

Faculté des Sciences et Techniques de Fès



Département de Génie Industriel



LST de Génie Industriel

Projet de Fin d'Etudes

Amélioration de l'état de la machine de
décapage

Lieu : RENAULT-TANGER

Référence : 21/16GI

Préparé par :

-EL-MONTASER Oussama
- DARDOUR Soufiane

Soutenu le 09 Juin 2016 devant le jury composé de :

- Pr M.Cherkani Hassani	(Encadrant FST)
- Pr D.Tahri	(Examineur)
- Pr H.kabbaj	(Examineur)
-Mr Oussama Belaabda	(Encadrant société)



Université Sidi Mohamed ben Abdallah
Faculté des sciences et techniques de Fès
Département de Génie industriel



Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,

Le respect, la reconnaissance.

Aussi, simplement nous dédions ce projet :

A notre chers parents

Qui se dévouent sans cesse pour nous éclairer

La voie et les immenses horizons du savoir dont la vocation

mérite largement notre respects

A ceux qui n'ont jamais cessé de nous encourager,

A notre famille

Et à

Tous notre amis.



Université Sidi Mohamed ben Abdallah
Faculté des sciences et techniques de Fès
Département de Génie industriel



Remerciements

Il est agréable d'exprimer nos gratitudee et nos sincères remerciements à Renault Tanger exploitation pour son accueil et particulièrement à Mr. **Tarik SANDALI** chef département de la peinture, d'avoir accepté notre demande de stage au sein de son service.

Nous adressons également nos vifs remerciements à notre **Pr. Mohammed CHERKANI HASSANI** pour tout le temps qu'il nous a consacré et tous les conseils qu'il nous a prodigué durant notre projet de fin d'études.

Nous tenons à remercier aussi Mr. **Oussama BELAABDA** et Mr. **Mohammed FARAH** nos encadrants de nous avoir accueilli dans leur équipe et d'avoir acceptés de diriger ce travail. Aussi pour l'importance et le soutien qu'ils ont accordé.

Nos remerciements les plus chaleureux vont aussi à tout le groupe Renault particulièrement au personnel du département peinture pour leurs encouragements et pour leur collaboration et leur compréhension tout au long de ce stage.

Nos remerciements vont aussi aux membres de jury de notre soutenance pour leur participation à l'évaluation de notre travail.

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce projet.



Liste des Abréviations

A

ABV: Apprêt, Base, Vernis

AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets et de leur criticité

EPI : équipements de protections individuelles.

C

Cata : Cataphorèse

G

GMD : Grande Machine de Décapage

I

IFMIA : Institut de formation aux métiers de l'industrie automobile.

IHM : Interface homme machine

M

MPM : Management de la Performance des Moyens

MP: Maintenance Préventive

P

PR : Pièce de Rechange

R

RTE: Renault Tanger Exploitation

RTM : Renault Tanger Méditerranée

S

SOMACA : société marocaine de construction automobile

SMP : Suivi des Moyens de Production

T

TTS : Tunnel Traitement de Surface

TRS : taux de rendement synthétique

TM : Tanger méditerrané

TPM : taux moyen de performance



Listes des Figures:

Figure 1: Evolution des voitures

Figure 2 : fiche descriptive de Renault Tanger

Figure3 : Structure du Groupe Renault-Nissan

Figure 4 : Vue d'ensemble sur Renault

Figure 5 : Centre de formation IFMIA

Figure 6: organigramme de l'usine Renault Tanger

Figure 7 : plan de site de Renault

Figure 8 : flux de la caisse dans le département peinture

Figure 1.1 : Emboutissage

Figure 1.2 : Tôlerie

Figure 1.3 : Peinture

Figure 1.4 : Montage

Figure 9 : différents couche de la peinture

Figure 10 : Démarche DMAIC

Figure11: Méthode QQQCP

Figure 12: planning du projet

Figure 13: Diagramme de GANTT

Figure 14: Taux de rendement synthétique

Figure 15: machine de décapage

Figure 16: schéma synoptique de GMD

Figure17: schéma de fonctionnement de la machine de décapage

Figure18: Dessin de fonction de GMD

Figure 19: Evolution de criticité de GMD



Université Sidi Mohamed ben Abdallah
Faculté des sciences et techniques de Fès
Département de Génie industriel



Liste des tableaux :

Tableau 1 : les contraintes de projet

Tableau 2 : les équipements de la machine

Tableau 3 : AMDEC de la machine de décapage

SOMMAIRE

Introduction

générale.....1

Chapitre 01 : Présentation du groupe Renault Nissan et l'usine Renault Tanger Méditerranée.

I. Présentation du groupe Renault.....	2
1. Historique de Renault Maroc.....	2
2. Renault Tanger Exploitation SAS.....	3
3. Fiche descriptive.....	4
4. Schématisation du groupe.....	5
II. Stratégie et politique technique de l'entreprise:.....	7
1. Plan technologique.....	7
2. Renault écologie.....	7
3. Renault et l'environnement.....	8
4. Structure et organigramme de groupe Renault.....	9

Chapitre 02 : Analyse de déroulement du processus de fabrication.

I. Description du processus.....	10
1. Emboutissage.....	11
2. Tôlerie	11
3. Peinture	12
4. Montage.....	12
II. Présentation du département peinture.....	12
1. Tunnel de Traitement de surface (TTS).....	13
2. Cataphorèse.....	13
3. Mastic.....	14
4. A.B.V.....	14
5. Finition.....	14
6. Cire.....	15

Chapitre 03: Analyse fonctionnelle du PFE.

Initiation à la méthode DMAIC.....	16
Etape 01 : Définition du cadre général de projet.....	16
1. Définition de la problématique.....	17
2. Les contraintes du projet.....	18
3. Cahier de charge.....	19
4. Délai & Planning du projet.....	19
Etape 02 : Mesure de taux de rendement synthétique.....	21
1. Généralité.....	21
2. Méthode de calcul	21
3. Application	22
4. Interprétation	23

Chapitre 04: Etude technique par la méthode AMDEC.

Etape 03 : Analyse par la méthode AMDEC	24
1. Initialisation.....	24
1.1. Description de la machine de décapage.....	24
1.2. Synoptique de la machine de décapage.....	24
1.3. Principe de fonctionnement.....	25
1.4 Définition des objectifs.....	26
2. Identification des équipements	26
3. Analyse AMDEC.....	29
3.1 Evaluation.....	29
4 Synthèse	31
4.1 Classification des éléments critiques	31
4.2 Interprétation.....	3
1	
Etape 04 : Amélioration de la machine de décapage.....	32
1. Armoire électrique.....	32
1.1. Remplacement des composants électriques	32
1.2. Séparation de la partie pneumatique de la partie électrique	33

1.3. Intégration de l'automate programmable	33
1.4. Insertion de IHM avec l'automate programmable.....	34
2. Porte d'inspection	35
3. Pompes.....	35
Etape 05 : Contrôle avec le Système du suivi des moyens de production.....	36
1. Système du suivi des moyens de production.....	36
2. Objectifs du SMP.....	36
3. Fonctions du SMP.....	36
Conclusion générale.....	38
Bibliographie.	

Introduction générale

Nous sommes conscients que les connaissances théoriques seules ne sont pas suffisantes pour se faire face aux problèmes au sein des entreprises et que toute formation scientifique aura besoin d'un stage qui permet d'avoir une confrontation directe avec la réalité.

Effectuer un stage au sein de l'usine Renault-Nissan est une réussite sur le plan pratique et professionnel, vu que cette société est l'une des plus grandes usines automobiles au monde, et la première en Afrique.

L'objectif de notre stage est de faire une amélioration technique et pratique de la machine de décapage, d'étudier et d'analyser les différentes causes des pannes dans le but de fixer des solutions permettant de les réduire et d'améliorer la cadence de la machine.

Afin d'atteindre ces objectifs, nous avons consacré le premier chapitre à la présentation du groupe RENAULT NISSAN en tant qu'organisme d'accueil.

Dans le deuxième chapitre nous allons détailler les unités et les services du site ainsi que le processus de fabrication des voitures et précisément au sein du département peinture où on a effectué notre stage.

Ensuite, le troisième chapitre présente un aperçu global sur notre projet intitulé « Amélioration de l'état de la machine de décapage des luges », son cahier des charges et le planning des tâches à réaliser, ainsi que la mesure du taux de rendement synthétique de la machine.

Finalement, le quatrième chapitre est consacré à étudier et analyser les causes d'arrêt de la machine. Pour cela nous avons procédé à une étude basée sur l'analyse AMDEC, ensuite nous avons fait des améliorations pour remédier aux causes étudiées précédemment, puis nous avons proposé une solution d'intégration du SMP de notre machine afin de contrôler les pannes.

Chapitre I :

Présentation du groupe Renault Nissan et l'usine
Renault Tanger Méditerranée

Introduction

Ce chapitre donne un aperçu sur Renault, son histoire, sa taille et sa présence dans le monde, aussi sur les alliances Renault Nissan et Dacia et son organisme d'accueil Groupe Renault à travers son site Renault Tanger Méditerranéen en mettant en relief son département peinture avec ses différentes unités.

III. Présentation du groupe Renault

5. Historique de Renault Maroc :

L'histoire commence en 1898 lorsque les frères Renault fondent la société de construction automobile Renault Frères. Elle lance alors la voiturette et invente la première boîte de vitesses à prise directe. L'entreprise se développe aussi dans le secteur militaire en produisant des camions, des chars et des moteurs d'avions. Renault implante de nombreux centres de productions en France et à l'étranger.

En 1922, Renault devient Société Anonyme des Usines Renault (SAUR) et arrive progressivement en tête du marché français.

Après les ravages de la seconde guerre mondiale, l'entreprise est nationalisée en 1945 et prend le nom de Régie Nationale des Usines Renault (RNUR). Dans le cadre de la reconstruction nationale, elle va concentrer sa production sur la 4CV.

Jusqu'au milieu des années 80, Renault diversifie ses activités dans la finance et les services. L'entreprise connaît de grand succès avec les lancements de la R4 en 1962, de la R5 en 1972, et innove avec l'Espace en 1984.

A partir de 1984, l'entreprise subit une grave crise. En 1988, après une période de restructuration et de recentrage sur les métiers de base, Renault renoue avec les bénéfices et le lancement de la R19 apporte un nouveau succès.

En 1990, Renault reprend la forme d'une société anonyme (Renault SA). Un accord de coopération est signé avec le groupe Volvo pour leurs activités automobiles et poids lourds. Le projet de fusion entre les deux entreprises sera abandonné en 1993.

En mai 1992, Louis Schweitzer est nommé Président-Directeur Général. En 1996, l'Etat devient minoritaire dans le capital de Renault (46%). Renault est privatisé.

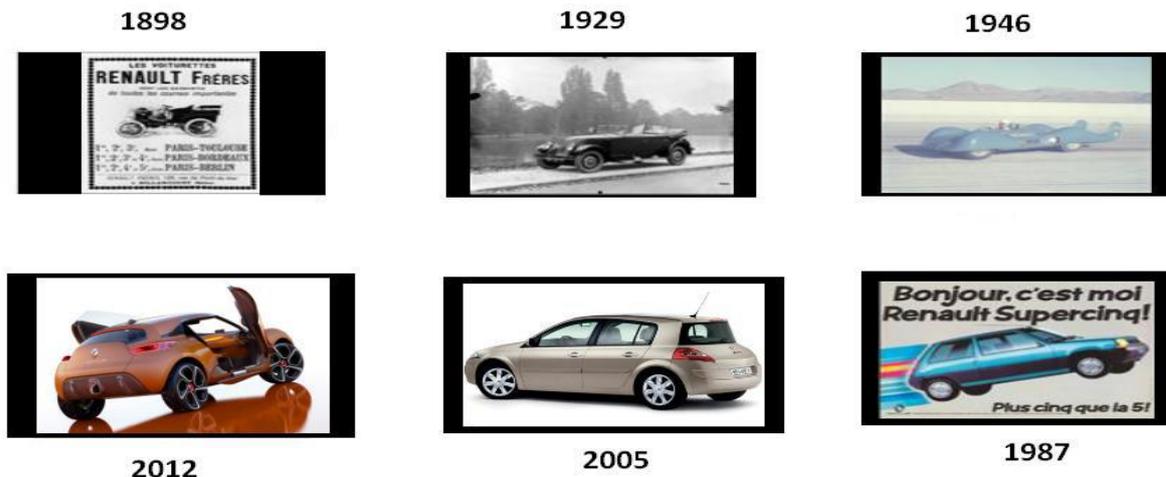
En 1999, l'alliance entre Renault et Nissan est signée.

En 2001, Renault et Volvo regroupent leurs activités poids lourds pour donner naissance au 2ème groupe mondial du secteur.

Entre 1990 et 2002, l'image innovante de la marque est constamment réaffirmée par le lancement de nombreux modèles tels que : la Twingo en 1993, la Mégane Scénic en 1996, l'Advantime en 1999, la Velsatis en 2001, puis la Mégane 2 et l'Espace 4 en 2002.

L'alliance Renault-Nissan se consolide et les synergies ne cessent de se développer. Avec les rachats de Samsung Motors et Dacia, Renault accélère son internationalisation. Le lancement de Logan est au cœur de la stratégie conquêtes des marchés émergents.

Depuis 2005, Carlos GHOSN, déjà président de Nissan, succédé à Louis Schweitzer a la tête de Renault il met en place le plan Renault contrat 2009, qui doit positionner le groupe comme le constructeur européen le plus rentable, Renault poursuit son offensive produit avec le lancement de nouvelle Mégane et multiplie les initiatives en faveur du véhicule



électrique.

Figure 1: Evolution des voitures.

6. Renault Tanger Exploitation SAS:

La vision stratégique du gouvernement Marocain est d'intégrer le royaume dans un plan de développement ouvert sur l'Europe, la Turquie et ses voisins du Maghreb. Compte tenu de sa position géographique, véritable carrefour entre l'Europe et l'Afrique, le Maroc offre de grandes opportunités de développement, et l'automobile s'est imposée comme un domaine naturel pour parvenir à cet objectif.

C'est dans ce cadre:

- Le 1er septembre 2007: signature du protocole d'intention pour la création de l'usine Renault Tanger Méditerranée en présence de SM le Roi Mohamed VI. Une usine sans précédent au Maroc en termes d'investissements et d'ambitions, destinée à l'Alliance Renault - Nissan.
- Le 16 Janvier 2008: création de Renault Tanger Méditerranée.

Cette alliance est aujourd'hui le troisième producteur automobile mondial (sur la base des ventes pour l'année 2008) avec 9% de part de marché mondial. Cette association innovante lui permet d'être présent sur tous les plus grands marchés mondiaux (États-Unis, Europe, Japon, Chine, Inde, Russie) et de partager des plateformes communes d'où des économies d'échelle importantes.

3. Fiche descriptive :

Raison sociale : Renault Tanger exploitation

Produits fabriqués : Lodgy J92 et Docker X67 et Sandero x52.

Nombre de lignes : 1 ligne en tranche I puis 1 ligne en tranche II.

Date de création : 16 janvier 2008.

Forme juridique : société anonyme.

Chiffre d'affaire : 1.1 milliard d'euros.

Secteur d'activité : industrie automobile.

Directeur général : Paul Carvalho.

Certifications de l'usine : ISO 9001 version 2008, ISO 14001

Objet social : fabrication d'automobile.

Effectif : 6000 collaborateurs.

Surface : 300 hectares, dont 220 hectares de bâtiments couverts.

Siège social : Zone Franche, Melloussa, Province FahsAnjra-Tanger.

Figure 2 : Fiche descriptive de Renault Tanger.

7. Schématisation du groupe :

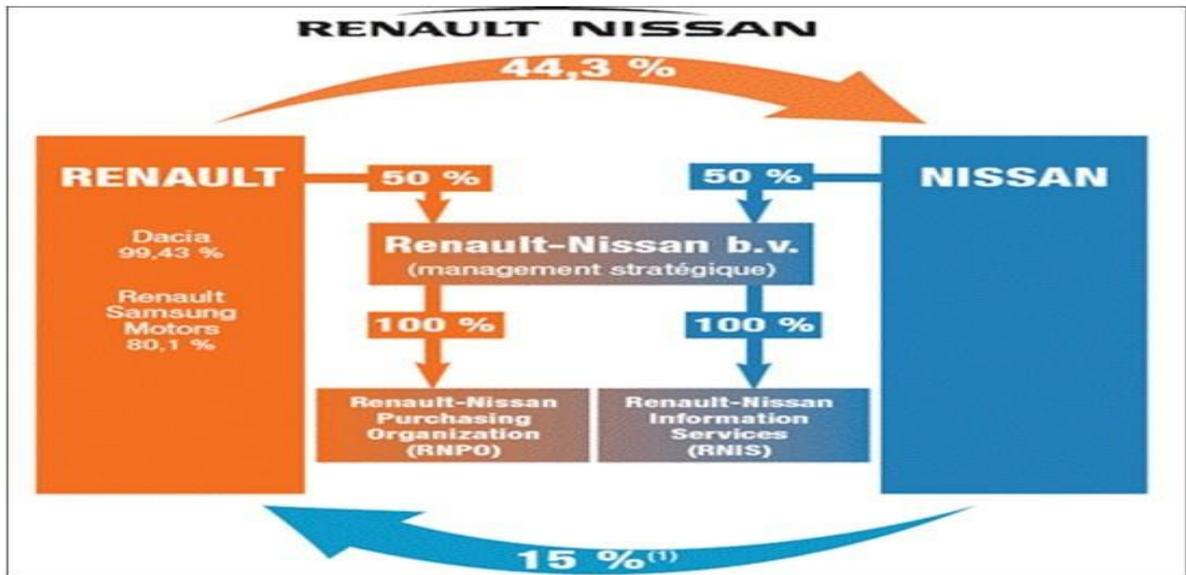


Figure 3 : Structure du Groupe Renault-Nissan.

Le site Renault Tanger Méditerranée (opérationnel depuis début 2012) est une usine d'assemblage complète réalisant l'emboutissage, la tôlerie, la peinture et le montage. Avec un accès direct à la plateforme portuaire du port de Tanger Med, les véhicules qui sortiront des ateliers seront à 90 % destinés au marché international.



Figure 4 : Vue d'ensemble sur Renault.

Cette usine vient compléter le dispositif industriel de Renault pour les véhicules économiques dérivés de la plateforme Logan et démarre avec 2 modèles nouveaux dans la gamme.

Avec une capacité de production atteignant 400 000 véhicules par an, un effort d'investissement de 1,1 milliard d'euros, la création de plus de 6 000 emplois directs et 30000 emplois indirects et une superficie de 300 hectares.

L'usine de Tanger représente l'un des complexes automobiles industriels les plus importants du bassin méditerranéen. C'est également un secteur de développement économique important pour le Nord grâce au renforcement du tissu industriel marocain de fournisseurs, sous-traitants et équipements et au développement de nouvelles compétences que l'usine va susciter.

En parallèle, le 30 octobre 2008, Renault a signé avec le gouvernement marocain une Convention pour la réalisation d'un Institut de Formation aux Métiers de l'Industrie Automobile - Tanger Méditerranée (IFMIA/TM) pour un investissement global de 7,5 millions d'euros, et dont l'objectif est de former d'ici 2012 dans un premier temps 4 000 personnes via 750 000 heures de formation, dont les deux tiers se dérouleront dans les locaux du centre, le tiers restant étant assuré à l'étranger dans les autres usines du Groupe.



Figure 5 : Centre de formation IFMIA.

IV. Stratégie et politique technique de l'entreprise:

5. Plan technologique :

Renault et Nissan coopèrent dans les domaines stratégiques de la recherche et de l'ingénierie avancée. Cette collaboration permet d'optimiser la répartition des ressources, de couvrir une gamme plus large de solutions techniques potentielles et d'accélérer le travail pour réussir des percées technologiques et proposer de nouveaux produits sur le marché.

Renault et Nissan ont mis en place un plan technologique symétrique, structuré en quatre axes communs :

- ❖ Sécurité.
- ❖ Environnement-CO2.
- ❖ Vie à bord.
- ❖ Performance dynamique.

Dans ce cadre, les partages de responsabilité s'organisent et les innovations croisées se développent. En combinant leurs forces, les deux groupes sont idéalement positionnés pour élargir leur portefeuille technologique et proposer des solutions innovantes afin de placer l'Alliance parmi les trois meilleurs groupes automobiles en matière de technologies clés.

6. Renault écologie :

En mai 2007, Renault a lancé la signature Renault eco2, une gamme de voitures écologiques et économiques.

- ❖ Ecologique par des résultats mesurables sur toutes les étapes du cycle de vie de la voiture.
- ❖ Economique dans le sens d'une faible consommation de carburant mais aussi d'offres de technologies abordables pour les clients.

Renault affirme son leadership dans la maîtrise du cycle de vie des véhicules et dans la conception de véhicules plus écologiques et économiques.

Dès la phase de conception, toutes les variables sont pondérées (matériaux, taille du véhicule, motorisation...) pour développer des véhicules plus écologiques. Par exemple, remplacer une aile en acier par une aile en plastique allège le véhicule et sa consommation mais engendre une production de déchets plus importante... Un dosage est donc opéré pour définir les solutions les plus respectueuses de l'environnement. La gamme Renault eco2 est exemplaire en la matière.

100 % des usines Renault sont ISO 14001 et visent à réduire de manière compétitive l'impact de leur activité sur l'environnement lors de la fabrication du véhicule ou du moteur en s'appuyant sur la démarche des 4R (Réduire, Réutiliser, Recycler, Récupérer de l'énergie).

7. Renault et l'environnement :

La pérennité des milieux naturels dépend d'un équilibre fragile entre faune, flore et espèce humaine. Cet équilibre est aujourd'hui menacé par la croissance démographique, les activités industrielles et humaines. L'industrie automobile, dont les impacts sur l'environnement doivent être régulés dans le cadre de politiques volontaristes, a un rôle majeur à jouer.

- Le gaz carbonique émis par les moteurs à essence participe au réchauffement climatique.
- Les rejets de dioxyde de soufre et l'oxydes d'azote contribuent à l'acidification des pluies et des sols.
- La voiture augmente le niveau sonore de l'environnement urbain.
- La fabrication et l'utilisation des véhicules consomment des ressources naturelles.

Renault considère que les changements drastiques qui s'imposent à l'industrie automobile ne doivent pas être perçus comme des contraintes mais comme des opportunités.

8. Structure et organigramme de groupe Renault :

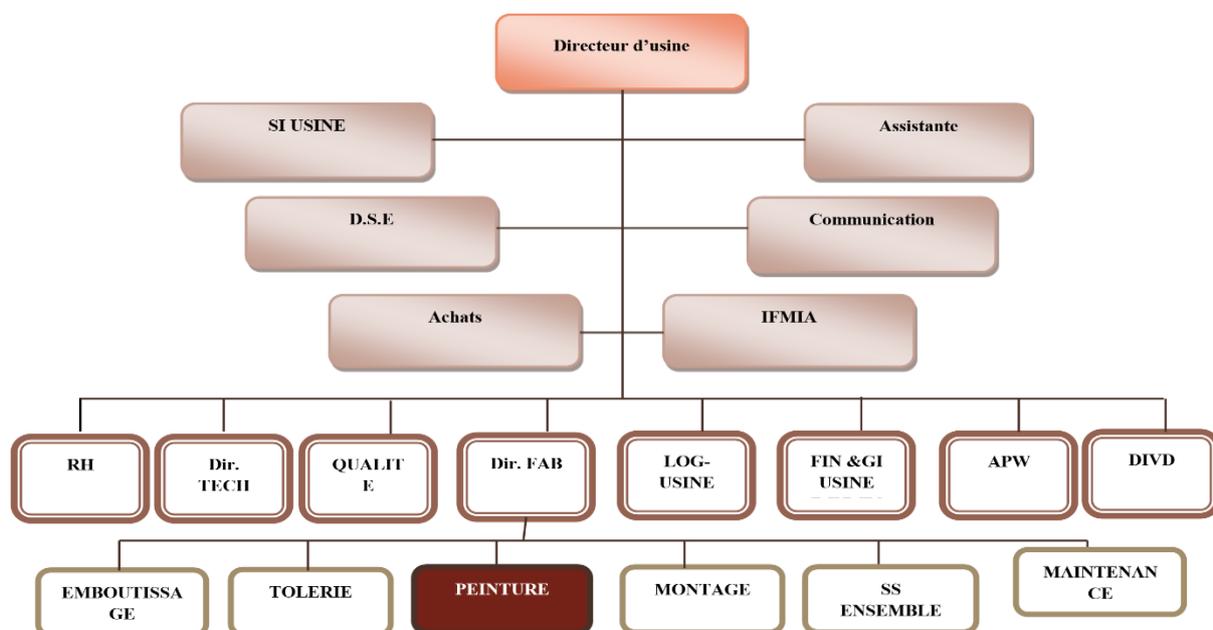


Figure 6: organigramme de l'usine Renault Tanger.

Chapitre II :

Analyse de déroulement du processus de fabrication.

Introduction

Dans le présent chapitre, nous allons expliquer de façon assez brève, le processus de fabrication des voitures dans les différents stades et plus particulièrement le département peinture où nous avons effectué notre projet de fin d'études.

I. Description du processus :

Renault Tanger est organisé en plusieurs départements, ceux de la production sont répartis dans l'usine selon la gamme de fabrication, les quatre départements principaux de l'usine sont: **L'emboutissage**, **la tôlerie**, **la peinture** et enfin **le montage** qui est alimenté aussi par les départements « Sous ensemble » et « sièges ».



Figure 7 : plan de site de Renault

La production est accompagnée d'une lourde logistique, une comptabilité, une finance, une gestion d'achat, un bureau APW et bien d'autres, réunis tous dans un bâtiment nommé X. De plus, Renault Tanger a consacré une grande surface au centre de formation qui s'occupe de l'intégration des nouveaux recrutés et de la formation des employés selon le besoin des postes de travail.

Contrairement à la SOMACA qui reçoit toutes les parties du véhicule et a pour fonction principale le montage, la production d'un véhicule au sein de Renault Tanger se fait à travers la succession de centaines d'opérations réparties dans divers départements dont le montage devient la phase finale. De plus, pour une fiabilisation du produit, les véhicules doivent être

d'une performance et d'une qualité très élevées. Dans ce sens, après le passage par les différents départements, le contrôle qualité permet de satisfaire les attentes du client et le plus important assurer sa sécurité.

1) Emboutissage :

A l'emboutissage, point de départ du processus, la matière première arrive sous forme de bobines d'acier. Celles-ci sont déroulées puis coupées et frappées pour obtenir des pièces embouties. En effet, les bobines de tôles sont livrées à l'emboutissage par voie ferrée ou par camion avant d'être découpées en flancs puis passent sur une ligne de presses pour être embouties, détournées poinçonnées et calibrées. A la suite de ces opérations, les pièces sont prêtes à être utilisées en tôlerie en tant que composants de la caisse (cotes de caisse...).



2) Tôlerie :

La tôlerie a pour rôle d'assembler les pièces embouties pour former la carrosserie de la caisse. Il y a deux types de pièces; celles en tôle comme: les basses roulantes, les côtés de caisse, les pavillons, les portes, les portes de coffres et les capots. Et celles en plastique comme les ailes. Cette opération se fait par plusieurs technologies de soudure. La carrosserie prend ainsi forme sur les lignes d'assemblage grâce à environ 5000 points de soudure dont la majorité est réalisée par robots.



3) Peinture :

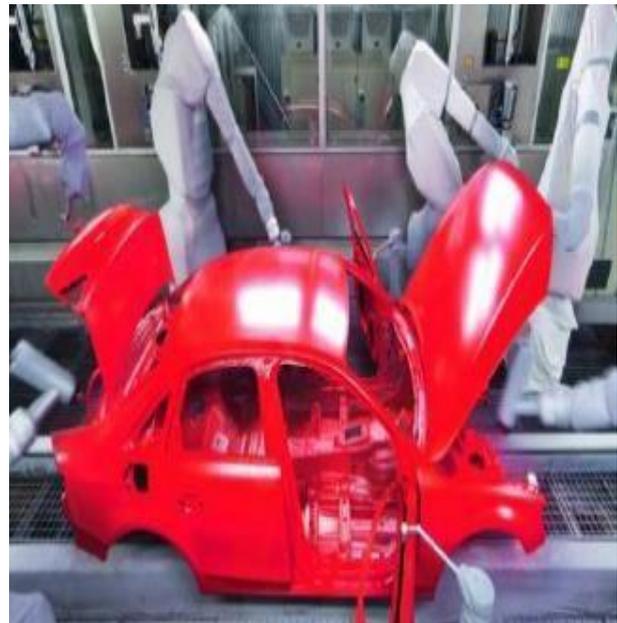
La peinture se fait dans un environnement clos où la caisse nettoyée passe dans différents bains protecteurs et subit plusieurs traitements avant de recevoir sa teinte définitive.

En Effet, le département Peinture a pour mission de protéger la caisse contre la corrosion et de lui donner son aspect final. Après le traitement anticorrosion par immersion, le mastic est appliqué sur les jonctions de tôle. Une couche d'apprêt, de base colorée et de Vernis est appliquée sur la caisse afin d'obtenir sa teinte avant l'injection de la cire dans les corps creux.



4) Montage :

Le montage est la dernière étape du processus de fabrication dans lequel la caisse peinte reçoit ses composants intérieurs et son groupe motopropulseur. Tous les éléments mécaniques sont assemblés lors de cette étape, en plus de la miroiterie, le poste de conduite et de l'habillage intérieur. En parallèle, des ateliers de préparation permettent l'assemblage des sous éléments, Comme les châssis et les roues. La finition et les retouches sont réalisées lors de cette dernière phase.



II. PRESENTATION DU DEPARTEMENT PEINTURE :

Le département Peinture représente la troisième étape du processus de la fabrication de la voiture, après l'emboutissage et la tôlerie. Il a pour mission d'effectuer des opérations de protection anticorrosion, d'étanchéité et de peinture de la caisse, dans le respect des objectifs

de performance, sécurité, qualité, coût et délai. La caisse passe dans le département par six étapes principales avant d'être livrée au montage.

1. Tunnel de Traitement de surface (TTS) :

a) Phase de pré-phosphatation

Cette phase comporte plusieurs stades, elle consiste en la préparation de la tôle pour accepter la couche de phosphatation.

b) Phase de phosphatation

Ce procédé consiste à recouvrir la tôle d'une couche de phosphate assurant une très bonne tenue à la corrosion.

c) Phase post-phosphatation

Elle se déroule en trois stades : le rinçage, la passivation et le rinçage final, permettant ainsi l'uniformité de la couche de phosphatation déposée sur la surface métallique.

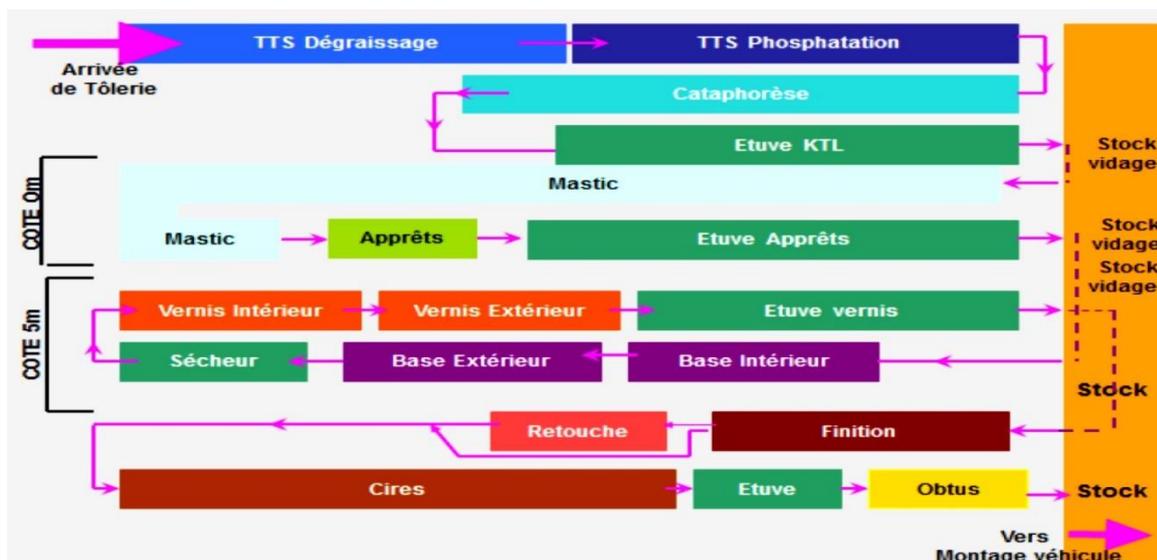


Figure 8 : flux de la caisse dans le département peinture.

2. Cataphorèse :

Il s'agit de déposer sur la caisse par immersion totale une couche de peinture organique. La solution d'immersion est une solution aqueuse contenant des micelles de peinture électro-déposable sous l'effet d'un champ électrique. La caisse immergée est attachée à une cathode, la résine utilisée est une résine cationique d'où l'appellation **CATAPHORESE**.

3. Mastic :

Le masticage est réalisé pour renforcer les soudures entre les différents organes de la caisse. Il permet de conférer à la caisse des qualités d'anti-bruit et d'étanchéité, tout en empêchant les fuites et la corrosion.

4. A.B.V :

a. Apprêt

L'apprêt est une couche de substance qui protège la surface de la tôle de toute attaque par corrosion. Elle consiste en l'application d'une peinture intermédiaire d'épaisseur suffisante dans le but de :

- Assurer le garnissage nécessaire pour éliminer les défauts d'aspect de surface.
- Favoriser la protection anti-gravillonnage.

b. Base

C'est la couche de peinture de la caisse. On applique une base (teinte colorée) pour lui procurer la couleur désignée par le client.

c. Vernis

Le vernis est la couche qui forme la dernière interface avec l'environnement. Il comporte la plus grande part de performance technologique et doit être capable de résister aux conditions météorologiques, aux pluies acides, aux déjections d'oiseaux, à l'abrasion, aux lavages et rouleaux automatiques.

5. Finition :

Après séchage de la cire dans un four électrique, la caisse est acheminée vers la dernière opération avant sa livraison au service montage.



Figure 9 : différents couche de la peinture

6. Cire :

Dans cette phase, après avoir appliqué une base (teinte colorée) sur la partie superficielle apparente de la voiture par la couleur désignée par le client, on utilise la cire dans les corps creux de la caisse.

On peut distinguer entre plusieurs étapes :

- ✓ Montage stripping.
- ✓ Injection sous caisse.
- ✓ Injection intérieur.
- ✓ Obturateurs.

Tout de suite après, la caisse est stockée dans le transstockeur (qui est un tunnel de stockage entre deux départements peinture et montage, direction vers le département montage).

Chapitre III:

Analyse fonctionnelle de projet

Introduction :

Ce chapitre est introduit par la définition du cadre général du projet. Il dévoile par la suite la problématique, identifie les objectifs de ce travail et présente la procédure suivie pour sa réalisation.

I. Initiation à la méthode DMAIC :

Le DMAIC (Define, Measure, Analyse, Improve, Control) est destiné à cadrer la résolution de problèmes et l'amélioration des produits et services dans les organisations. Il est composé de cinq étapes ordonnancées selon une logique qui peut sembler de bon sens, un peu à la manière de certaines formes de médecines qui vont chercher à connaître la cause des symptômes pour apporter au patient un remède plus efficace et durable contre la maladie, le DMAIC vise à fournir un diagnostic approfondi des problèmes rencontrés dans les organisations avant de les résoudre. C'est pourquoi le problème doit être soigneusement décrit avant d'être quantifié, les causes profondes clairement identifiées pour que les solutions développées en phase d'amélioration s'attaquent à la racine du problème. Les 5 étapes de cette démarche sont comme suit :



Figure 10 : Démarche DMAIC

Etape 01 : Définition du cadre général de projet.

Cette étape permet de définir le périmètre et le jalonnement du projet, les résultats attendus ainsi que les ressources nécessaires.

1. Définition de la problématique :

La méthode QQQQCP permet sur toutes les dimensions du problème d'analyser une activité, décrire une situation en adoptant une attitude interrogative systématique en posant les questions :

Qui ? Quoi ? Où ? Quand ? Comment ? Chaque réponse à chacune de ces questions peut être soumise à l'interrogation supplémentaire : Pourquoi ? Ces questions élémentaires sont très commodes pour mettre de l'ordre dans les idées. Elles sont utilisées à différents moments dans la démarche de résolution de problème :

- Pour poser un problème.
- Pour rassembler des informations et les mettre en forme.
- Pour chercher des idées de causes possibles, de solutions possibles.
- Pour préparer un plan d'action.

Dans le cadre de notre projet, la direction de la GATM au sein de département peinture souhaite augmenter la productivité en diminuant le manque des outils au niveau de la chaîne de fabrication.

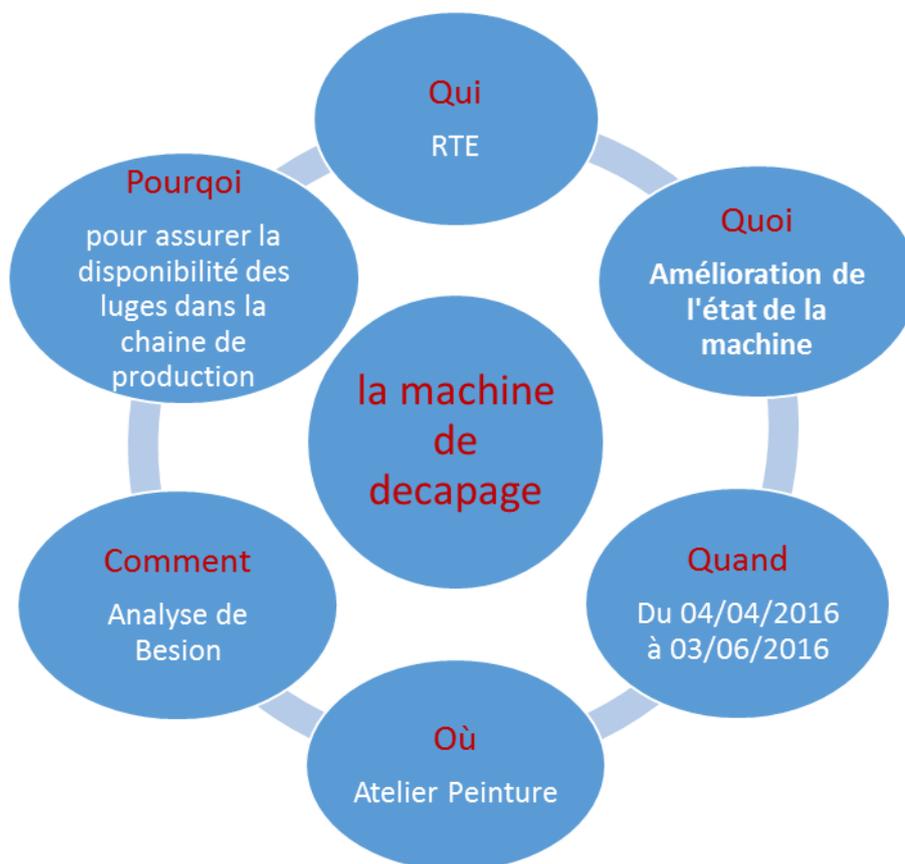


Figure 11 : Méthode QQQQCP

C'est quoi le problème de la machine :

Actuellement, l'usine Renault Tanger Exploitation est toujours en phase 'projet', plusieurs services ne sont pas encore arrivés à la productivité souhaitée. Précisément dans le département peinture, le processus connaît une multitude de problèmes interconnectés engendrant souvent des blocages de la chaîne de production. Sachant que dans l'industrie automobile généralement, et à Renault Tanger précisément, un arrêt ou bien une saturation dans la chaîne de fabrication coûte des millions d'Euros si on multiplie ce temps perdu par la cadence de production journalière, hebdomadaire, mensuelle ou annuelle.

De plus, selon les standards pris en charge au niveau de l'ordonnancement de la production de Renault Tanger, un arrêt de plus d'une heure dans n'importe quel poste de la chaîne implique le blocage de toute la chaîne de production. Autrement dit, si c'est le cas, on aurait un arrêt dans tous les départements de fabrication de l'usine : L'Emboutissage, la Tôlerie, la Peinture, le Montage et les sous-ensembles.

Un manque au niveau des outils qu'utilise l'usine au niveau du département peinture peut être considéré comme un arrêt grave et peut engendrer un blocage au niveau de la production.

Ce manque ne peut être dû qu'au fait que la machine de décapage ne soit pas fiable, ou dans le cas de pannes fréquentes.

2. Les contraintes du projet :

Tableau 1 : les contraintes de projet.

Type de contrainte	exemple	Action mise en œuvre
Contraintes économiques	Mains d'œuvre (opérateur, technicien...) pièces de rechanges	Consulter les gens de maintenance.
Contraintes techniques	Les risques des produits chimiques. La mise en route de l'installation. Arrêt de la machine (machine critique).	Porter les EPI

Autre contraintes.	La contrainte du temps (2 mois d'études). Recherche de donnée	Contact des anciens étudiants.
--------------------	--	--------------------------------

3. Cahier de charge :

L'amélioration de la qualité et des processus de travail, dans une entreprise demande une réflexion associant de la direction et l'ensemble du personnel afin de définir des objectifs qualités atteignables et acceptées de tous. Au niveau de RENAULT TANGER EXPLOIATION l'augmentation de la cadence est une des orientations et objectifs exprimés par la direction. En effet, notre projet de fin d'étude « amélioration de l'état d'une machine de décapage des luges » sera développé à ce niveau.

Dans ce cadre, nous sommes affectés au département peinture où plusieurs contraintes se présentent et des difficultés qui retardent l'amélioration de la cadence, dont l'une est le manque d'outillage propre pour la peinture des caisses, alors que notre mission sera l'amélioration d'une machine de décapage qui va assurer le satisfait du besoin d'outillage donc notre but consiste à :

- ✓ Améliorer l'état de la machine de décapage.
- ✓ Etudier la fiabilité de la machine de décapage.
- ✓ Faire une AMDEC comme outil de performance au niveau de la machine.
- ✓ Augmenter le TRS à 65%.

4. Délai & Planning du projet :

En ce concerne le planning du projet, nous avons eu recours à Ms Project, étant un outil permettant de modéliser la planification de tâches nécessaires à la réalisation d'un projet sous forme d'un diagramme de GANTT.

	i	Mode Tâche	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin
5			validation technique du sujet	1 jour	Mer 13/04/16	Mer 13/04/16
6			Problématique	1 jour	Jeu 14/04/16	Jeu 14/04/16
7			collecte de données et analyse de l'existant	5 jours	Ven 15/04/16	Jeu 21/04/16
8			verification et validation des données traités	1 jour	Ven 22/04/16	Ven 22/04/16
9			rédaction de cahier de charges	2 jours	Lun 25/04/16	Mar 26/04/16
10			changement de l'automate programable	1 jour	Mer 27/04/16	Mer 27/04/16
11			conexion de l'automate avec l'afficheur	1 jour	Jeu 28/04/16	Jeu 28/04/16
12			detection et analyse des pannes fréquentes	13 jours	Ven 29/04/16	Mar 17/05/16
13			cablage de l'armoire	3 jours	Mer 18/05/16	Ven 20/05/16
14			constat d'obtention de performance	2 jours	Lun 23/05/16	Mar 24/05/16
15			finalisation de rapport de PFE	4 jours	Mer 25/05/16	Lun 30/05/16

Figure 12: planning du projet.

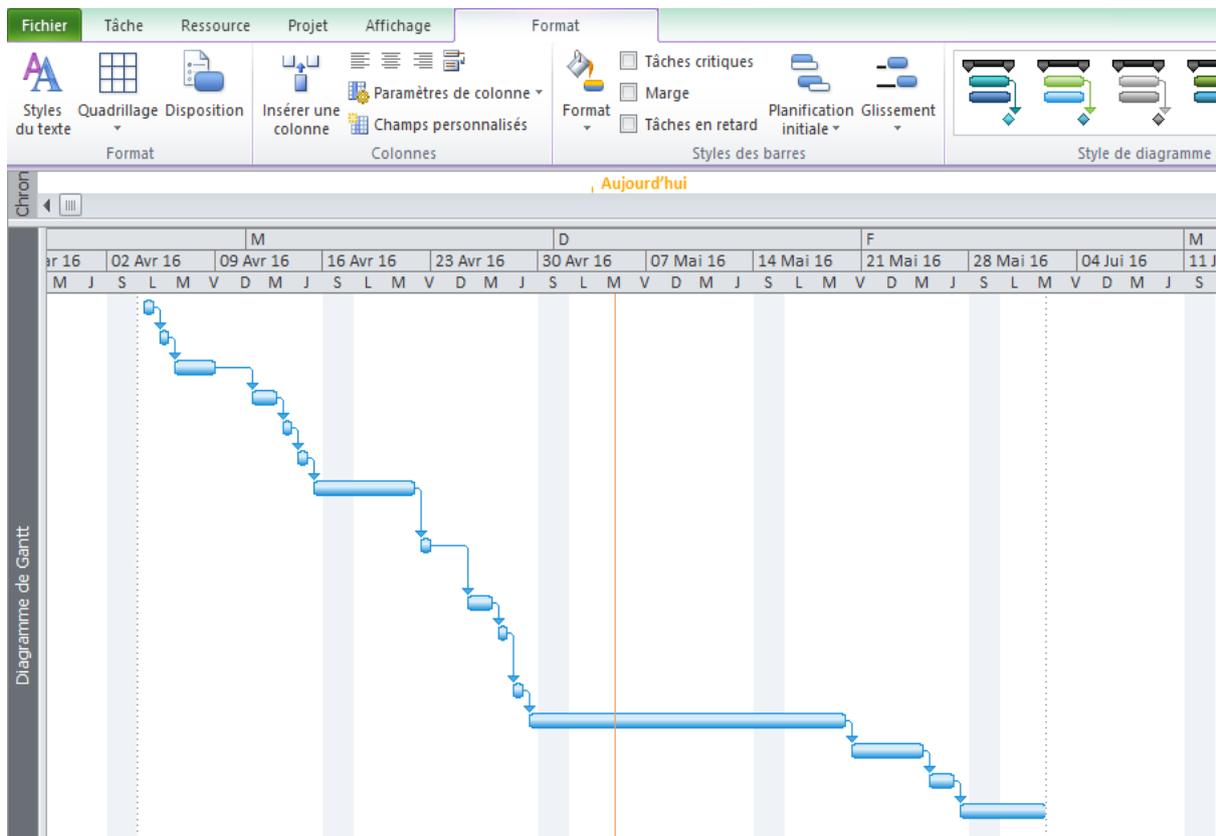


Figure 13: Diagramme de GANTT.

Etape 02 : Mesure de taux de rendement synthétique.

Cette phase consiste à collecter les données et mesurer la performance du processus et sa variabilité. La mesure et la collecte des données doivent se faire de manière critique pour obtenir des résultats fiables.

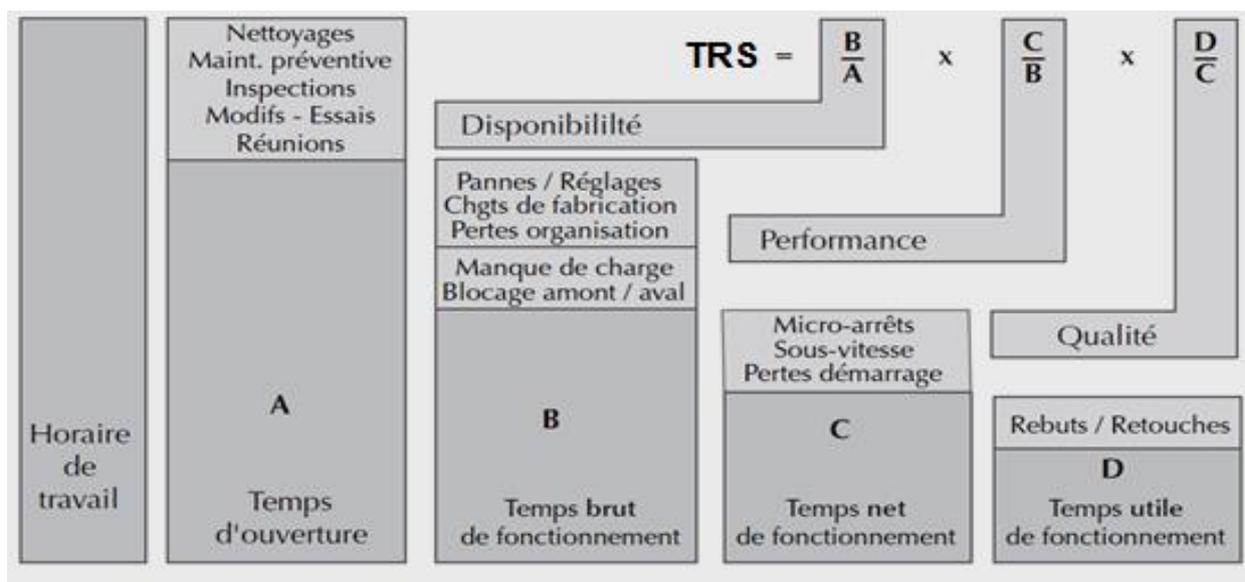
1. Généralité :

Le TRS est l'un des indicateurs les plus utilisés dans les ateliers de production pour évaluer le niveau de performance de TPM. Il est le produit de 3 taux :

- Le taux de disponibilité (TD) : qui mesure le temps durant lequel l'équipement fonctionne.
- Le taux de performance (TP) : qui prend en compte le fonctionnement dans des conditions de performances anormales.
- Le taux de qualité (TQ) : qui correspond à la quantité bonne des pièces produites.

L'objectif de TRS peut être défini comme suit :

- Augmenter la capacité nette des équipements de production.
- Réduire les coûts de revient.
- Développer l'activité.



2. Méthode de calcul :

Figure 14: Taux de rendement synthétique

Avant de donner la formule de calcul de TRS, on va d'abord définir les temps qui entrent dans le calcul de TRS.

Temps d'ouverture: Est une partie du temps total correspondant à l'aptitude des horaires de travail du moyen de production et incluant les temps d'arrêt de désengagement du moyen de production.

Temps requis: Est une partie du temps d'ouverture pendant lequel l'utilisateur engage son moyen de production avec la volonté de produire.

Temps brut de fonctionnement: Partie du temps requis pendant lequel le moyen de production produit des pièces bonnes et mauvaises dans le respect ou non du temps de cycle de référence.

Temps net : Partie du temps de fonctionnement pendant lequel le moyen de production produit des pièces bonnes et mauvaises dans le respect du temps de cycle de référence.

Temps utile : Partie du temps net correspondant au temps non mesurable obtenu en multipliant le nombre de pièces bonnes par le temps de cycle de référence.

3. Application :

D'après le suivi d'une semaine (5 jours de travail) on obtient les résultats suivants :

- Horaire de travail : $24 \times 5 = 120\text{h}$.
- Arrêt pour pause : $1 \times 5 = 5\text{h}$.
- Arrêt pour pannes : 2 fois 6h.
- Arrêt pour réglages : $0.5 \times 5 = 2.5\text{h}$.
- Arrêt pour préparation : $0.6 \times 5 = 3\text{h}$.
- Décapage hebdomadaire : 45 luges.
- Nombre de rebuts : 5 luges.
- Temps de cycle théorique : $120/60 = 2\text{h/pièce}$.
- Temps de cycle réel : $112/45 = 2.48\text{h/pièce}$.

On trouve :

$$A \text{ (Temps d'ouverture)} = 120 - (5 + 3) = 112\text{h}$$

- **B** = **A** - total des arrêts machine (pannes, changements d'outils, approvisionnements...).

$$B \text{ (Temps brut de fonctionnement)} = 112 - (2.5 + 12) = 97.5\text{h}$$

- **C = B** - pertes de performances = différence entre cadence théorique et cadence réelle due aux arrêts mineurs.

$$C \text{ (Temps net de fonctionnement)} = 5 \times 9 \times 2 = 90\text{h}$$

- **D = C** - pertes de qualité : non qualité pendant le fonctionnement, réglages, Essais, démarrage.

$$D \text{ (Temps utile de fonctionnement)} = (9-1) \times 5 = 40\text{h}$$

Or on a :

$$\text{❖ Taux de disponibilité : } \frac{B}{A} = \frac{97.5}{112} = 0.87$$

$$\text{❖ Taux de performance : } \frac{C}{B} = \frac{90}{97.5} = 0.92$$

$$\text{❖ Taux de Qualité : } \frac{D}{C} = \frac{40}{90} = 0.44$$

Donc le **TRS** est :

$$\begin{aligned} \text{TRS} &= \frac{B}{A} \times \frac{C}{B} \times \frac{D}{C} \\ &= 0.87 \times 0.92 \times 0.44 \end{aligned}$$

$$\text{TRS} = 35\%$$

4. Interprétation :

D'après le résultat obtenu ci-dessus, il apparaît que l'indicateur TRS, n'a pas dépassé en moyenne 40% durant la période considérée. Cette décadence est due apparemment à l'état dégradant du taux de disponibilité de la machine de décapage, de sa performance, aussi de la qualité des luges décapé. Pour cela notre objectif était de faire une étude technique par la méthode AMDEC pour définir et éliminer les causes principales de ce problème afin d'améliorer par la suite le niveau du TRS.

Chapitre IV:

Etude technique par la méthode AMDEC

Introduction

Ce chapitre consiste à faire des analyses basées sur des outils statistiques et analytiques pour déterminer les causes profondes du problème étudié.

Etape 03 : Analyse par la méthode AMDEC.

1. Initialisation

1.1 Description de la machine de décapage.

A. Décapage :

Le décapage est un procédé qui consiste à éliminer une couche de matière déposée (volontairement ou non) sur la surface d'une autre matière (appelée le substrat).

B. Machine de Décapage :

Ces machines ont été construites en pensant aux clients qui doivent procéder au lavage de pièces présentant une grande variété de formes et de dimensions. La cabine de lavage peut effectuer un lavage dégraissant chaud, un rinçage et un séchage à l'air chaud. Tous les temps des différents stades peuvent être programmés depuis le panneau opérateur.



Figure 15: machine de décapage

1.2 Synoptique de la machine de décapage :

Un **synoptique** de notre machine désigne une présentation graphique, qui permet de saisir d'un seul coup d'œil un ensemble d'informations liées à cette machine.

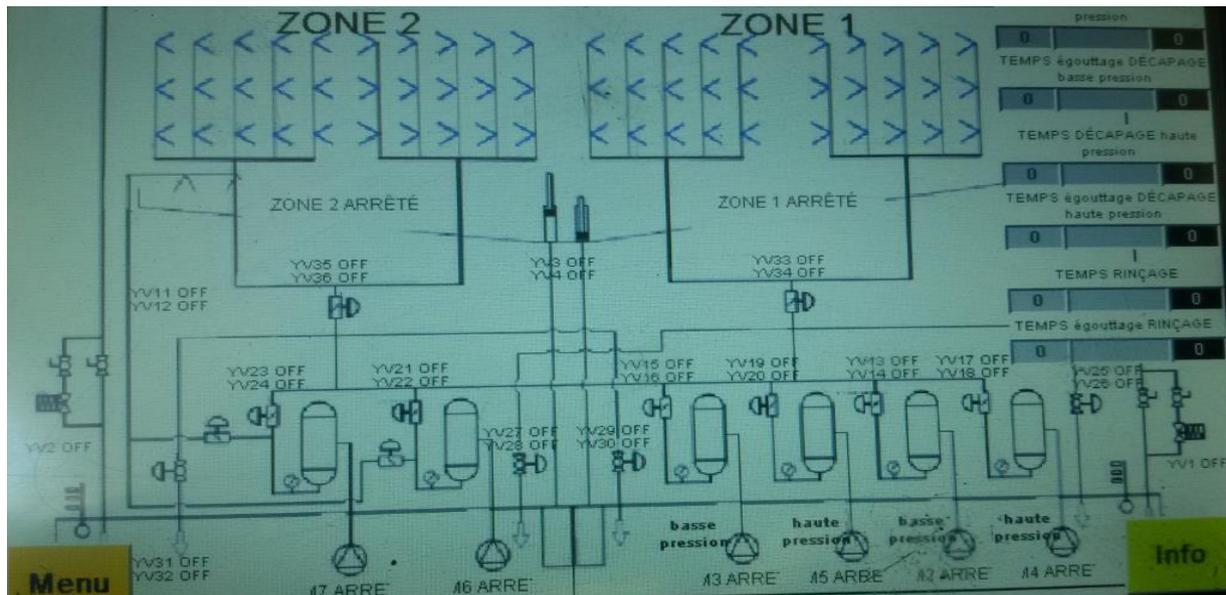
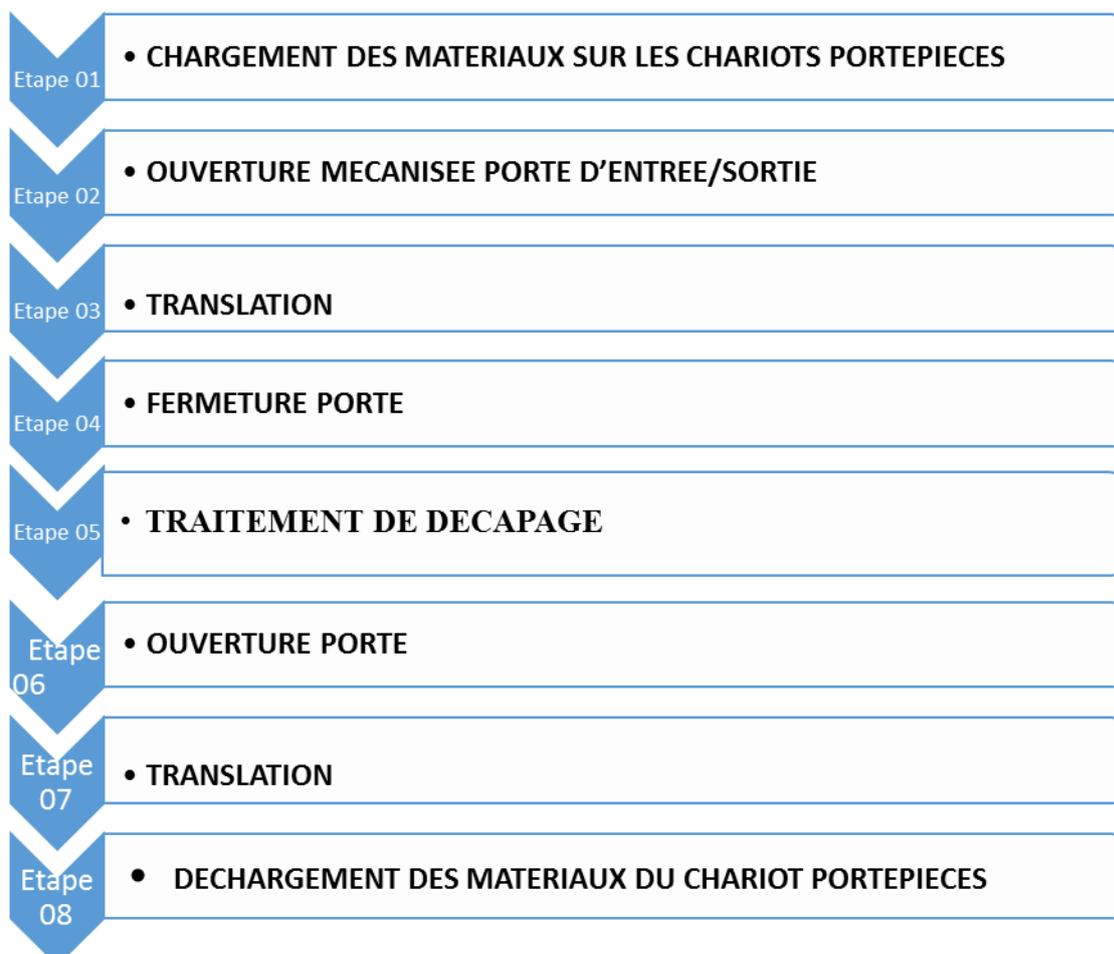


Figure 16: schéma synoptique de GMD.



1.3 Principe de fonctionnement :

Figure 17 : schéma de fonctionnement de la machine de décapage.

1.4 Définition des objectifs :

- Réduire le nombre des défaillances
- Prévention des défaillances.
- Améliorer la maintenance préventive.
- Réduire les temps d'indisponibilité.
- Améliorer la maintenance corrective.
- Améliorer la sécurité.

2. Identification des équipements :

Les différents composants, équipements et outillages qui existent dans l'installation de la machine doivent être traités et identifiés pour assurer le bon fonctionnement, faciliter les tâches de travail ...etc.

D'après l'analyse et les recherches dans la documentation de la machine on a arrivé à citer les équipements suivant :

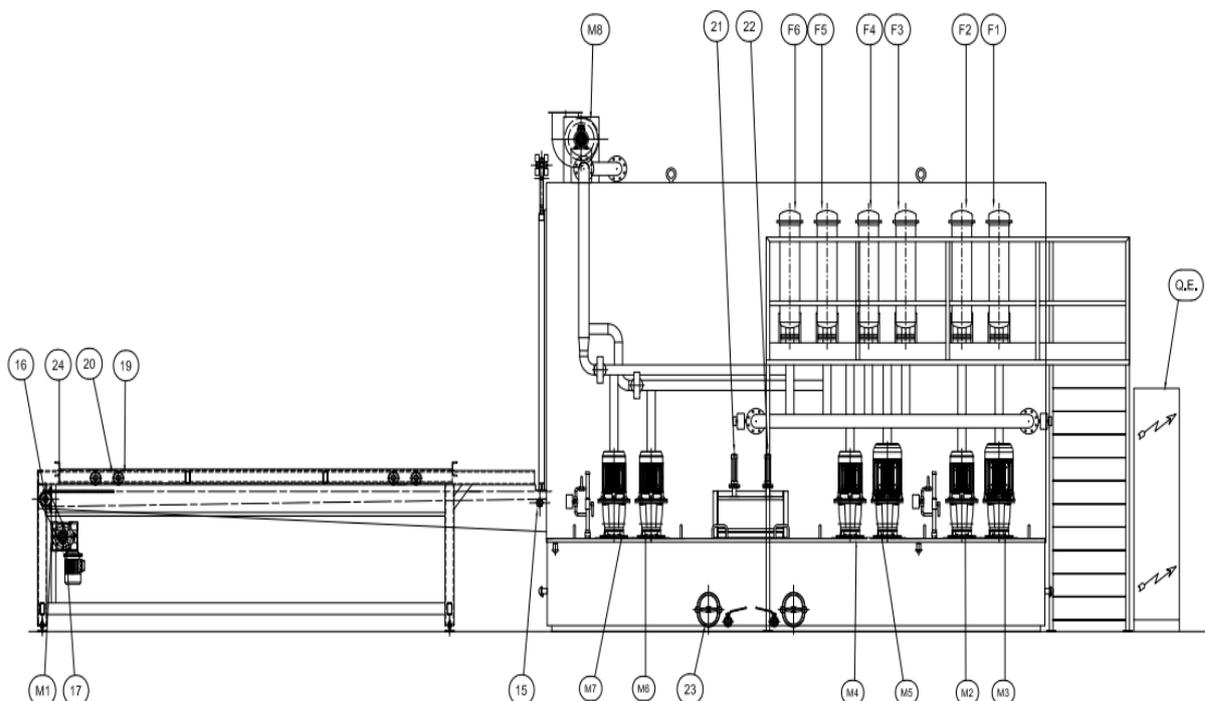


Figure 18: Dessin de fonction de GMD.

Tableau 2 : les équipements de la machine

Numéro	Designation	photo
Q.E	Armoire électrique	
24	chaine <ul style="list-style-type: none"> – Longueur 2*3m – Matière : suite de plusieurs barres de Fer. 	
23	Porte d'inspection	
22	Cylindre pneumatique décapage	
21	Cylindre pneumatique rinçage	
20	Palier radiale	
19	Roue	
17	pignon	
16		

15	Tenditeur	
F6	Filtre pour pompe de rinçage	
F5		
F4	Filtre pour pompe de décapage	
F3		
F2		
F1		
M8	Ventilateur centrifuge	
M7	Pompe de rinçage	
M6		
M5	Pompe de décapage	
M4		
M3		
M2		
M1	Motoréducteur	

3. Analyse AMDEC



La machine de décapage pose de problèmes au niveau de la maintenance. Pour cela on doit faire une analyse de tous les modes de défaillance possibles de cette machine et de remonter aux sources d'anomalies susceptibles de conduire à ces modes de défaillances, ainsi pour faciliter le diagnostic et aider par la suite à définir un plan d'action.

3.1 Evaluation :

L'évaluation se fait selon 3 critères principaux :

La gravité:

Elle exprime l'importance de l'effet sur la qualité du produit

Note 1 : arrêt décapage inférieur à 1 heure

Note 2 : arrêt décapage inférieur à 4 heures

Note 3 : arrêt décapage inférieur à 1 jour

note 4 : arrêt décapage supérieur à 1 jour

La fréquence:

On estime la période à laquelle la défaillance est susceptible de se reproduire

Note 1 : moins d'une fois par an

Note 2 : moins d'une fois par mois

Note 3 : moins d'une fois par semaine

Note 4 : plus d'une fois par semaine

La non-détection:

Elle exprime l'efficacité du système permettant de détecter le problème

Note 1 : détection efficace permettant une action préventive

Note 2 : système présentant des risques de non-détection dans certains cas

Note 3 : système de détection peu fiable

Note 4 : aucune détection

Tableau 3 : AMDEC de la machine de décapage et actions proposées

Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Armoire électrique	Commande électrique	Grillage	Court-circuit	Arrêt de système	visuel	2	4	3	24	PR : composantes électrique
Porte d'inspection	Stabilisation de la température a l'intérieur de la GMD	Blocage de porte	frottement	Augmentation de la durée de décapage	visuel	3	2	3	18	PR : vérins
Filtres	Etanchéité du Système	Blocage du système	Dépassement de niveau	Explosion	visuel	1	4	2	9	Nettoyage
Résistances	Echauffement	Grillage	usure	Fonctionnement non normal	Control	2	3	2	12	Vérification des paramètres et précaution d'emploi.
Ventilateur centrifuge	Aspiration	Fuit d'air	Dégradation	Pollution	visuel	1	3	2	6	PR : changement de joint
Pompes	Aspiration de fluide	Refoulement de la pompe	Roulements défectueux	Mauvais manipulation du produit	Control	2	4	2	16	PR : clapet
moteur	Translation du chariot	Arrêt du moteur	Coincement	Arrêt du mouvement	Visuel	2	2	2	8	MP



Les roues	Faire tourner la chaîne	Dégradation	Frottement	Ralentissement de la chaîne	Visuel	1	3	1	3	MP
-----------	-------------------------	-------------	------------	-----------------------------	--------	---	---	---	----------	----

Le tableau AMDEC (Tableau 3) regroupe les différents modes de défaillances avec ses causes et ses effets, les valeurs de la fréquence d'apparition de panne sa gravité, sa probabilité de détection et sa criticité ainsi que les actions pour diminuer le niveau de criticité de chaque combinaison (cause, mode et effet)

4.

Synthèse :

4.1 Classification des éléments critiques :

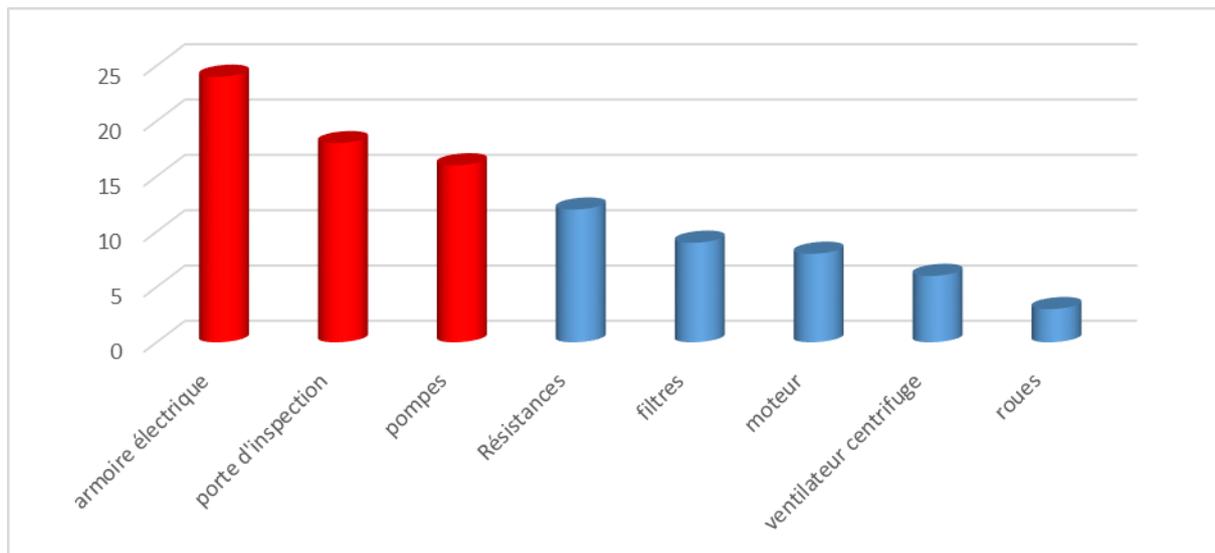


Figure 19: Evolution de criticité de GMD.

4.2 Interprétation :

Nous remarquons d'après le diagramme de l'évolution de criticité que l'élément le plus critique est l'armoire électrique qui représente 24% de la totalité des arrêts. Et donc toute défaillance au niveau de l'armoire peut engendrer des pertes considérables d'énergie. Ainsi d'autres arrêts qui ont eu lieu au niveau des autres équipements tel que la porte d'inspection avec un pourcentage de 18% et les pompes avec un pourcentage de 16%. Nous remarquons aussi des arrêts au niveau des autres équipements avec des pourcentages négligeables par rapport à ceux cités, mais qui doivent aussi être pris en compte lors de l'élaboration du plan d'action.

Etape 04 : Amélioration de la machine de décapage.

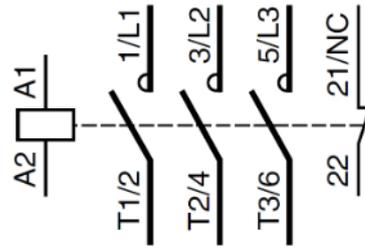
1. Armoire électrique :

1.1 Remplacement des composants électriques :

- ❖ **Contacteur** : Un contacteur est un appareil électrotechnique destiné à établir ou interrompre le passage du courant, à partir d'une commande électrique ou pneumatique.



Contacteur



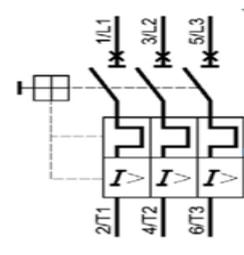
Symbole

- ❖ **Disjoncteur** : Le disjoncteur est un appareil électromagnétique capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants.

Pour choisir le disjoncteur convenable pour notre machine, on choisit selon le pouvoir de coupure, pour cela il faut connaître d'abord la tension et le courant de fonctionnement



Disjoncteur



Symbole

- ❖ **Sectionneur** : Le sectionneur est un appareil de connexion qui permet d'isoler un circuit pour effectuer des opérations de maintenance, de dépannage ou de modification sur les circuits électriques



1.2 Séparation de la partie électrique de la partie pneumatique:

D'après un entretien avec les gens de maintenance nous avons constaté que les fuites d'air de la partie pneumatique (Haut pression) provoquent des anomalies au niveau de l'emplacement des composants électriques, pour cela on a proposé la décomposition de l'armoire électrique en deux petits blocs indépendants pour éviter les risques d'incendie.

Partie électrique

Partie pneumatique



1.3 Changement de l'automate programmable :

L'automate programmable de type vipa speed7 est une automate de la machine fournie par le fournisseur or d'après notre étude dans l'entreprise nous avons constaté que la plus part des machines sont programmés avec des automates de types siemens donc pour standariser le travail des automaticiens nous avons proposé le changement de de vipa speed7 par siemens qui est programmé par step7.

type	réf	photo
SIEMENS	S7300	
VIPA SPEED7	CPU 313 SC	

1.4 Insertion de IHM avec l'automate programmable:

Taille	5,7"
Moyen de commande	Ecran tactile
Processeur	RISC 32 bits
Type	Flash / RAM
Mémoire disponible pour données utilisateur	2048 Ko de mémoire utile pour données utilisateur
Interfaces	2 x RS232, 1 x RS422, 1 x RS485 (max. 12 Mbit/s)
Nombre d'interfaces RS 485	1
Vitesse de transmission, maxi	12 Mbit/s
Interface USB	1 x USB



L'objectif de notre IHM (interface homme machine) est de faciliter la communication de l'opérateur avec la machine de décapage.

2. Porte d'inspection :

D'après l'étude on a constaté que le blocage de la porte est l'un des causes qui entraîne une perte de temps dans le décapage des luges, pour cette raison on a proposé :

- a) Un changement de vérins

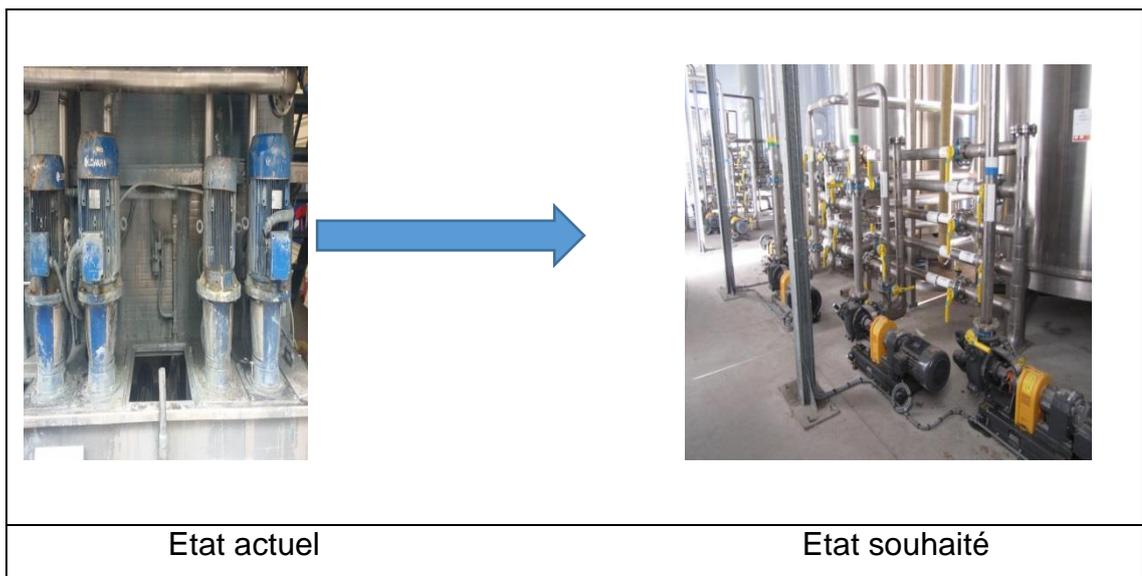
b) Mettre un capteur tout ou rien

3. Pompe :

L'utilisation d'un type de pompes ou d'un autre dépend des conditions d'écoulement du fluide. Dans notre cas pour assurer le bon décapage des luges il faut augmenter la pression du produit utilisé par la machine (attotech 4001) pour cela nous avons proposé à l'usine de changer les pompes centrifuges par des pompes volumétriques.

Avantages

- Construction robuste
- Pompage possible de liquide très visqueux
- Rendement élevé
- Amorçage automatique en fonctionnement normal
- Obtention de faibles débits facile à mesurer sous pression élevée



Etape 05 : Contrôle avec le Système du suivi des moyens de production

Cette phase consiste à contrôler les pannes récurrentes et procéder par la suite à les corriger ou du moins réduire leurs effets, c'est pour cette raison que nous avons proposée au département peinture à mettre en application un SMP.

1. Système du suivi des moyens de production :

SMP est un système d'information composé de différents matériels et logiciels qui assurent un dialogue entre les moyens de production et les exploitants. Le système permet de mesurer la performance des moyens, d'informer les exploitants des résultats obtenus, de

surveiller les moyens de production et de suivre l'évolution de la performance des installations. Le Suivi des Moyens de Production s'inscrit dans le cadre du MPM (Management de la Performance des Moyens).

Pour nous, l'efficacité du système SMP se voit importante dans la détection des pannes. Ces pannes peuvent être de différentes natures ; à savoir celles liées aux dysfonctionnements de la machine ou celles provenant d'un acte organisationnel par l'opérateur présent sur la ligne de production. Il permet alors de nous renseigner sur la partie touchée par la panne pour mieux reconnaître l'origine du défaut, la durée et la date à laquelle il est survenu ainsi que d'autres détails

2. Objectifs du SMP

- Surveiller en temps réel l'état des installations;
- Proposer des actions d'amélioration et de fiabilisation ;
- Optimiser les moyens de production (fiabilité, capacité..) ;
- Constituer une source d'informations sur les moyens de production pour améliorer la performance de l'exploitation (diminution des coûts d'exploitation) et pour accroître les performances des futurs moyens.

3. Fonctions du SMP :

La disponibilité, la réactivité, la visibilité et la traçabilité sont les différentes fonctions du système SMP afin de traiter et piloter les informations de fonctionnement d'un moyen de production.

Visibilité : Permet d'informer et de visualiser en temps réel l'état de fonctionnement des installations.

Disponibilité : Permet de mesurer les temps d'arrêts, d'identifier et analyser la performance et le non performance d'un moyen de production.

Traçabilité : Permet de conserver et archiver sur une courte période (1 à 2 semaines), les événements élémentaires d'un module, d'une zone ou d'une installation.

Réactivité : Permet de détecter les arrêts de l'installation ou les seuils d'encours minimum et alerter le personnel adéquat.

Conclusion générale

Le travail que nous avons réalisé dans le cadre de ce Projet de Fin d'Etudes nous a été très bénéfique.

En effet, il nous a permis d'une part de nous intégrer dans le milieu industriel, et d'autre part d'établir des relations avec les professionnels confirmés dans le domaine d'automobile.

Dans ce projet nous avons mené une étude AMDEC sur une machine qui permet le décapage des luges utilisés pour caler les caisses pendant la peinture dans le but de dégager un plan d'actions qui vise à diminuer la criticité de ces composants les plus défaillants. Ensuite pour assurer le contrôle permanent de ces composants nous avons proposé au département peinture d'intégrer le SMP.

Dans notre stage technique « Amélioration de l'état d'une machine décapage des luges » nous avons eu l'occasion d'exploiter un ensemble d'outils à savoir l'analyse par la méthode AMDEC, la démarche DMAIC et le calcul du taux de rendement synthétique afin de réussir notre mission.

Ainsi, nous avons proposé des solutions afin de réduire les pannes et d'améliorer l'efficacité de la machine.

Finalement, nous considérons notre stage comme un apport totalement bénéfique sur les plans humains et techniques car il nous a permis de vivre les problèmes réels de l'industrie tels qu'ils sont posés.

Bibliographie

Mr Chafai, FST Fès : cours de maintenance.

Documentation technique de la machine fournie par RTE

<http://www.isetn.rnu.tn/fr/images/documents/cours/inst.pdf>

<http://christophe.boutry.pagesperso->

orange.fr/Site/Cours_files/technologie%20des%20pompes.pdf

<http://www.manager-go.com/management-de-la-qualite/methode-dmaic.htm>

<http://cirta.fr/wp-content/uploads/2013/10/04-M%C3%A9thode-AMDEC.pdf>

<http://www.codeart.org/pdf/dossier/technique-de-cablage-des-coffrets-electriques-pour-les-machines-industrielles>