrit non seulement dans le cadre de la détection des zones critiques dans un système donné, mais aussi à posteriori, dans l'utilisation des données effectives de l'étude; ainsi les matériels à suivre seront ceux qui sont reconnus critiques par l'analyse OMF, car il est illusoire de vouloir tout surveiller.

L'effort de collecte sera ainsi optimisé ou proportionné aux bénéfices attendus en termes de maîtrise en se concentrant sur les matériels visés par l'OMF et qui répondent aux critères suivants :

- Critique pour la sûreté.
- Critique pour la qualité.
- Critique pour la disponibilité, responsable des pertes de production.
- Ayant des couts de maintenance (préventifs dans notre cas) élevés...

Cette liste constitue le fichier des matériels suivis pour lesquels il faudra définir :

- Les caractéristiques d'ingénierie.
- Les conditions d'exploitation et d'environnement.
- Le programme de maintenance préventive.

- La classification et le découpage arborescent... [6]

4.2. Le retour d'expérience, un processus d'amélioration continu

L'un des résultats des études OMF est l'établissement de programmes optimisés de maintenance préventive. Ces programmes sont ensuite appliqués. Ils doivent cependant être actualisés (il s'agit d'un processus en boucle), pour les raisons suivantes :

Les conditions d'environnement et d'exploitation peuvent varier et des vieillissements peuvent apparaître et nécessiter une surveillance accrue.

L'impact d'un programme de maintenance « optimisé » peut s'avérer négatif en termes de fiabilité et de réduction des coûts. Il est important de prévoir une réactualisation périodique (tous les 3 à 5 ans pour les composants actifs, tous les 10 ans pour les composants passifs).

Les programmes de maintenance, ne peuvent s'envisager sans :

L'archivage des études OMF réalisées précédemment, assurant la traçabilité des analyses et leur réactualisation.

Une structure pérenne de retour d'expérience technique relative aux défaillances et aux actions de maintenance des équipements les plus importants et intégrée dans le système d'information de l'entreprise.



Figure - 3 : Retour d'expérience, processus en boucle

4.3. Qualité des données

Dans le domaine du retour d'expérience, peut-être plus que dans d'autres domaines, la qualité des données est primordiale, car elle a un impact direct sur la fiabilité des résultats et l'interprétation du retour d'expérience.

Obtenir des données de qualité validées nécessite la mise en place d'un processus qui va déterminer la justesse et la pertinence des données de retour d'expérience pour des objectifs bien précis, réalisé au niveau de l'analyse, ce processus permet d'obtenir, à partir de données brutes, des données validées pour ces objectifs.

Signalons enfin que la démarche OMF facilite la collecte des données de défaillance et garantit une certaine qualité, puisque les responsables de cette collecte les utilisent ensuite pour les analyses de maintenance [6,7].

4.4. Constitution de la base de données

Comme certains objectifs peuvent se révéler contradictoires, il est donc important d'identifier précisément ce que l'on recherche avant de constituer une banque de données de retour d'expérience et de réaliser les outils d'accès et de traitement qu'il faudra lui associer. On peut ainsi distinguer différents types de bases de données dans le domaine industriel :

- Les banques d'événements : à caractère historique, associant des faits techniques ou humains (événements, incidents, accidents, etc.) au temps, et qui concernent plutôt les situations d'exploitation dans les installations.
- Les banques de défaillances : qui nécessitent le recueil de défaillances, de dégradations, d'actions de maintenance et de statistiques de fonctionnement, et qui concernent toutes les situations relatives aux matériels.

Il existe encore d'autres banques (de contrôle, surveillance, statistiques, connaissances, etc.) Ces banques contiennent des informations brutes de retour d'expérience, relatant l'événement ou la défaillance, ces informations peuvent être structurées : elles sont codées ou narratives, faisant l'objet d'un texte libre écrit en langage naturel. Ces informations sont essentielles dans les perspectives de bonne gestion du cycle de vie et d'optimisation de la maintenance par la fiabilité.

5. Analyse fonctionnelle

Pour pouvoir étudier les dysfonctionnements possibles d'un système, il est clair qu'il faut d'abord comprendre comment il fonctionne durant ses différentes phases de fonctionnement normal.

Par ailleurs, la partie de l'installation que l'on a choisie d'étudier doit être délimitée. Si ce n'est pas déjà fait, il faut commencer par la découper en systèmes et déterminer les limites matérielles de chacun, c'est ce que permet l'analyse fonctionnelle. Elle va servir à comprendre comment les fonctions des systèmes sont réalisées et à découper l'installation selon une logique fonctionnelle. Cette analyse repose sur une démarche déductive.

5.1. Décomposition fonctionnelle

Elle consiste à découper de plus en plus finement les fonctions en partant de celles de l'installation pour parvenir aux fonctions plus élémentaires remplies par les matériels. En effet, ce sont les fonctions du « haut » (au niveau de l'installation) qui définissent les enjeux, et c'est sur celles du « bas » (au niveau des matériels) que l'on effectue les interventions de maintenance. L'analyse fait le lien entre le « haut » et le « bas », en allant du « haut » vers le « bas ». Plusieurs techniques sont utilisables sachant que l'on part d'une installation existante, connue et documentée, et non de la feuille blanche d'un concepteur.

On peut proposer une méthode basée sur les flux, utile pour comprendre le fonctionnement global de l'installation, ou découper les systèmes en utilisant une méthode arborescente comme la méthode FAST (Functional Analysis System Technique).

L'analyse par les flux consiste à représenter les transformations qui sont réalisées sur les flux de matière, d'énergie et d'information. Ces transformations permettent de délimiter les systèmes et d'identifier leurs fonctions essentielles.

Cette méthode, en restant proche de la physique des systèmes, est utile à la compréhension du fonctionnement. Elle peut s'avérer cependant difficile à utiliser pour traiter ensuite l'ensemble des systèmes, on peut alors mettre en œuvre une analyse de type FAST qui permet d'obtenir un découpage arborescent. Elle consiste pour chaque fonction à répondre à la question : « Comment est-elle réalisée ? Quelles sont les sous-fonctions utilisées ? ».

En partant des fonctions qui sont la raison d'être du système, on descend, avec un niveau de détail croissant, vers les fonctions plus élémentaires qui résultent des choix technologiques

faits par le concepteur. On réalise ainsi des « arbres fonctionnels » qui constituent un modèle de fonctionnement du système (chaque phase de fonctionnement du système peut donner lieu à une analyse fonctionnelle) [1].

5.2. Décomposition sur un système

Cette étape d'analyse fonctionnelle consiste en quelque sorte à reformuler les informations que l'on peut extraire des schémas mécaniques et des documents descriptifs du fonctionnement. Son premier intérêt est de permettre une recherche rationnelle et assez exhaustive des fonctions élémentaires au degré de finesse souhaité.

Elle assure de ce fait une bonne traçabilité à l'étude, un deuxième intérêt non négligeable est qu'elle aide le groupe de travail à bien comprendre le fonctionnement du système étudié et qu'elle donne ainsi une culture commune à tous les participants.

L'expérience montre qu'elle est utile pour lancer l'animation d'un groupe, et pour intéresser et faire participer les membres de l'équipe de travail, lorsque ces derniers ont une bonne connaissance du fonctionnement, l'étape peut être raccourcie et se limiter à lister les fonctions importantes.

5.3. Décomposition matérielle

La maintenance sert à maintenir ou à rétablir une fonction requise en agissant sur un matériel, Ce qui peut avoir des conséquences graves, c'est la perte d'une fonction, mais c'est la défaillance d'un matériel qui sera observée et consignée dans le retour d'expérience.

Il est donc nécessaire d'associer aux fonctions de l'arbre fonctionnel les matériels qui les assurent.

Les premières étapes d'une analyse OMF servent à trier les matériels (ou plus précisément leurs modes de défaillance) en analysant les fonctions auxquelles ils participent de manière à

ne retenir que ceux qui feront l'objet d'interventions de maintenance préventive, elle consiste, d'une certaine manière, à passer le système dans différents tamis.

La réalisation d'un schéma simplifié peut constituer le premier de ces tamis en permettant d'éliminer d'emblée certains matériels secondaires et de réduire un peu le volume de l'étude.

En partant du schéma mécanique, une première simplification consiste à laisser de côté les matériels qui ne sont pas indispensables au fonctionnement normal du système et dont les défaillances n'ont donc pas de conséquences graves.

On obtient ainsi un schéma simplifié sur lequel apparaissent des matériels, qui remplissent des fonctions élémentaires importantes, ces matériels peuvent à leur tour être décomposés de manière à faire apparaître leurs composants qui peuvent être la cause de défaillances et sur lesquels porteront les tâches de maintenance préconisées [1].

Chapitre II

Stage en entreprise, récolte et structuration des
données

Introduction

Toute étude de maintenance ne peut être effectuée que si elle trouve une application sur le domaine industriel, dans ce sens, nous avons effectué un stage en entreprise afin de saisir le fonctionnement de l'installation et les interactions de ses différentes fonctions réalisées par les équipements des multiples systèmes en constituant une base de données utile à l'évaluation des risques afin de prendre des mesures pour y remédier.

1. Présentation de l'entreprise

Nous avons effectué notre stage au sein de la société STS est implantée une nouvelle installation depuis fin 2013 dans la zone industrielle SNU 1 ZONE 13/10 « EL KSEUR » sur la route des concessions, qui se trouve à 60 km de Bejaïa et à 220 km à l'ouest de la capitale Alger.

Dirigé par M. TIGHIDET, la Société Tréfilerie de la Soummam de Bejaia, par abréviation STS à une structure de type Sarl et dispose à ce jour d'un capital social de 30 132 000,00 DA. Elle est spécialisée dans la fabrication de divers produits sidérurgiques pour le bâtiment et l'agriculture obtenus par le procédé du tréfilage.

Elle est fondée le 14 Octobre 2003, et depuis la Sarl ne cesse de développer ses activités par l'élargissement de sa gamme de produits et de son volume d'activité.

1.1. Principaux produits

Les treillis soudés : se sont des treillis en rouleau avec fil cranté à haute adhérence. Les soudures sont réalisées par machine automatique à induction, elles sont utilisées comme armature du béton des plates-formes et des dalles, etc.

Les fils métalliques : ils sont de divers diamètres, produit par tréfilage sur machines automatiques à partir du fil machine en acier doux conformes à la norme de nuance NFA 35052. Ils sont destinés comme semi-produits pour l'industrie et pour l'artisanat.

Les poutrelles : se sont des poutrelles métalliques légères avec pieds réalisés sur machines automatiques et soudeuses électriques par points. Qualité conforme à la norme NFA 35052. ONORM B 3660 (Autriche). Elles sont destinées aux dalles en plancher creux, etc.

Les pointes : elles sont réalisées à partir de fil en acier doux et écroué en cours du processus de fabrication ce qui confère à la pointe une bonne rigidité.

1.2. Procédé du tréfilage

L'activité principale étant la fabrication de divers produits sidérurgiques pour le bâtiment et l'agriculture en utilisant le tréfilage. Cette dernière est une technique de mise en forme à froid des métaux, elle permet de réduire la section d'un métallique par déformation plastique, en le tirant à travers l'orifice calibré d'une filière sous l'action d'une force de traction et en présence d'un lubrifiant.

Cette technique permet d'obtenir des fils de diamètres inférieurs à 5 mm et de s'affranchir ainsi des limites technologique et économique d'un procédé de déformation à chaud, à savoir de respecter des tolérances serrées sur les diamètres et de conférer, éventuellement, des caractéristiques mécaniques adaptées par écrouissage [9]. Les matériaux les plus utilisés dans le cadre d'applications industrielles sont l'acier (cas de la société STS), le cuivre, l'aluminium et le tungstène. Les trois éléments-clés du tréfilage sont le fil, la filière et le lubrifiant:

- Le fil de départ, ou fil-machine provient du laminage à chaud et a subi une préparation de surface : il a ainsi été décapé et revêtu pour accentuer sa rugosité de surface et améliorer sa capacité à être tréfilé;
- La filière assure la réduction, se compose d'un noyau en carbure de tungstène lié au cobalt ou au diamant et d'une frette en acier;
- Le lubrifiant joue le rôle de troisième corps : produit liquide ou pulvérulent suivant le procédé choisi, il s'intercale, sous forme d'un film mince, entre les deux antagonistes.

2. OMF spécifique à STS

Nous avons utilisé les représentations présentées en [figure 2 et 3] pour déterminer les étapes nécessaires à l'application de l'OMF à notre installation.

Il est important de préciser que chaque étape doit être adaptée et optimisée en termes de temps, de moyens et de coûts, en fonction de la nature de l'installation et de la taille de l'entreprise, en utilisant comme outils les différentes représentations, néanmoins, l'obtention des résultats souhaités requière un minimum d'outils, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent.

La figure 3, illustre les étapes que nous proposons pour une première étude OMF dans cette installation.

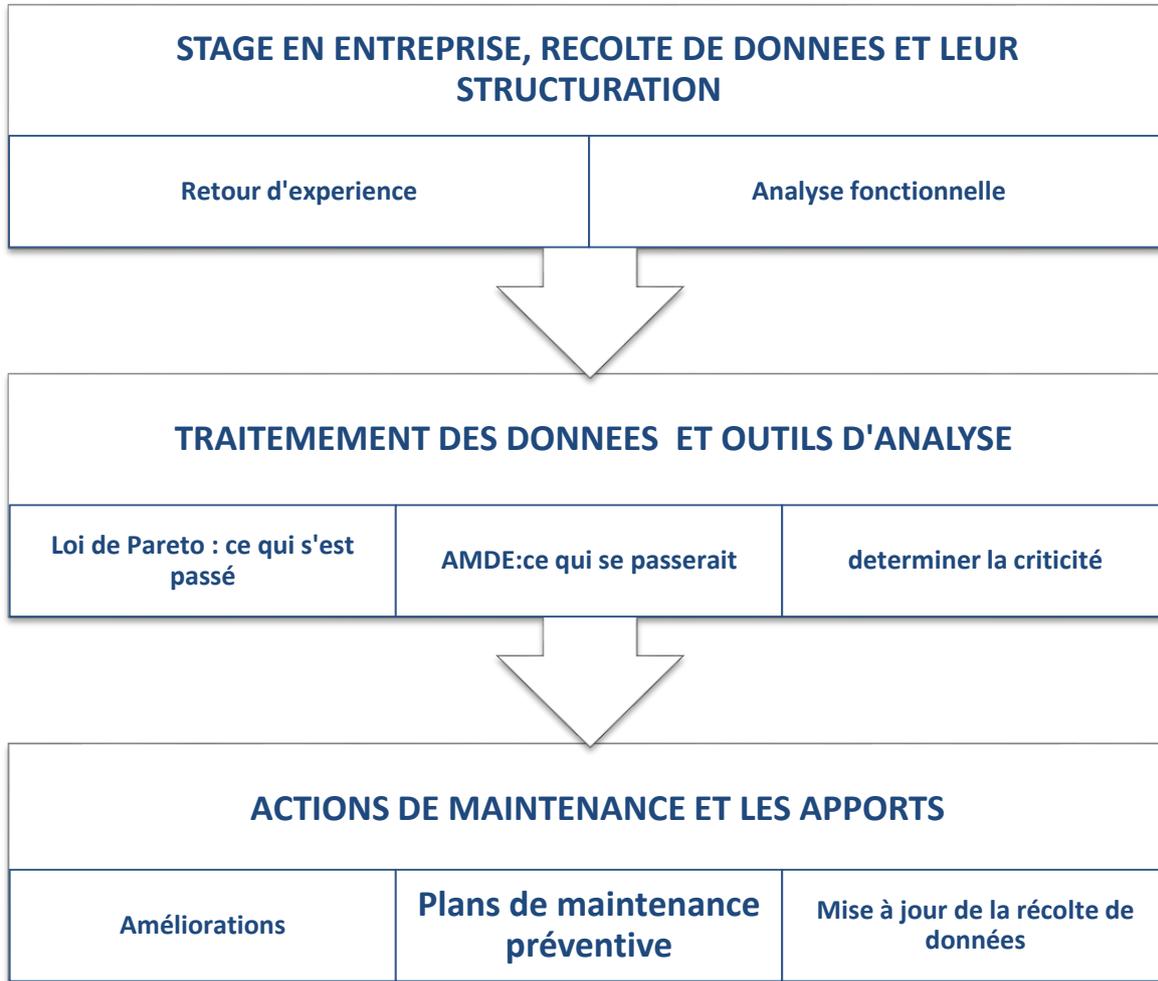


Figure – 4 : Organigramme de l'étude OMF

2.1. Description de l'activité de maintenance dans l'entreprise STS

a. La politique de maintenance adoptée

La maintenance au sein de STS est constituée en grande partie d'une maintenance corrective et de dépannage, parallèlement à une maintenance systématique rudimentaire basée sur les recommandations des constructeurs et autres action de routines hormis les remplacements des pièces consommables, ces actions de maintenance ne suivent aucune hiérarchisation ou chronologie particulière, elle est donc improvisée suivant les temps disponible et les aléas de la production.

b. Le service de maintenance

Les interventions de dépannages et de réparations sont effectuées par trois équipes se relayant toute les huit heures, et du superviseur en maintenance, les équipes sont constituées chacune de deux ingénieurs s'occupants des pannes électriques, deux autres, des pannes mécaniques, ces pannes sont signalées soit par les opérateurs sur machines, soit par les alarmes et autres capteurs d'écarts.

c. Le retour d'expérience de l'installation de STS

L'historique de pannes que nous avons pu rassembler pendant notre stage, remonte qu'au début de production en fin 2012, de la nouvelle installation utilisant principalement des machines d'occasion dont l'historique de pannes de l'exploitation antérieure est inexistant.

La récolte est faite en remplissant des rapports en principe après chaque intervention, ensuite récupérés toute les semaines par le superviseur. Concernant les fiches d'intervention, nous constatons qu'elles sont pauvres en informations concernant les détails des pannes et le déroulement des interventions, ne précisant pas le composant ayant subit la panne et la technologie de la pièce de rechange consommée. A partir de ces constatations et des données brutes que nous avons pu rassembler qui remonte à un peu plus à une année d'exploitation, nous avons choisi la manière la mieux adaptée d'en tirer le plus d'informations utiles, et de procéder à des améliorations pour ce qui concerne l'organisation du retour d'expérience et la fiabilité des matériels nécessaires.

2.2. Récolte des données et leur traitement

Après rassemblement de toutes les fiches d'interventions, nous avons procédé au dépouillement, puis au tris de celles-ci préalablement par matériel, avec la concertation et la validation du superviseur en maintenance en guise d'expert, qui a pu identifier les noms des machines et leurs emplacements actuels, puis nous corrigerons ces fiches et mettrons les codes, assignés pour chacune d'elles durant la phase de répertoriassions des matériels, cela après avoir posé des étiquettes sur les matériels contenant ces mêmes codes pour les interventions futures. Toujours avec la concertation du superviseur en maintenance, nous nous sommes concentré ensuite au tri par nature de panne (mécanique, électrique, pneumatique, hydraulique et autres) pour les besoins de l'analyse, en gardant que les données sûr.

3. Exemple d'analyse fonctionnelle

Dans l'organigramme décrivant toute étude OMF, on rencontre une certaine dualité entre les données du retour d'expérience et l'analyse fonctionnelle, l'OMF a besoin de l'apport de l'analyse fonctionnelle qui constitue l'aspect déterministe régissant le mode de fonctionnement avec toutes les particularités de l'installation, des systèmes et des équipements, pour déboucher généralement sur une évaluation de la gravité des événements probables, le retour d'expérience vient alors nous fournir un apport statistique et quantitatif en fournissant par exemple l'occurrence (fréquence des pannes) qui nous permet de déterminer la notion de criticité qui est un critère déterminant dans le choix des actions de maintenance, ainsi que les événements significatifs parfois très difficiles à imaginer.

Nous présentons dans ce qui suit, une analyse fonctionnelle d'un compresseur à vis, dont la fiche technique a été enregistrée durant la phase de répertoriations des matériels, et fait partie avec les arborescences des données génériques intégrée dans la base de données.

Tableau – 1 : Fiche technique du compresseur

Fiche technique	Compresseur
Constructeur	ATLAS COPCO
Date mise en service	Juin 2013
Modèle équipement	GA37 +
N° série	API51499
Puissance consommée	37 KW
Tension	380 / 415 V
Pression	8 Bar
Débit	6,88 M ³ / Mn

3.1. Analyse fonctionnelle par les flux du compresseur

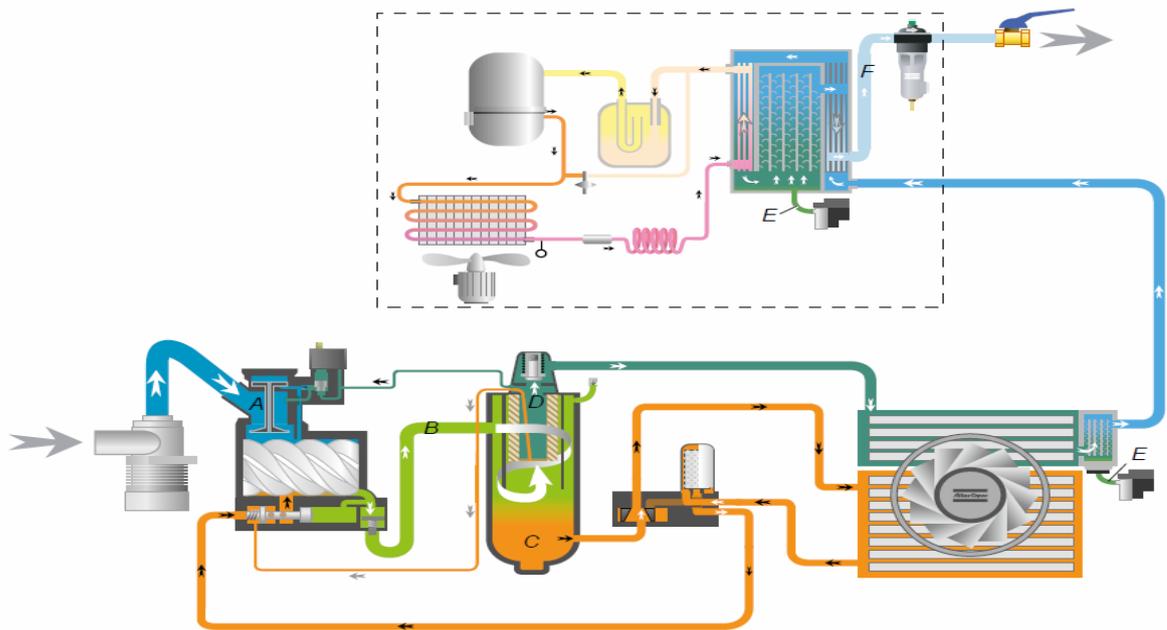


Figure – 5 : schéma des transformations subies par le fluide [10]

À partir du schéma fournit par le constructeur (figure 5) nous pouvons comprendre le fonctionnement du compresseur et le rôle que jouent ces différents composants, nous présentons ainsi un exemple simple d’analyse fonctionnelle par les flux et ensuite nous peaufinerons notre analyse du compresseur en forme d’arborescences.

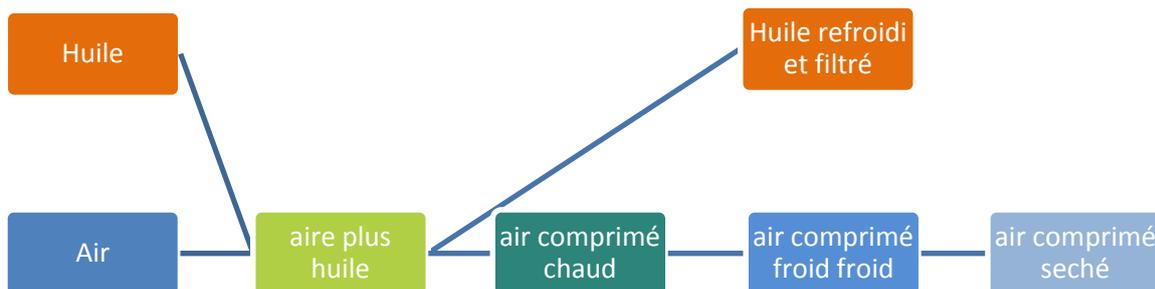


Figure - 6 : Changements subit par l'air dans le compresseur

3.2. Arborescence fonctionnelle du compresseur ATLAS COPCO

Cette analyse fonctionnelle du compresseur découpe à partir de la fonction principale les sous-fonctions en montrant les interactions entre elles, illustrée dans la figure 7.

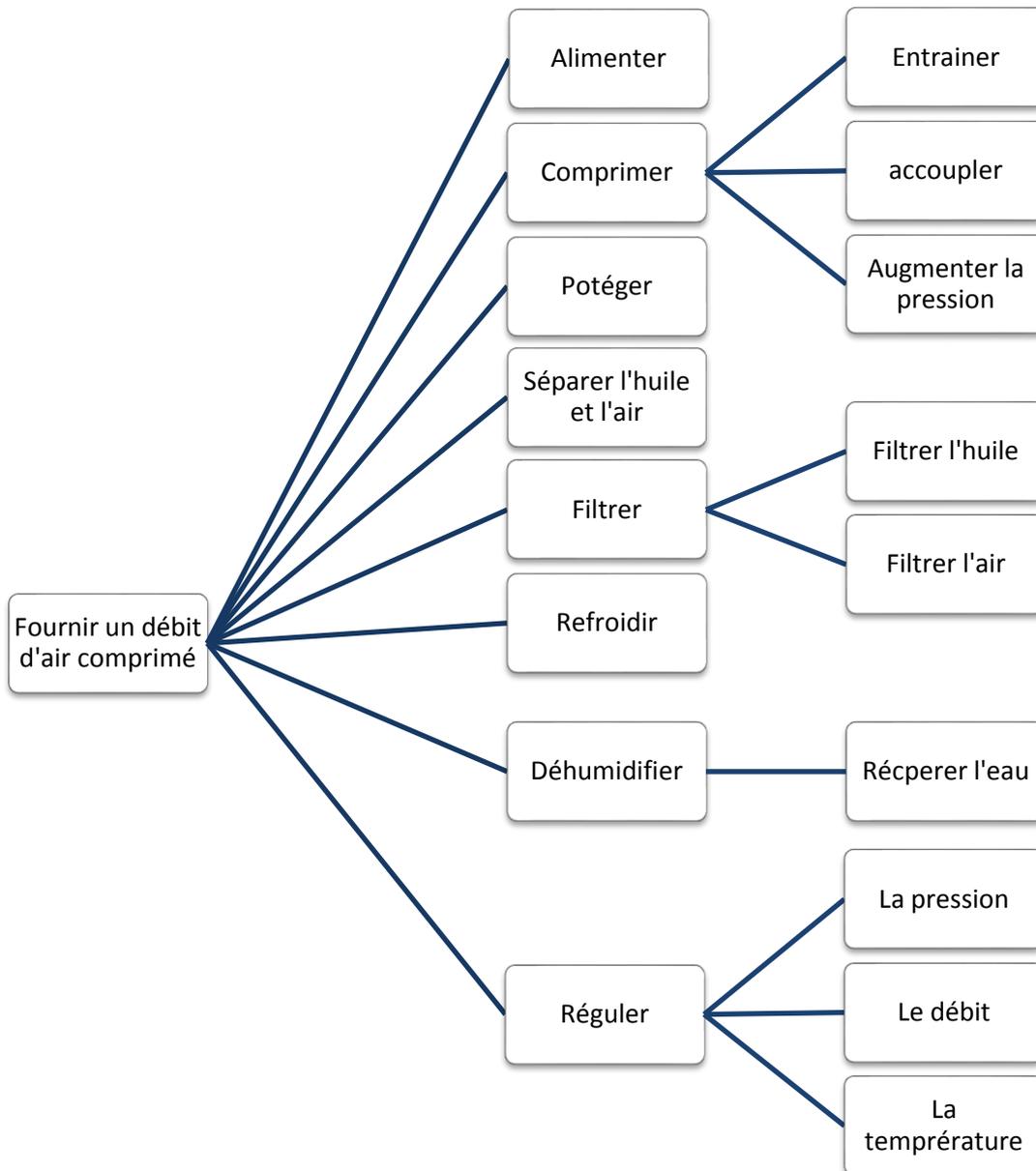


Figure – 7 : Arbre fonctionnel du compresseur ATLASCOPCO

3.3. Arborescence matérielle du compresseur

En remplaçant les fonctions précédentes (figure 7) par les composants qui les assurent, nous aurons les moyens d'identifier les composants qui sont à l'origine de telle ou telle perte de fonction du compresseur et leurs effets sur les autres durant l'analyse des modes de défaillance, comme illustré sur la figure 8.

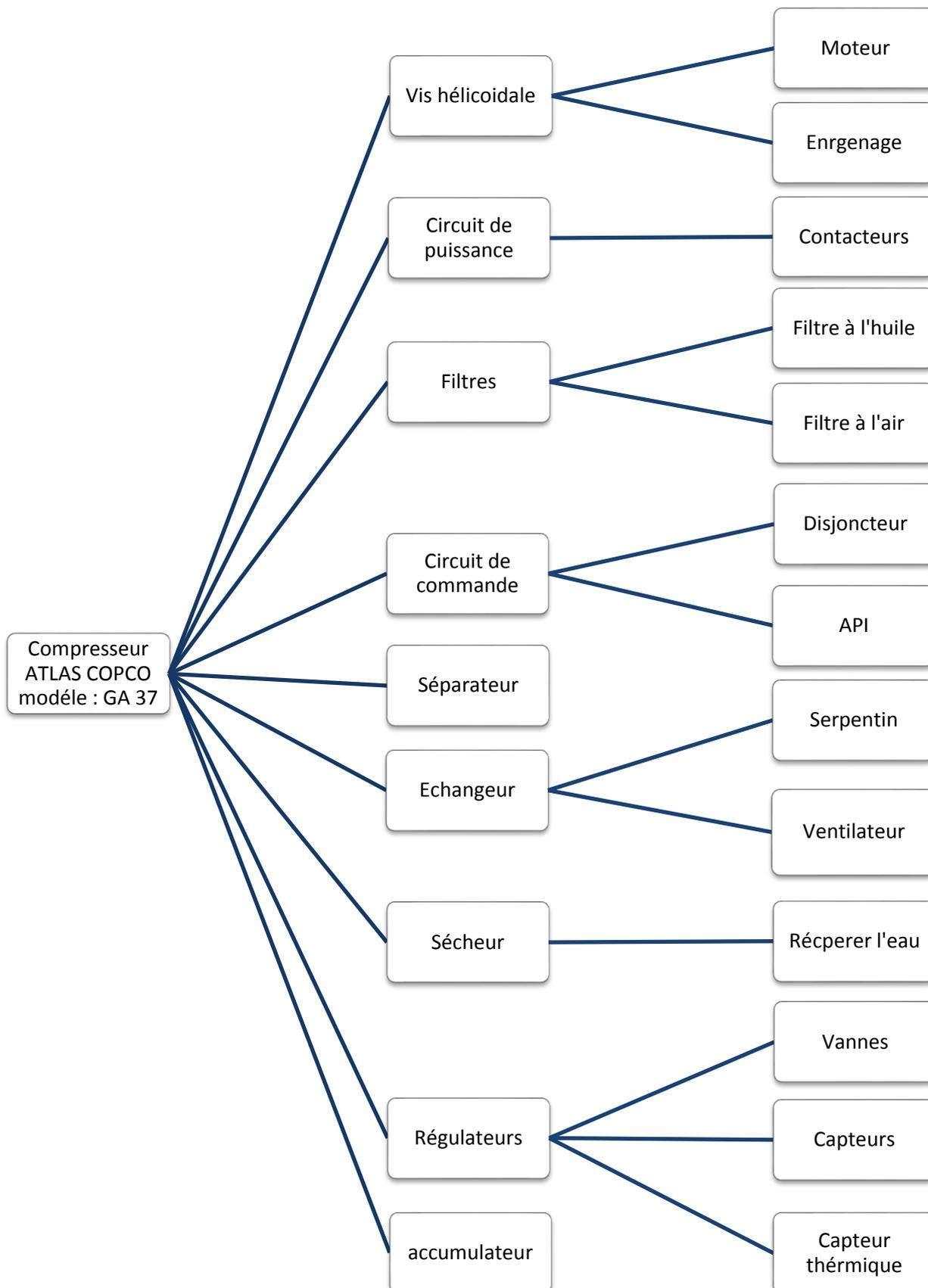


Figure – 8 : Arbre matériel du compresseur ATLAS COPCO

4. Autres exemples :

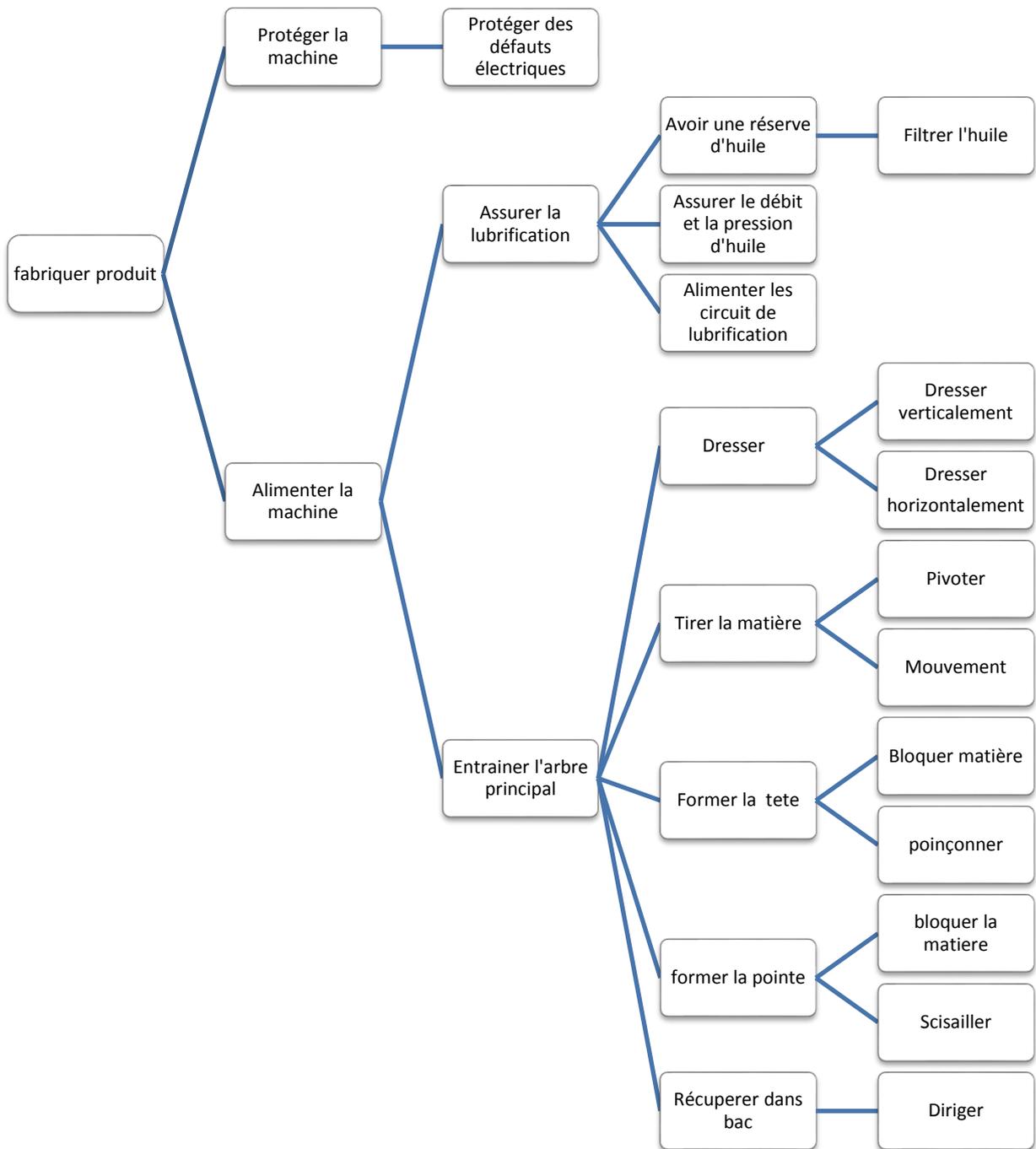


Figure – 9 : arbre fonctionnel de la machine à pointe VITARI

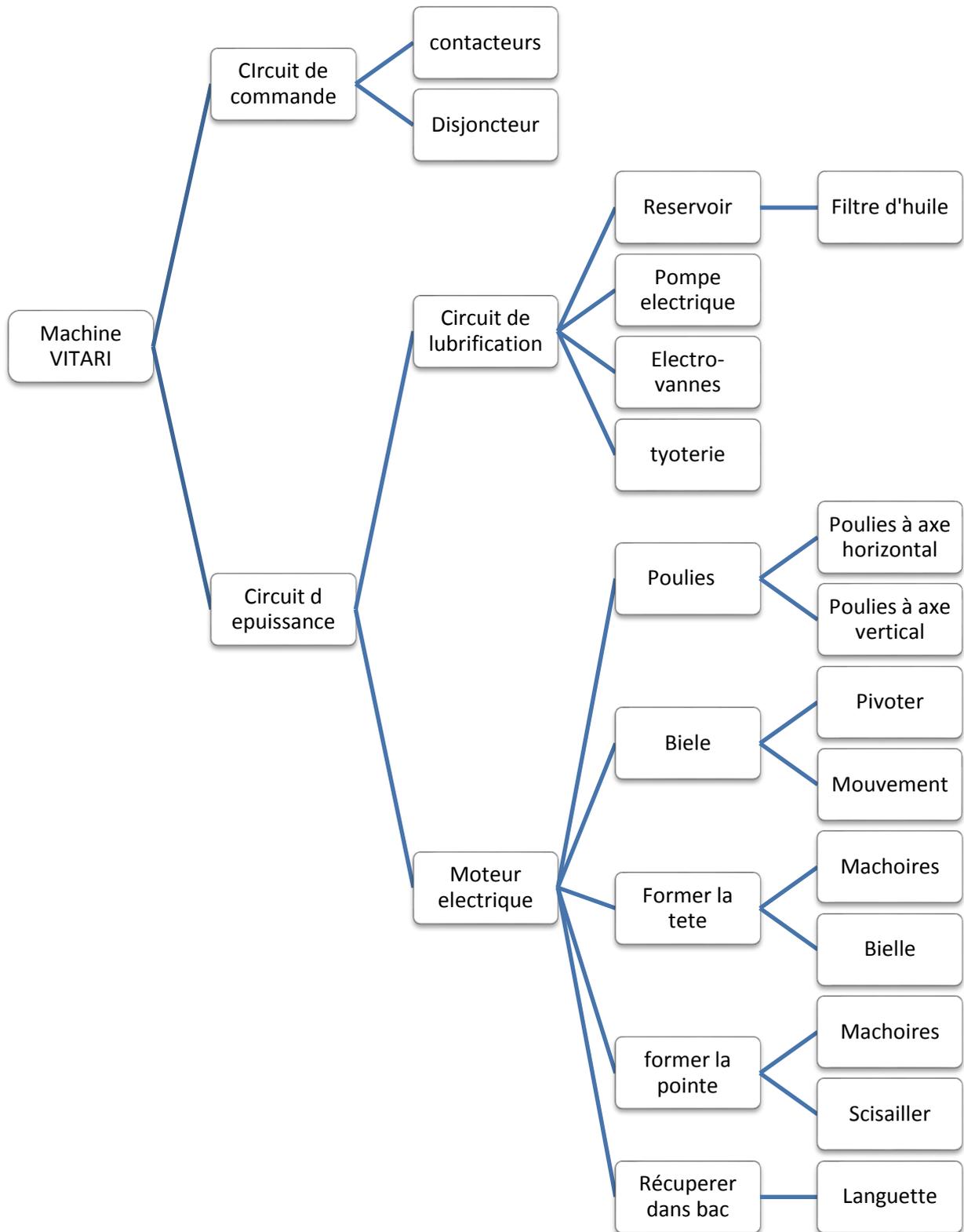


Figure – 10 : arbre matériel de la machine à pointe VITARI

Conclusion

Après avoir procédé à une analyse fonctionnelle de l'installation puis des systèmes, et à la récolte et le dépouillement des données du retour d'expérience disponible autour d'un groupe réduit d'équipements dont le potentiel d'amélioration de la fiabilité et de la production en général est important, nous obtenons une somme de données dont le traitement se fera au moyen d'outils d'analyse et de visualisation adaptés à notre étude, et qui se fera durant le chapitre qui suit.

Chapitre III

Outils d'analyse et traitement des données

Introduction

Après détermination du critère à optimiser, nous passerons dans ce chapitre à l'analyse des données en s'adaptant aux informations recueillies pour le choix des outils d'analyse comme suit :

La loi de PARETO pour les équipements vieillissants avec une disponibilité de données d'historique de pannes et une analyse des modes de défaillance relativement neufs et qui jouent un rôle déterminant dans l'installation.

1. La disponibilité, le critère à optimiser

Il ya lieu avant d'exploiter les données et la prise de décisions, de se fixer les l'objectifs spécifique à toute installation, dans notre cas, nous avons tout intérêt à ce que la disponibilité des matériels soit maximale, l'optimisation ici, consiste plutôt à gérer les indisponibilités et à les anticiper du mieux possible en s'appuyant sur l'analyse du retour d'expérience et de l'analyse des modes de défaillances les plus critiques des matériels qui remplissent les fonctions les plus importantes. D'autant plus que la cadence des matériels, en particulier, les tréfileuses et les compresseurs qui les alimentent, sont de vingt-quatre heures sur vingt-quatre et de sept jours sur sept.

L'absence de machines en stand-by, la forte demande des produits sollicités par des commandes, donc une échéance à respecter, nous poussent à considérer la disponibilité comme le critère majeur, donc à ne pas compromettre.

Evidemment, si la fiabilité des composants dont les pannes induisent de grands temps d'arrêt, est améliorée, l'efficacité des autres actions de maintenance des matériels se verra automatiquement accrues et les actions de maintenance préventives pourront s'élargir au fur et à mesure que la disponibilité est optimisée.

Idem pour les coûts de maintenance, en effet, les coûts ne se mesurant pas qu'à la valeur de la pièce de rechange consommée et au coût de la main d'œuvre consacrée à l'action de maintenance, mais aussi à la perte de production induite de l'arrêt du matériel tel que :

$$\text{Coût de maintenance} = \text{pièces consommée} + \text{main d'œuvre} + \text{production perdue}$$

Tenant compte du critère de la disponibilité, durant notre analyse, la quantification de l'importance des pannes donc, leur criticité du point de vue de la maintenance, se fera par le calcul des temps d'arrêt enregistrés dans l'historique de l'entreprise disponible.

Enfin, pour déterminer les goulots d'étranglement de la disponibilité des matériels ou se focaliseront les actions de maintenance préventive en priorité, nous avons choisis une méthode simple de visualisation, qui est la méthode de Pareto ou la loi des 20-80.

En ce qui concerne les équipements dont l'historique des pannes ou insuffisante, qui remplissent une fonction déterminante, une analyse des modes de défaillance est indispensable pour prévoir les pannes graves pour la disponibilité et critiques du point de vue de la maintenance.

2. Analyse du retour d'expérience

Nous avons vu dans les chapitres précédents les différentes fonctions du retour d'expérience dans la maintenance, et que l'historique de pannes constitue le socle de notre étude, des données de bases que nous tenterons d'exploiter de telle sorte, à en tirer le plus d'informations de qualité possible.

2.1. Objectif de l'analyse de l'historique de pannes

Pour une première analyse d'un historique de pannes, les résultats obtenues séviront bien entendu à déterminer les actions de maintenance préventive sur les matériels qui sont sujet aux pannes les plus récurrentes et celles qui causent le plus de conséquences en terme de d'indisponibilité et de coût de maintenance, et dans le même ordre d'importance, à réorganiser la collecte des données du retour d'expérience, affiner après chaque nouvelle analyse la récolte des données et ainsi, crée la boucle de rétroaction pour un retour d'expérience efficace.

2.2. Présentation de la loi de Pareto

Un économiste italien, Vilfredo Pareto, en étudiant la répartition des impôts constata que 20 % des contribuables payaient 80 % des impôts, d'autres répartitions analogiques ont pu être constatées, ce qui a permis d'en tirer la loi des 20-80 ou loi de Pareto, cette loi peut

s'appliquer à beaucoup de problèmes, c'est un outil simple et efficace de visualisation, d'analyse et d'aide à la prise de décision.

2.2.1. Mise en application de la loi de Pareto à la maintenance

L'exploitation de cette loi permet de déterminer les éléments les plus pénalisants afin d'en minimiser leurs effets, en soulignant la répartition des faits par ordre d'importance, pour prendre une décision et concentrer l'action autour des problèmes à traiter en priorité, il suffit donc de travailler sur ces 20 pour cent là, pour influencer fortement la fiabilité d'un système, les coûts de maintenance et justifier la mise en place d'une politique de maintenance préventive.

2.2.2. Principe

La loi de Pareto suppose obligatoirement que l'on est un historique de pannes, et la définition de l'objectif de l'étude et de ces limites, les éléments étudiés peuvent être des matériels, des causes de pannes, des natures de pannes etc.

L'élaboration du diagramme de Pareto se fait en suivant les étapes suivantes :

- L'historique de pannes ;
- Quantification de l'importance du critère à étudier ;
- Totale de la somme et détermination du pourcentage de chacun par rapport à ce total ;
- Classement des pourcentages par valeur décroissantes ;
- Représentation graphique ;

2.2.3. Application de la loi de Pareto

a. Quantification de l'indisponibilité des machines

Les tableaux ci-dessous contiennent le nombre d'heures d'arrêts des machines étudiées en fonction de la nature de panne subie, ces données nous permettrons ensuite de représenter les diagrammes de Pareto pour chaque machine.

Tableau – 2 : Nombre d'heures d'arrêts en fonction de la nature de la panne et de la machine
(Octobre 2013 - Mars 2014)

Machines	PANNES soudage	Pannes mécaniques	Pannes électriques	P liées au réglage	P après changement production	total
Machine TSR 01	62	25	18	04	00	109
%	56,88%	22,93%	16,51%	3,66%	00%	100%
Machine TSR 02	40	12	08	25	08	93
%	43%	26,81%	8,60%	26,88%	8,60%	100%
Machine PML	00	16	19	06	04	45
%	00%	35,55%	42,22%	13,33%	8,88%	100%

Tableau – 3 : Nombre d'heures d'arrêts en fonction de la nature de la panne et de la machine
(Avril 2014 – Août 2014)

Machines	PANNES soudage	Pannes mécaniques	Pannes électriques	P liées au réglage	P après changement production	total
Machine TSR 01	52	24	08	04	00	88
%	59%	27%	9%	5%	00%	100%
Machine TSR 02	38	20	12	08	24	102
%	37,25%	19,60%	11,76%	7,84%	23,52%	100%
Machine PML	00	16	10	06	04	36
%	00%	44,44%	27,77%	16,66%	11,11%	100%

TSR 01 et 02 : machines de fabrication de treillis soudés ; **PML** : machine de fabrication de poutrelles

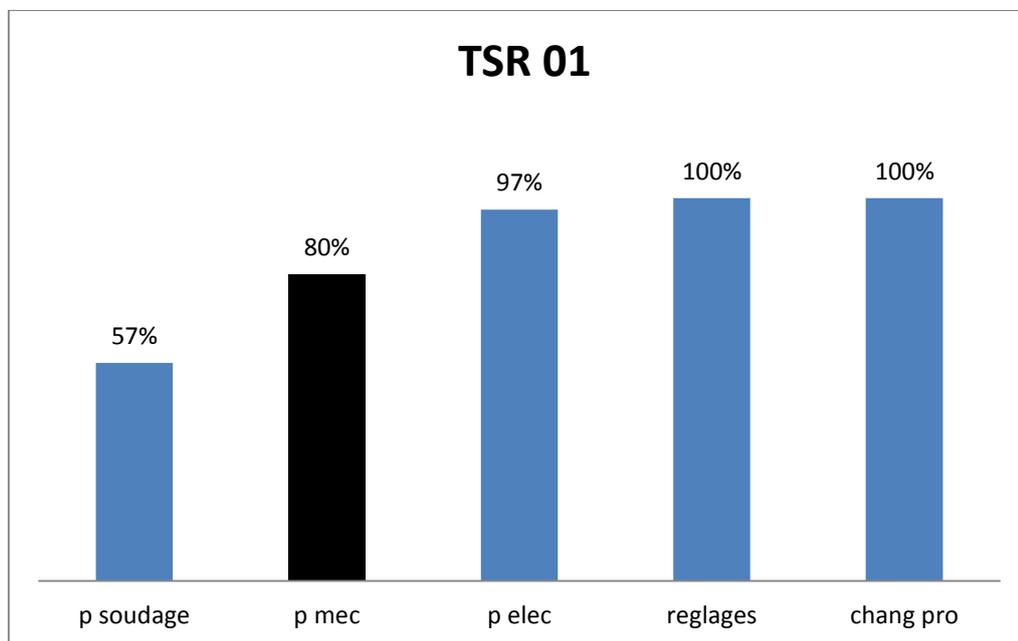
b. Diagrammes des valeurs cumulées (diagrammes de Pareto) :

Figure – 11 : diagramme de Pareto de TSR 01, l'indisponibilité en fonction de la nature de panne (Octobre 2013 - Mars 2014)

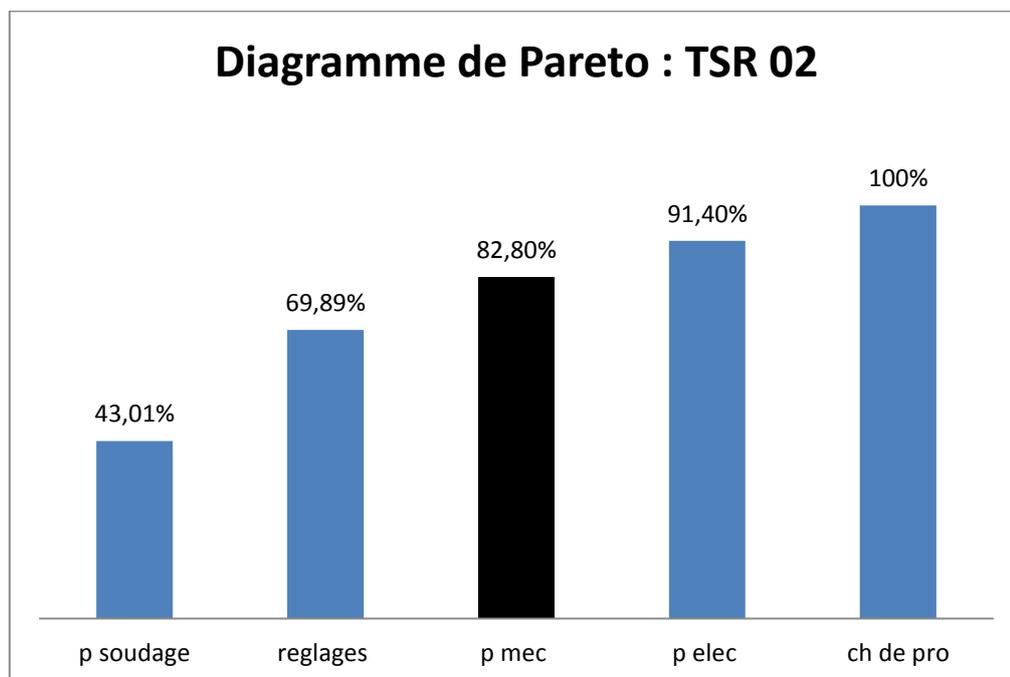


Figure – 12 : diagramme de Pareto de TSR 01, l'indisponibilité en fonction de la nature de panne (Octobre 2013 - Mars 2014)

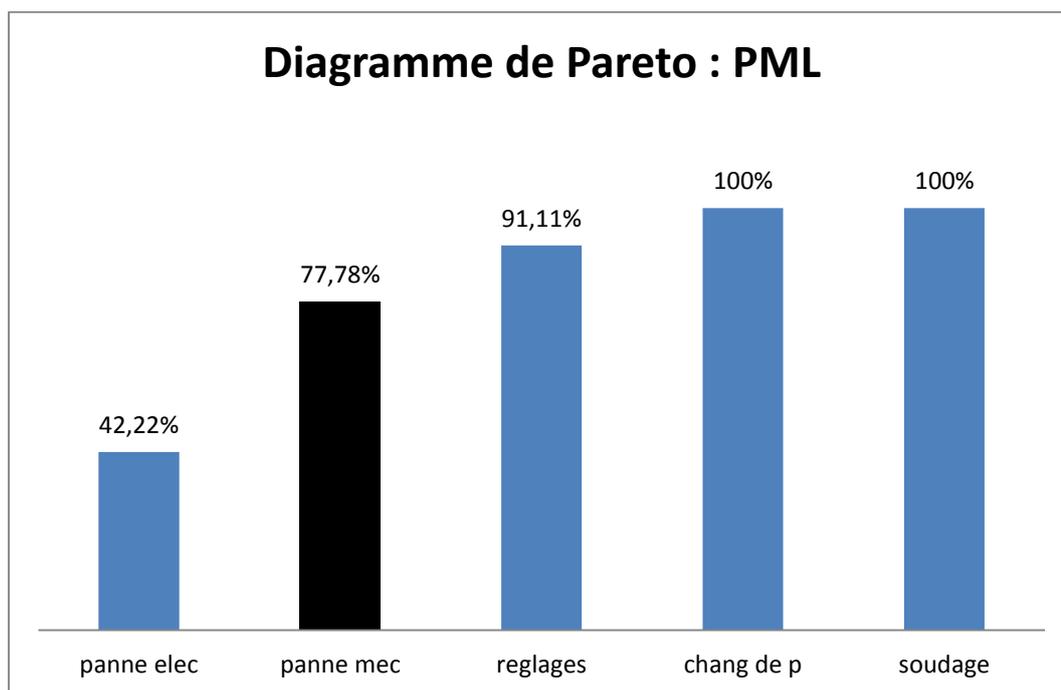


Figure – 13 : diagramme de Pareto de la machine PML, l'indisponibilité en fonction de la nature de panne (Octobre 2013 - Mars 2014)

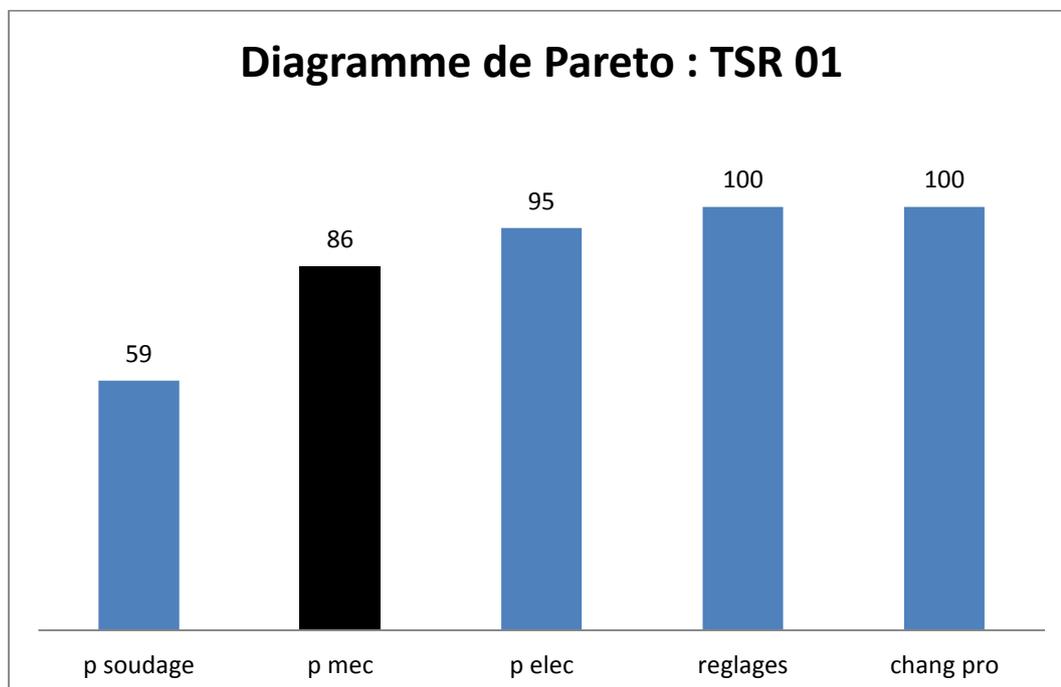


Figure – 14 : diagramme de Pareto de la machine TSR 01, l'indisponibilité en fonction de la nature de panne (Avril 2014 - Août 2014)

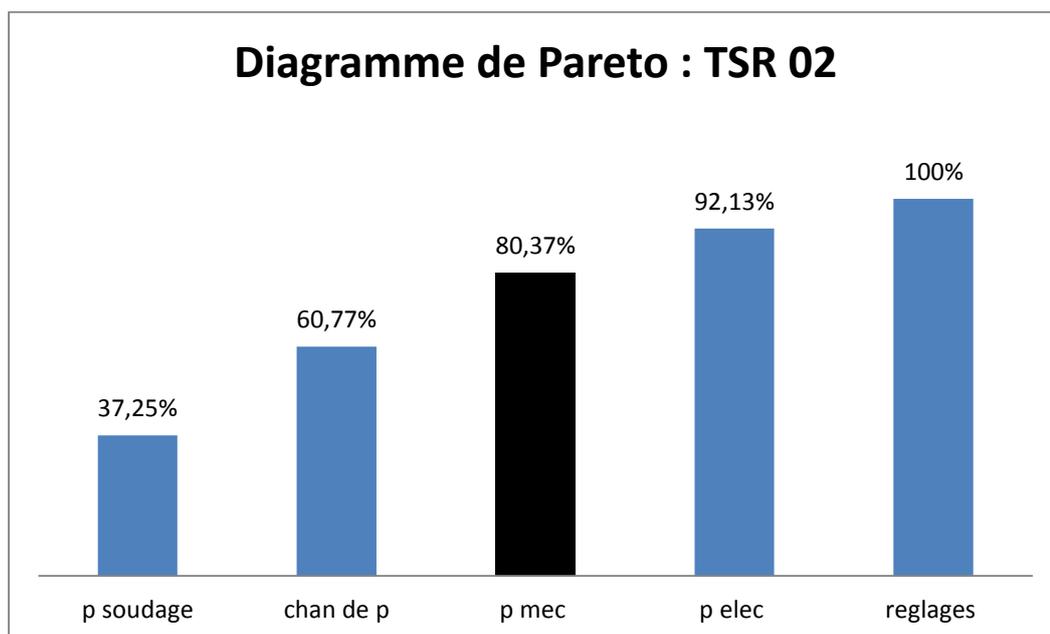


Figure –15 : diagramme de Pareto de la machine TSR 02, l'indisponibilité en fonction de la nature de panne (Avril 2014 – Août 2014)

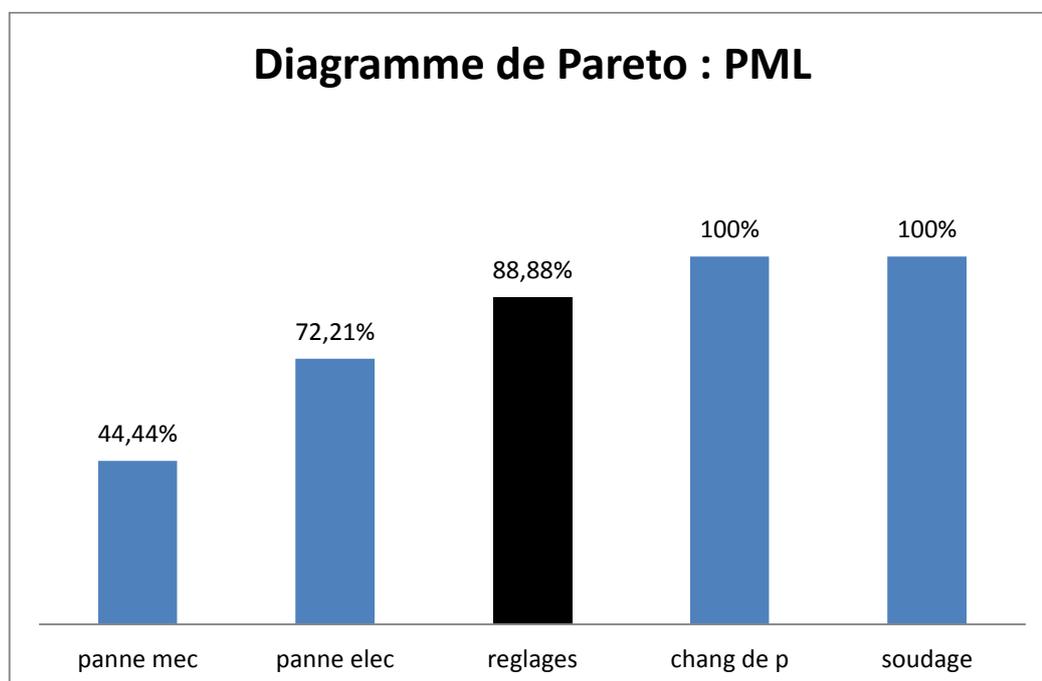


Figure – 16 : diagramme de Pareto de la machine PML, l'indisponibilité en fonction de la nature de panne (Avril 2014 – Août 2014)

c. Interprétation des diagrammes de Pareto

En ce qui concerne la machine TSR 01, les diagrammes de Pareto nous révèlent qu'environ quatre-vingt pour cent des indisponibilités de ce matériel sont causées par des pannes mécaniques et des pannes des éléments de soudage, ce sont donc les deux natures de pannes les plus pénalisantes vis-à-vis de la production.

Concernant la machine TSR 02, le diagramme de Pareto nous révèle une troisième cause d'indisponibilité, qui est les pannes liées aux changements de programmation, qui induisent entre autres une grande partie des pannes mécaniques.

Du point de vue de la maintenance, ces pannes révélées par la loi de Pareto sont jugées graves pour la production, et compte tenu de leur caractère récurrent nous estimons ces défaillances critiques pour disponibilité, et feront l'objet d'une attention particulière, quant à la suite de l'analyse, ces premiers résultats nous permettront d'affiner notre étude de ces pannes en l'occurrence, les pannes de l'organe de soudage qui représente plus de soixante pour cent des arrêts en faisant un diagnostic pour déterminer les causes précises et envisager des modifications de l'organe de soudage et des solutions préventives afin d'y remédier durant le chapitre suivant.

Enfin, le diagramme de la machine PML, nous dirige vers les pannes mécaniques, électriques et de réglages, après un premier diagnostic des différentes pannes, nous avons constaté des causes communes d'usure mécanique et de surcharge électrique, induites du programme inadapté à l'exploitation de la machine, les différents réglages et modifications de programmes des API et autres variateurs de vitesse effectués après coup étaient trop parcellisés et n'ont fait qu'accentuer les défaillances.

Ce que nous devons retenir ici, c'est que la machine PML présente une anomalie de longueur de poutrelle à l'augmentation de la vitesse. Après que l'entreprise ait contacté le constructeur pour une éventuelle solution, sa doléance est restée sans réponse, une reprogrammation chez SIMENS est donc obligatoire.

3. Exploitation des données, étude de cas :

3.1. Les tréfileuses :

La matière première nécessaire à la fabrication des différents produits (treillis soudés, poutrelles, fil d'attache, pointes) qui est le fil d'acier de différents diamètres, est produit par des tréfileuses de différents tailles, dont la technologie est très similaire, et dont la principale caractéristique les différenciant est le nombre de passes qu'elles contiennent, plus le nombre de passes augmente, plus la réduction de diamètres du fil tréfilé est importante.

On entend par « passe », la sous opération de tréfilage qui consiste à exercer une traction sur le fil d'acier réduisant ainsi son diamètre d'une certaine proportion, cette opération est répétée jusqu'à l'obtention du diamètre voulu.

Cette opération effectuée par le cabestan qui est un organe cylindrique de la tréfileuse, autour duquel le fil d'acier est enroulé, ainsi que les multiples composants de la machine qui s'occupent de diriger, refroidir et de lubrifier la matière formant les sous-systèmes nommés « passes » qui se succèdent selon la réduction du diamètre souhaitée, ainsi le nombre de passes des tréfileuses se trouvant sur le site de production de STS varie de deux à cinq suivant la taille de celles-ci.

Nous constatons ainsi, que la tréfileuse est une machine composée d'une grande proportion de composants mécaniques, d'un système de refroidissement hydraulique assez rudimentaire composé d'une pompe et un circuit hydraulique permettant l'échange de chaleur à l'intérieur des cabestans, eux mêmes entraînés par des moteurs accouplés via des courroies. Tout cela est alimenté et commandé par une armoire électrique contenant les protections, les variateurs de vitesse des moteurs et l'API.

La principale source d'arrêts des tréfileuses constatée durant notre stage est la rupture de la matière pendant le tréfilage, notons que ces arrêts étaient absents de l'historique des pannes du fait de leur caractère récurrents et du fait que la remise en marche se faisait par les opérateurs des machines et non pas par l'équipe de maintenance, cet événement constaté durant la phase d'analyse fonctionnelle oblige l'arrêt de la tréfileuse, à enlever la matière de la tréfileuse, souder les deux bouts du fil d'acier après l'élimination du défaut dans la matière et enfin, la remiser de la matière dans la tréfileuse.

Cette opération de remise en marche prend entre 15 et 40 minutes à chaque fois en plus du fait que la rupture peut survenir plusieurs fois dans la même journée.

Ajoutons aussi, que l'ors de la rupture du fil d'acier, celui-ci se projette hors de la tréfileuse, menaçant automatiquement la sécurité des exploitants se trouvant généralement à proximité, après diagnostic, nous avons isolé les différentes causes qui (ont, auraient pu ou pourraient) provoquer ces ruptures, ces causes sont illustrées dans l'arbre de défaillance suivant :

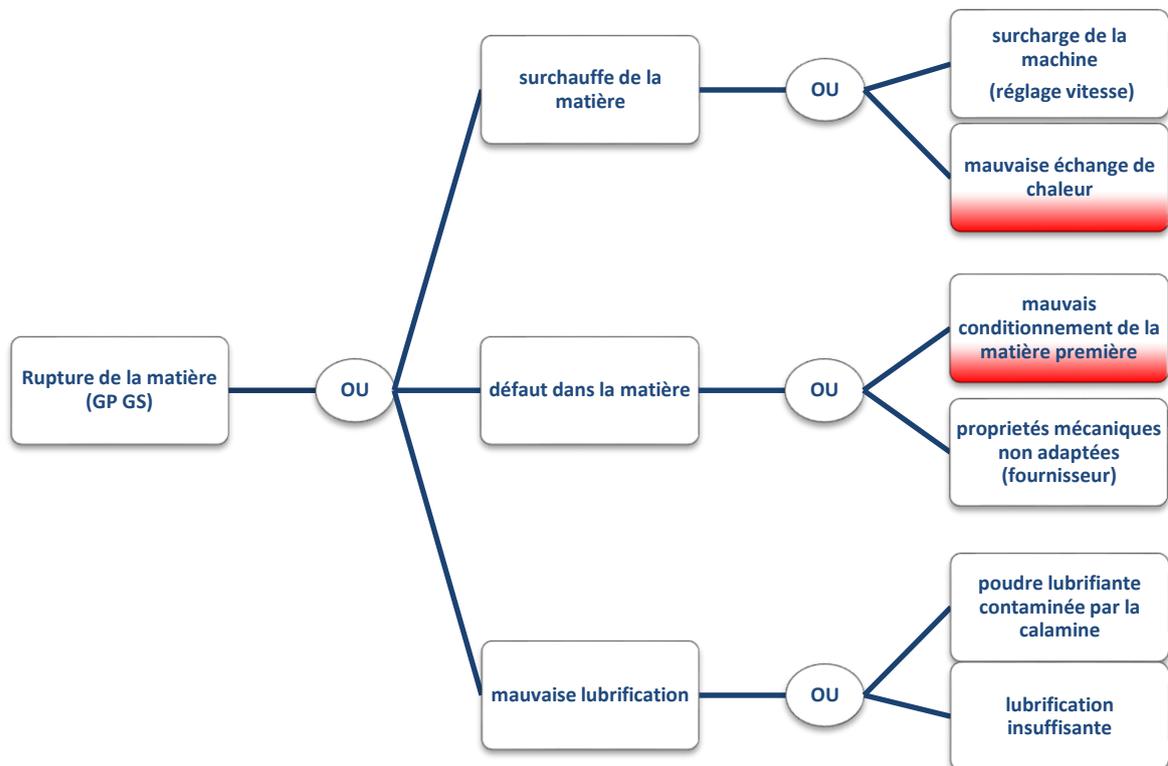


Figure – 17 : causes diagnostiquées de la rupture de la matière pendant le tréfilage

La surchauffe de la matière et éventuellement le mauvais échange de chaleur du système de refroidissement, est la raison la plus commune causant la rupture, comme la température des cabestans de plusieurs tréfileuses en même temps n'était pas assez basse, nous avons donc déduit que le système de distribution d'eau alimentant les machines était en cause, nous avons automatiquement vérifié le circuit hydraulique des réservoirs aux déversoirs, et nous avons constaté la présence de dépôts de calcaire sur la grille du déversoir, nous en avons donc déduit que c'est la présence de calcaire qui causait une obstruction ou une mauvaise circulation de l'eau des échangeur des tréfileuse, nous avons pu confirmer notre diagnostic durant l'arrêt d'une tréfileuse pour un remplacement de courroie.

Nous avons aussi constaté que les conditions de stockage de la matière première était inadaptées, les bobines étaient sujettes aux intempéries, au soleil et aux différents changements de températures qui modifient les propriétés mécaniques de la matière et l'oxydation donc un mauvais décalaminage et une lubrification moyenne, causant les ruptures en plus des causes précédentes.

3.2. La machine VITARI

L'analyse fonctionnelle des machines VITARI nous apprend que c'est des machines de mécanique synchronisées entraînée par un seul moteur électrique accouplé à l'arbre principal via une courroie

Le circuit de commande consiste en des contacteurs indépendants, et un disjoncteur principal en guise de protection contre les défauts électriques des machines à pointe VITARI

Le circuit d'huile de ces matériels est composé d'une pompe assurant une lubrification synchronisée via des injecteurs vers les différents paliers que contient la machine. Etant un circuit ouvert, l'huile est utilisée qu'une fois et finit dans un bac au niveau du châssis, une analyse d'huile serait donc infructueuse pour ces matériels.

L'analyse de l'historique des pannes nous apprend que les pannes le plus fréquentes sont bien sûr mécaniques, hormis l'obstruction de quelques vannes assurant la distribution d'huile et qui gagnerait à être contrôlées plus souvent.

Les pannes mécaniques observées sont divisées en deux groupes :

Les pannes mécaniques liées à l'usure normal des consommables, qui n'ont pas fait l'objet de remplacements à temps et qui ont pour effets la détérioration de la qualité du produit, ou des blocages mécaniques, qui eux, ont des conséquences plus graves sur la machine, provoquant de grandes sollicitations mécaniques induisant la fragilisation des organes mécaniques et des microfissures.

Les pannes liées aux conditions d'exploitation des machines, en effet, comme chaque exploitant de ces machines est tenu de noter la quantité journalière de produits fabriquée, autrement dit, un rapport de productivité de chaque exploitant, ces derniers ont tendance à augmenter la vitesse des machines, précisons que chaque diamètre de pointes à une vitesse de

fabrication préconisée. Cela a pour conséquence une surcharge, donc de grandes sollicitations au niveau des arbres et engrenages qui finissent à court terme par subir des microfissures et à moyen terme, des ruptures en plus du phénomène de fatigue accentué.

4. AMDEC

4.1. Analyse de dysfonctionnement du système

La méthode OMF prévoit de traiter les dysfonctionnements en deux étapes, une première qui considère les défaillances des fonctions importantes pour système étudié et qui sont remplies par des groupements de matériels ou par des matériels principaux, une seconde qui consiste à analyser les matériels plus élémentaires constitutifs des groupements précédents.

Cependant, lorsqu'on a affaire à des systèmes peu complexes, composés de matériels qui ne nécessitent pas d'être étudiés par morceaux, on pourra éventuellement simplifier l'étude et confondre ces deux niveaux d'analyse. Ce choix est laissé à l'équipe de travail qui, selon les enjeux, doit considérer le temps qui peut être consacré à l'étude, la traçabilité des résultats, la précision, et la complétude désirée.

L'analyse du dysfonctionnement des fonctions importantes du système peut s'effectuer en utilisant différentes techniques, des tableaux d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) par fonctions principales du système, des arbres de défaillance par phase de fonctionnement et mode de défaillance du système, ou un tableau de gravité des modes de défaillance.

4.2. Concepts utilisés dans l'analyse de dysfonctionnement

4.2.1. Défaillance et panne

La norme EN 13306 [2] définit la défaillance comme la « cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise, tel que, après défaillance d'une entité, cette entité est en état de panne.

Une défaillance est un passage d'un état à un autre, par opposition à une panne qui est un état.

Les concepts de défaillance et de panne sont binaires, ce qui est insuffisant pour l'analyse. Il faut préciser comment cette défaillance se manifeste, d'où la nécessité de parler de mode de défaillance.

4.2.2. Mode de défaillance

La norme définit le mode de défaillance comme la façon par laquelle est constatée l'incapacité d'un bien à remplir une fonction requise, il est possible de déterminer ces modes d'une manière générique en remarquant qu'il peut arriver à une fonction les six événements malheureux suivants :

- arrêt intempestif ;
- perte de caractéristiques ou partielle ;
- non-arrêt ;
- démarrage intempestif ;
- perte de caractéristiques ;
- non-démarrage ;

Il est utile d'établir une fois pour toutes la liste générique des modes de défaillance des matériels que l'on rencontre, ces modes de défaillance peuvent provoquer l'apparition de modes à un niveau supérieur.

4.2.3. Évidence de la défaillance

On dira qu'un mode de défaillance est évident (E) si son apparition est décelée par l'exploitant (personnel de conduite ou de production, ou l'utilisateur) dans le cadre de ses activités normales, à l'inverse, il est dit « caché » (C), si l'exploitant n'a pas le moyen de le détecter. En parlant ici d'« exploitant » on exclut le personnel de maintenance.

5. Mise en application :

5.1. Choix du système à étudier

Le système « de compression d'air » occupe une fonction vitale pour l'installation, est composé de quatre compresseurs à vis et autres appendices de traitement du fluide en plus du circuit d'acheminement de celui-ci vers les organes pneumatiques des machines, toute fois, le nombre de compresseurs ne s'intègre pas dans une stratégie de redondance, mais représente en fait, le nombre de compresseurs nécessaire au bon fonctionnement de l'installation, qui a besoin d'un débit d'environ $28 \text{ M}^3 / \text{Mn}$ à 8 Bar de pression.

La maintenance a préféré un investissement sur quatre compresseur au lieu d'un seul de plus grande puissance qui fournirait la totalité du débit, à fin d'éliminer le risque d'une perte totale de la fonction « alimenter en air comprimé » en cas de panne d'un compresseur unique.

En effet, la probabilité que les quatre compresseurs tombent en panne simultanément malgré la maintenance préventive est très faible, combien même la probabilité de défaillance est multipliée par quatre et le coût d'achat de ces matériels est plus lourd, cet investissement garantit la pérennité de la fonction, même partiellement en cas de panne de l'un ou plusieurs compresseur, donc un gain de productivité à long terme.

Notons aussi, que le fait que les quatre compresseurs à vis soient issus du même constructeur, et donc d'une même technologie, facilite considérablement la mise au point des données génériques pour une utilisation future, comme les arborescences fonctionnelle, matérielle, et l'analyse des modes de défaillances, à quelques détails près, (les conditions d'exploitation et leurs environnements direct etc.).

Durant l'étape d'analyse de l'historique des pannes, et la phase de tri par machines, les pannes enregistrées liées à ce système n'étaient pas assez nombreuses pour constituer des données précises quant à l'évaluation de la fiabilité pour la prévention des pannes, hormis la maintenance systématique recommandée par le constructeur, qui après constatations, n'a pas toujours été respectée.

Il est donc évident, que dans ce cas de figure, la méthode de Pareto n'est pas adaptée pour révéler les zones critiques, en effet, les événements enregistrés sont plutôt révélateurs de quelques anomalies liées aux différents réglages, et d'autres liées au phénomène de rodage, car ces matériels sont relativement neufs.

Pour toutes ces raisons, une analyse des principaux modes de défaillances est incontournable, si on considère l'importance que tient cette fonction de l'installation.

5.2. Les modes de défaillance principaux et leurs effets

Premier mode de défaillance : dépassement de la température admissible de l'huile :

Effet sur le système :

- arrêt de la production d'air comprimé ;

- la détérioration des séparateurs et autres jointures ;
- détérioration de la qualité de l'huile ;
- présence d'huile dans l'air ;

Effet sur l'installation :

- arrêt des machines alimentées ;
- arrêt partiel de l'installation ;

Deuxième mode de défaillance : débit de sortie faible ou nul ;

Effet sur le système :

- arrêt de la production d'air comprimé ;
- détérioration de la fonction de production d'air comprimée ;

Effet sur l'installation :

- Ralentissement de la production ;
- Détérioration de la qualité des produits ;

Troisième mode de défaillance : présence d'eau dans l'air comprimé ;

Effet sur le système :

- détérioration de la fonction de production d'air comprimée ;
- arrêt de la production d'air comprimé ;

Effet sur l'installation :

- détérioration des organes pneumatiques ;
- détérioration de la qualité du produit ;
- arrêt partiel de l'installation.

5.3. Arbres de défaillance

Comme pour l'AMDE, la construction de l'arbre s'effectue en analysant les conséquences fonctionnelles, à partir de l'analyse fonctionnelle du système, on peut donc établir des arbres

de défaillance qui sont en quelque sorte des modèles de dysfonctionnements, ils font le lien entre les défaillances des fonctions élémentaires du système et celles de l'installation.

Les « ET » logiques signifient que les modes de défaillance doivent être simultanés pour entraîner le mode de niveau supérieur (cas de fonctions redondantes par exemple)

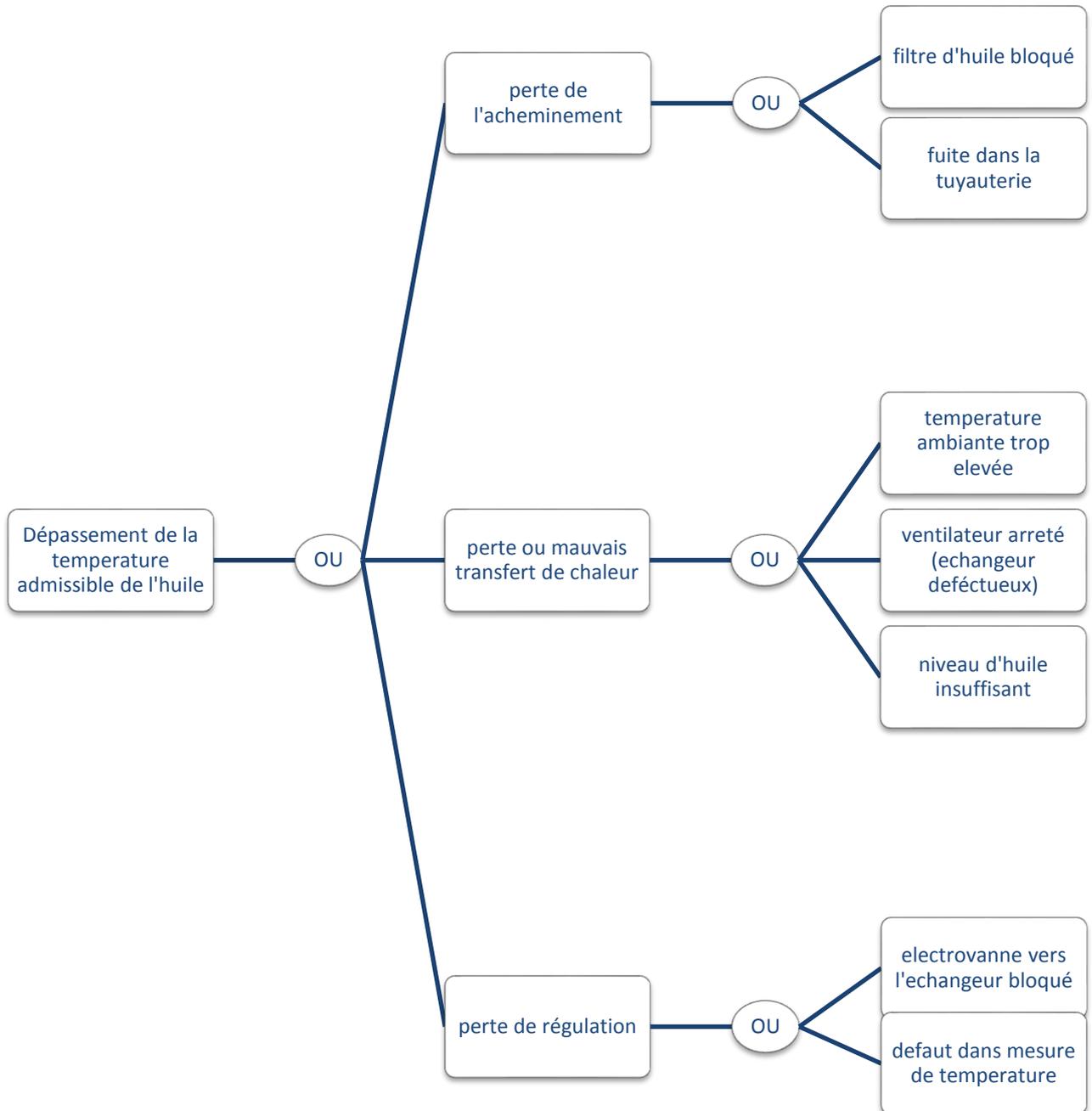


Figure – 18 : arbre de défaillance compresseur ; premier mode de défaillance (C)

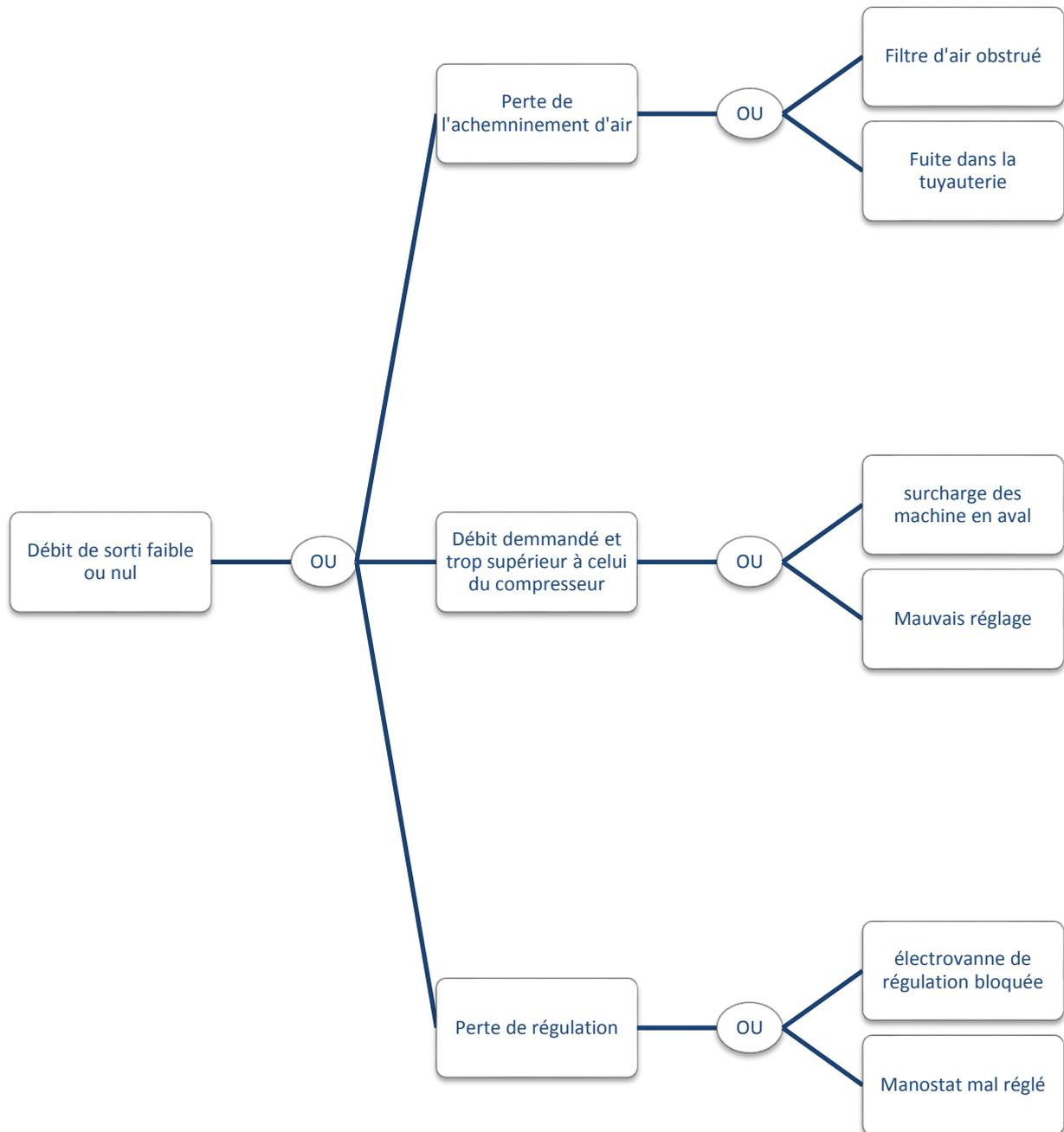


Figure – 19 : arbre de défaillance compresseur, deuxième mode de défaillance(E)

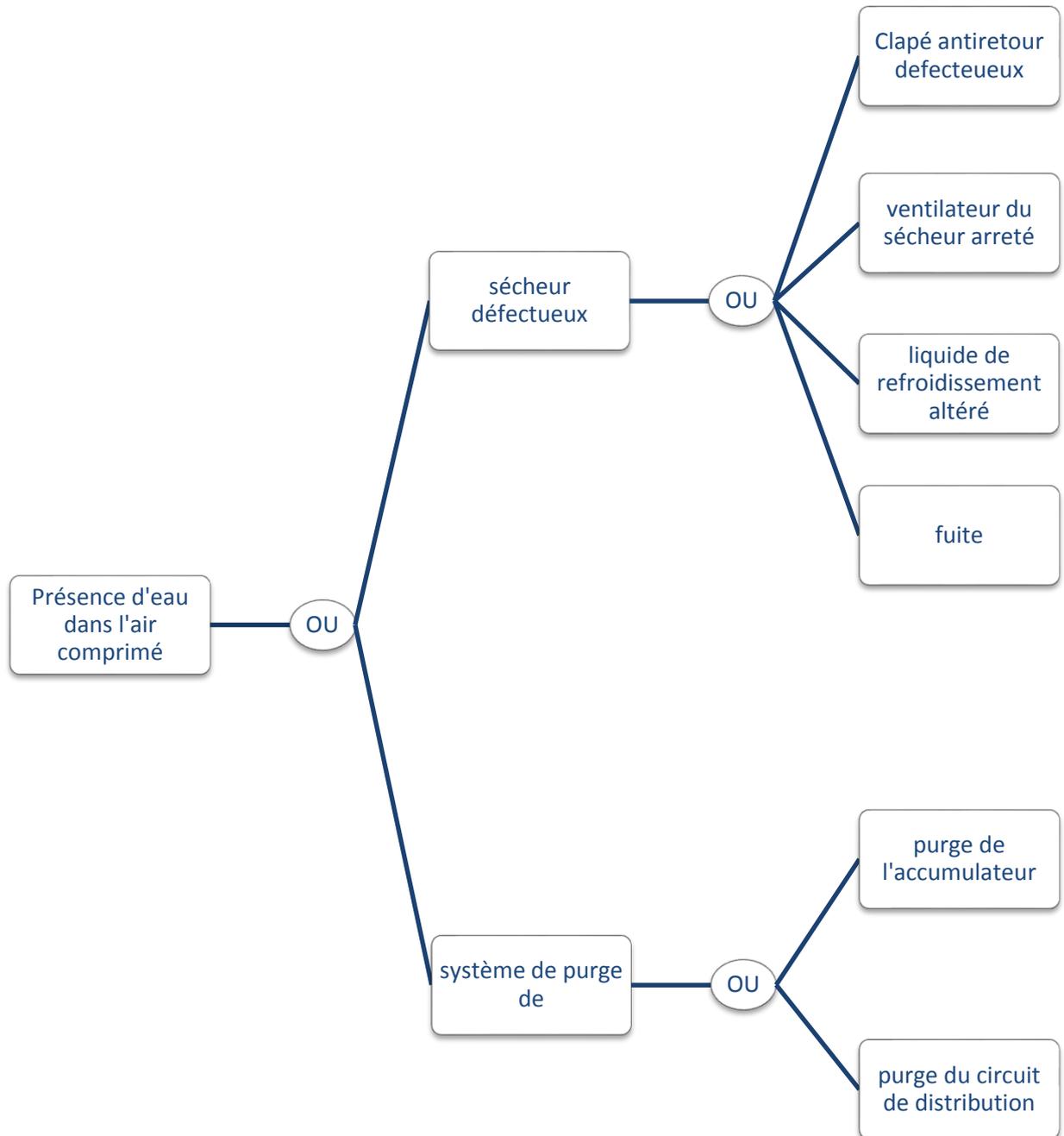


Figure – 20 : arbre de défaillance compresseur ;troisième mode de défaillance (C)

5.4. Tableaux de gravité

Tableau – 4 : gravité pour le premier mode de défaillance

Fonction du système :	Compression d'aire			Mode caché	
GRAVITE Dépassement de la Température limite de l'huile	Grave pour la disponibilité en fonctionnement	Grave pour la disponibilité au démarrage	Grave pour la sécurité	Grave pour le rendement	Grave pour les couts de maintenanc e
	Oui	Non	Oui	Oui	Non

Tableau – 5 : gravité pour le deuxième mode de défaillance

Fonction du système :	Compression d'aire			Mode évident	
GRAVITE Débit de sortie trop faible ou insuffisant	Grave pour la disponibilité en fonctionnement	Grave pour la disponibilité au démarrage	Grave pour la sécurité	Grave pour le rendement	Grave pour les couts de maintenanc e
	Oui	Oui	Non	Oui	Non

Tableau – 6 : gravité pour le troisième mode de défaillance

Fonction du système :	Compression d'aire			Mode caché	
GRAVITE Présence d'eau dans l'air comprimé	Grave pour la disponibilité en fonctionnement	Grave pour la disponibilité au démarrage	Grave pour la sécurité	Grave pour le rendement	Grave pour les couts de maintenanc e
	Oui	oui	non	oui	non

5.5. Tableaux de criticité

À ce stade de l'étude, on dispose de matériels dont certains modes de défaillance sont potentiellement graves. Par ailleurs, l'analyse du retour d'expérience fournit le nombre de défaillances et le nombre de dégradations observées sur des échantillons de matériels. Ces données vont permettre d'établir la criticité des modes de défaillance.

Dans notre cas, les données sont insuffisantes pour déterminer la fréquence d'apparitions des pannes, des seuils ont donc été fixés sur le niveau de gravité et une fréquence potentielle d'apparition des défaillances pour déterminer des zones critiques notées C, des zones non critiques notées NC et des zones intermédiaires où l'avis d'experts est requis pour statuer sur la criticité AE.

Nous présentons la criticité pour le système de compression d'air que nous avons étudié, nous pouvons présenter les risques pour la sécurité des personnes, pour la production d'air, pour les coûts, pour la qualité de l'air délivré et pour l'environnement selon les différents modes de défaillances étudiés et les besoins de l'étude.

Tableau – 7 : criticité pour le Premier mode de défaillance

Fréquence/ Gravité pour la production	1fois / mois	1fois / 6mois	1fois / ans	1fois / 5 ans	1fois /10 ans
Quelques minutes	C	NC	NC	NC	NC
Une heure	C	C	NC	AE	NC
De 1 à 8 heures	C	C	C	AE	AE
Plus de 8heures	C	C	C	C	C

Tableau – 8 : criticité pour le deuxième mode de défaillance

Fréquence/ Gravité pour la production	1fois / mois	1fois / 6mois	1fois / ans	1fois / 5 ans	1fois /10 ans
Quelques minutes	NC	NC	NC	NC	NC
Une heure	C	NC	NC	NC	NC

De 1 à 8 heures	C	C	C	NC	C
Plus de 8heures	C	C	C	C	C

Tableau – 9 : criticité pour le troisième mode de défaillance

Fréquence/ Gravité pour la production	1fois / mois	1fois / 6mois	1fois / ans	1fois / 5 ans	1fois /10 ans
Quelques minutes	C	C	AE	NC	NC
Une heure	C	C	C	AE	NC
De 1 à 8 heures	C	C	C	C	C
Plus de 8heures	C	C	C	C	C

6. Conclusion :

A ce stade de l'étude, nous avons mis au point un fichier d'informations concernant les matériels jouant un rôle déterminant dans la production, analysé les événements redoutés passés et éventuels (probables), les zones critiques et les systèmes à écarter, tout cela, vis-à-vis des critères à optimiser et des contraintes à respecter, avec une vision globale de l'installation et des différents enjeux, en utilisant différentes techniques d'analyse et de diagnostic, tout en s'adaptant aux moyens disponible et au temps impartis.

Nous pouvons maintenant, à partir de ce petit groupe de matériels et des différentes données produites, améliorer considérablement la fiabilité de l'installation, avec un programme de maintenance préventive optimisé et adapté à notre installation.

Le chapitre qui suit, traitera sur les solution à apporter concernant le groupe de matériels visés par l'étude OMF, les compresseurs ATLAS COPCO, les machines , TSR 01, TSR02, les tréfileuses, et les machines VITARI etc. Ce groupe de matériels représente une trentaine de machines dont les plans de maintenance préventive devront être optimisés en temps et en moyens.

Chapitre IV

Actions de maintenance et leurs apports

Les plans de maintenance obtenus grâce à la méthode OMF peuvent conduire à proposer des actions préventives sur certains matériels qui n'étaient pas couverts par les programmes du constructeur. Inversement, la maintenance peut être réduite sur certains matériels pour lesquels le constructeur proposait des interventions mal adaptées aux conditions de fonctionnement.

1. Les compresseurs ATLAS COPCO A 37+

Tableau – 10 : Plan de maintenance préventive des compresseurs ATLAS COPCO

PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE	Machine : compresseur d'air ATLAS COPCO A37+						TEMPS mn	Observations
	Fréquence							
Opérations	J	M	T	S	A			
Opérations exécutables en fonctionnement et en arrêt								
Vérifier le niveau d'huile du compresseur	X					5 mn	Visuel	
Contrôler la cartouche de filtre d'air		X				10 mn	Visuel	
Nettoyer la cartouche de filtre d'air				X		10 mn	L'air comprimé	
Remplacer la cartouche de filtre d'air					X	15 mn	Préparer la pièce	
Changer la cartouche de filtre d'huile			X			15 mn	Préparer la pièce	
Vérifier le clapet de retour d'huile					X	10 mn	Changer en cas d'usure	
Contrôler l'étanchéité des raccords				X		20 mn	Changer en cas d'usure des joints	
Vérifier l'état des canalisations					X	30 mn	Boucher en cas de fuite d'air ou d'huile	
Contrôler le système de refroidissement		X				10 mn	Thermomètre	
Contrôler la soupape de sécurité				X		5 mn	Régler en cas d'usure	
Graisser le palier du moteur				X		15 mn	Faire l'appoint huile ISO VG 68	
Vérifier le clapet d'aspiration					X	5 mn	Changer en cas d'usure	
Vérifier l'état de l'accouplement					X	15 mn	Vérifier l'alignement	
Nettoyer le dispositif de			X			10mn	Air comprimé	

commande							
Surveiller le bruit compresseur	X						Surveiller les vibrations
Vérifier le robinet de vidange		X				5 mn	
FREQUENCE :	J : jour		M : mensuel			T : trimestrielle :	
	S : semestrielle			A : annuelle			

Le tableau – 10 présente le plan de maintenance préventive des quatre compresseurs de la marque ATLAS COPCO, on y retrouve les tâches de maintenance préventive relatives aux modes de défaillances analysés, mais aussi des tâches de maintenance complémentaires destinées à augmenter la fiabilité de ces matériels, des tâches de maintenance systématique préconisée par le constructeur, et des tâches de maintenance conditionnelle et de contrôle des dégradations.

2. Les tréfileuses

Le plan de maintenance est constitué en des tâches de maintenance préventive concentrées autour des causes provoquant la rupture du fil d'acier pendant le tréfilage diagnostiquées dans le chapitre 3 : 4.1, notamment le mauvais refroidissement de la matière et les conditions d'exploitation inappropriées, en ajoutant une maintenance complémentaire classique.

En plus de ce plan de maintenance préventive, nous devons éliminer la présence du calcaire dans l'eau de refroidissement responsable d'une grande partie de l'indisponibilité des tréfileuses, nous suggérons l'acquisition d'un dispositif de traitement d'eau spécialement pour cet effet, ou un traitement chimique périodique de l'eau de refroidissement.

Ces deux solutions présentent chacune des avantages et des inconvénients, le traitement chimique périodique et certes moins coûteux que d'investir sur un matériel en plus de son entretien, qui éliminerait plus efficacement le calcaire de l'eau de refroidissement, mais cela implique aussi de réquisitionner du temps et une main d'œuvre pour le faire.

Aussi, les mauvaises conditions de stockage en extérieur de la matière première doivent être corrigées, parmi les solutions possibles, l'aménagement d'une structure servant de toiture protégeant ainsi les bobines de l'oxydation, de l'humidité, et du soleil.

Le tableau 11 présente le plan de maintenance préventive des tréfileuses de marques AWM et EUROWALL qui représentent les tréfileuses non révisées et dont la fiabilité laisse à désirer.

Tableau – 11 : Plan de maintenance préventive des tréfileuses EUROWALL et AWM

PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE	Machine : tréfileuses EUROWALL et AWM						
Opérations exécutables en fonctionnement et arrêt	Fréquence					TEMPS mn	Observations
Opérations	J	M	T	S	A		
Contrôler les conditions d'exploitation vitesse /diamètre	X					/	Visuel
Contrôler la température sur les cabestans		X				5 mn	Thermomètre
Vérifier qualité et niveau eau dans la bêche à eau			X			10 mn	air comprimé
Contrôler le système de refroidissement			X			15 mn	Pompes et autres
Contrôler l'étanchéité des raccords				X		20 mn	Préparer la pièce (joins)
Vérifier l'état des canalisations				X		30 mn	Boucher en cas de fuite d'huile
Nettoyer l'armoire électrique de la calamine		X				5 mn	nettoyage par le technicien
Contrôler la protection électrique			X			10 mn	Tester protection Vérifier câblages
Nettoyer tréfileuse et boîtier de décalaminage	X					5 mn	Faire le soufflage et balayer
Nettoyer les bacs de lubrifiant De la calamine	X					1 mn	Chiffon
Graisser les paliers des moteurs				X		30 mn	Faire l'appoint d'huile ISO VG 68
Vérifier l'état les courroies d'accouplement					X	5 mn	Visuel
Graisser les paliers		X				10 mn	Préparer la pièce
Graisser Vérifier roulements		X				10mn	Préparer pièce
Surveiller les vibrations					X	1 h	Analyse vibratoire

FREQUANCE :	J : jour	M : mensuel	T : trimestrielle :
	S : semestrielle		A : annuelle

3. Les machines VITARI

Tableau – 12 : Plan de maintenance préventive des Machines : VITARI

PLAN DE MAINTENANCE PREVENTIVE	Machines : VITARI							
Opérations exécutables en fonctionnement et arrêt	Fréquence					TEMPS mn	Observations	
Opérations	J	M	T	S	A			
Contrôler les conditions d'exploitation vitesse /diamètre	X					/	Visuel	
Contrôler l'étanchéité des raccords				X		20 mn	Préparer la pièce (joins)	
Vérifier l'état de la tuyauterie				X		30 mn	Boucher en cas de fuite d'huile	
Contrôler la protection électrique			X			10 mn	Tester protection Vérifier câblages	
Contrôle des roulements		X				5 mn	Remplacer si nécessaire	
Graisser les paliers des moteurs				X		30 mn	Faire l'appoint d'huile ISO VG 68	
Vérifier l'état les courroies d'accouplement					X	5 mn	Visuel	
Vérifier dégradation des consommables	X					5 mn	Préparer la pièce	
Surveiller les vibrations					X	1 h	Analyse vibratoire	
FREQUANCE :	J : jour		M : mensuel		T : trimestrielle :			
			S : semestrielle		A : annuelle			

Nous avons vu précédemment, concernant les surcharges des machines et les blocages mécaniques, qu'elles causaient des ruptures aux arbres et dents d'engrenages des machines, dont la remise en marche de celles-ci était longue et assez couteuse.

Ces machines de type VITARI (machine de fabrication de pointes) qui sont en nombre de dix-huit, subissent ce genre d'événements trop fréquemment d'après l'équipe de maintenance

en mécanique et l'historique des pannes disponible, alors, en plus du plan de maintenance préventive représenté sur le tableau 11, nous avons pris une autre mesure, qui est l'installation d'une protection (Relais thermique), qui assurerait la coupure du circuit d'alimentation de toutes les machines à défaut d'une protection pour chaque machine, en attendant d'identifier celle qui subit la surcharge, car c'est une défaillance cachée.

4. Les machines TSR 01 et TSR 02

Les machines TSR 01 et 02 sont des machines automatiques de fabrication des treillis soudés. La fiabilité de ces composants est assez satisfaisante, excepté les pannes de l'organe de soudage qui elles sont dues soit au diamètre trop grand des fils d'acier, donc une mauvaise exploitation de cette dernière, et à un défaut de conception du circuit alimentant les électrodes.

En effet nous avons constaté que le dispositif de soudage des machines TSR 01 et TSR 02 était doté de deux électrodes, une fixe et l'autre mobile grâce à un vérin, les branchements des circuits électrique était fait sur l'électrode mobile, ce qui causait une usure rapide des câblages et une détérioration des contacts alors que l'électrode fixe assurait seulement la fermeture du circuit pendant le contact des deux électrodes.

Une modification du circuit électrique de telle sorte à ce que le branchement soit effectué sur l'électrode fixe a nettement diminué les pannes liées au soudage, mais des défauts de réglages se sont révélés après ces modifications, qui pourront être corrigé après des ajustements et les réglages nécessaires des API.

5. Autres apports

Nous avons vu dans les chapitres précédents, que la démarche OMF est un processus en boucle d'amélioration continue, que les programmes optimisés de maintenance préventive doivent être actualisés après leur application. En utilisant le retour d'expérience comme un outil non seulement de récolte mais aussi de suivi de la maintenance et de ces améliorations.

Les matériels visés par l'étude OMF doivent faire objet d'un suivi pour connaître quantitativement les améliorations apportées par les plans de maintenance préventive en se basant sur des indicateurs de fiabilité rigoureux.

5.1. Base de données, application avec DELPHI

Pour un retour d'expérience efficace, il est important de déterminer un format de la base de données, adapté à notre sujet d'étude et à ces besoins, afin d'assurer une qualité des données, une traçabilité détaillée des événements et une prise en main facilitée et optimisée en temps et en moyens.

Les bases de données informatiques conçues pour l'industrie sont certes très performantes, mais sont soumises à des licences, et coutent relativement chère. Dans le cas de notre entreprise, la maintenance à besoin surtout d'un outil au service de l'étude OMF, de récolte, le tri, et de suivi des stratégies de maintenance, avec une prise en main immédiate, et modifiable avec l'évolution de la maintenance (accès code source du programme). Donc créé sur-mesure pour les besoin de notre installation et de la main d'œuvre.

La maintenance se fait en équipe, il est donc important qu'un ingénieur développe ces capacités à travailler en coopération pour que la maintenance profite des outils statistiques, informatiques et autres, des différentes spécialités.

Avec la participation d'un informaticien pour la partie programmation, nous avons mis au point en quelques heures cette application faite avec l'environnement de programmation DELPHI, servant de base de données contenant l'essentiel, qui remplacera les fiches et registres dont l'efficacité et la qualité étaient compromises.

Cette base de données est constituée de plusieurs interfaces d'enregistrement et de modification des données concernant les multiples matériels répertoriés au début de notre étude.

- Une base de données des matériels, fiches techniques des machines, information sur l'exploitation etc.
- Une base de données de maintenance, (base de données événementielle) assurant la qualité des données concernant les pannes et un suivi du programme de maintenance préventive.
- Une base de données générique, de plans de maintenance et autres schémas regroupant ainsi les données génériques disponibles de chaque matériel.

Avec une interface intuitive sans superflue et facile à partager, sans procédure d'installation et un fonctionnement immédiat.

5.2. Présentation de l'application

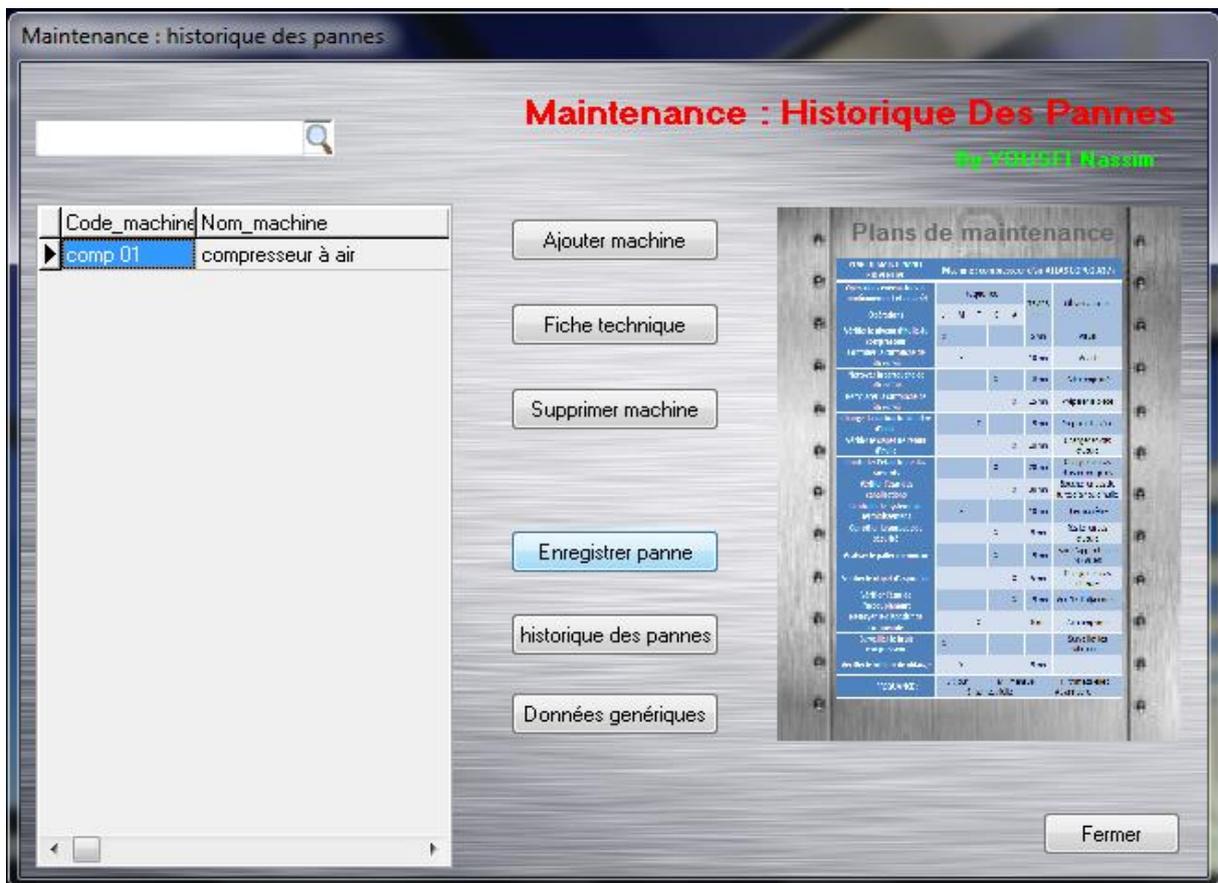


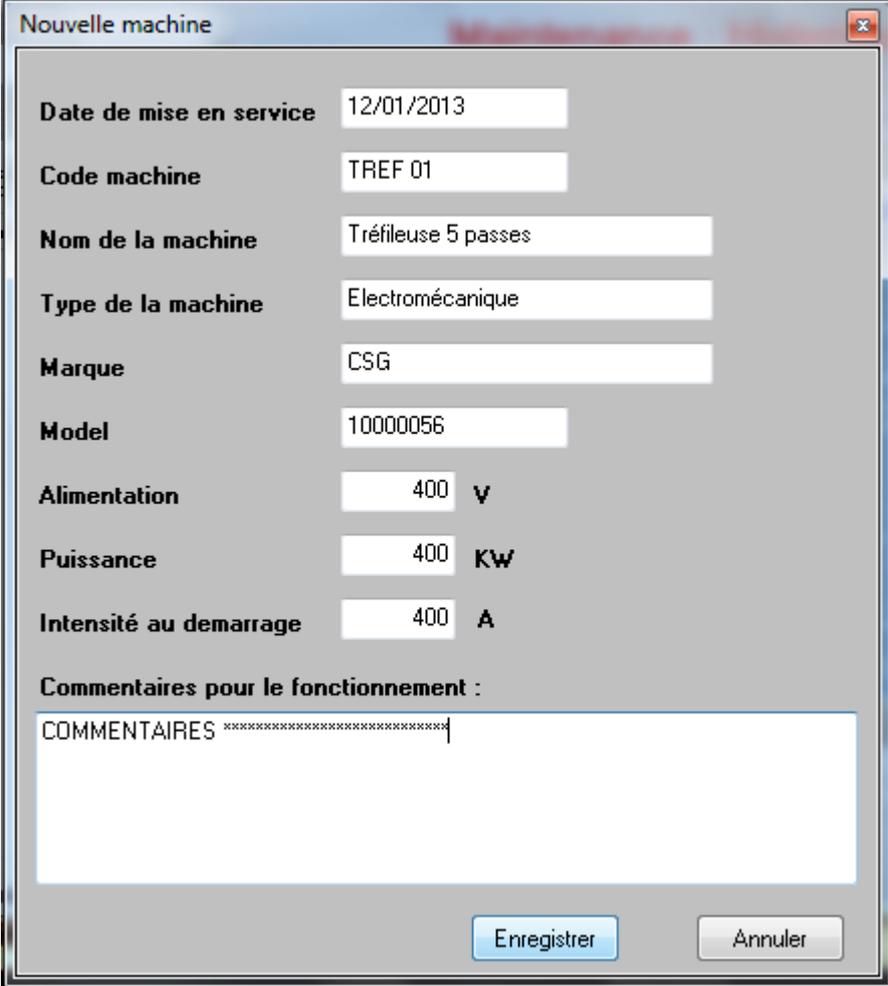
Figure – 21 : interface de l'application

L'application s'ouvre directement sur une interface où sont regroupées toutes les fonctions de la base de données, à gauche, la liste des matériels dotée des noms des machines et de leurs noms de code, déterminés l'ors de la phase de répertoriassions des matériels, et une barre de recherche pour un accès rapide à la machine.

À droite, est affiché automatiquement après sélection de la machine sur la liste, le plan de maintenance préventive de celle-ci.

Au milieu, se trouvent six boutons pour accéder aux bases de données secondaires, qui sont :

Le bouton « Ajouter machine », qui ouvre une fenêtre contenant une fiche technique à remplir et qui seras affectée à la base de données des matériels après enregistrement.



The image shows a software dialog box titled "Nouvelle machine". It contains several input fields for machine data:

- Date de mise en service**: 12/01/2013
- Code machine**: TREF 01
- Nom de la machine**: Tréfileuse 5 passes
- Type de la machine**: Electromécanique
- Marque**: CSG
- Model**: 10000056
- Alimentation**: 400 V
- Puissance**: 400 KW
- Intensité au démarrage**: 400 A

Below these fields is a section for "Commentaires pour le fonctionnement :" with a text area containing "COMMENTAIRES *****". At the bottom right, there are two buttons: "Enregistrer" and "Annuler".

Figure - 22 : Machine à enregistrer

Le bouton « Fiche technique », qui ouvre une fenêtre contenant les informations (pouvant être corrigées ou modifiées) concernant la machine ou le matériel sélectionné, et le total des temps d'arrêt enregistrés dans l'historique des pannes, comme le montre la figure 23.

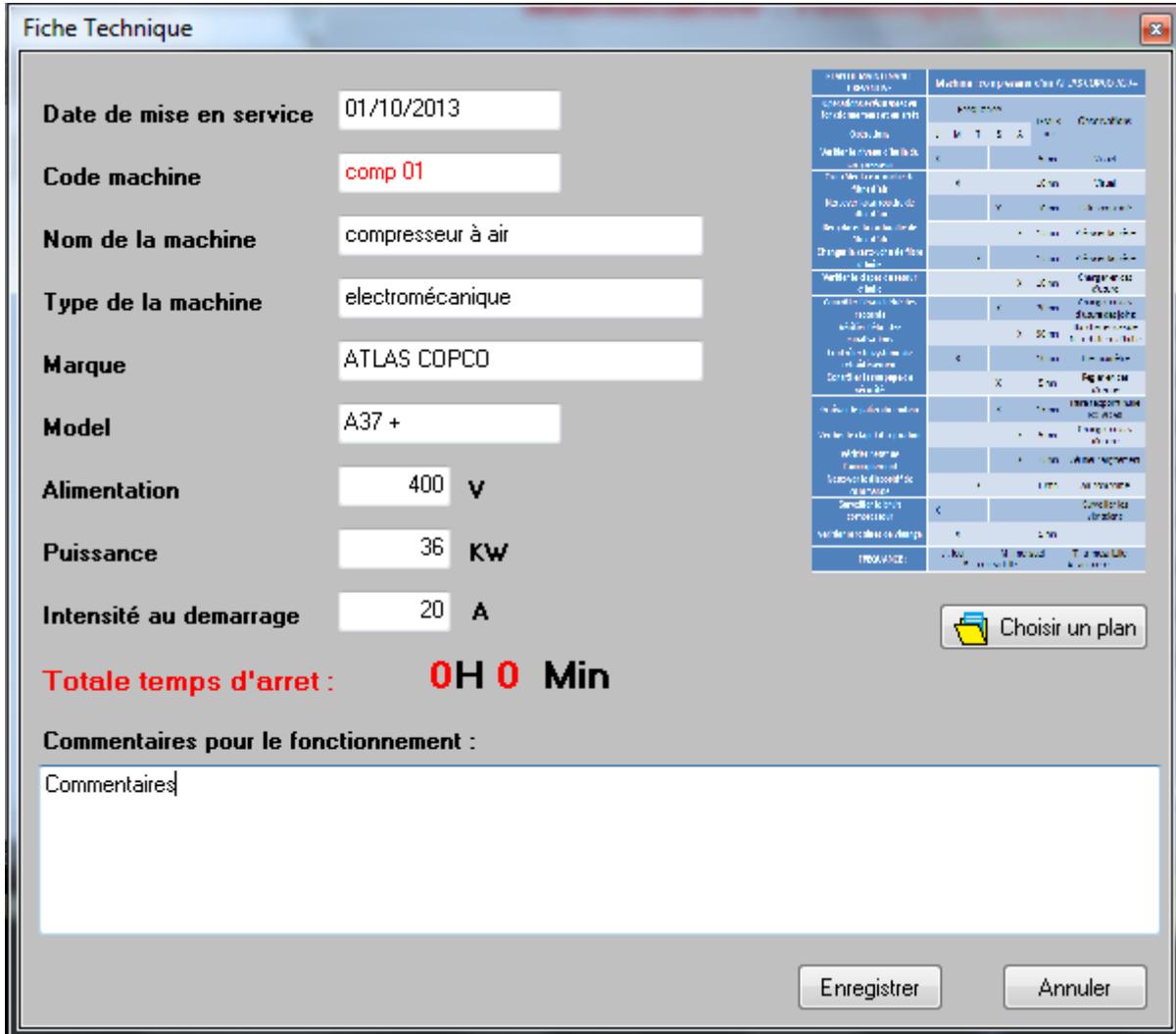
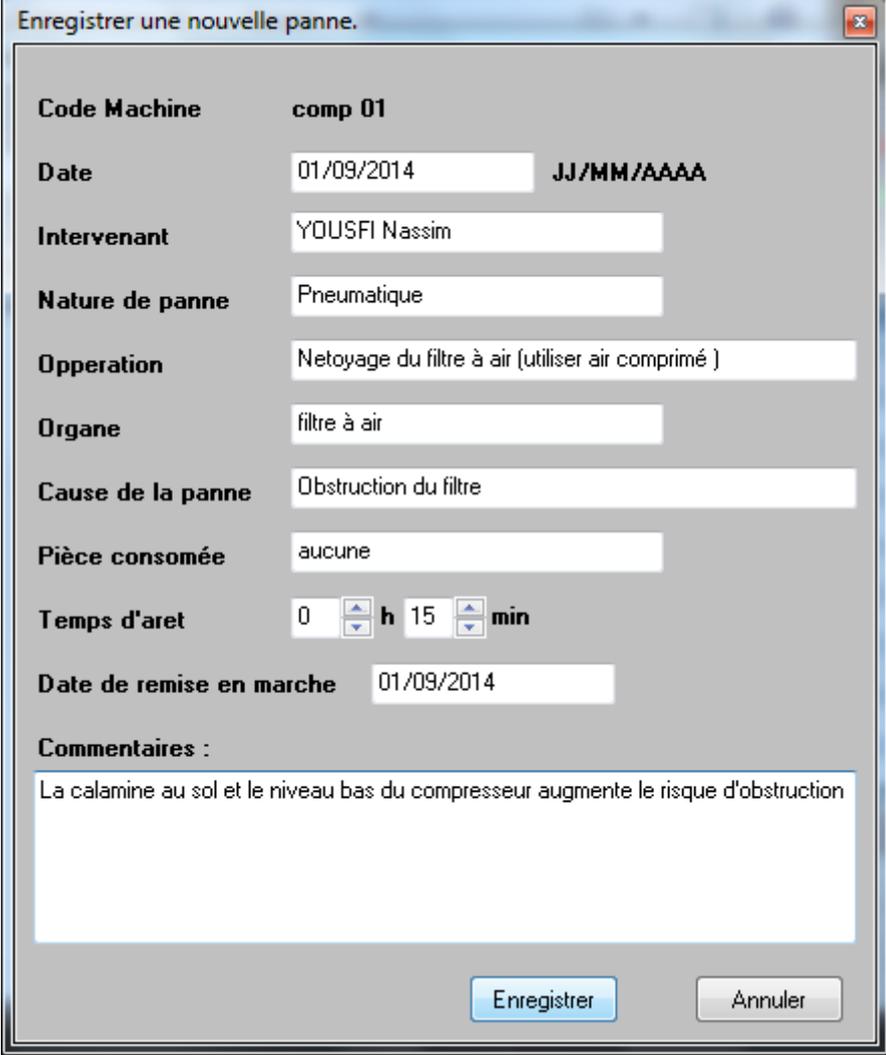


Figure - 23 : informations sur la machine sélectionnée

Le bouton « Supprimer machine », permet de supprimer une machine sélectionnée, en supprimant toutes les données enregistrées la concernant, hormis l'historique de pannes que nous pouvons préserver ou non.

Le bouton « Enregistrer panne », permet d'ouvrir tableau pour récolter toutes les informations liées à une panne survenue comme nous le montre la figure 24.

Notons que la validation et l'enregistrement de la panne est acceptée seulement si tout les champs du tableau sont remplis, dans le cas contraire un message exhortera l'utilisateur à le faire.



The screenshot shows a software window titled "Enregistrer une nouvelle panne." with a close button in the top right corner. The window contains a form with the following fields and values:

Code Machine	comp 01
Date	01/09/2014 JJ/MM/AAAA
Intervenant	YOUSFI Nassim
Nature de panne	Pneumatique
Opération	Netoyage du filtre à air (utiliser air comprimé)
Organe	filtre à air
Cause de la panne	Obstruction du filtre
Pièce consommée	aucune
Temps d'arrêt	0 h 15 min
Date de remise en marche	01/09/2014
Commentaires :	La calamine au sol et le niveau bas du compresseur augmente le risque d'obstruction

At the bottom of the window, there are two buttons: "Enregistrer" (highlighted in blue) and "Annuler".

Figure - 24 : Enregistrer une panne

Le bouton « Historique de pannes », nous donne accès à l'ensemble des pannes enregistrées de la machine sélectionnée.

Le bouton « Données génériques », ouvre une fenêtre de visualisation de schémas et des arborescences de l'analyse fonctionnelle et de l'analyse des modes de défaillance, qu'on peut modifier ou supprimer, illustré dans la figure 25.

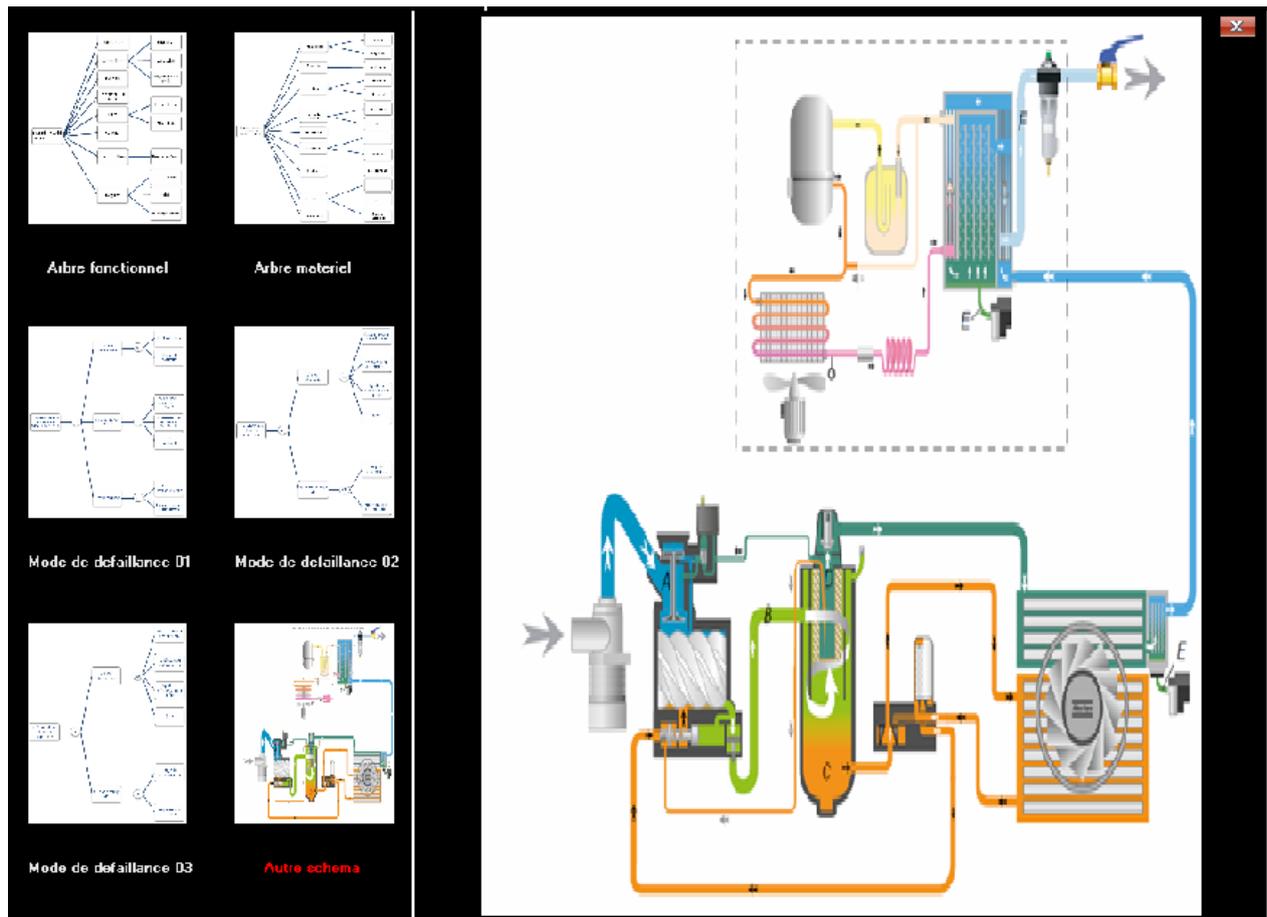


Figure - 25 : interface pour visionner les schémas

Les fonctionnalités de cette application permettront à l'étude OMF et à la maintenance en général une évolution pérenne et concrète, dans le but de développer son champ d'action et d'approfondir l'effet de ses actions sur l'installation, en assurant la traçabilité de l'étude initiale et suivantes, en centralisant les données techniques de l'installation, en assurant une certaine qualité des données du retour d'expérience et en organisant autour d'elle les programmes de maintenance préventive.

Conclusion générale

Le premier résultat d'une étude OMF est un programme de maintenance préventive, traçable, et donc facilement évolutif. Mais la mise en œuvre de cette méthode contribue aussi à faire évoluer les mentalités par :

- une prise en compte des objectifs globaux de l'entreprise ;
- une prise de conscience par les agents de maintenance des effets de leurs interventions et des conséquences fonctionnelles des défaillances ;
- une participation des agents des autres services à certaines actions de maintenance ;
- une exploitation directe du retour d'expérience et une amélioration continue de sa collecte.

Les risques étant mieux maîtrisés, les premiers bénéfices obtenus sont souvent des gains économiques par une réduction du volume de maintenance corrective et préventive lorsque ceux-ci sont excessifs. Les bénéfices doivent aussi être calculés sur un plus long terme en évaluant l'amélioration du niveau de disponibilité et la diminution de la maintenance corrective.

Parmi les effets positifs que l'on observe, on peut citer aussi :

- une réorientation de la maintenance préventive traditionnelle vers des tâches conditionnelles entre autres de surveillance en fonctionnement ;
- une synergie étendue entre les services conduite et maintenance, ce qui contribue au développement d'une culture de maintenance;
- une hiérarchisation des défaillances et des tâches de maintenance préventive qui simplifie et justifie la prise de décision et le pilotage de la maintenance.

Si les grands principes restent intangibles, la méthode doit être ajustée au type d'installation étudiée et à la culture de l'entreprise. On peut en effet se trouver confronté à différentes situations :

- des contraintes de sûreté, d'environnement, et de sécurité qui rendent l'approche plus complexe ;
- l'absence de retour d'expérience direct, en particulier dans le cas d'installations nouvelles, qui conduit à faire essentiellement appel à des avis d'experts ;

- des conditions de fonctionnement et d'exploitation particulières (fonctionnement continu ou intermittent, présence permanente ou absence périodique d'équipe de conduite, manque organisationnel et de moyens, équipe réquisitionnée réduite).

Il faut également noter que les analyses OMF contiennent des informations et des résultats qui peuvent être réutilisés pour d'autres études. Les tableaux AMDEC en particulier peuvent servir de base pour lancer des projets visant à développer la maintenance conditionnelle, ou être le point de départ pour des études sur le soutien logistique.

La maintenance est une des fonctions qui contribue à la prospérité des entreprises, à condition cependant qu'elle soit adaptée à leur situation. C'est précisément ce à quoi la méthode OMF contribue en aidant à choisir la stratégie de maintenance la mieux adaptée pour maîtriser à la fois les coûts de maintenance, la disponibilité de l'outil de production et la qualité des produits et des services. Elle prend également en compte les contraintes de sûreté de l'installation, de sécurité des personnes et de préservation de l'environnement. La première preuve de son efficacité technico-économique est d'abord la poursuite des projets engagés et la mise en place progressive de programmes de maintenance « vivants ». Ces études contribuent également à faire évoluer la culture de maintenance. L'approche devient plus fonctionnelle, les frontières entre les métiers s'estompent, le retour d'expérience est analysé plus finement, les objectifs globaux de l'entreprise sont mieux pris en compte. Les principes de l'OMF deviennent progressivement de nouveaux réflexes, et les résultats de ces analyses peuvent servir de base à de nouveaux projets.

Bibliographie

- **[1] : Antoine DESPUJOLS** – Ingénieur chercheur ; Division Recherche et Développement d'Électricité de France
- **[2] : Norme CEI 60300-3-11** – Maintenance basée sur la fiabilité (1999).
- **[3] : DESPUJOLS (A.)** – Approche fonctionnelle de la maintenance. MT 9 020 (2004).
- **[4] : VÉROT (Y.)** – Retour d'expérience dans les industries de procédé. AG 4 610.
- **[5] : AFNOR** – Fascicule de Documentation FD X60-000 - Maintenance industrielle. Fonction Maintenance (2002).
- **[6] : LANNOY (A.)** – Retour d'expérience technique. [SE 1 041] Traité sécurité (2003).
- **[7] : LANNOY (A.)** – Retour d'expérience technique. SE 1 041, traité Sécurité et Gestion des risques (2003).
- **[8] : Terminologie relative à la fiabilité** – Maintenabilité, Disponibilité
- **[9] LAVERROUX, M.** (1993). Mise en forme des aciers inoxydables par tréfilage. *La revue de métallurgie CIT*. P.1293-1302