

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ D'EL OUED

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE



Département de Génie Mécanique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

Pour l'obtention du diplôme de licence LMD

Spécialité : Génie mécanique

Option : Maintenance des équipements industriels

Thème :

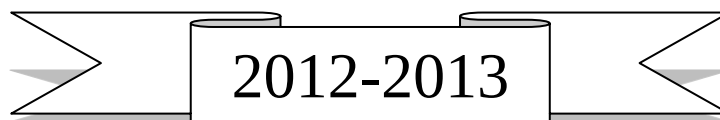
Etude et maintenance de la tour mobile du système de pivot d'irrigation par aspersion

Réalisé par :

- TEDJANI Med Bachir
- MATOUG Aissa
- MINIAI Abdelbasset

Encadreur :

GUERRAH Ayoub



DÉDICACE

À nos parents,

À nos familles,

À nos amis.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, notre créateur de nous avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur qui a proposé le thème de ce mémoire, aussi pour ses conseils et ses orientations.

Nous avons également l'honneur de remercier l'Administration du Département de Mécanique d'avoir facilité le processus de sélection du mémoire et de l'encadreur, ainsi que de l'organisation et la bonne coordination.

Un grand merci est adressé aux examinateurs d'avoir accepté la lecture et l'évaluation de notre mémoire.

Finalement, nous remercions tous ceux qui ont participé à réaliser ce mémoire.

Tableau des matières

Index des figures.....	i
Introduction générale.....	1

Chapitre I : Description et présentation du système

I.1. Introduction.....	2
I.2 Divers éléments matériels constituant une rampe pivotante	4
I.2.1 Unité centrale	5
I.2.2 Travées:	5
I.2.3 Tours	7
I.2.4 Réducteur	8
I.2.5 Motoréducteur	9
I.2.6 Porte-à-faux.....	10
I.2.7 Articulation des canalisations entre les travées.....	11
I.3 Caractéristiques Mécaniques.....	12
I.3.1 Matériau	12
I.3.2 Sections	12
I.4 Fonctionnement.....	13
I.4.1 Arrosage	13
I.4.2 Avancement des rampes pivotantes	13
I.5 Caractéristiques de pivot ANABIB.....	15

Chapitre II : Modélisation de la structure et des chargements

II.1. Actions mécaniques de base	16
II.1.1 Poids propre de la structure.....	16
II.1.2 Poids de l'eau contenue dans la canalisation.....	16
II.1.3 Les effet du vent	17
II.1.4 Efforts de ripage.....	18
II.1.5. Cas de charges	19
II.2. Critères de vérification.....	20
II.2.1 Hauteur libre sous travée	20
II.2.2 Résistance des sections	21
II.2.3 Critère de renversement	21
II.3 Comportement mécanique de la tour	22

II.3.1 Déformation de la tour mobile.....	22
II.3.2 Contrainte dans la tour mobile.....	23

Chapitre III : Généralité sur la maintenance

III.1. Concepts, Objectifs et Politiques de La Maintenance	24
III.1.1 Introduction	24
III.1.2 Définition de la Maintenance	25
III.1.3 Importance de la Maintenance dans L'entreprise	27
III.1.4 Objectifs de la Maintenance dans L'entreprise	28
III.1.4.1 Assurer la production prévue.....	29
III.1.4.2 Maintenir la qualité du produit fabriqué.....	29
III.1.4.3 Respecter les délais prévus	29
III.1.4.4 Recherche des coûts optima	29
III.1.4.5 Objectifs d'aspect humain.....	30
III.1.4.6 Préserver l'environnement.....	30
III.1.5 Politiques de la Maintenance dans L'entreprise	31
III.1.5.1 Définitions et Stratégies.....	31
III.1.5.2 Gestion et Groupes de Politiques.....	33
III.1.5.3 Choix des Objectifs	36
III.1.5.4 La Mise en Ouvre d'une Politique de Maintenance	37
III.2. Définitions, Méthodes et Opérations de la Maintenance.....	39
III.2.1 Introduction	39
III.2.2 Les Méthodes de Maintenance	40
III.2.2.1 La Maintenance Corrective	40
III.2.2.2 La Maintenance Préventive	40
III.2.3 Opérations De Maintenance	43
III.2.3.1 Operations De Maintenance Corrective.....	43
III.2.3.2 Opérations de Maintenance Préventive	46
III.2.4 Les Activités Connexes de la Maintenance	47
III.2.4.1 Les Travaux Neufs.....	47
III.2.4.2 La Sécurité.....	48
III.2.5 Autres Formes et Méthodes de Maintenance.....	48
III.2.5.1 La Maintenance D'amélioration.....	48
III.2.5.2 La Total Productive Maintenance (T.P.M.).....	49
III.2.5.3 La Maintenance Basée Sur La Fiabilité (M.B.F.).....	50
III.2.6 Les Niveaux de Maintenance	52

III.2.7 Organisation Technique des Travaux de Maintenance	54
III.3.7.1 Organisation d'une Action de Maintenance Corrective	54
III.2.7.2 Organisation d'une Action de Maintenance Préventive	55
III.2.8 Les Systèmes Experts	58

Chapitre IV : Maintenance de la tour mobil de pivot d'irrigation

IV.1 Maintenance des réducteurs	60
IV.1.1 Contrôle et entretien	60
IV.1.2 Travaux préliminaires pour le contrôle et l'entretien des réducteurs	60
IV.1.3 Intervalles de contrôle et d'entretien.....	61
IV.1.4 Travaux De Contrôle Et D'entretien Sur Les Adaptateurs AL / AM / AQ.....	62
IV.1.5 Travaux de contrôle et d'entretien sur le couvercle d'entrée AD.....	62
IV.1.6 Travaux de contrôle et d'entretien sur le réducteur	62
IV.1.6.1 Contrôle du niveau d'huile et vidange d'huile	62
IV.1.6.2 Réducteurs à engrenages cylindriques, réducteurs à arbres parallèles, réducteurs à couple conique et réducteurs à vis sans fin avec bouchon de niveau	64
IV.1.6.2 Réducteurs à engrenages cylindriques, réducteurs à arbres parallèles, réducteurs SPIROPLAN sans bouchon de niveau avec couvercle de montage.....	66
IV.1.6.2 Réducteurs à vis sans fin S37 sans bouchon de niveau et sans couvercle de montage	70
IV.1.6.2 SPIROPLAN W37 / W47 En Position De Montage M1, M2, M3, M5, M6, Avec Bouchon De Niveau.....	72
IV.1.6.2 SPIROPLAN W37 / W47 en position de montage M4, sans bouchon de niveau et sans couvercle de montage.....	74
IV.2 Protection anticorrosion et protection de surface pour les réducteurs et les motoréducteurs	77
IV.2.1 Généralités.....	77
IV.2.2 Protection anticorrosion KS	77
IV.2.3 Protection de surface OS	77
IV.2.4 Mesures de protection spéciales	79
IV.2.5 Noco-Fluid	79
IV.3 Corrosion et son effet sur les pivots d'irrigation	80
IV.3.1 Systèmes peintes	80
IV.3.2 Revêtements époxy	81
IV.3.3 Les aciers alliés	82
IV.3.4 Galvanisation.....	82
Conclusion générale.....	83
Références	84

Index des figures

Figure I.1	Rampe d'arrosage.	02
Figure I.2	Pivot Photo IRRAGRIS (à gauche), Rampes frontale (à droite).....	03
Figure I.3	Pivot d'infiltration.	03
Figure I.4	Schématisation d'une rampe pivotante.....	04
Figure I.5	Unité centrale. Photo IRRAGRIS	05
Figure I.6	Travées de rampes d'arrosage. Photo VALLEY	06
Figure I.7	Travée de rampes d'arrosage.	06
Figure I.8	Tour de travée. Photo IRRAGRIS (gauche). Schématisation des différents éléments d'une tour (droite).....	07
Figure I.9	Réducteur de pivot d'irrigation.....	08
Figure I.10	Motoréducteur de pivot d'irrigation.....	09
Figure I.11	Porte-à-faux de rampe d'irrigation. Photo ATLANTIS.	11
Figure I.12	Elément de liaison entre travée. Photo IRRAGRIS	11
Figure I.13	Canon d'extrémité.....	13
Figure I.14	Principe d'avancement d'une rampe pivotante.....	14
Figure I.15	Caractéristiques de pivot ANABIB.	15
Figure II.1	Représentation schématique de la modélisation de l'action du vent.	17
Figure II.2	Modélisation des efforts latéraux.....	19
Figure II.3	Organigramme récapitulatif des différents de cas de chargements à considérer	20
Figure II.4	Représentation schématique de la hauteur libre sous travée (Haut)	21
Figure II.5	Représentation schématique de la réaction du sol sur la roue au vent	22
Figure II.6	Déformation de la tour dans les cas de chargements 2 et 4.....	22
Figure II.7	Contrainte de Von Mises de la tour dans le cas de chargement 2.	23
Figure II.8	Contrainte de Von Mises de la tour dans le cas de chargement 4.....	23

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les rampes pivotantes sont des structures métalliques de grandes dimensions, employées pour l'irrigation de cultures. Elles réalisent ceci de manière automatique, en se déplaçant de façon circulaire autour d'un point fixe. Leur élément principal est la canalisation dans laquelle circule l'eau d'irrigation. Rigidifiée par un treillis tridimensionnel, cette dernière est découpée en une succession de travées par des tours d'environ 3 mètres de hauteur.

Notre étude s'intéresse à une partie du système de pivot d'irrigation qui est la tour ou appelée aussi la tour mobile. Le système de pivot d'irrigation produit actuellement par l'entreprise nationale IRRAGRIS d'une filiale de Groupe Industriel ANABIB. Notre contribution à travers ce travail consiste à étudier la partie de tour mobile, afin de mieux comprendre la façon dont fonctionne cette partie de l'appareil, ses éléments constitutifs, son comportement mécanique et, enfin, la maintenance et les solutions aux problèmes qui se posent à ce propos.

Le présent mémoire est composé de quatre chapitres. Le premier chapitre a pour objectif de synthétiser les différentes informations qui présentent le système de pivot d'irrigation. Une description générale des rampes d'irrigation est tout d'abord effectuée. La géométrie du modèle de rampe pivotante concernée est alors présentée. On examine plus particulièrement les éléments étudiés dans la suite: tour, réducteur et motoréducteur.

Dans le deuxième chapitre, nous définissons les charges appliquées sur le système pour analyser dans la suite le comportement mécanique de la tour, aussi, nous citerons les critères de vérification, et finalement, nous présentons l'évaluation de la déformation et les contraintes dans la partie de la tour mobile.

Le troisième chapitre a pour but de synthétiser les notions fondamentales de la maintenance industrielle, concepts, objectifs, politiques, méthodes et opérations de la maintenance.

Le quatrième chapitre est consacré à la maintenance de la tour mobile, où nous projetons la lumière sur la maintenance et l'entretien des réducteurs, ensuite, la protection anticorrosion et protection de surface pour les réducteurs et les motoréducteurs, et enfin la corrosion et son effet sur les pivots d'irrigation.

CHAPITRE I :

Description et présentation du système

I.1. Introduction

Les rampes d'arrosage sont des appareils métalliques mobiles de grandes dimensions. Grâce à plusieurs atouts, ces appareils se sont imposés comme une bonne alternative à d'autres techniques d'irrigation telles que les asperseurs. Parmi ces avantages on peut citer :



Figure I.1 : Rampe d'arrosage[1].

-L'uniformité de l'arrosage assuré, qui permet d'importantes augmentations de la production (les productions d'un champ de maïs arrosé normalement, par enrouleurs et par rampes d'irrigation sont en moyenne respectivement de 40, 90 et 125 quintaux par hectare).

-La simplicité de mise en œuvre, due à la nature automatique de l'arrosage et du déplacement.

-La durée de vie, qui se situe en moyenne aux alentours de 15 années, l'amortissement étant lui généralement réalisé au bout de trois années.

Depuis les années 60, les rampes d'arrosage ont évolué de façon constante, que ce soit au niveau de leur mode de déplacement, de leur géométrie ou encore de leurs applications



Figure. I.2 : Pivot Photo IRRAGRIS (à gauche), Rampes frontale (à droite) [2].

Il existe désormais trois grandes catégories de rampes d'irrigation, les rampes pivotantes les rampes frontales et les speed-moves, pour lesquelles le mode de déplacement est respectivement circulaire, rectiligne et combinaison des deux. Au niveau de la géométrie, les appareils se distinguent principalement par la forme générale des travées, la longueur de ces dernières et le diamètre de leur canalisation. Longtemps limitée à l'irrigation, les rampes servent désormais de façon courante à la fustigation (apport d'engrais) et la chimigation (traitement sanitaire) des cultures. Certaines applications plus marginales, telles que l'arrosage de pistes d'essais ou l'épuration (par filtration) des eaux usées. (Fig. I.2), se développent également.



Figure.I.3 : Pivot d'infiltration.

On a vu qu'il existe différentes sortes de rampes d'arrosage. Nous limitons par la suite notre étude aux rampes pivotantes. Nous allons maintenant essayer de synthétiser les différentes informations nécessaires pour l'étude de ces appareils. Dans un premier temps, nous détaillons la géométrie des éléments qui composent le modèle de rampe pivotante étudiée. Les différentes caractéristiques mécaniques de l'appareil sont alors données. Les deux grandes composantes du fonctionnement arrosage et déplacement, sont finalement présentées.

I.2 Divers éléments matériels constituant une rampe pivotante

Il existe différents modèles de rampes pivotantes. Essentiellement on peut distinguer dans chacune d'eux (Figure. I.4):

- L'unité centrale, qui sert de point fixe et autour de laquelle tourne le reste du pivot.
- Les travées, constituées de la canalisation dans laquelle circulent l'eau d'arrosage et d'un treillis tridimensionnel destiné à rigidifier l'ensemble.
- Les tours, qui supportent les travées.
- Le porte-à-faux, équipé d'un canon à eau, qui prolonge la dernière travée.

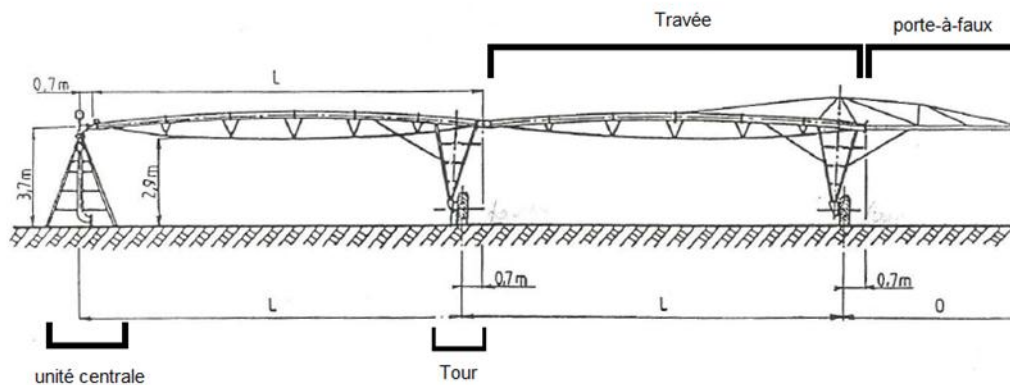


Figure. I.4: Schématisation d'une rampe pivotante[3].

Dans la suite, nous présentons successivement les différentes composantes du modèle de rampe retenu pour l'étude. Les parties de la structure dont le comportement mécanique est étudié plus loin (travée et tour) sont plus particulièrement détaillées.

I.2.1 Unité centrale

Seule partie fixe de la rampe, l'unité centrale est à la fois l'élément autour duquel tourne le reste du pivot, et celui par où arrive l'eau destinée à l'irrigation. Elle est constituée d'un assemblage boulonné de cornières (éléments à section en L), qui forme une pyramide à base carrée d'environ 4 mètres de hauteur et 4 mètres de côté. L'ensemble est fixé sur une dalle en béton dont le poids est calculé pour s'opposer au couple renversement créé par la rampe



Figure I.5: Unité centrale. Photo IRRAGRIS

I.2.2 Travées:

Comme on l'a vu précédemment, les rampes sont découpées par les tours en une succession de travées. On trouve différents modèles de travées. Leur élément principal est dans tous les cas la canalisation dans laquelle circule l'eau, qui est constituée de tubes de différentes longueurs.

Toujours de façon générale, cette canalisation est sous-tendue par deux lignes de tirants auxquels elle est reliée par un treillis destiné à rigidifier l'ensemble. L'assemblage de ces différents éléments est réalisé par boulonnage. Les différents modèles de travées se distinguent entre eux : par la forme de leur tube, qui peut être plat ou en arc ; par la nature des éléments qui constituent le treillis (éléments à section tubulaires ou cornières). Dans la suite de l'étude, nous considérons un modèle à tube en arc et à treillis de cornières (Figure. I.6.).



Figure I.6: Travées de rampes d'arrosage. Photo VALLEY[4].

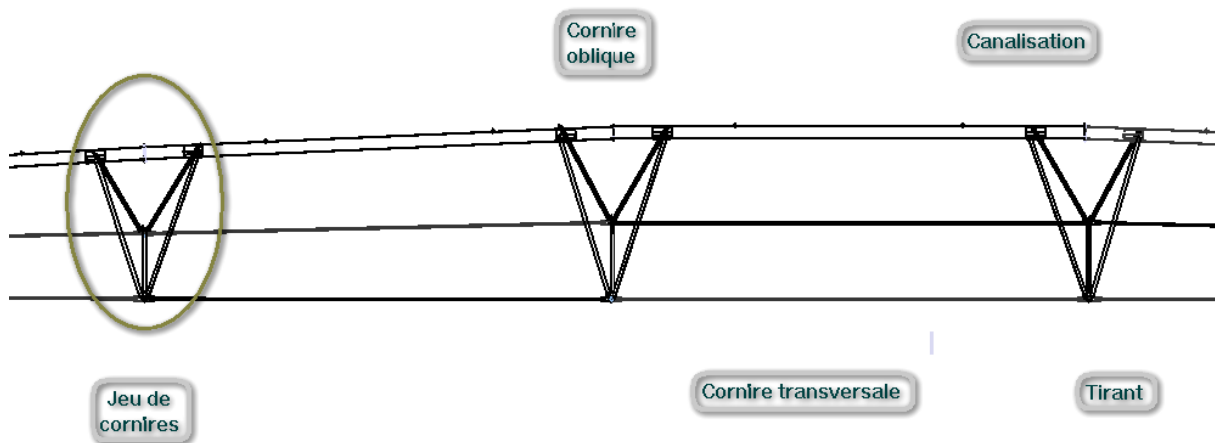


Figure.I.7 : Travée de rampes d'arrosage.

Pour ce même modèle, il existe différentes travées, caractérisées par leurs longueurs (de 35 à 62 m), et le diamètre extérieur de leur canalisation (de 127 à 250 mm). Nous étudions dans la suite une travée de diamètre extérieur 168 mm et de longueur au sol 62 m[5].

Nous allons maintenant présenter le vocabulaire associé aux différents éléments de ces appareils (Figure.I.7). Nous avons déjà décrits plus haut la canalisation et les tirants. On désigne sous le nom de cornières obliques toutes les cornières qui assurent le lien entre une des deux lignes de tirants et la canalisation. Les cornières reliant les deux lignes de tirants sont-elles appelées cornières transversales. Le terme de jeu de cornières est associé à l'ensemble des quatre cornières obliques et de la cornière transversale qui assure la liaison entre deux tirants d'une même ligne. La travée de 62 m en comporte neuf.

I.2.3 Tours

Chaque tour (Figure I.8) possède deux fonctions. La première est de supporter la travée associée à une hauteur au-dessus du sol qui corresponde à la taille maximale des cultures (en général 4 mètres). La deuxième consiste à assurer la mobilité de la rampe grâce à deux roues commandées par un moteur électrique (le déplacement des rampes est décrit plus en détail par la suite). De façon générale, ces structures sont constituées de deux montants reliés entre eux par un essieu long d'environ quatre mètres où sont fixés le moteur et les deux roues. On associe par la suite à chaque tour deux tubes dits de compression, qui servent de lien entre la tour proprement dite et les deux lignes de tirants de la travée.

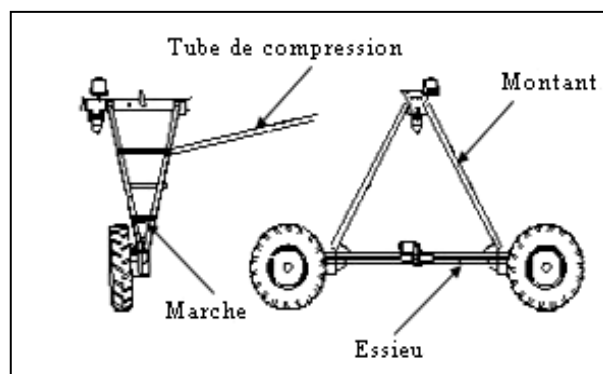


Figure I.8: Tour de travée. Photo IRRAGRIS (gauche). Schématisation des différents éléments d'une tour (droite).

Dans la suite de l'étude, on considère une tour dite bipoutre, pour laquelle chaque extrémité de l'essieu est reliée au tube par deux montants. Ces montants sont eux-mêmes reliés entre eux par des marches parallèles. L'ensemble des montants et des marches est constitué de cornières. L'essieu et les tubes de compression sont eux des éléments à section tubulaire. L'assemblage des différents éléments de la tour se fait par boulonnage. L'une des aides les plus importantes s'exerçant sur les travées est celle qu'exerce le sol sur les roues, engendrée par le déplacement de la rampe. Afin de la minimiser, chaque roue est inclinée, à la fois par rapport à un plan vertical orthogonal à l'axe du tube et par rapport à l'essieu, d'un angle semblable égal à 5 degrés.

I.2.4 Réducteur

Le réducteur est conçu et construit par Valmont à Nebraska USA[4]. Il est construit pour travailler dans les conditions de fonctionnement les plus exigeantes. Il est constitué d'une couronne dentée d'entraînement plus lourde et plus robuste, d'un engrenage à vis sans fin préchargé et de nos nouveaux joints d'arbre brevetés qui retiennent l'huile et vous évite tous problèmes. Une couronne dentée d'entraînement renforcée en bronze est disponible en option pour les conditions de terrain sévères.

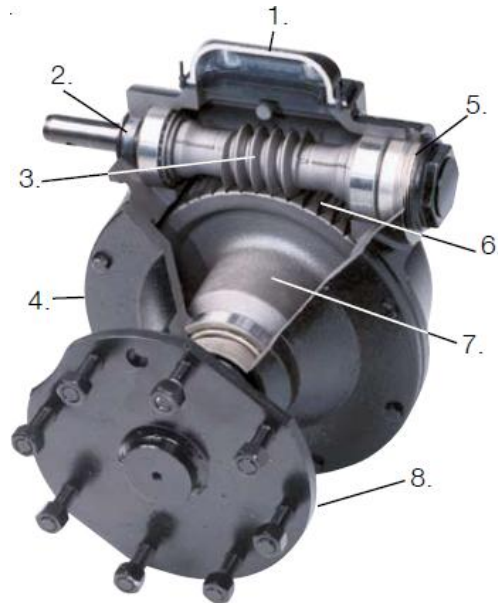


Figure I.9: Réducteur de pivot d'irrigation.

(1) Chambre d'expansion : chapeau en fonte d'aluminium non corrosive ; le diaphragme en caoutchouc permet à l'huile de se dilater et de se contracter durant le fonctionnement

(2) Roulements d'entrée : gros roulement d'entrée pour une durée de vie prolongée

(3) Engrenage à vis sans fin : l'angle des dents de 25° lui donne une vie utile plus longue de 40 % et une meilleure fiabilité dans des conditions difficiles

(4) Le carter de réducteur plus lourd : plus de fonte dans les zones de contraintes élevées. Conçu pour distribuer les charges plus uniformément

(5) Capuchon d'extrémité fileté : permet une précharge de roulement précise pour prolonger la durée de vie des roulements

(6) Rapport d'engrenage 52/1 : la conception à dents pleinement encastrées maintient l'huile engagée entre les pignons

(7) Couronne dentée d'entraînement : la capacité de charge la plus élevée de l'industrie et la durée de vie la plus longue.

(8) L'arbre de sortie plus long (en acier) : exclusivement pour les réducteurs. Assure un dégagement supplémentaire entre le réducteur et le pneu, ce qui réduit l'accumulation de boue, protège ainsi le joint et prolonge la durée de vie du réducteur. L'arbre, combiné avec les jantes déportées spéciales, réduit la charge en porte-à-faux... une autre exclusivité des réducteurs.

✓ Joints d'entrée et de sortie de réducteur exclusifs

Ce sont des joints conçus pour les réducteurs afin d'assurer une longue durée de vie aux composants du réducteur. Une exclusivité jointe est standards sur tous les équipements neufs... et vous pouvez en équiper tous les anciens réducteurs existants.



I.2.5 Motoréducteur

Le motoréducteur est construit plus solidement, dure plus longtemps et utilise moins d'énergie que tous les autres moteurs d'entraînement d'irrigation[4]. Des motrices vitesses standard et grande vitesse sont disponibles, et le moteur vitesse standard consomme la plus faible puissance de l'industrie.

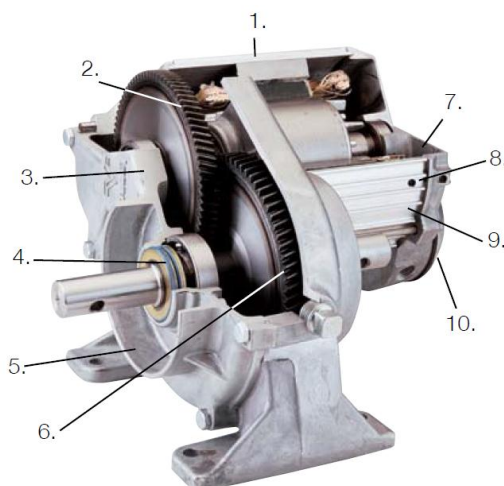


Figure I.10: Motoréducteur de pivot d'irrigation.

(1) Stator : peut être remplacé indépendamment du rotor et est maintenu en place par des boulons en acier inoxydable résistants à la corrosion pour faciliter la maintenance

(2) Angles de dents de 25° : procure une capacité de charge et une résistance à l'usure supérieures de 40 % à celles des angles de dents de 14° des autres fabricants

(3) Roulements d'engrenage intermédiaire surdimensionnés : assurent une durée de vie prolongée

(4) Joints d'arbre de sortie doubles

(5) Auvent intégré au-dessus du joint universel : empêche les végétaux de s'enrouler sur les joints d'huile ou à proximité

(6) Engrenages hélicoïdaux en acier traité : plus de dents engrenées en permanence pour une transmission plus uniforme de la puissance. L'entretien des engrenages de moindre réduction nécessite moins de pignons, moins d'arbres et moins de roulements. Moins de réductions signifient aussi un meilleur rendement

(7) Revêtement exclusif : appliqué aux surfaces internes pour éviter la corrosion **8. Joint**

(8) étanche : entre les composants du carter

(9) Carter à ailettes en aluminium : pour un fonctionnement à froid efficace. Fonctionne à des températures inférieures de 11° C (20° F) à celles de moteurs comparables à carter en acier.

(10) Joint intégré exclusif : le joint est intégré dans une fente pour assurer l'étanchéité à l'eau. Le boîtier de raccordement est ventilé vers l'intérieur du moteur

I.2.6 Porte-à-faux

Afin d'augmenter la surface irriguée, la travée située à l'opposé de l'unité centrale est habituellement prolongée par une canalisation haubanée située en porte-à-faux. De longueur variable (de 6 à 24 mètres au sol), celle-ci est le plus souvent équipée d'un canon d'extrémité dont la portée peut atteindre une quarantaine de mètres.



Figure I.11 : Porte-à-faux de rampe d'irrigation. Photo ATLANTIS.

I.2.7 Articulation des canalisations entre les travées

La liaison mécanique entre les différentes travées peut être assurée de différentes façons. Nous considérons dans la suite une liaison de type cardan, où seule la rotation autour de l'axe tube de la travée est empêchée. Le comportement mécanique de cet élément, qui fait du actuellement l'objet d'une étude par Eléments Finis, n'est pas développé dans la suite de ce travail



Figure I.12 : Élément de liaison entre travée. Photo IRRAGRIS.

I.3 Caractéristiques Mécaniques

I.3.1 Matériau

Tous les éléments de la travée et de la tour étudiés sont en acier. Celui-ci est pour la plupart des éléments un acier courant de limite d'élasticité 23.5 daN/mm^2 Seuls les tirants sont constitués d'un acier à plus haute résistance, de limite d'élasticité 36 daN/mm^2 [6].

I.3.2 Sections

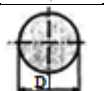
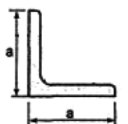
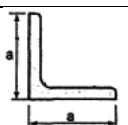
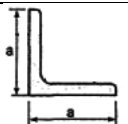
Eléments	Section	Epaisseur (mm)	Dimensions	Longueur
Tube		2.5	D = 159	5850 5845
Tirants		-	D= 20	5825 5540
Cornières obliques et transversales		5	a = 45	1115 1530 1805 1945
Tubes de compression		5	D = 62.5	4325
Montants		8	a = 80	3275
Marches		4	a = 40	480 805 1500
Essieu		8	D = 162	4200

Tableau I.1 : Caractéristiques des sections des éléments de la travée et de la tour[7].

Le principal facteur de vieillissement des rampes pivotantes est la corrosion qui affecte le tube où circule l'eau d'arrosage. Celle-ci entraîne une diminution de l'épaisseur du tube qui conduit à plus ou moins long terme à la ruine de la structure par rupture du tube. Dans le reste de l'étude, ce facteur temps n'est pas pris en compte et on considère toujours la travée (et donc les sections) à son état initial.

I.4 Fonctionnement

I.4.1 Arrosage

L'eau d'alimentation des pivots peut provenir d'un cours d'eau, de la borne d'un réseau collectif ou d'un forage. Elle est propulsée dans la canalisation par une station de pompage, la pression délivrée (en moyenne 5 bars) étant calculée en fonction des dénivellations, des pertes de charge et de la pression de sortie désirée.

L'arrosage se fait alors au moyen d'asperseurs à basses et moyennes pressions (sprinklers, buses ...) fixés sur des piquages, eux-mêmes disposés à intervalles réguliers (de 1 à 3 mètres) sur la canalisation. Le débit de ces différents organes d'arrosage varie avec leur position sur la rampe. Il est calculé pour tenir compte des pertes de charge et de l'augmentation de la surface arrosée avec le rayon de giration de l'appareil.

L'installation est souvent complétée par un canon dit "d'extrémité", d'une quarantaine de mètres de portée, nécessitant une pression de 2 bars à l'extrémité du pivot.



Figure I.13: Canon d'extrémité.

I.4.2 Avancement des rampes pivotantes

Chacune des tours est équipée de deux roues entraînées par un moteur électrique fixé au milieu de l'essieu. Exception faite de la travée la plus éloignée de l'unité centrale, toutes les tours disposent également d'un boîtier renfermant un dispositif mécanique de contrôle angulaire vis-à-vis de la travée voisine.

L'ensemble de la rampe avance de manière automatique, sous le commandement de la travée la plus éloignée de l'unité centrale, suivant un mouvement basé sur des corrections angulaires successives dont nous allons maintenant détailler le principe.

Dans un premier temps (phase 1), le boîtier de commande de la rampe pilote le démarrage de la tour T_n (Figure I.14).

Quand l'angle α_n entre la travée n et la travée $n-1$ voisine atteint l'angle α_d de déclenchement (généralement un tiers de degré), la tour T_{n-1} démarre à son tour (phase 2).

La vitesse d'avancement de la tour T_{n-1} est la même que celle de la tour T_n , et son rayon de giration est plus faible. Il arrive donc un moment où l'angle α_n redescend à une valeur α_a , dite d'arrêt, car sa détection par le boîtier de la tour T_{n-1} déclenche l'arrêt de la travée correspondante (phase 3).

Lors de la phase 4, on retrouve la phase 2 pour la travée $n-2$: l'angle entre les travées $n-1$ et $n-2$ atteint à son tour α_d , déclenchant l'avancement de la tour.

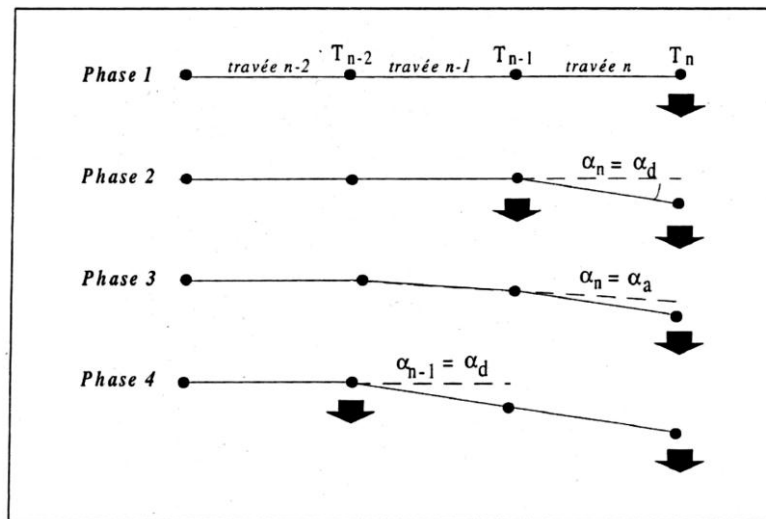


Figure I.14: Principe d'avancement d'une rampe pivotante.

L'avancement de totalité de la rampe se fait finalement, pour chaque travée, par une succession de phases d'avancement et d'arrêt suivant le principe décrit ci-dessus. La vitesse de progression des rampes, qui peut aller de un à huit mètres par minutes, est en moyenne de 2.5 mètres par minutes.

I.5 Caractéristiques de pivot ANABIB

La rampe pivotante ANABIB a les caractéristiques ainsi définies :

ANABIB SYSTEME PIVOT 160EL

Longueur du système (5 tours mobiles avec porte -à -faux).....: 247,6 m

Surface arrosée avec arrosage au-delà de bords.....: 20,0 ha

TOURS MOBILES :

Type de tour mobile	160EL	160EL
Type de travée	52,6 m	46,8 m
Nombre des tours mobiles.....	0	5
Diamètre de tube	159,0 mm	159,0 mm
Hauteur de construction	3,7 m	3,7 m
Hauteur libre sous charpente	2,9 m	2,9 m
Hauteur moyenne de buses par rapport au sol.....	2.1m	2.1 m
Propulsion par moteurs électriques	0,74 KW	0,74 KW
Poids avec de l'eau	2954 KP	2705 KP
Type de pneus.....	14.9-24	14.9-24
Equipement.....	avec buse atomiseurs basse pression	

Longueur du porte-à-faux.....: 11,7 m

Arrosage au-delà des bords.....: 4,6 m

Rayon arrosé avec arrosage au-delà des bords.....: 252,2 m

Secteur: plein cercle

Heures de service proposées par jour.....: 24.0 h

Débit total.....: 83,2 m³/h

Capacité d'arrosage.....: 1,16 L /S/ha.

- Cela correspond à: 100,0 m³ /ha ou: 10,0 mm/jr.

Vitesse maximale: 123 m/h.

Temps minimum de rotation à vitesse maxi.....: 12h 10min.

Pluviométrie mini par rotation.....: 5,0 mm.

Pression à la buse au dernier branchement: 1,2 bar

Pression d'alimentation à l'entrée du pivot: 1,7 bar

Tension: 380 v

Fréquence: 50 Hz

Puissance absorbée du réseau.....: 5,8 KW

Figure 1.15: Caractéristiques de pivot ANABIB[3].

CHAPITRE II:

Modélisation de la structure et des chargements

II.1. Actions mécaniques de base

II.1.1 Poids propre de la structure

On modélise le poids mort par une charge linéairement répartie sur toute la structure, dirigée verticalement et orientée vers le sol. L'intensité p de cette charge est calculée pour chaque élément grâce à la formule suivante :

$$p = \rho g S \quad (\text{II.1})$$

Où : ρ est la masse volumique du matériau (kg. m^{-3}),

g est la constante de gravité (m.s^{-2}),

S est la section de l'élément (m^2).

Le tableau ci-dessous donne le poids propre des différents éléments de la travée. La constante de gravitation et la masse volumique de l'acier sont respectivement prises égales à 9.8 m.s^{-2} et 7850 kg. m^{-3} .

	Tube	Cornières	Tirants	Tube de compression	Marches	Montants	Essieu
Poids propre (N/m)	94.56	32.69	24.17	69.48	23.39	93.55	297.75

Tableau II.1 : Poids propre des différents éléments de la structure[8].

Comme remarque, les roues n'étant pas modélisées autant que tel, leurs poids sont pris en compte sous forme de deux actions concentrées, appliquées aux pieds de la tour, dirigées verticalement vers le sol, et dont les intensités sont égales à 830 N.

II.1.2 Poids de l'eau contenue dans la canalisation

En service, l'eau servant à l'irrigation circule dans le tube. La longueur de ce dernier (51 mètres), par rapport aux autres dimensions de la travée (environ 4 mètres de hauteur et 2 mètres de largeur), fait du poids de l'eau l'une des actions principales s'exerçant sur la structure.

Nous modélisons le poids de l'eau par une charge linéairement répartie sur le tube, dirigée verticalement, orientée vers le sol. L'intensité q de cette charge est calculée grâce à la densité de l'eau ρ_e , la constante de gravitation g et le diamètre intérieur D_i du tube :

$$q = \rho_e g \frac{\pi D_i^2}{4} \quad (\text{II.2})$$

Le poids de l'eau (185.54 N/m) s'avère quasiment deux fois supérieur au poids propre du tube.

II.1.3 Les effet du vent

La troisième action pouvant s'exercer sur les pivots est celle du vent. Pour déterminer ses différentes caractéristiques, nous appliquons le règlement Algérien RNV 99[9], qui définit les effets du vent sur les constructions.

La structure étant spatiale, la direction du vent doit être définie dans deux plans différents. Pour aller dans le sens de la sécurité, le règlement impose de toujours choisir la direction la plus défavorable. Comme le représente la figure qui suit, les règles définissent ainsi le vent comme toujours dirigé horizontalement.

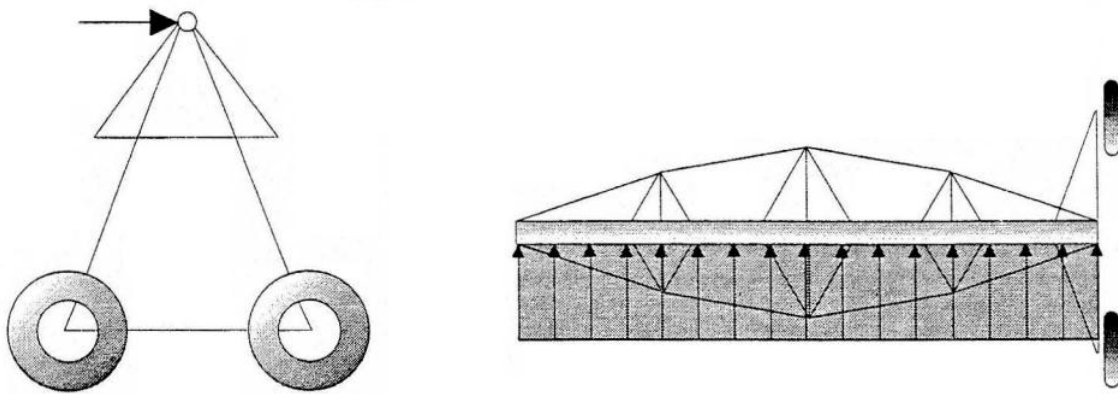


Figure II.1 : Représentation schématique de la modélisation de l'action du vent.

Vue en coupe (gauche) et vue de dessus (droite).

Nous référant à une étude antérieure réalisée pour la société Otech par le CETE sur des appareils similaires[5], nous considérons que le vent est une charge uniformément répartie s'exerçant principalement sur le tube (figure II.1). Le treillis est pris en compte par la multiplication de l'intensité statique par un coefficient de majoration de 10 %[5].

Le calcul de la charge du vent sur le tube fait intervenir le diamètre extérieur du tube D , la pression dynamique P_d et le coefficient de traînée C_d [10]:

$$U = C_d P_d D \quad (\text{II.3})$$

Pour aller dans le sens de la sécurité, nous retenons les pressions dynamiques correspondant à la région la plus défavorable de l'Algérie (zone III), est calculée par la formule de Bernoulli suivante :

$$P_d = 0.5 \rho V^2 \quad (\text{II.4})$$

Où :

ρ (en kg/m³) est la masse volumique de l'air ($\rho = 1,20$ kg/m³) ;

V : la vitesse moyenne du vent ($V = C_t C_r V_{\text{réf}}$) ;

C_r est le coefficient de rugosité (RNV 99 chapitre 2, § 4.2) ;

C_t est le coefficient de topographie (RNV 99 chapitre 2, § 4.3) ;

$V_{\text{réf}}$ (en m/s) est la vitesse de référence (RNV 99 annexe 1).

Pour le site plan, les régions de culture avec haies et avec quelques petites fermes et la zone III, on obtient les paramètres C_r , C_t et $V_{\text{réf}}$ respectivement : 1.138, 1 et 31m/s.

Le calcul du coefficient de traînée C_d se fait également à l'aide des abaques. Ces abaques correspondent à des canalisations. Le coefficient C_d est donné par les graphes en fonction du nombre de Reynolds R_e :

$$R_e = \frac{D V}{\vartheta} \quad (\text{II.5})$$

ϑ (en m²/s) est la viscosité cinématique de l'air ; dans le cadre de ce DTR (le document technique réglementaire), on prendra $\vartheta = 15 \times 10^{-6}$ m²/s.

$$R_e = 3.74 \times 10^5 \Rightarrow C_d = 1$$

Après le calcul des paramètres précédents, on obtient aisément la valeur de charge du vent, qui est : 118N/m[6].

II.1.4 Efforts de ripage

Le déplacement des travées engendre au niveau du point de contact entre les roues et le sol l'apparition de réactions du sol que l'on désigne sous le nom d'efforts de ripage ou encore d'efforts de sillon. Spécifiques aux rampes pivotantes, les différentes caractéristiques de ces

actions sont actuellement définies par la prénorme européenne réglementant entre autres le calcul des pivots.

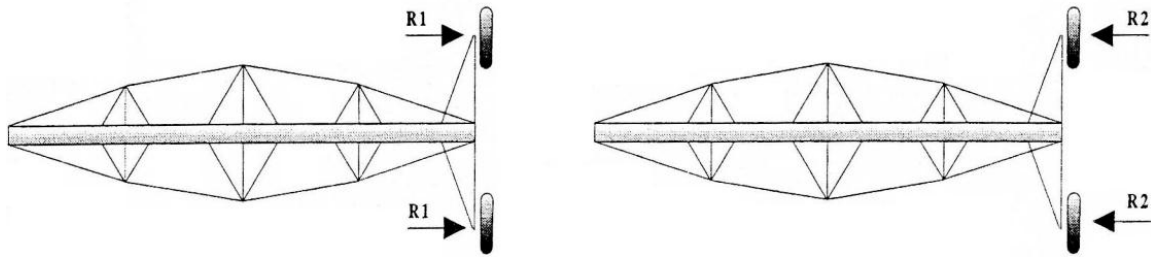


Figure II.2: Modélisation des efforts latéraux

(à gauche) ripage de type 1 (R1), (à droite) ripage de type2 (R2).

Considérés comme deux actions semblables, s'exerçant de façon ponctuelle sur les roues, dirigés parallèlement au tube et horizontalement par rapport au sol, ces efforts sont en situation normale dirigés vers l'extérieur de la travée (ripage de type 1), mais peuvent accidentellement (sillon, talus) s'orienter vers l'intérieur (ripage de type 2). Selon les résultats obtenus par E. Peyvieux[5], on prend le cas le plus défavorable (ripage de type 1) et leur intensité est de 2500 N.

II.1.5. Cas de charges

Les cas de charge pouvant s'exercer sur la structure sont obtenus par combinaison des différentes actions de base pondérées.

On distingue deux sortes de cas de charges, suivant que la travée est en service (c'est à dire se déplace ou arrose), ou bien hors service. Pour une travée hors service (cas 1 et 2), deux actions interviennent: le poids propre de la structure et le vent. Après la mise en service (cas 3, 4, 5, 6 et 7), deux autres actions viennent s'y ajouter : le poids de l'eau et le ripage.

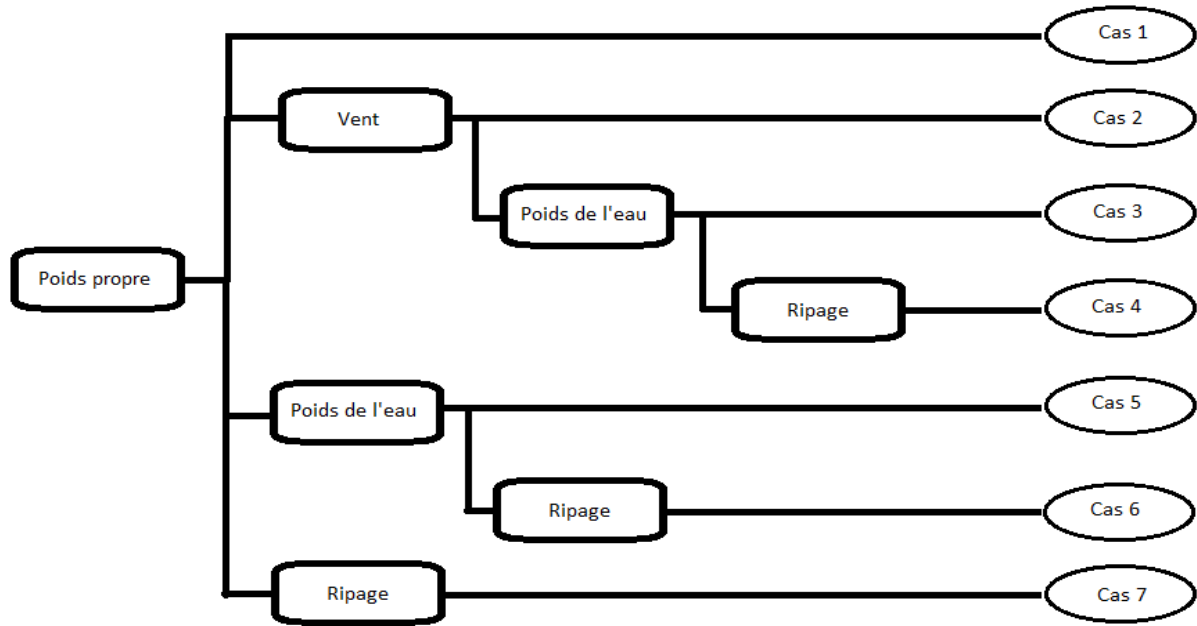


Figure II.3 : Organigramme récapitulatif des différents de cas de chargements à considérer.

II.2. Critères de vérification

Le règlement de construction métallique en vigueur prescrit de s'assurer qu'aucun chargement n'empêche l'utilisation normale de la structure étudiée, mais n'impose pas de critère de vérification. Il est donc nécessaire de commencer par se donner un critère spécifique à la structure qui nous concerne.

II.2.1 Hauteur libre sous travée

Les travées ne peuvent être utilisées si la taille des cultures à irriguer est supérieure à la hauteur libre sous travée (Haut) (figure III.4). On en déduit un critère de vérification très simple, qui consiste à s'assurer que (Haut) reste toujours supérieur à une hauteur minimum H_{min} :

$$Haut \geq H_{min} \quad (II.6)$$

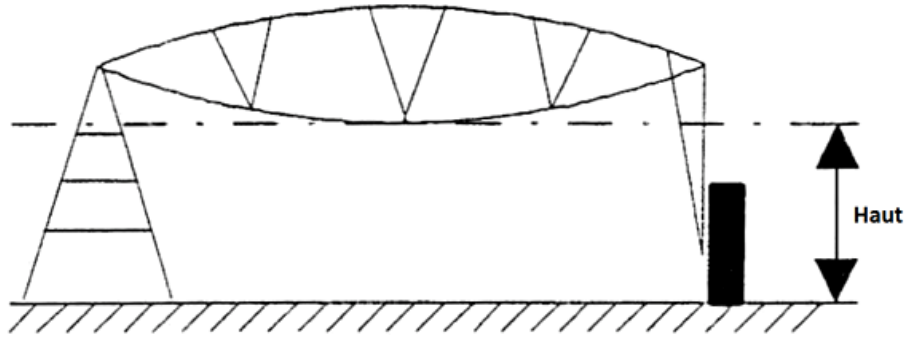


Figure II.4 : Représentation schématique de la hauteur libre sous travée (Haut).

Sauf cas exceptionnel (arbres fruitiers), $H_{\min}$ est prise égale à 2.2 mètres, ce qui correspond à la culture la plus commune pour les rampes pivotantes (le blé et la pomme de terre). C'est cette valeur que nous adoptons pour la suite.

II.2.2 Résistance des sections

Pour vérifier la résistance des sections, le règlement de construction métallique prescrit de s'assurer, pour chaque chargement, qu'en tout point de la structure la contrainte de Von Mises est inférieure à la contrainte admissible du matériau concerné. Considérons un point quelconque de la structure. En notant σ_{VM} et σ_e ($\sigma_e = 20 \text{ daN/mm}^2$) respectivement la contrainte admissible du matériau concerné et la contrainte de Von Mises en ce point, ce critère s'écrit :

$$\sigma_{VM} \leq \sigma_a \quad (\text{II.7})$$

II.2.3 Critère de renversement

Les règlements n'imposant pas de méthode de vérification de la perte d'équilibre d'une structure, nous avons adopté un critère très simple, basé sur l'observation du phénomène. Pour un terrain plat, cas de figure auquel nous nous limitons dans cette étude, la seule action pouvant entraîner le renversement de l'ensemble travée-tour est celle du vent. Physiquement, le contact de la structure avec le sol se traduit par l'existence d'une réaction du sol sur la roue située au vent. Numériquement, cette réaction existe toujours, les déplacements étant bloqués. Le décollement de la roue du sol se traduit alors par un changement de signe de la réaction.

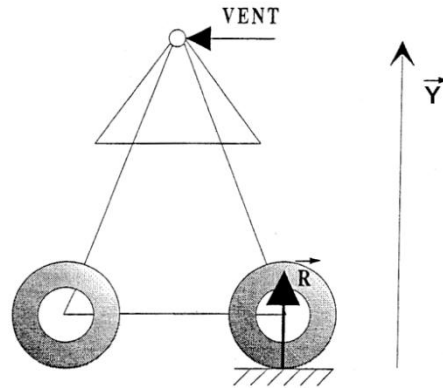


Figure III.5 : Représentation schématisée de la réaction du sol sur la roue au vent.

Désignons par $\vec{R}$ la réaction du sol sur la roue au vent. Si l'on adopte un vecteur directeur vertical orienté vers le haut, celle-ci peut s'écrire :

$$\vec{R} = R \cdot \vec{Y} \quad (\text{II.8})$$

En se fixant R initial positif, le critère de non-renversement prend la forme :

$$R \geq 0 \quad (\text{II.9})$$

II.3 Comportement mécanique de la tour

Ce paragraphe est consacré à représenter la réponse mécanique de la tour mobile dans les cas de chargements les plus défavorables.

II.3.1 Déformation de la tour mobile

La figure III.6 représente la déformation de la tour mobile dans les cas le plus défavorable, le cas 2 (poids propre + effet du vent) et le cas 4 (poids propre + poids de l'eau + effet du vent + effort de ripage).

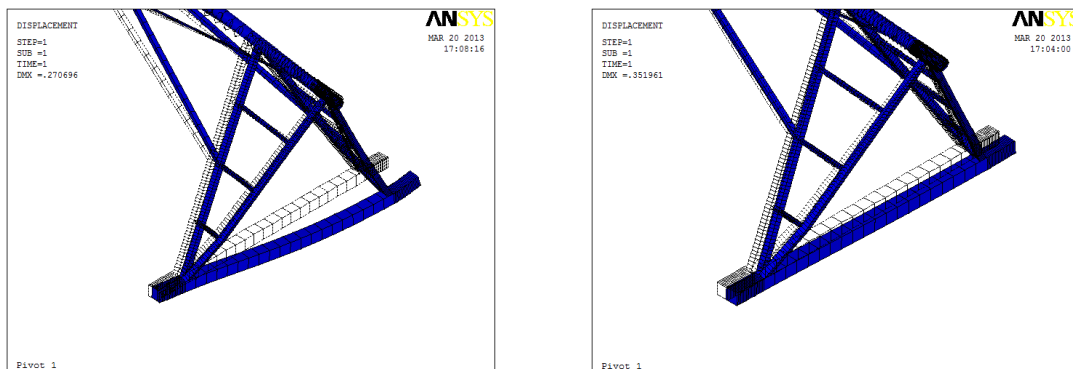


Figure III.6 : Déformation de la tour dans les cas de chargements 2 (à gauche) et 4 (à droite)

II.3.2 Contrainte dans la tour mobile

Pour vérifier la résistance des sections du système (éq II.7) on utilise le critère de Von Mises qui permet d'évaluer le niveau des contraintes dans les sections.

La figure suivant est représenté la contrainte de Von Mises dans le cas de chargement 2 (poids propre + effet du vent).

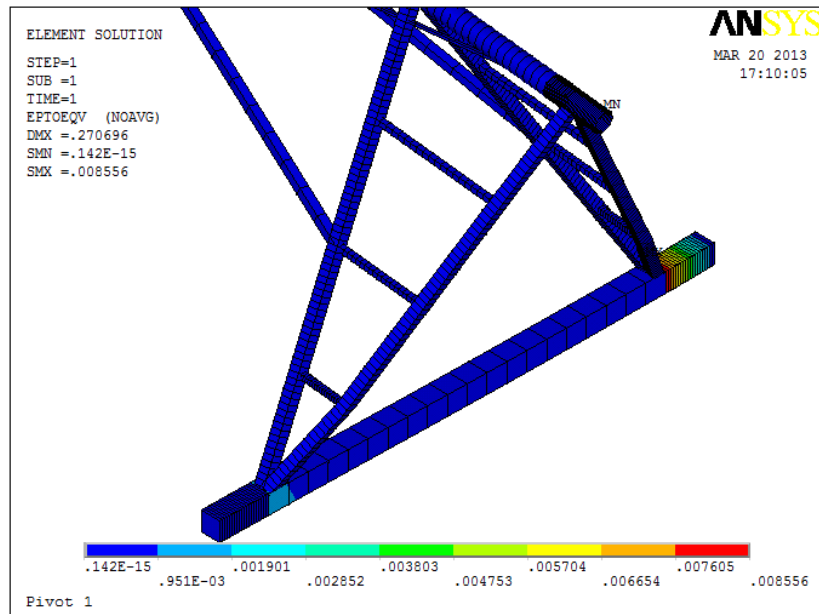


Figure III.7 : Contrainte de Von Mises de la tour dans le cas de chargement 2.

La figure III.8 est montré l'évaluation de niveau des contraintes dans le cas de chargements 4 (poids propre + poids de l'eau + effet du vent + effort de ripage).

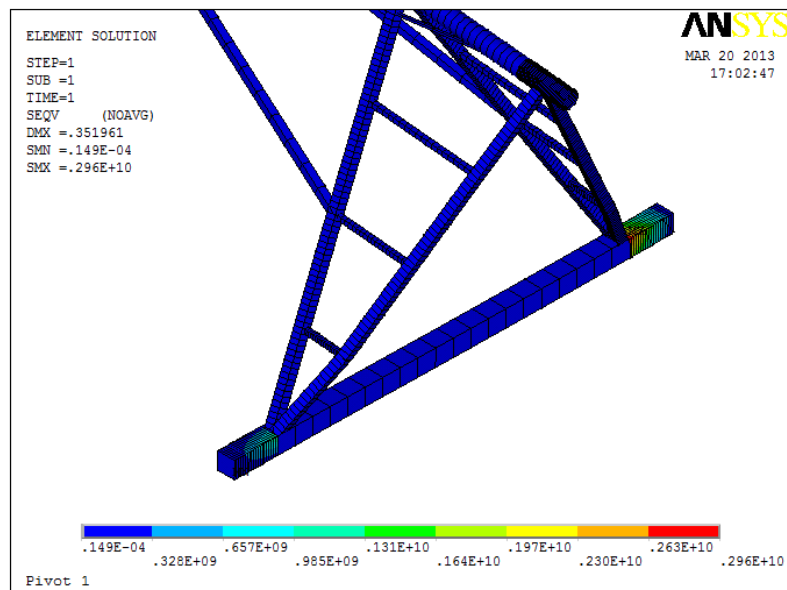


Figure III.8 : Contrainte de Von Mises de la tour dans le cas de chargement 4.

CHAPITRE III:

Généralité sur la maintenance

III.1. Concepts, Objectifs et Politiques de La Maintenance

III.1.1 Introduction

La maintenance s'inscrit parmi les contraintes que rencontre tout exploitant d'une installation industrielle. Plus généralement, une installation de production nécessitant un ensemble de moyens matériels et humains n'est en mesure d'assurer le service qu'on lui demande qu'après avoir surmonté diverses contraintes, dont la maintenance des équipements de production utilisés. Construire une usine ou un atelier ne sert à rien en l'absence de production significative, ou de personnel qualifié, ou d'un système d'organisation permettant le maintien en état des installations. Ce constat explique la tendance actuelle de l'usine vendue « *produit en main* », alors que celle jadis universellement adoptée correspond à l'usine livrée « *clés en main* ». Il faut donc penser, dès que l'on conçoit une nouvelle installation, aux moyens qui seront nécessaires pour sa future exploitation. On ne compte plus les échecs économiques, notamment dans les pays en voie de développement, pour cause de déficience de main d'œuvre suffisamment qualifiée, tant en production qu'en maintenance, et pour manque de moyens appropriés. Des rapports de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI) indiquent qu'environ 40% des usines restent inutilisées[11].

La production et la maintenance sont donc indissociables.

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

Pour vendre plus, pour vendre mieux, il s'agit à présent non plus seulement de proposer un meilleur mode de conduite de l'installation mais de garantir à l'exploitant un mode

d'intervention rapide, une mise en place de détection et de diagnostic de défaillances, en un mot une maintenance de qualité permettant d'atteindre la production optimum.

L'histoire de la maintenance peut se décomposer en trois étapes :

- ✓ D'abord la période où les machines étaient simples et peu nombreuses, mais la main d'œuvre de fabrication est importante, la maintenance était très élémentaire et son budget était noyé dans les frais généraux de l'entreprise.
- ✓ Dans une seconde période, avec le développement du machinisme, la main d'œuvre diminue et, en valeur relative, la maintenance prend plus d'importance, elle a son budget autonome. Cette situation existe encore dans de nombreuses entreprises.
- ✓ Une troisième période s'est ouverte avec le développement de l'automatisme. Dans les industries de processus, la plus grande part des effectifs de production appartient à la maintenance, dont les coûts et le budget se sont considérablement accrus. Le rapport entre les effectifs de maintenance et ceux de la fabrication est passé de 1/50 à 1/5.

III.1.2 Définition de la Maintenance

Ce n'est pas seulement réparer ou dépanner au moindre coût ou remettre en état dans les plus brefs délais. Ce n'est pas non plus maintenir les installations en marche à tout prix ou assurer une sécurité de fonctionnement élevée, coûte que coûte, pour atteindre une disponibilité maximale mais non rentable. La maintenance commence dès la conception du matériel : il faut qu'il soit apte à être entretenu (notion de maintenabilité), ensuite à produire, son utilisation doit être aisée et sa sécurité maximale. Pendant toute sa vie de production la maintenance surveille le matériel, suit ses dégradations et le remet à niveau avec un contrôle des performances, une surveillance des coûts et disponibilités en recherchant les solutions les plus simples. En fin de vie, la maintenance propose d'abord une diminution des performances compatible avec les possibilités du matériel et enfin son renouvellement.

Le ratio qui englobera tous ces aspects de la maintenance sera :

$\frac{\text{Coût total (achat et maintenance) + Pertes de production}}{\text{Service rendu}}, \text{ doit être minimum}$

Il est possible aussi de condenser tout ceci dans la définition de l'AFNOR (Association Française de Normalisation) :

«La maintenance est l'ensemble des actions¹ permettant de maintenir² ou de rétablir³ un bien⁴ dans un état spécifié⁵ ou en mesure d'assurer un service déterminé⁶»[12] en lui ajoutant «au coût optimal⁷».

Cette définition inclue les principaux concepts de la maintenance, qui sont :

a) 1er concept ; le groupe d'actions (l'ensemble des actions) qui englobent :

- la conception de la maintenance telle que la formation des agents de maintenance, la notion de maintenabilité, la documentation technique, les équipements adéquats (outillages) et les approvisionnements (pièces de rechange).
- l'exécution des différentes opérations de la maintenance qu'elle soit préventive (événement probable) ou corrective (événement certain).
- le suivi concernant :
 - la qualité et la fiabilité des matériels.
 - la gestion de l'outil de maintenance.
 - la durabilité des matériels (rénovation, réemploi, etc.).

b) 2ème concept ; la maintenance préventive (maintenir) qui comprend les différentes opérations d'entretien, de surveillance, de révision ou de préservation des matériels.

c) 3ème concept ; la maintenance corrective (rétablir) qui concerne la localisation de la défaillance, la remise en état du matériel et la durabilité des équipements (reconstitution, rénovation, etc.).

d) 4ème concept ; la notion de bien dont on distingue :

- les biens durables (seuls concernés par la maintenance).
- les biens semi-durables (à la première panne ils sont irréparables).
- les biens éphémères (durabilité limitée à la première utilisation).

f) 5ème concept ; l'état spécifié : en effet un bien peut avoir au moins trois états ; neuf, dégradé et défaillant, qui s'étalent sur le temps correspondant à sa durée de vie.

g) 6ème concept ; le service déterminé : il se qualifie souvent en terme de disponibilité dans un état donné.

h) 7ème concept ; le coût optimal : qui mesure l'efficacité de la maintenance à travers l'analyse des différents coûts et ratios de maintenance.

Le projet du CEN (Comité Européen de Normalisation) définit la maintenance par :

« l'ensemble de toutes les actions techniques, administratives et de gestion durant le cycle de vie d'un bien, destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise »[13].

La fonction requise est ainsi définie par : « fonction, ou ensemble de fonctions d'un bien considérées comme nécessaires pour fournir un service déterminé ». On remarque l'apparition d'un nouveau concept : le projet européen ajoute une idée intéressante : les actions de la maintenance se rapportent **au cycle de vie** des matériels, ce qui implique une vision à moyen et à long terme de la stratégie de maintenance.

III.1.3 Importance de la Maintenance dans L'entreprise

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

Pendant longtemps, la maintenance était considérée comme une fatalité, cependant, le progrès technologique ainsi que l'évolution de la conception de la gestion des entreprises ont fait que la maintenance est devenue de nos jours une fonction importante de l'entreprise dont la direction exige l'utilisation de techniques précises et dont le rôle dans l'atteinte des objectifs de l'entreprise est loin d'être négligeable. Ainsi, la fonction maintenance est devenue l'affaire de tous et doit être omniprésente dans les entreprises et les services. Elle est devenue un enjeu économique considérable pour tous les pays qui souhaitent disposer d'outils de production disponibles et performants. Si l'entretien ne se traduisait que par des interventions, nous pouvons dire que la maintenance est tout autre chose. C'est d'abord un état d'esprit, une manière de penser, ensuite une discipline nouvelle dotée de moyens permettant d'intervenir dans de meilleures conditions, d'appliquer les différentes méthodes en optimisant le coût global. La maintenance vise à éviter les pannes et les temps morts que celles-ci entraînent. La maintenance ne doit pas être perçue comme une fonction secondaire et elle doit bénéficier de toute l'attention voulue.

Actuellement la modernisation de l'outil de production impose une évolution fondamentale dans le domaine de maintenance. Cette évolution se traduit par un changement profond pour les entreprises (remplacement de la fonction entretien par la fonction maintenance), par une évolution de mentalités. Cette mutation nécessite des structures nouvelles, des moyens nouveaux et pour le personnel un état d'esprit de "maintenance".

La maintenance est devenue une des fonctions de l'entreprise contemporaine, mais elle n'est pas une fin en soi. A ce titre, elle est peu lisible et parfois méconnue des décideurs qui sous-estiment son impact. Et pourtant, elle devient une composante de plus en plus sensible de la performance de l'entreprise. Il est donc important de la faire mieux connaître. Concevoir, produire et commercialiser sont des fonctions naturelles facilement identifiables et rarement négligées. Par contre, *la maintenance n'est qu'un soutien à la production, son principal client*. C'est donc une fonction masquée, agissant comme prestataire de service interne et, de plus, fortement évolutive. Bien organisée, elle est un facteur important de qualité, de sécurité, de respect des délais et de productivité, donc de compétitivité d'une entreprise évoluée.

En plus de ce qui a été dit, le terme de maintenance désigne, au sein de l'entreprise, plusieurs catégories de travaux notamment :

- Surveillance et travaux simples (nettoyage, graissage, etc.) généralement dévolus aux Utilisateurs du matériel ou des installations.
- Contrôle de fonctionnement et travaux plus complexes que les précédents, souvent effectués par des spécialistes,
- Dépannage et réparation en cas d'incident confiés à des ouvriers ou des équipes Spécialisées. entretien systématique comportant des révisions partielles ou totales, faites sur place ou dans un atelier spécialisé.
- Reconstruction complète de machines ou d'installations, constituant une véritable remise à l'état neuf.

III.1.4 Objectifs de la Maintenance dans L'entreprise

Dépanner, réparer au moindre coût, arrêter les machines le moins longtemps possible, étaient les consignes données au chef d'entretien. L'intégration du service entretien dans l'entreprise s'arrêtait à la marche des machines. Mais on ne fait pas un programme de fabrication valable sans tenir compte des possibilités des matériels. Il faut que la maintenance participe aux définitions des programmes. Dans ces conditions, les objectifs à demander à un service maintenance sont :

III.1.4.1 Assurer la production prévue

Les programmes et les quantités à fabriquer seront étudiés conjointement par la fabrication et la maintenance en conciliant au mieux les tendances du producteur et les arrêts « Concepts, objectifs et politiques de la maintenance » 5 nécessaires à l'entretien. Les temps de marche et arrêt feront l'objet d'un même document. On tiendra compte de la disponibilité programmée, donc prévue, et de la sécurité de fonctionnement, donc imprévue mais évaluée, pour chiffrer la totalité des arrêts. Pour les périodes de marche, la production doit pouvoir compter sur une marche à 100 % des capacités du matériel.

III.1.4.2 Maintenir la qualité du produit fabriqué

La qualité dépend du fabricant et du mainteneur : il appartiendra donc de fixer les responsabilités de chacun : erreur de conduite ou déficience de la machine, matière première défectueuse ou mauvais réglage du matériel, etc. Il est indispensable, de fixer le minimum nécessaire et de réunir les moyens (état de la machine, qualité de la matière première, mode opératoire, etc.). En particulier, après toute intervention d'entretien sérieuse, la réception de la machine sera faite par les deux responsables : entretien et fabrication.

III.1.4.3 Respecter les délais prévus

Il s'agit à la fois des délais de fabrication des produits et des délais des interventions d'entretien. Les programmes et les calendriers ont été faits en collaboration (fabrication et maintenance), il incombe à la maintenance qu'ils soient respectés. Cette double responsabilité n'exige que la maintenance :

- a)** Connaisse exactement l'état de chaque matériel et puisse garantir son fonctionnement pendant les périodes prévues (sauf accident).
- b)** Prépare et ordonnance les travaux à entreprendre avec suffisamment de précision pour s'engager sur leurs durées.

Du côté de la fabrication, on respectera également les prévisions, on s'abstiendra de toute modification de dernière heure sans motif grave et on acceptera les visites et expertises nécessaires demandées par la maintenance.

III.1.4.4 Recherche des coûts optima

Les trois objectifs précédents n'exigent pas seulement une compétence technique. Le service maintenance doit être capable d'établir des devis précis avant exécution comme une entreprise extérieure. Il doit être compétitif à qualité et délais identiques. De plus, l'optimum recherché tiendra compte des pertes de production dues à un entretien défaillant. La maintenance ne peut

avoir un objectif différent de ceux de l'entreprise à laquelle elle appartient. La saine gestion exige que le coût global du produit fabriqué soit optimum. Ce coût comprendra les dépenses fixes et variables de fabrication, les dépenses de maintenance et les pertes ou manques à gagner dus aux arrêts fortuits. Dans certains cas, la maintenance aura à présenter plusieurs solutions chiffrées pour atteindre cet optimum.

III.1.4.5 Objectifs d'aspect humain

Les conditions de travail et la sécurité ne peuvent être ignorées. La maintenance doit se préoccuper des accidents possibles dans son personnel et de ceux occasionnés aux autres par sa présence. Toute préparation de travail débutera par la rédaction de consignes (travaux électriques, travaux au feu, risques de chutes, intoxication, contamination, explosion, etc.) et se terminera par une remise en état définitive (protections, consignes, etc.). Comme un membre de l'entretien fait partie du comité Hygiène et Sécurité, il lui appartient d'étudier toute modification, protection à effectuer sur les matériels pour éliminer les risques d'accidents.

III.1.4.6 Préserver l'environnement

Au service maintenance incombe la lutte contre les nuisances et, pour une part, les conditions de travail du personnel de fabrication. Il n'est pas rare de voir négliger les matériels non productifs mais nécessaires comme les dépoussiéreurs, aspirateurs, échappements de gaz.

Certaines de ces négligences concernent aussi des pertes, c'est pourquoi le problème des économies d'énergie est venu s'ajouter aux objectifs de la maintenance. Tout cet ensemble doit faire l'objet d'un programme d'entretien avec surveillance périodique, et remise en état en temps voulu.

Ajoutons que la maintenance des bâtiments et de tout le génie civil fait partie également de cet objectif si l'on veut mettre le personnel et le matériel dans les meilleures conditions de production. A ces objectifs, ajoutons que la maintenance :

- Doit être un conseiller près de la direction pour le renouvellement du matériel. Ceci découle de la connaissance des coûts et des pertes de production qui croissent rapidement sur un matériel usé.
- Doit améliorer les matériels dans le double but de faciliter son entretien futur et de répondre aux demandes de la production.
- Doit participé aux aménagements nouveaux pour être capable d'en assurer leur entretien.

Ces objectifs de la maintenance peuvent aussi être résumés comme suit :

❖ *Des objectifs opérationnels :*

- Maintenir l'équipement dans les meilleures conditions et dans un état acceptable.
- Assurer la disponibilité maximale de l'outil de production à un prix raisonnable.
- Fournir un service qui élimine les pannes à tout moment.
- Augmenter à la limite la durée de vie de l'outil de production.
- Entretenir le matériel avec le maximum d'économie et le remplacer à des périodes prédéterminés.
- Assurer une performance de haute qualité.
- Assurer un fonctionnement sûr et efficace à tout moment.
- Obtenir un rendement maximum.
- Maintenir le matériel en propreté absolue à tout moment.
- Préserver l'environnement.

❖ *Des objectifs de coût :*

- Réduire au maximum les dépenses de la maintenance et maximiser les bénéfices.
- Assurer le service maintenance dans les limites du budget.
- Avoir des dépenses de maintenance portant sur le service exigé par les installations et l'appareillage en fonction de son âge et du taux d'utilisation.
- Mettre à la disposition du responsable de la maintenance une certaine quantité de dépenses imprévues en outillage et en frais divers.

III.1.5 Politiques de la Maintenance dans L'entreprise

III.1.5.1 Définitions et Stratégies

Les politiques d'entretien ou de maintenance vont de l'absence totale à des définitions très élaborées. Souvent le responsable est abandonné à sa seule initiative, la consigne étant que les machines tournent au moindre frais. La prévision est inconnue : on voit des révisions générales stoppées parce qu'on remplace la machine, et des machines laissées à l'abandon alors qu'elles vont être très sollicitées. Dans d'autres cas la direction fixe à la maintenance et en accord avec elle des objectifs précis ainsi que les moyens nécessaires, ceci pour un temps déterminé. A échéance on fait le point et on révisé les objectifs. Le responsable d'entretien connaît donc la ligne à suivre et conserve le maximum de liberté dans les décisions d'action prises à son niveau. Une véritable politique ou stratégie de maintenance doit combiner des moyens d'intervention, techniques, économiques, financiers et humains. Elle est fondée sur la rentabilité. Elle tient compte des moments. Tantôt on recherchera le coût minimum en période

d'austérité, tantôt le maximum de disponibilité en période de croissance. Des études de fiabilité permettent de définir les probabilités de panne donc les moyens nécessaires. Un contrôle de gestion permet de vérifier que la maintenance se trouve au voisinage de l'optimum, et que les choix sont effectués en fonctions des gains escomptés : une dépense importante peut être plus rentable qu'une dépense moindre s'il y a gain de délai, ou de durée de vie, ou de disponibilité ou de qualité sur le produit. Une étude a montré que les politiques de maintenance sont rarement définies et qu'elles existent très rarement sous forme écrite. Citons l'American Management Association, *Controls of Maintenance Costs* : « Les politiques de maintenance sont ordinairement issues de l'expérience, de façon assez empirique, au lieu d'avoir été conçues pour réaliser des objectifs spécifiques à la maintenance. Relativement peu d'entreprises disposent de politiques écrites de maintenance. L'uniformité et la continuité de ces politiques tendent à manquer, car elles existent surtout dans la tête des chefs de l'entretien. Cette situation peut partiellement être attribuée au peu d'attention qu'attribue la direction à la maintenance. On peut trouver une explication encore meilleure dans les difficultés rencontrées pour appliquer l'analyse quantitative à l'établissement des objectifs de maintenance »[14].

La politique de la maintenance est la définition, au niveau de l'entreprise, des objectifs technico-économiques relatifs à la prise en charge des équipements par le service maintenance. C'est dans le cadre de cette politique que le responsable du service de maintenance met en œuvre les moyens adaptés aux objectifs fixés ; on parlera alors de stratégie pour le moyen terme et de tactique pour le court terme. La gestion de maintenance prend essentiellement en compte les aspects technique, économique et financier des différentes méthodes utilisables (corrective, préventive systématique et préventive conditionnelle) en vue d'optimiser la disponibilité des matériels. Elle s'organise en prenant pour base le budget affecté au service ; à partir de l'analyse d'observations, chiffrées ou non, calculées, relevées ou mesurées ; ce qui implique des choix. La définition des objectifs ne peut se faire qu'en concertation avec la direction technique et les services de production ou d'exploitation. La mise en œuvre d'une politique de maintenance représente un investissement, dont on attend des bénéfices. Le responsable de maintenance doit obtenir de la direction les moyens compatibles avec les objectifs fixés.

Dans cette politique on doit s'attacher à la prévision des pannes aléatoires pour les études d'inspection (entretien suivant diagnostic), faites à partir de relevés méthodiques et périodiques. On étudie la vie du matériel sur plusieurs années. Ces études de fiabilité vont servir à la détermination des probabilités de pannes, donc à la consommation des pièces

détachées et des différentes charges. Ce n'est qu'à partir de ces données qu'on peut élaborer les prévisions et le budget de maintenance. Avec une politique de maintenance et une bonne stratégie on ne subit plus la panne car elle est prévue et le contrôle budgétaire reste un contrôle normal, car dans la stratégie, on aura à calculer la probabilité d'apparition des pannes et leurs conséquences pour ne plus les subir et l'on cherchera à rentabiliser toute action d'entretien. La maintenance sera donc amenée à considérer alors les :

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

III.1.5.2 Gestion et Groupes de Politiques

La gestion de la politique de maintenance préalablement établie ne doit pas se reposer uniquement sur l'aspect financier, sinon elle aura pour but de réduire au minimum les coûts de maintenance sans trop se soucier de l'intérêt majeur de l'entretien, car on cherche toujours à ne pas trop dépenser dans le cadre d'un exercice déterminé, ce qui donne la conception selon laquelle l'entretien coûte et ne rapporte rien, en oubliant que sans entretien, on ne peut pas produire. Les politiques sont des principes directeurs qui aident à atteindre l'objectif défini d'une fonction. Elles indiquent l'action à entreprendre pour remédier aux situations qui se produisent. Pour vérifier la validité d'une politique, nous pouvons nous demander : « Nous aide-t-elle à résoudre efficacement un problème existant ? » ou « Remédie-t-elle sans difficulté à une situation récurrente ? ».

Les politiques portant sur le fonctionnement de la maintenance peuvent être subdivisées en cinq groupes comme suit :

1. domaine et limites de la maintenance.
2. type et niveau de service attendu.
3. responsabilités auprès de la direction.
4. pratiques du personnel.
5. budget et contrôles financiers.

L'avantage qu'il y a à définir et à utiliser des politiques est le fait que la direction peut aviser tous les niveaux de ses intentions. Les politiques étendent et limitent à la fois l'autorité puisqu'elles garantissent l'action des gens dans le domaine tout entier permis par la définition.

En l'absence de politique, les gens tendent à exagérer leurs limitations, de sorte qu'ils ne se surmènent pas et qu'ils n'accroissent pas leurs responsabilités. Les fonctions que l'on attend du service maintenance ne sont pas évidentes. Il arrive souvent que certaines fonctions ne sont spécifiées explicitement qu'en partie, d'autres sont supposées, certaines sont assignées à la maintenance en l'absence d'autres responsables et d'autres enfin semblent ne venir de nulle part. Il n'y a rien de mal à faire ce qui doit être fait, mais il est important de se rendre compte que rien ne va plus lorsque la maintenance supporte une trop lourde charge extérieure. Quand cela se produit, ni la maintenance ni la direction ne peuvent voir la réalité en face. Seules les politiques nous permettront de définir ce que l'on attend, réellement de la maintenance.

1/- Le premier groupe de politiques de la liste suscitée détermine le sens propre du terme de maintenance et ce qui est exclu. Il vaut mieux sous-traiter certains travaux, par exemple l'entretien des balances et des balances, le goudronnage des toits ou la réparation des appareils électriques, en tenant compte des aptitudes spéciales nécessaires. D'autres travaux pourraient être sous-traités à la suite des charges saisonnières, par exemple la révision des installations pendant les fermetures.

2/- Le second groupe de politiques porte sur la quantité et l'intensité que l'on attend de la maintenance pour répondre aux besoins de production. Ces politiques devraient refléter les objectifs de la maintenance. Faute d'être un engagement financier de la part de la direction, ces politiques indiquent comment l'on attend que ce service soit « rendu ». Le niveau du service, son intensité et son choix dépendent de l'équilibre entre les frais engagés et les objectifs fonctionnels de l'entreprise. S'il s'agit avant tout d'économiser, le niveau du service peut être abaissé. Le niveau opérationnel présente cependant deux aspects : la performance de l'installation et son aspect extérieur. Le premier se prête à une quantification, c'est-à-dire l'état mécanique qui se manifeste dans la quantité et la qualité des produits et dans le pourcentage

de fonctionnement sans panne. L'aspect extérieur est déterminé principalement par la politique de l'entreprise. Les entreprises qui veulent améliorer les relations avec leurs clients peuvent désirer une présentation du type « vitrine de magasin ». En agissant ainsi, l'on s'attend souvent à ce que l'attitude du personnel soit aussi favorablement influencée. Donc, les politiques serviront à établir clairement les normes du niveau de maintenance pour réaliser à la fois de bonnes performances et une excellente présentation. La simple action consistant à définir les politiques et à les adopter aura des effets bénéfiques aussi bien sur la direction que sur la maintenance en développant une meilleure coopération et en supprimant de nombreux sujets de friction. Le plus grand nombre de conflits entre la maintenance et les autres départements se rencontre dans le domaine des priorités. La meilleure façon pour éviter ces frictions est l'établissement des priorités.

3/- Le groupe suivant de politiques porte sur la dépendance de la direction dans laquelle se trouve la maintenance. Il y a souvent des problèmes d'autorité pour agir, pour approuver un certain travail et pour commander les pièces de rechange. Il est banal d'affirmer que les directeurs et les cadres de la maintenance doivent être motivés, et qu'ils ne doivent être en aucun cas démotivés. En réduisant l'autorité, la direction refuse de donner au responsable de la maintenance l'occasion de prouver sa compétence à son propre personnel, et de prouver à l'entreprise son aptitude à diriger. Rien n'est plus décevant pour le cadre de la maintenance que de tenter de faire correctement son travail avec un équipement médiocre et une pénurie de pièces détachées, tout en recevant des reproches pour frais excessifs. Cette situation se produit lorsque les budgets sont fixés arbitrairement ou pas du tout, ou lorsque les dépenses exigent une longue procédure d'approbation.

4/- Les politiques concernant le personnel de maintenance doivent porter sur les points suivants :

- a)** le nombre, rapporté à l'échelle des opérations.
- b)** les méthodes de choix, de formation et de promotion.
- c)** les aptitudes professionnelles.
- d)** le nombre de contrôleurs et les pratiques de contrôle.
- e)** l'échelle des salaires et les stimulants.
- f)** les programmes de sécurité.

Comme nous avons vu, l'adoption de politiques bien choisies fournit une charte opérationnelle qui aidera la direction, la production et la maintenance. L'établissement des politiques exige de disposer des informations voulues sur l'entreprise et la nécessité de coordonner les besoins

existants avec les moyens disponibles. L'étude détaillée et son incorporation dans un «manuel de service» poseront un important jalon dans le travail de l'équipe de maintenance.

5/- On doit fixer des politiques qui permettent au département de fonctionner sans dépasser les limites de dépenses requises. On devra pouvoir tenir compte du véritable état de l'installation et de son usage, de l'achat des pièces détachées et des matières premières et de l'outillage pour la maintenance. Généralement le budget affecté au service de maintenance (budget empirique) est annuel et fonction des dépenses antérieures. Il est préparé à partir de l'analyse d'observation des différents éléments réunis dans le passé (base statistique) et dans le courant de l'année précédente et pour une date déterminée.

Une conjoncture différente peut le remettre en cause car ses objectifs sont essentiellement financiers. Les politiques de budget ne doivent pas déterminer les montants à distribuer, qui sont variables, mais bien leurs limites grâce à des ratios ou autres repères. Il faudra également décider de quelle façon la direction exercera son contrôle. Ce groupe de politiques doit également couvrir la nature des habitudes de compte rendu. Deux buts seront ainsi remplis : exiger des comptes rendus de maintenance et, en même temps, obliger la direction à y prendre intérêt. Un sous-produit des comptes rendus est l'exercice de contrôles. Les politiques répondront à des questions comme « Quelles sont les activités que doivent refléter ces contrôles ? » ou « Quelle est la précision demandée et la fréquence des comptes rendus ? » Remarquons que si l'on suit cette méthode, on pourra résoudre la plupart des problèmes soulevés par l'attitude de la direction envers la maintenance.

III.1.5.3 Choix des Objectifs

La politique de maintenance implique la prise de décision sous forme de compromis entre les quatre pôles : humain, économique, financier et technique.

a) Exemples de politique de maintenance

La liste suivante peut être donnée à titre indicatif.

- 1- Accroître la disponibilité des matériels de production.
- 2- Réduire les coûts de maintenance des matériels de production.
- 3- Permettre une production de haute qualité.
- 4- Diminuer les pertes de production.
- 5- Augmenter la productivité du personnel de maintenance.
- 6- Réduire les stocks liés à la maintenance.
- 7- Améliorer l'efficacité de l'ordonnancement (moins « d'improvisations »).
- 8- Définir une politique d'approvisionnement.

- 9- Définir les conditions de renouvellement ou d'investissement.
- 10- Définir une politique de recours à des entreprises extérieures.
- 11- Optimiser la répartition entre la maintenance corrective et la maintenance préventive.
- 12- Choisir la méthode de maintenance la mieux adaptée à un matériel donné.

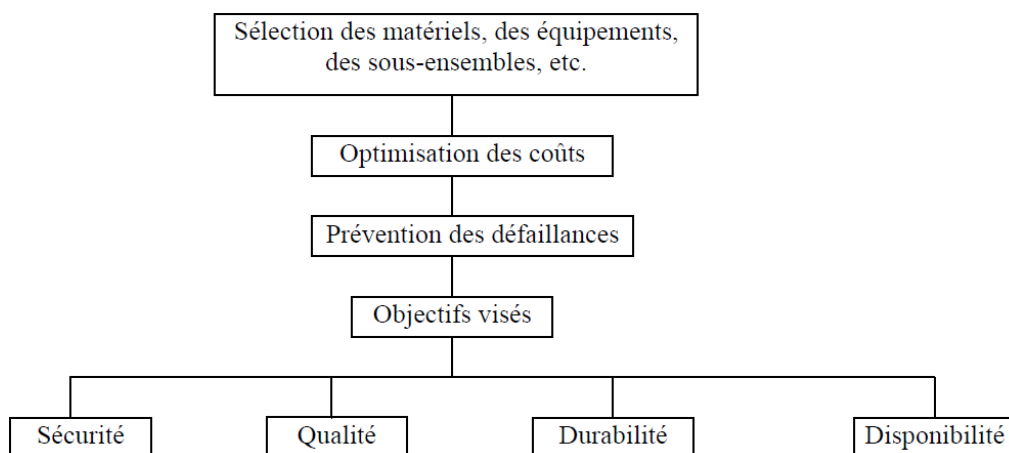
b) Une fois un objectif clairement défini, et en se l'imitant au domaine de la maintenance opérationnelle, nous devons encore raisonner en terme de choix

- Quelle méthode à mettre en œuvre ?
 - Préventive ou corrective ?
 - Quel niveau de maintenance préventive ?
 - Quelle forme de maintenance préventive ?
 - A quelle périodicité intervenir ?
- Quand remplacer un équipement ?
- Quand faut-il cesser la maintenance ?
- Comment introduire une politique de maintenance efficace ?

III.1.5.4 La Mise en Ouvre d'une Politique de Maintenance

Sachant que les responsables opérationnels n'ont pas le pouvoir de définir la politique, nous pouvons dire qu'elle relève des décisions de la direction générale. Un certain retard a été pris dans ce domaine, trop peu de directions sont informées de l'existence d'outils d'aide à la décision ou de l'élaboration de doctrines permettant la réalisation d'une maintenance efficace et économique.

Une politique de maintenance peut s'articuler et s'organiser autour du concept suivant :



Ce concept implique des moyens définis, compris, admis et réalisables par l'équipe de maintenance. La mise en place d'une politique de maintenance implique :

a) Une volonté et une bonne compréhension de la direction générale

- Idée claire de la fonction maintenance, de ses possibilités et de ses limites.
- Participation à la définition des objectifs et dotation des moyens correspondants.
- Admettre la nécessité d'un investissement initial.
- Exprimer la volonté de maintenir ou rétablir le matériel dans un état spécifié.

b) Des structures compatibles avec la fonction maintenance

- Equilibre structurel des trois fonctions techniques, pour un produit donné il faut assurer : l'étude, la production et la maintenance de l'outil de production.
- Centralisation dans un atelier spécialisé des moyens lourds (4ème et 5ème niveau de maintenance,
- Décentralisation sur site d'équipes techniquement polyvalentes.
- Développement des fonctions « méthodes et ordonnancement de maintenance.

c) Dotation en moyens humains

- Compétence en gestion de la maintenance de l'encadrement.
- Revalorisation de la fonction maintenance et réaction contre la routine et l'empirisme.
- Consensus du personnel.
- Formation du personnel en place et introduction si possible de personnel nouveau.
- Effectif suffisant.

d) Dotation en moyens financiers

- Suffisance du budget face aux objectifs visés.
- Possibilité d'investissement.

Par exemple : pour la mise en place d'une maintenance conditionnelle, il faut l'installation d'un système de télésurveillance du matériel et l'informatisation.

e) Dotation en moyens matériels

- Equipement de l'atelier central.
- Outillage standard et spécialisé adapté au matériel, moyens « scientifiques » de surveillance, détection, test, autodiagnostic.
- Moyens informatisés.

f) Maîtrise des flux de communication

- Les techniques d'information et de communication.
- Les dossiers (techniques, historiques et de pannes).
- Exploitation des données opérationnelles : fiabilité, disponibilité, coûts.

III.2. Définitions, Méthodes et Opérations de la Maintenance

III.2.1 Introduction

Lorsque la politique ou la stratégie de maintenance est définie, on doit choisir ensuite la méthode la plus appropriée pour atteindre les objectifs fixés, le choix de cette méthode dépendra également d'autres paramètres à savoir :

- La connaissance du matériel, de son âge, de son état et de la durée de vie de ces différents organes.
- La probabilité de pannes ; faible ou élevée.
- La facilité d'intervention.
- La possession en stock de pièces de rechange.
- Les moyens disponibles au moment de l'intervention.

a) Les événements qui sont à l'origine de l'action :

- La référence à un échancier ;
- La subordination à un type d'événements prédéterminés (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure...) ;
- L'apparition d'une défaillance.

b) Les méthodes de maintenance qui leur sont respectivement associées :

- La maintenance corrective ;
- La maintenance préventive systématique ;
- La maintenance préventive conditionnelle.

c) Les opérations de maintenance proprement dites :

Inspection, contrôle, dépannage, réparation, révision, rénovation, etc.

d) Les activités connexes :

Maintenance d'amélioration, travaux neufs, sécurité, etc.

Les opérations de maintenance proprement dites et les activités connexes de maintenance sont décomposées en cinq niveaux d'intervention du simple réglage (1er niveau) à l'opération lourde de maintenance confiée à un atelier central ou à une unité extérieure (5ème niveau).

Cette réflexion terminologique et conceptuelle représente une base de référence sérieuse pour:

- L'utilisation d'un langage commun pour toutes les parties (conception, production, prestataires de services...)
- La mise en place de systèmes informatisés de gestion de la maintenance.

III.2.2 Les Méthodes de Maintenance

Le choix entre les méthodes de maintenance s'effectue dans le cadre de la politique de la maintenance et doit s'opérer en accord avec la direction de l'entreprise.

Pour choisir, il faut être informé des objectifs de la direction, des décisions politiques de maintenance, mais il faut aussi connaître le fonctionnement et les caractéristiques des matériels ; le comportement du matériel en exploitation ; les conditions d'application de chaque méthode ; les coûts de maintenance et les coûts de perte de production.

III.2.2.1 La Maintenance Corrective

- **Définition** : « Maintenance effectuée après défaillance »[11].
- **Défaillance** : « Altération ou cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. » On distingue deux formes de défaillance : la défaillance partielle et la défaillance complète.
- **Défaillance partielle** : « Altération de l'aptitude d'un bien à accomplir les fonctions requises. »
- **Défaillance complète** : « Cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. »

La maintenance corrective a pour objet de redonner au matériel des qualités perdues nécessaires à son utilisation.

Les défauts, pannes ou avaries diverses exigeant une maintenance corrective entraînent une indisponibilité immédiate ou à très brève échéance des matériels affectés ou / et une dépréciation en quantité ou / et en qualité des services rendus.

III.2.2.2 La Maintenance Préventive

- **Définition** : « Maintenance effectuée selon des critères prédéterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu »[11].

Elle doit permettre d'éviter des défaillances des matériels en cours d'utilisation. L'analyse des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter.

- **But de la maintenance préventive** :

- Augmenter la durée de vie des matériels.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer le temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions de la maintenance corrective coûteuse.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.

- Eviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.
- Diminuer le budget de la maintenance.
- Supprimer les causes d'accidents graves.

A) La Maintenance Préventive Systématique

- **Définition :** « Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage. »

Cette périodicité d'intervention est déterminée à partir de la mise en service ou après une révision partielle ou complète.

Même si le temps est l'unité la plus répandue, d'autres unités peuvent être retenues telles que : la quantité de produits fabriqués ; la longueur de produits fabriqués ; la distance parcourue ; la masse de produits fabriqués ; le nombre de cycle effectué ; etc.

- **Conditions d'applications**

Cette méthode nécessite de connaître : le comportement du matériel ; les usures ; les modes de dégradations ; le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries (MTBF).

De plus en plus les interventions de la maintenance systématique se font par échanges standards.

- **Cas d'applications**

La maintenance systématique peut être appliquée dans les cas suivants :

- Equipements soumis à la législation en vigueur (sécurité réglementée). Par exemples : appareil de levage, extincteur (incendie), réservoir sous pression, convoyeurs, ascenseurs, monte-charge, etc.
- Equipements dont la panne risque de provoquer des accidents graves. Par exemples : tous les matériels assurant le transport en commun des personnes, avion, trains, etc.
- Equipements ayant un coût de défaillance élevé. Par exemples : éléments d'une chaîne automatisée, systèmes fonctionnant en continu.
- Equipements dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées au cours de leur temps de service. Par exemples : consommation excessive d'énergie, allumage et carburation déréglés pour les véhicules à moteurs thermiques.

B) La Maintenance Préventive Conditionnelle

- **Définition :** « Maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé, (autodiagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.), révélateur de l'état de dégradation du bien. »

La maintenance conditionnelle est donc une maintenance dépendant de l'expérience et faisant intervenir des informations recueillies en temps réel. On l'appelle parfois maintenance prédictive.

- **Conditions d'applications**

La maintenance préventive conditionnelle se caractérise par la mise en évidence des points faibles. Suivant les cas il est souhaitable de les mettre sous surveillance et à partir de là, nous pouvons décider d'une intervention lorsqu'un certain seuil est atteint, mais les contrôles demeurent systématiques et font partie des moyens de contrôle non destructifs.

- **Cas d'application**

Tous les matériels sont concernés. Cette maintenance préventive conditionnelle se fait par des mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement.

- **Paramètres mesurés**

Ils peuvent porter par exemple sur :

- Le niveau et la qualité d'une huile.
- Les températures et les pressions.
- La tension et l'intensité du matériel électrique.
- Les vibrations et les jeux mécaniques.

De tous les paramètres énumérés, l'analyse vibratoire est de loin la plus riche quant aux informations recueillies. Sa compréhension autorise la prise à bon en pleine connaissance de cause des décisions qui sont à la base d'une maintenance préventive conditionnelle. La surveillance peut être soit périodique, soit continue.

- **Avantages**

La connaissance du comportement est en temps réel à condition de savoir interpréter les résultats. A ce niveau l'information a un rôle fort intéressant à jouer. Par exemple : une société a introduit un système de gestion par microprocesseur pour améliorer ou installer un programme de maintenance conditionnelle. Ce système de gestion comporte une centrale de mesure électronique portable, une imprimante et un analyseur de données. Les mesures s'effectuent avec un simple capteur. Les données recueillies sont soit transmises à une imprimante, soit déchargées dans un analyseur de données pour emmagasinage sur une bande magnétique ou sur disquette qui peut fournir les rapports de maintenance automatiquement.

Ce matériel devra être très fiable pour ne pas perdre sa raison d'être, il est d'ailleurs souvent onéreux mais pour des cas bien choisis il est rentabilisé rapidement.

• Conclusion

Pour être efficace, la méthode de maintenance proposée, doit dans tous les cas être comprise et admise par les responsables de production et avoir l'adhésion de tout le personnel.

Ces méthodes doivent être dans la mesure du possible standardisées entre les différents secteurs (production et périphériques). Ce qui n'exclut pas l'adaptation essentielle de la méthode au matériel (par exemple à un ensemble de machines, à une machine ou à un organe). Avec l'évolution actuelle des matériels et leurs tendances à être plus fiables, la proportion des pannes accidentelles sera mieux maîtrisée. La maintenance préventive diminuera quantitativement d'une façon systématique mais s'améliorera qualitativement par la maintenance conditionnelle. La maintenance préventive, hier expérimentale et subjective, tend aujourd'hui à devenir plus scientifique.

III.2.3 Opérations De Maintenance

III.2.3.1 Operations De Maintenance Corrective

Ces opérations peuvent être classées en trois groupes d'actions.

- Le premier groupe concerne la localisation de la défaillance ; il comprend les opérations suivantes : le test, la détection, le dépistage et le diagnostic.
- Le deuxième groupe concerne les opérations de la remise en état ; il comprend les opérations suivantes : le dépannage, la réparation et la modification soit et du matériel ou du logiciel.
- Le troisième groupe concerne la durabilité ; il comprend les opérations suivantes : la rénovation, la reconstitution et la modernisation.

A) La Localisation de Défaillance

C'est l'action qui conduit à rechercher précisément le (les) élément(s) par le(s) quel(s) la défaillance se manifeste.

- **Le test** : c'est une opération qui permet de comparer les réponses d'un système à une sollicitation appropriée et définie, avec celles d'un système de référence, ou avec un phénomène physique significatif d'une marche correcte.
- **La détection** : c'est l'action de déceler au moyen d'une surveillance accrue, continue ou non, l'apparition d'une défaillance ou l'existence d'un élément défaillant.
- **Le dépistage** : c'est une action qui vise à découvrir les défaillances dès leur début par un examen systématique sur des équipements apprenant en état de fonctionnement.
- **Le diagnostic** : c'est l'identification de la cause probable de la (ou les) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une

inspection, d'un contrôle ou d'un test. Le diagnostic permet de confirmer, de compléter ou de modifier les hypothèses faites sur l'origine et la cause des défaillances et de préciser les opérations de maintenance corrective nécessaires.

B) La Remise en état

La remise en état de fonctionnement peut consister à réaliser l'une des opérations suivantes.

1/ Dépannage

- **Définition**

C'est une action sur un bien en panne, en vue de le remettre en état de fonctionnement ; compte tenu de l'objectif, une action de dépannage peut s'accommoder de résultats provisoires et de conditions de réalisation hors règles de procédures, de coûts et de qualité, et dans ce cas sera suivie de la réparation.

- **Conditions d'applications**

Le dépannage, opération de maintenance corrective, n'a pas de conditions d'applications particulières. La connaissance du comportement du matériel et des modes de dégradation n'est pas indispensable même si cette connaissance permet souvent de gagner du temps. Souvent les interventions de dépannage sont de courtes durées mais peuvent être nombreuses. De ce fait les services de maintenance, soucieux d'abaisser leurs dépenses, tentent d'organiser les actions de dépannage. D'ailleurs certains indicateurs de maintenance, pour mesurer son efficacité, prennent en compte le problème du dépannage.

- **Cas d'applications**

Ainsi le dépannage peut être appliqué par exemple sur des équipements fonctionnant en continu dont les impératifs de production interdisent toute visite ou intervention à l'arrêt.

2/ La réparation

- **Définition**

C'est une intervention définitive et limitée de maintenance corrective après défaillance.

- **Conditions d'applications**

L'application de la réparation, opération de maintenance corrective, peut être décidée, soit immédiatement à la suite d'un incident, ou d'un d'une défaillance, soit après dépannage, soit après une visite de maintenance préventive conditionnelle ou systématique.

- **Cas d'application**

Tous les équipements sont concernés.

3/ La modification

C'est une opération à caractère définitif effectuée sur un bien en vue d'en améliorer le fonctionnement, ou d'en changer les caractéristiques d'emploi.

4/ La durabilité

La durabilité est la durée de vie ou durée de fonctionnement potentielle d'un bien pour la fonction qui lui a été assignée dans des conditions d'utilisation et de maintenance données.

Les opérations maintenance qui concernent la durabilité d'un bien sont les suivantes.

- **La rénovation** : inspection complète de tous les organes, reprise dimensionnelle complète ou remplacement des pièces déformées, vérification des caractéristiques et éventuellement réparation des pièces et sous-ensembles défaillants, conservation des pièces bonnes.

La rénovation apparaît donc comme l'une des suites possibles d'une révision générale au sens strict de sa définition.

- **La reconstitution** : remise en l'état défini par le cahier des charges initial, qui impose le remplacement de pièces vitales par des pièces d'origine ou des pièces neuves équivalentes. La reconstruction peut être assortie d'une modernisation ou de modifications.

Les modifications apportées peuvent concerner, en plus de la maintenance et de la durabilité, la capacité de production, l'efficacité, la sécurité, etc.

- **La modernisation** : remplacement d'équipements, accessoires et appareils ou éventuellement de logiciel apportant, grâce à des perfectionnements techniques n'existant pas sur le bien d'origine, une amélioration de l'aptitude à l'emploi du bien.

Cette opération peut aussi bien être exécutée dans le cas d'une rénovation, que celui d'une reconstruction.

La rénovation ou la reconstruction d'un bien durable peut donner lieu, pour certains de ses sous-ensembles, à la pratique d'un échange standard.

- **Echange standard** : c'est la reprise d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble usagé, et vente au même client d'une pièce, d'un organe ou d'un sous-ensemble, neuf ou remis en état conformément aux spécifications du constructeur, moyennant le paiement d'une soulte dont le montant est déterminé d'après le coût de remise en état.

Soulte : somme d'argent qui, dans un échange ou dans un partage compense l'inégalité de valeur des lots ou des biens échangés. Afin d'accélérer les procédures et de diminuer les coûts, le recouvrement de la soulte peut être forfait.

III.2.3.2 Opérations de Maintenance Préventive

Ces opérations peuvent être classées en quatre groupes d'actions.

- Le premier groupe concerne l'entretien ; il comprend les opérations suivantes : le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface.
- Le deuxième groupe concerne la surveillance ; il comprend les opérations suivantes : l'inspection le contrôle et la visite.
- Le troisième groupe concerne la révision ; il comprend les opérations suivantes : la révision partielle et la révision générale.
- Le quatrième groupe concerne la préservation ; il comprend les opérations suivantes : la mise en conservation, la mise en survie et la mise en service.

A) L'entretien

L'entretien comprend les opérations courantes et régulières de la maintenance préventive tels que le nettoyage, la dépollution et le retraitement de surface qu'ils soient externes ou internes. Par exemple, on peut signaler pour le nettoyage extérieur l'existence de divers types de nettoyage en fonction de la structure et de l'état d'un bien, des produits utilisés et de la méthode employée (les solutions alcalines aqueuses, les solvants organiques, le soufflage aux abrasifs, etc.). Il faut aussi préciser que le retraitement de surface inclut les opérations suivantes de la lubrification et de graissage.

B) La Surveillance

Les termes définis ci-après sont représentatifs des opérations nécessaires pour maîtriser l'évolution de l'état réel du bien, effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

- **L'inspection** : c'est une activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Cette activité peut s'exercer notamment au moyen de ronde.
- **Le contrôle** : c'est une vérification de la conformité à des données préétablies, suivie d'un jugement. Le contrôle peut :
 - comporter une activité d'information,
 - inclure une décision : acceptation, rejet, ajournement,
 - déboucher sur des actions correctives.
- **La visite** : c'est une opération consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout (visite générale) ou partie (visite limitée) des différents éléments du bien et pouvant impliquer des opérations de maintenance du 1^{er} niveau.

C) La Révision

C'est l'ensemble des actions d'examens, de contrôles et des interventions effectuées en vue d'assurer le bien contre toute défaillance majeure ou critique pendant un temps ou pour un nombre d'unités d'usage donné. Il est d'usage de distinguer suivant l'étendue de cette opération les révisions partielles des révisions générales. Dans les deux cas, cette opération implique la dépose de différents sous-ensembles. Ainsi le terme de révision ne doit en aucun cas être confondu avec les termes visites, contrôles, inspections, etc. Les deux types d'opération définis (révision partielle ou générale) relèvent du 4ème niveau de la maintenance.

D) La Préservation

Elle comprend les opérations suivantes.

- **La mise en conservation** : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de non-utilisation.
- **La mise en survie** : c'est l'ensemble des opérations devant être effectuées pour assurer l'intégrité du bien durant les périodes de manifestations de phénomènes d'agressivité de l'environnement à un niveau supérieur à celui défini par l'usage de référence.
- **La mise en service** : c'est l'ensemble des opérations nécessaires, après l'installation du bien à sa réception, dont la vérification de la conformité aux performances contractuelles.

III.2.4 Les Activités Connexes de la Maintenance

Ces activités complètent les actions de la maintenance citées ci-dessus et participent pour une part non négligeable à l'optimisation des coûts d'exploitation.

III.2.4.1 Les Travaux Neufs

L'adjonction à la fonction maintenance de la responsabilité des travaux neufs, est très répandue, en particulier dans les entreprises de taille moyenne. Elle part du principe que, lors de tout investissement additionnel de remplacement ou d'extension, il est logique de consulter les spécialistes de la maintenance qui, d'une part, connaissent bien le matériel anciennement en place, et d'autre part auront à maintenir en état de marche le matériel nouveau. A partir de là, on prend souvent la décision de leur confier l'ensemble des responsabilités de mise en place des nouvelles installations. On crée alors un service appelé « maintenance-travaux neufs ». L'étendue des responsabilités en matière de travaux neufs est très variable d'une entreprise à l'autre.

Il peut s'agir de la construction d'un quai ou d'un bâtiment, de la mise en place d'une machine achetée à l'extérieur (raccordement à la source d'énergie, etc.), ou même de la réalisation intégrale de la machine elle-même. Dans certains cas les « travaux neufs » auront recours à la fabrication de l'entreprise qui réalisera les commandes passées par eux-mêmes.

Notons que même si la fonction maintenance ne se voit pas adjoindre la fonction « travaux neufs », le service s'occupera des installations succinctes du type modifications (réfection d'un bureau, etc.).

III.2.4.2 La Sécurité

La sécurité est l'ensemble des méthodes ayant pour objet, sinon de supprimer, du moins de minimiser les conséquences des défaillances ou des incidents dont un dispositif ou une installation peuvent être l'objet, conséquences qui ont un effet destructif sur le personnel, le matériel ou l'environnement de l'un et de l'autre. Sachant qu'un incident mécanique, une panne, peuvent provoquer un accident, sachant aussi que la maintenance doit maintenir en état le matériel de protection ou même que certaines opérations de maintenance sont elles-mêmes dangereuses, il apparaît que la relation entre la maintenance et la sécurité est particulièrement étroite. Pour toutes ces raisons ainsi que pour sa connaissance du matériel, le responsable de la maintenance devra participer aux réunions du Comité d'hygiène et de Sécurité en qualité de membre ou à titre d'invité, et développer sa collaboration avec l'ingénieur sécurité lorsque l'entreprise en possède un. Dans une entreprise moyenne où la sécurité n'a pas de service propre, on trouve normal de faire appel au service maintenance pour les interventions concernant la sécurité. Celles-ci sont de deux ordres :

- d'une part celles que l'on peut classer dans la sécurité « officielle ». C'est la tenue des registres concernant les chaudières, les visites d'appareils à pression, le contrôle des installations électriques, etc., la tenue des dossiers des rapports de visite de l'inspecteur du travail, du contrôleur de la sécurité sociale, etc.
- d'autre part celles qui, tout en s'inspirant des premières, s'appliquent dans un contexte précis.

III.2.5 Autres Formes et Méthodes de Maintenance

III.2.5.1 La Maintenance D'amélioration

L'amélioration des biens d'équipements qui consiste à procéder à des modifications, des changements, des transformations sur un matériel correspond à la maintenance d'amélioration.

a) Conditions d'applications

Dans ce domaine beaucoup de choses restent à faire. C'est un état d'esprit qui nécessite une attitude créative. Cette créativité impose la critique. Cependant, pour toute maintenance d'amélioration une étude économique sérieuse s'impose pour s'assurer de la rentabilité du projet. Les améliorations à apporter peuvent avoir comme objectif l'augmentation des performances de production du matériel ; l'augmentation de la fiabilité, c'est-à-dire diminuer les fréquences d'interventions ; l'amélioration de la maintenabilité (amélioration de l'accessibilité des sous-systèmes et des éléments à haut risque de défaillance) ; la standardisation de certains éléments pour avoir une politique plus cohérente et améliorer les actions de maintenance, l'augmentation de la sécurité du personnel.

b) Cas d'application

Tous les matériels sont concernés à condition que la rentabilité soit vérifiée. Cependant une petite restriction pour les matériels à renouveler dont l'état est proche de la réforme, pour usure généralisée ou par obsolescence technique.

c) Conclusion

Même si ces activités sortent du cadre direct de la maintenance, elles s'intègrent bien dans le champ de compétence des professionnels de maintenance. En période de crise économique, certains industriels peuvent se montrer prudents à l'égard des investissements et trouvent des possibilités d'amélioration par l'intermédiaire de ces formes de maintenance.

III.2.5.2 La Total Productive Maintenance (T.P.M.)

Le concept TPM date de 1971 et il est japonais. C'est S. Nakajima de l'institut japonais de maintenance industrielle qui fait la promotion de la TPM. Mais les origines de la TPM viennent des Etats-Unis où la maintenance productive date de 1954. C'est en 1958 que John Smith vient au Japon enseigner la PM (*productive maintenance*)[11]. La TPM est donc une adaptation japonaise de la PM américaine. L'ajoutant du mot total a trois significations majeures : la TPM est un système global et transversal, elle concerne tous les niveaux hiérarchiques, des dirigeants aux opérateurs et comprend l'auto maintenance, c'est-à-dire la participation des exploitants à certaines tâches de maintenance.

Nakajima définit la TPM en cinq points :

- La TPM a pour objectif de réaliser le rendement maximal des équipements ;
- La TPM est un système global de maintenance productive, pour la durée de vie totale des équipements ;

- La TPM implique la participation de toutes les divisions, notamment l'engineering, l'exploitation et la maintenance.
- La TPM implique la participation de tous les niveaux hiérarchiques ;
- La TPM utilise les activités des cercles comme outil de motivation.

La TPM implique donc un découplage de ces services en faisant participer le personnel de production aux tâches de maintenance. Elle vise ainsi à atteindre les zéro pannes, en procédant comme suit :

- Les opérateurs sont chargés de tâches de maintenance du 1er niveau (nettoyage, lubrification, examen externe, etc.). Ils ont la responsabilité de leur machine ;
- Le service maintenance intervient comme spécialiste pour des tâches plus complexes ;
- La TPM fait participer des petits groupes analogues aux cercles de qualité ayant pour objectif l'amélioration de la maintenance dans l'intérêt de l'entreprise.

Les objectifs de TPM sont :

- Réduction du délai de mise au point des équipements.
- Augmentation de la disponibilité, et du taux de rendement synthétique (T.R.S.).
- Augmentation de la durée de vie des équipements.
- Participation des utilisateurs à la maintenance appuyés par des spécialistes de maintenance.
- Pratique de la maintenance préventive systématique et conditionnelle.
- Meilleure maintenabilité des équipements (envisagée à la conception, aide au diagnostic, systèmes experts).

III.2.5.3 La Maintenance Basée Sur La Fiabilité (M.B.F.)

A) Histoire de la MBF

Les origines de la MBF viennent de la RCM (reliability centered maintenance) qui a été introduite en aéronautique vers 1960 aux Etats-Unis pour déterminer les programmes de maintenance[15]. La publication du document MSG (maintenance steering groupe) a fixé les bases de la méthode de développement d'un programme de maintenance recevable à la fois pour les constructeurs d'avions, pour les autorités de l'aviation civile et pour les compagnies.

Il faut souligner que la certification de navigabilité des appareils commerciaux est conditionnée à la mise en œuvre de la maintenance MSG (programme MSG 3 pour l'Airbus A320 et les Boeing 757 et 767). L'évolution des versions successives des MSG a traduit la régression de la maintenance planifiée, le développement des actions conditionnelles, puis l'optimisation économique dans le respect de l'objectif prioritaire qu'est la sécurité. C'est en 1984 que la méthode de maintenance RCM a été transposée au nucléaire américain, puis

importée par EDF au nucléaire français sous le nom de « projet OMF », optimisation de la maintenance par la fiabilité.

L'OMF peut se définir comme une politique de maintenance ayant pour objet « de définir un programme de maintenance préventive afin de contribuer à maintenir, voire à améliorer la fiabilité des fonctions des systèmes qui sont importantes pour la sûreté et la disponibilité des tranches nucléaires ». En 1991, EDF a pris la décision de généraliser l'application de l'OMF à toutes les tranches 900 MW, puis aux 1 300 MW à partir de 1995. Les objectifs de l'OMF sont

- le maintien, voire l'amélioration de la sûreté nucléaire.
- la maîtrise des coûts et l'optimisation économique de la maintenance, suivant le principe « exercer l'effort au bon endroit ».
- la mise en œuvre d'une méthode structurée et rationnelle, par analyse de chaque mode de défaillance fonctionnelle.
- l'utilisation du retour d'expérience pour réajuster les programmes de maintenance et leur pertinence.

Plus pragmatique que la TPM, la démarche MBF repose sur l'analyse technique des équipements, donc sur une forte implication des techniciens de maintenance et de l'encadrement sectoriel, le résultat abouti étant proche de celui obtenu par la démarche TPM : une redistribution des responsabilités dans une nouvelle organisation.

B) Définitions, Objectifs et Moyens de la MBF

L'objectif de la MBF est de proposer aux entreprises une méthode structurée permettant d'établir un plan de maintenance sélectif à partir de la criticité des équipements, puis de leurs défaillances identifiées. Cela à partir d'une démarche participative.

• Définitions de la MBF

Quelques définitions de la MBF, tirées de la littérature récente, donneront l'idée générale de la méthode.

- La RCM est une stratégie de maintenance globale d'un système technologique utilisant une méthode d'analyse structurée permettant d'assurer la fiabilité inhérente à ce système.
- La MBF est une méthode destinée à établir un programme de maintenance préventive permettant d'améliorer progressivement le niveau de disponibilité des équipements critiques.
- La MBF est une méthode reposant essentiellement sur la connaissance précise du comportement fonctionnel et dysfonctionnel des systèmes.

• Objectifs de la MBF

L'objectif principal est clair : améliorer la disponibilité des équipements sélectionnés comme critiques par leur influence sur la sécurité, sur la qualité et par leur impact sur les flux de production. Améliorer la disponibilité implique la réduction des défaillances techniques par la mise en place d'un plan préventif « allant à l'essentiel », mais aussi la réduction des durées de pertes de production par une nouvelle répartition des tâches entre production et maintenance. D'autres objectifs sont recherchés :

- la maîtrise des coûts par l'optimisation du plan de maintenance préventive, en faisant porter l'effort de prévention « au bon endroit au bon moment », donc par élimination de tâches préventives constatées improductives.

- la mise en œuvre d'une démarche structurée, par analyse systématique de chaque mode de défaillance qui permet de justifier les décisions prises.

- la mise en œuvre d'une démarche participative au niveau des groupes de travail MBF ou au niveau des tâches réparties entre production et maintenance.

- la rapidité des résultats associés à une faible perturbation de l'organisation en place, par opposition à la TPM qui est une démarche globale de management à objectifs sur le long terme.

• Moyens nécessaires à la mise en œuvre de la MBF

La méthode s'appuie sur une démarche de type AMDEC et des matrices de criticité pour hiérarchiser les équipements, puis les causes de défaillances. L'utilisation ultérieure d'arbre de décisions permet de déterminer les actions à entreprendre dans le cadre d'un plan de maintenance préventive.

III.2.6 Les Niveaux de Maintenance

En fonction de la politique de maintenance et du potentiel humain et technique de l'entreprise, les opérations de maintenance sont décomposées en cinq niveaux d'intervention du simple réglage (1er niveau) à l'opération lourde de maintenance confiée à un atelier central ou à une unité extérieure (5ème niveau). Ces niveaux sont donnés à titre indicatif et leur utilisation n'est concevable qu'entre des parties qui sont convenues de leur définition précise selon le type du bien à entretenir (voir tableau 1.1).

Cependant, il est important de noter que la tendance actuelle est de se ramener à trois niveaux seulement dans une logique de TPM. A savoir :

- I = 1 + 2 : c'est la maintenance de première ligne transférée progressivement aux opérateurs de production, assisté si nécessaire par les techniciens de maintenance.

- II = 3 + 4 : domaine d'action privilégié des équipes polyvalents de techniciens de maintenance. Diagnostics, interventions techniquement évoluées, mis en œuvre d'amélioration, etc.
- III = 5 : travaux spécialisés souvent sous-traités pour que la maintenance puisse recentrer ses moyens sur son savoir-faire c'est-à-dire le niveau II.

Niveau	Personnel intervenant	Nature de l'intervention	Moyens requis	Interventions et opérations
1	L'exploitant du bien sur place.	Réglages simples, généralement prévus par le constructeur, au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage ou aucune ouverture de l'équipement, ou échange d'éléments consommables en toute sécurité tels que voyants ou certains fusibles, etc.	Sans outillage ou outillage léger et à l'aide des instructions d'utilisation et de conduite. Le stock des pièces consommables nécessaires dans ce cas est très faible.	- Niveau d'huile moteur ; - Niveau d'eau ; - Indicateur de colmatage ; - Niveau de la réserve de combustible ; - Niveau de la réserve d'huile ; - Régime du moteur ; - Température de l'eau de refroidissement ; - Température d'échappement ; - Test des voyants et indicateurs ; - Purge de circuit d'échappement ; - Nettoyage des filtres ; - Contrôle visuel de l'état des organes ; - Contrôle auditif des bruits de marche.
2	Un technicien habilité* de qualification moyenne ou un ouvrier qualifié de maintenance (dépanneur) sur place. Ce dernier suit les instructions de maintenance qui définissent les tâches, la manière et les outillages spéciaux.	Dépannage par échange standard des éléments prévus à cet effet, ou opérations mineures de maintenance préventive, par exemple de graissage ou de contrôle de bon fonctionnement.	Outillage standard ou spécial, les pièces de rechanges situés à proximité immédiate sont du type consommables ; filtres, joints, huile, liquide de refroidissement. Suivant les instructions de maintenance.	- Remplacement des filtres à gazole ; - Remplacement des filtres à huile moteur ; - Remplacement des filtres à air ; - Prélèvement d'huile pour analyse ; - Vidange de l'huile de moteur ; - Analyse de liquide de refroidissement ; - Contrôle des points signalés pour le 1^{er} niveau ; - Graissage de tous les points en fonction de la périodicité ; - Contrôle des batteries.
3	Un technicien spécialisé ou un ouvrier spécialisé de maintenance sur place ou en atelier de maintenance, avec l'aide d'instructions de maintenance et d'outils spécifiques.	Identification et diagnostic des pannes, réparation par échange de composants ou d'éléments fonctionnels, réparations mécaniques mineures, et toutes opérations courantes de maintenance préventive telles que	Outillage plus appareils de mesure et de réglage ou de calibrage prévus dans les instructions de maintenance, et éventuellement des bancs d'essais et de contrôle des équipements et en utilisant	- Réglage des jeux des soupapes ; - Réglages des injecteurs ; - Contrôle des sécurités du moteur ; - Contrôle et réglage des protections électriques ; - Contrôle des refroidisseurs ; - Contrôle du démarreur ;
		réglage général ou réaligement des appareils de mesure.	l'ensemble de la documentation nécessaire à la maintenance du bien, ainsi que les pièces approvisionnées par le magasin.	- Remplacement d'un injecteur ; - Contrôle et réglage de la régulation de puissance ; - Contrôle et révision de la pompe ; - Contrôle des turbocompresseurs ; - Remplacement d'une résistance de chauffe ; - Contrôle de l'isolement électrique ; - Remplacement des sondes et capteurs ; - Remplacement d'une bobine de commande, remplacement d'un disjoncteur.
4	Des techniciens bénéficiant d'un encadrement technique très spécialisé, ou une équipe comprenant un encadrement technique très spécialisé, dans des ateliers spécialisés (rectification, réusinage).	Tous les travaux importants de la maintenance préventive ou corrective à l'exception de la reconstruction et de la rénovation. Ce niveau comprend aussi le réglage des appareils de mesure utilisés pour la maintenance et, éventuellement, la vérification des étalons de travail par des organismes spécialisés. Plus les opérations de révision.	Outillage général complet et outillage spécifique (moyens mécaniques, de câblage et de nettoyage). Eventuellement, des bancs de mesures et des étalons de travail nécessaires, à l'aide de toutes documentations générales ou particulières.	- Découssage (révision, rectification) ; - Révision de la cylindrée ; - Contrôle d'alignement du moteur / alternateur ; - Changement des pôles d'un disjoncteur Haute Tension.
5	Une équipe complète polyvalente en atelier spécialisé ou par le constructeur lui-même.	Travaux de rénovation, de reconstruction ou exécution des réparations importantes confiées à un atelier spécialisé ou une unité extérieure de maintenance	Moyens proches de ceux de fabrication définis par le constructeur.	Il s'agit d'opérations lourdes de rénovation ou de reconstitution d'un équipement.

* : Un technicien est habilité lorsqu'il a reçu une formation lui permettant de travailler en sécurité sur une machine présentant certains risques potentiels, et en connaissance de cause.

Tableau III.1 : Les cinq niveaux de maintenance[11].

III.2.7 Organisation Technique des Travaux de Maintenance

III.3.7.1 Organisation d'une Action de Maintenance Corrective

Dans les processus industriels, que le fonctionnement soit discontinu ou continu pour le maintien ou la remise en état de l'outil de production, nous chercherons à améliorer la qualité de l'intervention qui doit se traduire par une meilleure qualité du produit fabriqué ou du service rendu et à diminuer le « temps propre d'indisponibilité » par une organisation appropriée et une mise en œuvre de moyens adaptés.

A) Organisation d'une intervention pour le dépannage

L'organisation s'effectue à 3 niveaux afin de réduire les immobilisations des matériels :

- avant la panne,
- au déclenchement de la panne,
- après la panne.

• Organisation avant la panne

Il faut pouvoir rassembler tous les moyens nécessaires à une intervention rapide.

Connaissant l'organisation et la structure du service nous pouvons récupérer rapidement :

❖ **La documentation** : c'est à dire les dossiers techniques et historiques : l'organigramme de dépannage ; le tableau de diagnostic ; les informations recueillies auprès de l'utilisateur.

❖ **Le matériel de première urgence** : matériel pour respect des règlements de sécurité matériel de contrôle ; matériel de mesure ; matériel de diagnostic ; etc.

• Organisation au moment du déclenchement de la panne

A ce niveau nous avons dégagé 3 phases importantes.

1ère phase : enregistrement de l'appel

Il peut provenir d'une alarme, d'un coup de téléphone, d'un télex, d'une communication orale ou par écrit (demande de travaux de maintenance).

2ème phase : l'analyse du travail

- ❖ Dans un premier temps, il faut appliquer ou faire appliquer les consignes pour une intervention immédiate. Elles peuvent être liées à la sécurité, aux arrêts de production, au nettoyage préalable des abords.
- ❖ Il faut ensuite organiser le poste de travail, rassembler les moyens matériels, constater les anomalies pouvant se présenter et voir le meilleur moyen d'y remédier.

3ème phase : la discussion au niveau de l'analyse

Nous pensons qu'à ce stade il faut se poser les questions de la méthode interrogative :

« Quoi ? Qui ? Quand ? Où ? Comment et combien ? » Afin de ne pas faire une intervention trop poussée et choisir entre le dépannage (intervention provisoire) et la réparation (intervention définitive).

- **Organisation après la panne**

Après l'intervention en dépannage le technicien a plusieurs tâches à effectuer :

- faire le compte rendu de l'intervention,
- déclencher éventuellement une remise en service du matériel pour le personnel utilisateur,
- mettre à jour le stock de pièces détachées,
- exploiter les résultats des dépannages.

B) Organisation d'une intervention pour la réparation

Comme pour le dépannage l'organisation s'effectue à 3 niveaux :

- avant l'intervention,
- au déclenchement de l'intervention,
- après l'intervention.

- **Organisation avant l'intervention**

Cela concerne toute l'activité liée à la préparation de la réparation.

- **Organisation au moment du déclenchement de l'intervention**

Contrairement au dépannage, à chaque fois que cela est possible, la réparation se fait dans l'atelier central plutôt que sur le site. Le travail est ainsi réalisé dans de meilleures conditions.

Une réparation méthodique passe nécessairement par les étapes suivantes : diagnostiquer les causes de panne ; expertiser le matériel ; décider si l'intervention doit se faire sur le site ou dans l'atelier de maintenance ; préparer le poste de travail ; respecter les consignes de sécurité ; rassembler les moyens matériels et humains.

- **Organisation après l'intervention**

Nous avons les mêmes étapes que pour le dépannage, c'est-à-dire : compte rendu de l'intervention, remise en main du matériel, mise à jour du stock, correction de la préparation et exploitation des résultats.

III.2.7.2 Organisation d'une Action de Maintenance Préventive

A) Organisation Relative à la Maintenance Préventive Systématique

Ces opérations étant parfaitement stabilisées dans le temps, permettent une organisation rationnelle. Cependant elles doivent être utilisées à bon escient, le critère « coût » étant un élément déterminant dans le choix de cette méthode. Les interventions se faisant à partir d'un échéancier préétabli, la mise en œuvre des moyens en personnels et en matériels, des

procédures de sécurité, des procédures d'intervention (chronologie des opérations, réglages) se fait avec un minimum d'aléas. Les types de travaux entrant dans le cadre de cette maintenance autorisent une préparation rigoureuse, précise et conséquente. La répétitivité de ces tâches permet de rentabiliser facilement l'aspect méthode. Le compte rendu d'intervention est très important notamment pour les opérations de surveillance (inspection et visite) et permettra une exploitation ultérieure.

B) Organisation relative à la Maintenance Préventive Conditionnelle

Le choix du matériel où sera appliquée cette méthode étant fait (matériel stratégique d'un processus de production), nous pouvons mettre en évidence les différentes étapes du suivi du matériel en exploitation. Cette méthode de maintenance implique la mise en oeuvre de techniques de contrôle en cours de fonctionnement. A ce titre se posent deux questions fondamentales :

- quelle(s) technique(s) utilisée(s) ?
- quelles modalités de mise en oeuvre adopter ?

- **Parmi les techniques de contrôle en cours de fonctionnement nous avons :**

L'analyse des huiles de lubrification, l'analyse des vibrations, l'évaluation et le suivi des performances, la thermographie, etc. La technique vibratoire est celle qui donnera le plus grand nombre de renseignements notamment dans le domaine des machines tournantes.

- **Modalités de mise en oeuvre pour une analyse de vibrations**

1. Prendre connaissance des principales causes de vibrations, exemples : balourds, défauts d'alignements, lubrification insuffisante ou/et les caractéristiques mal adaptées, défauts de fixation au sol, perturbations dues à la circulation des fluides, phénomènes de résonance, mauvaise mise à la terre des rotors et des stators pour les moteurs, etc.

2. Identifier la ou les causes les plus probables.

3. Avoir une idée sur la nature des vibrations. Sachant qu'une vibration correspond à un mouvement oscillatoire, ce mouvement peut être périodique, aléatoire ou transitoire.

4. Choisir le facteur le mieux adapté permettant d'interpréter les vibrations. Trois paramètres peuvent décrire une vibration :

- le déplacement qui est la distance parcourue par le point de mesure depuis sa position neutre. Il est proportionnel à la contrainte dans le matériau et se mesure en millimètres.
- la vitesse qui est la rapidité à laquelle se déplace le point de mesure. Elle se mesure en millimètres par seconde (mm/s).

- l'accélération qui est la variation de la vitesse avec le temps. Elle est proportionnelle à la force appliquée sur l'objet, et se mesure en mètres par seconde au carré (m/s^2).

Les valeurs de ces trois paramètres sont reliées entre elles par une fonction de la fréquence f et du temps, ce qui permet, en détectant l'accélération, de pouvoir convertir ce signal en termes de vitesse à l'aide d'intégrateurs électroniques.

Les mesures des déplacements sont effectuées pour le contrôle de phénomènes vibratoires à basse fréquence. Les mesures d'accélération sont utilisées pour les détections de phénomènes vibratoires à haute fréquence. Cependant la vitesse de vibration est souvent considérée comme le meilleur paramètre utilisable sur une large gamme de fréquence.

5. Choisir l'accéléromètre sachant que l'accéléromètre idéal devrait avoir une très grande sensibilité, une large gamme de fréquence, un très faible poids.

Ces conditions étant incompatibles, il faut trouver un compromis idéal. Certains accéléromètres ont été étudiés pour supporter d'extrêmes conditions d'environnement.

6. Choisir l'emplacement de l'accéléromètre en fonction de critères prédéterminés et d'indications proposées par le fabricant du matériel de contrôle des vibrations.

7. Définir les précautions à prendre au montage de l'accéléromètre.

8. Choisir la mesure la mieux appropriée au cas considéré.

Il y a deux façons de rendre utilisables les signaux de vibrations :

- mesure du niveau global des vibrations à l'aide d'un simple mesureur de vibrations ;
- analyse en fréquence qui consiste à découper le signal de vibrations en bandes de fréquences dans chacune desquelles le niveau est mesuré.

La mesure du niveau donne l'indication de la sévérité des vibrations, mais quand on veut connaître les causes d'une vibration excessive, la possibilité d'en mesurer la fréquence est d'une aide précieuse.

L'enregistrement des mesures et des graphiques des courbes de tendance se fait :

- soit sur microfilm,
- soit sur ordinateur avec sortie sur imprimante.

9. Analyser le spectre.

La technique d'analyse la plus puissante est l'analyse spectrale en fréquence :

- car des variations mineures de certaines composantes spectrales n'affecteront pas nécessairement le niveau vibratoire global, mais seront décelables dans le spectre de fréquence, et indiqueront souvent la naissance d'une panne.

- car une augmentation du niveau vibratoire global indique que quelque chose s'est modifié, mais ne donne aucune indication quant à la source du changement, tandis que ceci est souvent indiqué par la fréquence à laquelle le changement est intervenu.

10. Détecter la future défaillance.

L'une des approches du problème de la détection d'un défaut dans les conditions de fonctionnement est la comparaison des niveaux vibratoires avec des critères standard.

11. Diagnostiquer les causes de défaillance.

La fréquence à laquelle apparaît une variation dans le spectre donne une information fondamentale sur la source probable, qui est souvent reliée par exemple à l'une des vitesses de rotation.

- **Les matériels** : les appareils peuvent être installés de façon permanente ou être Utilisés manuellement en capteur mobile.

L'utilisation rationnelle par la mesure d'ondes de choc offre les avantages suivants : elle assure une surveillance objective de l'état des roulements, elle supprime le risque d'un arrêt inopiné de la production, elle permet de planifier le travail de maintenance corrective à effectuer et donne le moyen d'utiliser chaque roulement au maximum de ses possibilités.

III.2.8 Les Systèmes Experts

Un système expert met en évidence les savoirs et savoir-faire des « experts techniciens » dans un domaine bien précis, il suit donc la même démarche intellectuelle que ces dits « experts ».

Les systèmes experts utilisés en maintenance corrective permettent :

- de traiter les divers aspects de maintenance corrective pour une famille d'équipements

Donnée.

- de guider pas à pas l'intervenant selon un cheminement de moindre coût par une intégration judicieuse du savoir-faire correspondant et des faits observés,

- de prendre en compte aisément les adaptations qui se révèlent nécessaires,

- de reprendre éventuellement et de renforcer « l'organigramme de dépannage » qui peut être valorisé en le rendant plus accessible.

Si le système expert rassemble les connaissances et est programmé pour les utiliser de manière analogue à celles des spécialistes, cela ne se fait pas sans difficulté. Le dialogue homme-machine est actuellement le principal obstacle à l'utilisation des systèmes experts ainsi que les limitations dues à l'utilisation de systèmes non initialement conçus pour des micro-ordinateurs.

Les systèmes experts peuvent aider les industriels à résoudre des problèmes faisant appel aux spécialistes. Ils ne les remplacent pas en totalité, dupliquent leurs connaissances et ainsi font profiter à un plus grand nombre, compétence et savoir-faire des dits « experts ». Ainsi ces systèmes doivent contenir toutes les connaissances du domaine et être capables d'avoir une méthode de résolution analogue au raisonnement humain.

Pour améliorer la maintenabilité, il est nécessaire de faciliter le diagnostic des pannes et de diminuer les temps d'immobilisation. Dans cette optique, le système expert est un auxiliaire précieux.

Le système expert offre l'avantage de s'appuyer sur les méthodes du raisonnement humain et de pouvoir s'enrichir en fonction de la propre expérience des utilisateurs. Il doit être capable :

- de résoudre les problèmes (trouver la cause de la panne).
- d'expliquer les résultats.
- d'apprendre par expérience.
- de restructurer ses connaissances.
- de transgresser une règle.
- de juger de la pertinence d'une donnée.
- de juger sa compétence à résoudre un problème.

CHAPITRE IV :

Maintenance de la tour mobil de pivot d'irrigation

IV.1 Maintenance des réducteurs

IV.1.1 Contrôle et entretien

Les réducteurs suivants sont lubrifiés à vie[16].

- Réducteurs à engrenages cylindriques R07, R17, R27.
- Réducteurs à arbres parallèles F27.
- Réducteurs SPIROPLAN.

En fonction des conditions environnantes, refaire ou retoucher le cas échéant la peinture de protection de surface / anticorrosion.

IV.1.2 Travaux préliminaires pour le contrôle et l'entretien des réducteurs

Tenir compte des remarques suivantes avant de commencer les travaux de contrôle et d'entretien sur les réducteurs.

Risque d'écrasement dû à un redémarrage involontaire de l'entraînement

Blessures graves ou mortelles

- Avant de débiter les travaux, couper l'alimentation du motoréducteur et le protéger contre tout redémarrage involontaire.

Les réducteurs et l'huile des réducteurs peuvent s'échauffer fortement – Attention aux brûlures.

Blessures graves

- Avant de débiter les travaux, laisser refroidir le réducteur.
- Dévisser la vis de niveau d'huile et le bouchon de vidange avec précaution.

En cas de remplissage avec une huile inappropriée, les propriétés de lubrification risquent de se dégrader.

Risque de dommages matériels

- Ne pas mélanger les lubrifiants synthétiques entre eux ou avec des lubrifiants minéraux
- Le lubrifiant standard est une huile minérale.

Un entretien inapproprié risque d'endommager le réducteur.

Risque de dommages matériels.

Les positions des bouchons de vidange et de niveau ainsi que de l'évent sont fonction de la position de montage ; elles sont indiquées sur les feuilles de positions de montage.

- Pour garantir la sécurité de fonctionnement, respecter impérativement les intervalles de contrôle et d'entretien.
- Avant de desserrer les liaisons sur les arbres, s'assurer qu'aucun ne couple de torsion résiduel ne soit présent sur l'arbre (déformation au niveau de l'installation).
- Empêcher la pénétration de corps étrangers dans le réducteur avant de procéder aux travaux de contrôle et d'entretien.
- Le nettoyage du réducteur avec un nettoyeur haute pression n'est pas autorisé. Il y a en effet un risque de pénétration d'eau dans le réducteur et de détérioration des joints.
- Après les travaux de contrôle et d'entretien, procéder à un test de sécurité et de fonctionnement.

IV.1.3 Intervalles de contrôle et d'entretien

Intervalles	Que faire ?
• Toutes les 3 000 heures machine, tous les six mois minimum	• Contrôler l'huile et le niveau d'huile. • Ecouter le bruit de fonctionnement pour détecter d'éventuels défauts sur les paliers. • Contrôle visuel des joints pour détecter d'éventuelles fuites • Dans le cas de réducteurs avec console bras de couple : contrôler les butées caoutchouc ; si nécessaire, les remplacer.
• Selon les conditions d'utilisation (voir illustration suivante), au plus tard toutes les trois années • En fonction de la température de l'huile	• Remplacer l'huile minérale. • Changer la graisse des roulements (recommandé). • Remplacer la bague d'étanchéité (ne pas réutiliser la zone de contact initiale).
• Selon les conditions d'utilisation (voir illustration suivante), au plus tard toutes les cinq années • En fonction de la température de l'huile	• Remplacer l'huile synthétique. • Changer la graisse des roulements (recommandé). • Remplacer la bague d'étanchéité (ne pas réutiliser la zone de contact initiale).
• Variables (en fonction des conditions environnantes)	• Refaire ou retoucher la peinture de protection de surface ou anticorrosion.

IV.1.4 Travaux De Contrôle Et D'entretien Sur Les Adaptateurs AL / AM / AQ.

Intervalles	Que faire ?
• Toutes les 3 000 heures machine, tous les six mois minimum	• Ecouter le bruit de fonctionnement pour détecter d'éventuels défauts sur les paliers. • Contrôle visuel de l'adaptateur pour détecter d'éventuelles fuites
• Après 10 000 heures machine	• Contrôler le jeu angulaire. • Contrôle visuel de la couronne crantée élastique
• Après 25 000 - 30 000 heures machine	• Changer la graisse des roulements. • Remplacer la bague d'étanchéité (ne pas réutiliser la zone de contact initiale). • Remplacer la couronne crantée élastique.

IV.1.5 Travaux de contrôle et d'entretien sur le couvercle d'entrée AD

Intervalles	Que faire ?
• Toutes les 3 000 heures machine, tous les six mois minimum	• Ecouter le bruit de fonctionnement pour détecter d'éventuels défauts sur les paliers. • Contrôle visuel de l'adaptateur pour détecter d'éventuelles fuites
• Après 25 000 - 30 000 heures machine	• Changer la graisse des roulements.
	• Remplacer la bague d'étanchéité.

IV.1.6 Travaux de contrôle et d'entretien sur le réducteur

IV.1.6.1 Contrôle du niveau d'huile et vidange d'huile

La procédure pour le contrôle du niveau d'huile et la vidange d'huile dépend des critères

Suivants :

- Type de réducteur
- Taille
- Position de montage

Tenir compte des renvois aux chapitres concernés et des indications du tableau suivant : Il n'est pas possible de procéder au contrôle du niveau d'huile sur les réducteurs en exécution pour position variable. Les réducteurs sont livrés avec la quantité d'huile adéquate. En cas de

Chapitre IV : Maintenance de la tour mobil de pivot d'irrigation

vidange d'huile, respecter les indications et les quantités de lubrifiant mentionnées sur la plaque signalétique.

Lettre d'identification	Chapitre "Contrôle du niveau d'huile et vidange d'huile"
A	• Réducteurs à engrenages cylindriques... • Réducteurs à arbres parallèles... • Réducteurs à couple conique... • Réducteurs à vis sans fin.. avec bouchon de niveau
B	• Réducteurs à engrenages cylindriques. • Réducteurs à arbres parallèles. • Réducteurs SPIROPLAN.. sans bouchon de niveau, avec couvercle de montage
C	• Réducteurs à vis sans fin S37... sans bouchon de niveau et sans couvercle de montage
D	• SPIROPLAN W37 / W47... en position de montage M1, M2, M3, M5, M6, avec bouchon de niveau
E	• SPIROPLAN W37 / W47. en position de montage M4, sans bouchon de niveau et sans couvercle de montage

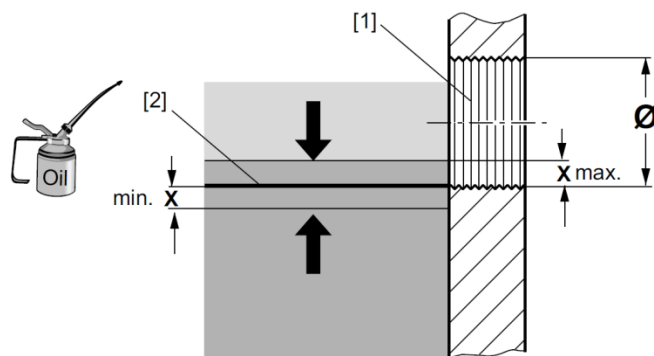
Série	Réducteur	Lettre d'identification pour le chapitre "Contrôle du niveau d'huile et vidange d'huile"					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
R	R07 ... R27	B					
	R37 / R67	A					
	R47 / R57	A				B	A
	R77...R167	A					
	RX57...R107	A					
F	F27	B					
	F37..F157	A					
K	K37...K187	A					
S	S37	C					
	S47...S97	A					
W	W10...W30	B					
	W37...W47	D			E	D	

IV.1.6.2 Réducteurs à engrenages cylindriques, réducteurs à arbres parallèles, réducteurs à couple conique et réducteurs à vis sans fin avec bouchon de niveau

➤ Contrôler le niveau d'huile par le bouchon de niveau

Pour contrôler le niveau d'huile du réducteur, procéder de la manière suivante.

- 1/ Les positions du bouchon de niveau et de l'évent sont indiquées sur les feuilles de positions de montage.
- 2/ Placer un récipient sous le bouchon de niveau.
- 3/ Retirer lentement le bouchon de niveau. De petites quantités d'huile peuvent s'échapper car le niveau maximal d'huile se trouve au-dessus du bord inférieur de l'alésage pour le bouchon de niveau d'huile.
- 4/ Vérifier le niveau d'huile selon les indications de l'illustration suivante et du tableau correspondant.



18634635

(1) Orifice de niveau d'huile

(2) Niveau d'huile de référence

Ø alésage pour le bouchon de niveau d'huile	Quantité de remplissage minimale et maximale = x [mm]
M10 x 1 1.5	1.5
M12 x 1.5 2	2
M22 x 1.5 3	3
M33 x 2 4	4
M42 x 2	5

5/ Si le niveau d'huile est insuffisant, procéder de la manière suivante.

- Dévisser l'évent.
- Remplir le réducteur d'huile neuve de qualité équivalente par l'alésage de l'évent jusqu'au bord inférieur du bouchon de niveau.
- Remettre l'évent en place.

6/ Remettre en place le bouchon de niveau.

➤ Vérifier l'huile par le bouchon de vidange

Pour contrôler l'huile du réducteur, procéder de la manière suivante :

1. La position du bouchon de vidange est indiquée sur les feuilles de positions de montage.
2. Prélever un peu d'huile au niveau du bouchon de vidange.
3. Contrôler la qualité de l'huile.

- Viscosité

– Si l'huile semble très dégradée, la remplacer en dehors des intervalles donnés au chapitre "Intervalles de contrôle et d'entretien"

4. Vérifier le niveau.

➤ **Remplacer l'huile par le bouchon de vidange et l'évent**

1. Les positions du bouchon de vidange du bouchon de niveau et de l'évent sont indiquées sur les feuilles de positions de montage.

2. Placer un récipient sous le bouchon de vidange.

3. Retirer le bouchon de niveau, l'évent et le bouchon de vidange.

4. Vider la totalité de l'huile.

5. Remettre en place le bouchon de vidange.

6. Remplir le réducteur d'huile neuve de qualité équivalente par l'orifice de l'évent (sinon, contacter le service après-vente). Ne pas mélanger des huiles synthétiques différentes.

– Remplir avec la quantité d'huile conforme aux indications de la plaque signalétique ou à la position de montage.

– Vérifier le niveau d'huile via le bouchon de niveau.

7. Remettre en place le bouchon de niveau et l'évent.

IV.1.6.2 Réducteurs à engrenages cylindriques, réducteurs à arbres parallèles, réducteurs SPIROPLAN sans bouchon de niveau avec couvercle de montage

➤ **Contrôler le niveau d'huile par le couvercle de montage**

Sur les réducteurs sans bouchon de niveau d'huile, le niveau d'huile est contrôlé depuis l'ouverture du couvercle de montage. Procéder comme suit.

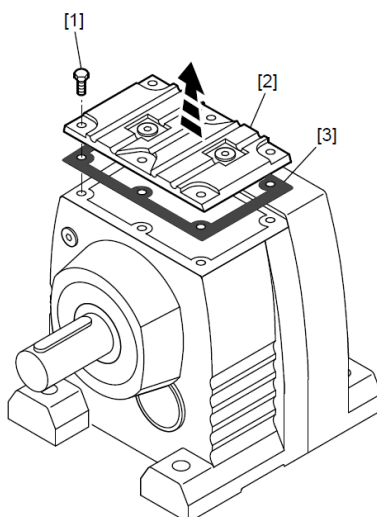
1. Positionner le réducteur dans la position suivante afin que le couvercle de montage soit en haut.

– R07 - R57 en position de montage M1

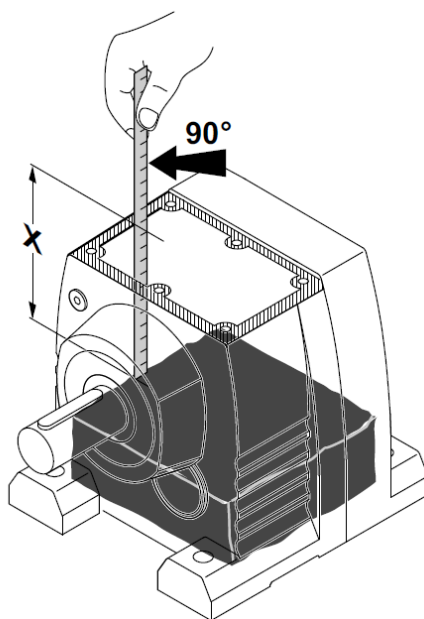
– F27 en position de montage M3

– W10 - W30 en position de montage M1

2. Desserrer les vis (1) du couvercle de montage (2) et retirer le couvercle de montage (2) avec son joint (3) (voir illustration suivante).



3. Mesurer l'écart vertical "x" entre le niveau d'huile et la surface de joint du carter de réducteur (voir illustration suivante).



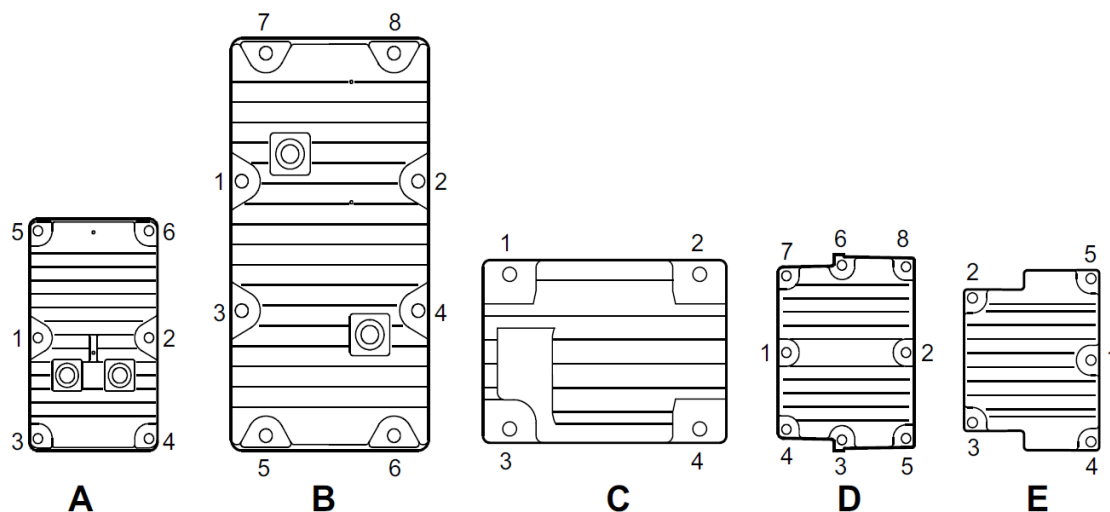
4. Comparer la valeur "x" mesurée avec l'écart maximal selon la position de montage entre le niveau d'huile et la surface de joint du carter de réducteur indiquée dans le tableau suivant. Le cas échéant, rectifier le niveau.

Type de réducteur		Ecart maximal x [mm] entre le niveau d'huile et la surface du Joint du carter de réducteur pour la position de montage					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
R07	2 trains	52 ± 1	27 ± 1	27 ± 1	27 ± 1	27 ± 1	27 ± 1
	3 trains	49 ± 1	21 ± 1	21 ± 1	21 ± 1	21 ± 1	21 ± 1

R17	2 trains	63 ± 1	18 ± 1	46 ± 1	18 ± 1	46 ± 1	46 ± 1
	3 trains	58 ± 1	11 ± 2	40 ± 2	11 ± 2	40 ± 2	40 ± 2
R27	2 trains	74 ± 1	22 ± 1	45 ± 1	22 ± 1	45 ± 1	45 ± 1
	3 trains	76 ± 1	19 ± 1	42 ± 1	19 ± 1	42 ± 1	42 ± 1
R47	2 trains	—	—	—	—	39 ± 1	—
	3 trains	—	—	—	—	32 ± 1	—
R57	2 trains	—	—	—	—	32 ± 1	—
	3 trains	—	—	—	—	28 ± 1	—
F27	2 trains	78 ± 1	31 ± 1	72 ± 1	56 ± 1	78 ± 1	78 ± 1
	3 trains	71 ± 1	24 ± 1	70 ± 1	45 ± 1	71 ± 1	71 ± 1
		indépendant de la position de montage					
W10		12 ± 1					
W20		19 ± 1					
W30		31 ± 1					

5. Fermer le réducteur après le contrôle du niveau d'huile :

- Remettre en place le joint du couvercle de montage. Veiller à ce que les surfaces de joint soient propres et sèches.
- Monter le couvercle de montage. Serrer les vis du couvercle de l'intérieur vers l'extérieur selon l'ordre indiqué dans l'illustration ci-dessous avec le couple de serrage donné dans le tableau suivant. Répéter l'opération jusqu'à ce que toutes les vis soient bien serrées. Pour éviter la détérioration du couvercle de montage, utiliser impérativement un tournevis à couple réglable ou une clé dynamométrique (pas de tournevis à frapper).



Type de Réducteur	Figure	Taraudage	Couple de serrage nominal T_N [Nm]	Couple de serrage minimal T_{min} [Nm]
R / RF07	E	M5	6	4
R/RF17/27	D	M6	11	7
R/RF47/57	A			
F27	B			
W10	C	M5	6	4
W20	C	M6	11	7
W30	A			

➤ Contrôler l'huile par le couvercle de montage

Pour contrôler l'huile du réducteur, procéder de la manière suivante.

1. Ouvrir le couvercle de montage du réducteur selon les instructions du chapitre "Contrôler le niveau d'huile par le couvercle de montage".

2. Prélever un peu d'huile au niveau de l'ouverture côté couvercle de montage.

3. Contrôler la qualité de l'huile.

– Viscosité

– Si l'huile semble très dégradée, la remplacer en dehors des intervalles donnés au chapitre "Intervalles de contrôle et d'entretien".

4. Vérifier le niveau.

5. Visser le couvercle de montage. Tenir compte de l'ordre et des couples de serrage indiqués au chapitre "Contrôler le niveau d'huile par le couvercle de montage"

➤ Remplacer l'huile par le couvercle de montage

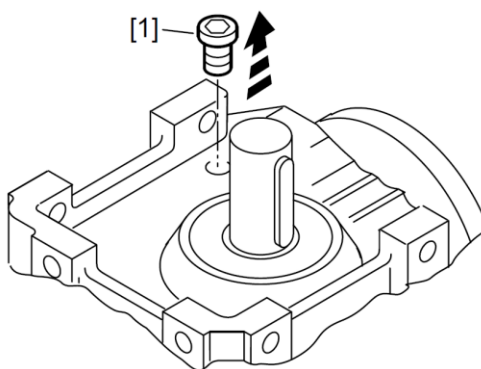
1. Ouvrir le couvercle de montage du réducteur selon les instructions du chapitre "Contrôler le niveau d'huile par le couvercle de montage".
 2. Vider la totalité de l'huile dans un récipient par l'ouverture côté couvercle de montage.
 3. Remplir le réducteur d'huile neuve de qualité équivalente (sinon, contacter le service après-vente) par l'ouverture côté couvercle de montage. Ne pas mélanger des huiles synthétiques différentes
- Remplir avec la quantité d'huile conforme aux indications de la plaque signalétique ou à la position de montage.
4. Vérifier le niveau.
 5. Visser le couvercle de montage. Tenir compte de l'ordre et des couples de serrage indiqués au chapitre "Contrôler le niveau d'huile par le couvercle de montage"

IV.1.6.2 Réducteurs à vis sans fin S37 sans bouchon de niveau et sans couvercle de montage

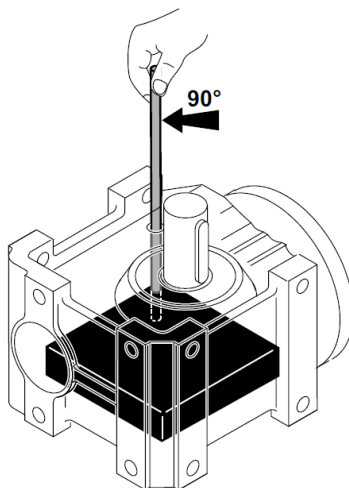
➤ Contrôler le niveau d'huile par le bouchon d'obturation

Les réducteurs S37 ne sont dotés ni d'un bouchon de niveau d'huile, ni d'un couvercle de montage ; le contrôle s'effectue donc par l'orifice de contrôle.

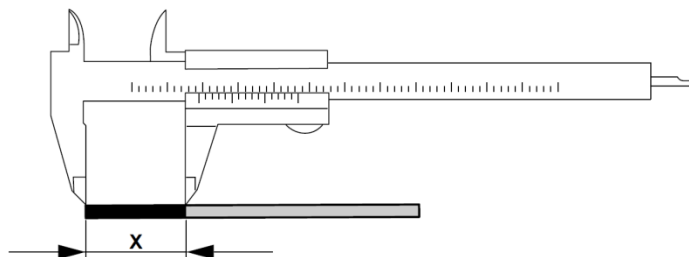
1. Positionner le réducteur en position M5 ou M6, donc orifice de contrôle orienté vers le haut.
2. Dévisser le bouchon d'obturation [1] (voir illustration suivante).



3. Insérer verticalement la jauge de niveau d'huile à travers l'orifice de contrôle jusqu'au fond du carter réducteur. Ressortir la jauge de niveau d'huile verticalement (voir illustration suivante).



4. Mesurer la zone "x" recouverte d'huile sur la jauge à l'aide d'un pied à coulisse (voir illustration suivante).



5. Comparer la valeur "x" mesurée avec la valeur minimale en fonction de la position de montage du tableau suivant. Le cas échéant, rectifier le niveau d'huile.

Type de réducteur	Niveau d'huile = partie recouverte x [mm] sur la jauge Position de montage					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
S37	10 ± 1	24 ± 1	34 ± 1	37 ± 1	24 ± 1	24 ± 1

6. Refermer le bouchon d'obturation.

➤ Contrôler l'huile par le bouchon d'obturation

1. Ouvrir le bouchon d'obturation du réducteur selon les instructions du chapitre "Contrôler le niveau d'huile par le bouchon d'obturation".
2. Prélever un peu d'huile au niveau de l'alésage.
3. Contrôler la qualité de l'huile.

– Viscosité

– Si l'huile semble très dégradée, la remplacer en dehors des intervalles donnés au chapitre "Intervalles de contrôle et d'entretien".

4. Vérifier le niveau.

5. Remettre en place le bouchon d'obturation.

➤ Remplacer l'huile par le bouchon d'obturation

1. Ouvrir le bouchon d'obturation du réducteur selon les instructions du chapitre "Contrôler le niveau d'huile par le bouchon d'obturation".

2. Vider la totalité de l'huile par le perçage.

3. Remplir le réducteur d'huile neuve de qualité équivalente (sinon, contacter le service après-vente) par l'orifice de contrôle. Ne pas mélanger des huiles synthétiques différentes.

– Remplir avec la quantité d'huile conforme aux indications de la plaque signalétique ou à la position de montage. Tenir compte des indications du chapitre "Quantités de lubrifiant".

4. Vérifier le niveau.

5. Remettre en place le bouchon d'obturation.

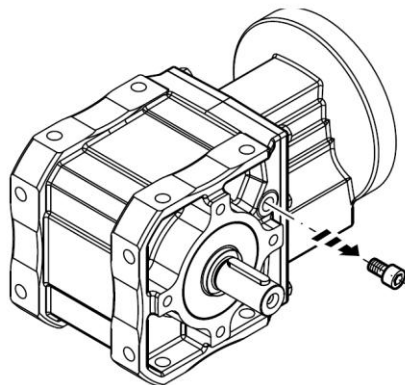
IV.1.6.2 SPIROPLAN W37 / W47 En Position De Montage M1, M2, M3, M5, M6, Avec Bouchon De Niveau

➤ Contrôler le niveau d'huile par le bouchon de niveau

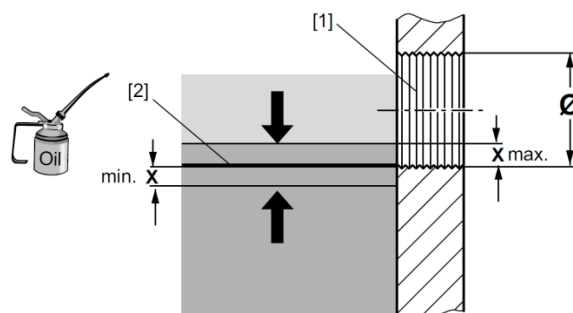
Pour contrôler le niveau d'huile du réducteur, procéder de la manière suivante.

1. Installer le réducteur en position de montage M1.

2. Dévisser lentement le bouchon de niveau (voir illustration suivante). De petites quantités d'huile peuvent s'échapper lors de cette opération.



3. Vérifier le niveau d'huile selon les indications de l'illustration suivante.



(1) Orifice de niveau d'huile

(2) Niveau d'huile de référence

Ø alésage pour le bouchon de niveau d'huile	Quantité de remplissage minimale et maximale = x [mm]
M10 x 1	1.5

4. Si le niveau d'huile est insuffisant, ajouter de l'huile de qualité identique par l'alésage pour le bouchon de niveau d'huile jusqu'au bord inférieur de l'alésage.

5. Remettre en place le bouchon de niveau.

➤ Contrôler l'huile à l'aide du bouchon de niveau

1. Prélever un peu d'huile au niveau du bouchon de niveau.

2. Contrôler la qualité de l'huile.

– Viscosité

– Si l'huile semble très dégradée, la remplacer en dehors des intervalles donnés

3. Vérifier le niveau.

➤ Remplacer l'huile par le bouchon de niveau

1. Installer le réducteur en position de montage M5 ou M6

2. Placer un récipient sous le bouchon de niveau.

3. Retirer les bouchons de niveau sur les côtés A et B du réducteur.

4. Vider la totalité de l'huile.

5. Revisser le bouchon de niveau du bas.

6. Remplir le réducteur d'huile neuve de qualité équivalente (sinon, contacter le service après-vente) par le bouchon de niveau du haut. Ne pas mélanger des huiles synthétiques différentes !

– Remplir avec la quantité d'huile conforme aux indications de la plaque signalétique ou à la position de montage.

– Vérifier le niveau d'huile selon les instructions du chapitre "Vérifier le niveau d'huile" par le bouchon de niveau"

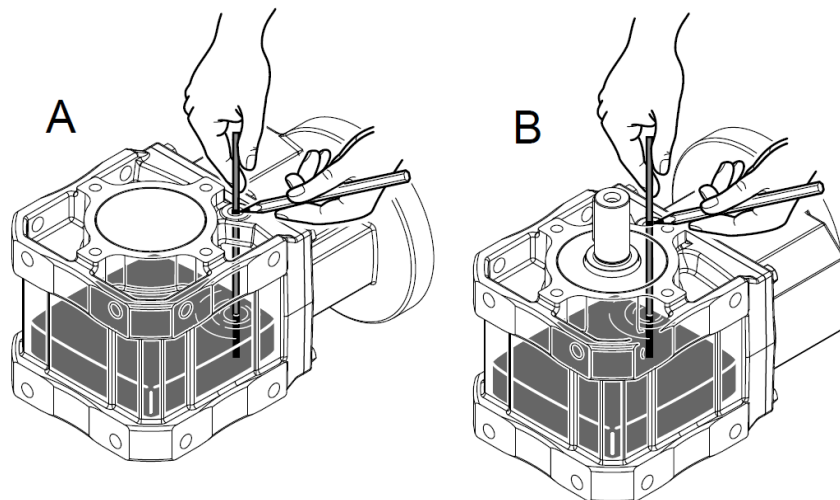
7. Revisser le bouchon de niveau du haut.

IV.1.6.2 SPIROPLAN W37 / W47 en position de montage M4, sans bouchon de niveau et sans couvercle de montage

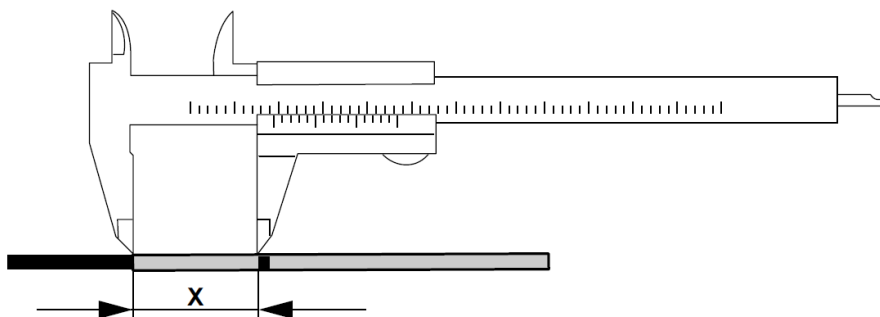
➤ Contrôler le niveau d'huile par le bouchon d'obturation

Les réducteurs W37 / W47 ne sont dotés ni d'un bouchon de niveau d'huile, ni d'un couvercle de montage ; la vérification s'effectue donc par l'orifice de contrôle.

1. Installer le réducteur en position de montage M5 ou M6.
2. Dévisser le bouchon d'obturation.
3. Insérer la jauge verticalement à travers l'orifice de contrôle jusqu'à la base du carter réducteur. Marquer la jauge à l'emplacement sortant du réducteur. Ressortir la jauge de niveau d'huile verticalement (voir illustration suivante).



4. Mesurer l'écart "x" entre la surface couverte d'huile et le marquage sur la jauge à l'aide d'un pied à coulisse (voir illustration suivante).



5. Comparer la valeur "x" mesurée avec la valeur minimale en fonction de la position de montage du tableau suivant. Le cas échéant, rectifier le niveau d'huile.

Type de réducteur	Ecart maximal x [mm] entre le niveau d'huile et la surface du Joint du carter de réducteur pour la position de montage	
	M1	M2
W37 en position de montage M4	37 ± 1	29 ± 1
W47 en position de montage M4	41 ± 1	30 ± 1

6. Refermer le bouchon d'obturation.

➤ Contrôler l'huile par le bouchon d'obturation

Pour contrôler l'huile du réducteur, procéder de la manière suivante.

1. Prélever un peu d'huile au niveau du bouchon d'obturation.
2. Contrôler la qualité de l'huile.
 - Viscosité
 - Si l'huile semble très dégradée, la remplacer en dehors des intervalles donnés au chapitre "Intervalles de contrôle et d'entretien".
3. Vérifier le niveau.

➤ Remplacer l'huile par le bouchon d'obturation

1. Installer le réducteur en position de montage M5 ou M6.
2. Placer un récipient sous le bouchon d'obturation.
3. Retirer les bouchons d'obturation sur les côtés A et B du réducteur.
4. Vider la totalité de l'huile.

5. Revisser le bouchon d'obturation du bas.

6. Remplir le réducteur d'huile neuve de qualité équivalente (sinon, contacter le service après-vente) par le bouchon d'obturation du haut. Ne pas mélanger des huiles synthétiques différentes.

– Remplir avec la quantité d'huile conforme aux indications de la plaque signalétique ou à la position de montage.

– Vérifier le niveau d'huile selon les instructions du chapitre "Vérifier le niveau d'huile" par le bouchon de niveau"

7. Revisser le bouchon d'obturation du haut.

Remplacer la bague d'étanchéité.

A une température inférieure à 0 °C, la bague d'étanchéité risque d'être endommagée lors du montage.

Risque de dommages matériels

- Stocker les bagues d'étanchéité à une température ambiante supérieure à 0 °C.
- Si nécessaire, chauffer les bagues d'étanchéité avant le montage.

1. En cas de remplacement de la bague d'étanchéité et selon l'exécution, veiller à avoir un dépôt de graisse suffisant entre les lèvres d'arrêt poussière et les lèvres d'étanchéité.

2. En cas d'utilisation de bagues d'étanchéité renforcées, garnir la cavité entre les deux bagues d'un tiers de graisse.

Mise en peinture du réducteur

Les événements à soupape et bagues d'étanchéité peuvent être abîmés lors de la mise en peinture ou de retouches de peinture.

Risque de dommages matériels

- Avant la mise en peinture, protéger les événements à soupape et les lèvres de protection des bagues d'étanchéité avec du ruban adhésif.
- Après les travaux de peinture, retirer tout le ruban adhésif.

IV.2 Protection anticorrosion et protection de surface pour les réducteurs et les motoréducteurs

IV.2.1 Généralités

Pour l'utilisation des moteurs et réducteurs sous des conditions environnantes difficiles, SEW propose différentes mesures de protection en option[17].

Ces mesures de protection sont réparties en deux groupes :

- Protection anticorrosion KS pour moteurs
- Protection de surface OS pour moteurs et réducteurs

Pour les moteurs, la combinaison de la protection anticorrosion KS et de la protection de surface OS représente la protection optimale.

En plus, SEW propose en option des mesures de protection spécifiques pour les arbres de sortie.

IV.2.2 Protection anticorrosion KS

La protection anticorrosion KS pour moteurs se compose des mesures suivantes :

- Toutes les vis de fixation, susceptibles d'être desserrées, sont en acier inoxydable.
- Les plaques signalétiques sont en acier inoxydable.
- Les différentes pièces des moteurs sont recouvertes d'un vernis spécial.
- Les surfaces d'appui des flasques et les bouts d'arbre sont recouverts d'un produit anticorrosion à effet temporaire.
- Mesures supplémentaires pour les moteurs-frein.

Un autocollant portant l'inscription "PROTECTION ANTICORROSION" sur le capot de ventilateur signale le traitement spécifique.

Les moteurs avec ventilation forcée et les moteurs avec codeur à arbre expansible (ES..) ne peuvent pas être livrés en exécution anticorrosion KS.

IV.2.3 Protection de surface OS

A la place de la protection de surface standard, les moteurs et réducteurs sont livrés en option avec protection de surface OS1 à OS4. La mesure spéciale Z peut être réalisée en complément. La mesure spéciale Z prévoit la projection d'une solution caoutchoutée dans les lamages avant la peinture.

Protection de surface	Structure des couches	NDFT1) sur fonte grise [μm]	Convient pour
Standard	1 x couche d'apprêt 1 x couche de finition à un composant	env. 50-70	• Conditions environnantes normales • Humidité relative inférieure à 90 % • Température de surface jusqu'à 120 °C max. • Catégorie de corrosivité C12)
OS1	1 x couche d'apprêt 1 x couche de base à deux composants 1 x couche de finition à deux composants	env. 120-150	• Environnement peu agressif • Humidité relative à 95 % max. • Température de surface jusqu'à 120 °C max. • Catégorie de corrosivité C22)
OS2	1 x couche d'apprêt 2 x couche de base à deux composants 1 x couche de finition à deux composants	env. 170-210	• Environnement moyennement agressif • Humidité relative jusqu'à 100 % • Température de surface jusqu'à 120 °C max. • Catégorie de corrosivité C32)
OS3	1 x couche d'apprêt 2 x couche de base à deux composants 2 x couche de finition à deux composants	env. 220-270	• Environnement agressif • Humidité relative jusqu'à 100 % • Température de surface jusqu'à 120 °C max. • Catégorie de corrosivité C42)
OS4	1 x couche d'apprêt 2 x couche de base époxyde à deux composants 2 x couche de finition à deux composants	env. 320	• Environnement très agressif • Humidité relative jusqu'à 100 % • Température de surface jusqu'à 120 °C max. • Catégorie de corrosivité C5-12)

- 1) NDFT (nominal dry film thickness) = épaisseur nominale de couche ; épaisseur minimale de couche = 80 % NDFT ; épaisseur maximale de couche = 3 x NDFT (DIN EN ISO 129445)
- 2) selon DIN EN ISO 12 944-2

IV.2.4 Mesures de protection spéciales

Pour le fonctionnement dans des conditions environnantes très difficiles ou pour des applications particulièrement exigeantes, les arbres de sortie des motoréducteurs peuvent être soumis à des traitements spécifiques en option.

Mesure	Principe	Convient pour
Bague d'étanchéité Viton	Matériau de très haute qualité	Entraînements soumis à des traitements chimiques
Couche de Kanisil	Pelliculage au silicium des surfaces de roulement des bagues d'étanchéité	Environnement très agressif ; et parfois en combinaison avec des bagues d'étanchéité Viton
Arbre de sortie en acier Inoxydable	Protection de surface par matériau de très haute qualité	Applications particulièrement exigeantes en matière de protection de surface

IV.2.5 Noco-Fluid

SEW livre avec chaque réducteur à arbre creux une pâte spéciale contre la corrosion de contact, NOCO-Fluid. Utiliser NOCO-Fluid pour le montage du réducteur à arbre creux. Elle permet de réduire les éventuelles traces de corrosion de contact et simplifie le démontage ultérieur.

La pâte NOCO-Fluid s'utilise aussi pour protéger des surfaces métalliques usinées non traitées contre la corrosion, par exemple des éléments de bouts d'arbre ou de flasques. SEW propose aussi NOCO-Fluid en grands conditionnements.

La pâte NOCO-Fluid est conforme aux prescriptions USDA-H1 pour l'industrie agroalimentaire.

Pour savoir si votre pâte NOCO-Fluid est compatible agroalimentaire, vérifier la présence de la codification USDA-H1 sur l'emballage.

IV.3 Corrosion et son effet sur les pivots d'irrigation

Tous les aciers couramment utilisés non protégés finalement se décomposent et deviennent inutilisables aux fins prévues initialement. Au cours de la période de décadence, l'efficacité de la machine d'irrigation à pivot est réduite et la valeur de revente est affectée. La décroissance est notée par l'existence d'une mince pellicule rougeâtre appelée «rouille». La rouille est la formation de produits de corrosion qui inclure le métal de base. Les produits de corrosion se forment principalement dans des cellules électrochimiques localisées. Les cellules se développent spontanément à la surface du métal en présence d'humidité à moins de la surface est protégée d'une certaine façon.

Conception structurelle affecte le taux de décroissance. Par exemple, les assemblages boulonnés retiennent produits humidité et de la corrosion et, par conséquent, se désintègrent à un rythme accéléré. La surface des petites fissures à partir de cellules avec la perte d'ions de métal à partir de la base de la fissure. Il s'agit d'une forme de corrosion connus comme des piqûres. Les caractéristiques chimiques de l'humidité atmosphérique (humidité de l'irrigation) influent sur le taux de corrosion. La présence de dioxyde de carbone, l'oxygène, le dioxyde de soufre et une forte acidité d'accélérer la vitesse de corrosion. La pratique des opérateurs de pivot pour appliquer des produits chimiques à travers le système peut également aggraver le problème de corrosion.

Les marchés de l'industrie Pivot presque exclusivement en acier des pivots d'irrigation. La principale méthode de protection contre la carie de la rouille corrosive comprennent: peinture, revêtements époxy, l'utilisation d'alliages (aciers dits intempéries) et de galvanisation[18].

IV.3.1 Systèmes peintes

Peinture structures d'acier est un effort pour maintenir le métal "à sec" en appliquant un revêtement mince (environ 1 à 2 mm). Toutefois, étant donné toutes les peintures sont perméables à l'eau et à l'oxygène, se produit rouille finalement. Pour qu'un processus de peinture pour être efficace, la surface métallique doit être complètement libre de toute calamine, la rouille, la saleté, l'huile et les graisses. Cela ne peut être réalisé entièrement par l'utilisation de solutions de nettoyage et de décapage ou sablage. Le revêtement de peinture doit être appliqué rapidement à la surface du métal à sec. La peinture choisie doit être formulée pour résister aux conditions atmosphériques prévues. Plusieurs couches servent à réduire la perméabilité. Une formulation souvent mentionné comprend des composés de zinc dans un effort pour imiter l'action de revêtement galvanisé.

La faiblesse exceptionnelle des revêtements de peinture est leur maigreur comparative et susceptibilité aux dommages mécaniques. Ils sont facilement grattés. Cette situation expose immédiatement le métal nu à la rouille et les piqûres. Même lorsque le revêtement est intact, les filaments de rouille (cellules corrosifs) se produisent qui poussent séparant la peinture de la surface et, éventuellement, ouvrir le métal à l'attaque directe. Traitements de surface phosphate et chromate premiers couches de peinture servent à limiter la corrosion, mais n'empêchent pas son occurrence.

IV.3.2 Revêtements époxy

Revêtements époxy protègent les surfaces en acier en fournissant un film adhérent solidement. Le film exclut l'oxygène, l'humidité et aux produits chimiques corrosifs d'attaquer la surface. Les métaux de base doivent être bien préparés par le nettoyage et le décapage ou le sable des opérations de dynamitage. Le film est formulé pour la résistance aux agents chimiques et atmosphériques détérioration. Les films peuvent être appliqués par voie électrostatique ou dans les lits fluidisés. Les tuyaux sont généralement revêtus électrostatique. Il en résulte une épaisseur de film moyenne de 4-5 mm [18]. L'épaisseur du film sur des arêtes vives peut être réduite à 20% de la moyenne [18]. Ce serait le cas sur cisailé brides, par exemple.

Les revêtements époxy ont la plupart des mêmes défauts que les couches de peinture. Elles dépendent de recouvrir complètement le métal de base. Toutes fissures dans le revêtement exposer le métal de base et à la détérioration. Comme dans les peintures, ils sont perméables à l'humidité et à l'oxygène. Elles dépendent de l'épaisseur du film additionnel et adhérence intime avec le métal de base pour éviter la rouille. Le dommage de revêtement en transit ou en cours de montage doit être réparé domaine.

Pendant les opérations de nettoyage, des éclats d'acier peuvent être soulevées. Il en résulte une rupture de l'enrobage et la formation d'une pile de corrosion qui provoque en fin de compte un trou de broche dans le tuyau. Dans les applications sensibles, le tube est balayé électriquement à localiser ces ruptures de revêtement.

IV.3.3 Les aciers alliés

Relativement, une nouvelle méthode pour résister à la corrosion atmosphérique est le développement d'aciers alliés. Une composition typique commerciale est la suivante: 0,09% de carbone, 0,4% de manganèse, 0,4% de cuivre, 0,8% de chrome, 0,3% de nickel et 0,09% de phosphore. Ces aciers sont utiles non protégé dans certaines applications en raison de la formation d'un film protecteur de rouille. Ils ont été utilisés principalement dans la construction de bâtiments, de ponts, et pour les boiseries architecturales. Le film de la rouille de protection forme seulement lorsqu'elle est exposée à des cycles de mouillage et de séchage alternatif s'étendant sur une période de plusieurs jours. Ces aciers n'ont pas d'avantages lorsqu'ils sont enterrés dans le sol ou totalement immergé dans l'eau, parce que les films rouille correspondant formé dans des conditions continuellement humides ne sont plus protecteurs que celles qui sont formés sur les aciers au carbone. Pourquoi aciers d'alliage forment une rouille de protection n'est pas encore comprise.

Il est à noter que les fabricants Pivot utilisant Cor-Ten pour leur paroi du tuyau, utilisez peint aciers de construction pour d'autres composantes: V-jacks, tirants, les brides, les jambes de la tour, les bases de la tour, etc. Il convient également de noter qu'ils peignent le Pivot ensemble dans un deuxième effort pour améliorer la résistance à la corrosion.

IV.3.4 Galvanisation

La galvanisation est un terme commercial utilisé pour décrire un processus par lequel un revêtement de zinc est produit sur l'acier par immersion dans du zinc fondu. Un pivot galvanisé typique a environ 1500 kg [18], de zinc pur appliqué en une épaisseur de film d'environ 3,5 millièmes de pouce. Tous nos tuyaux et des composants structurels sont galvanisés. Le processus comprend l'immersion du réservoir pour un bon nettoyage, le décapage et le traitement de pré-flux avant immersion dans du zinc fondu à environ 850 degrés F.

Le revêtement n'est pas d'une simple couche de zinc sur l'acier, car le zinc fondu à tendance à dissoudre le fer et l'acier en contact avec elle. L'examen microscopique révèle ces couches distinctes composées sur des composés de zinc et de fer.

Galvanisation a été utilisée de nombreuses années avec une capacité démontrée à résister à la corrosion atmosphérique. La durée de vie estimée dans les zones rurales est de 38 à 47 ans.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le présent travail traite de l'étude et la maintenance d'une partie de la tour mobile de pivot d'irrigation. Ces systèmes sont actuellement produits par une entreprise nationale. Ils sont des outils très performants dans l'irrigation de vastes surfaces cultivées et offrent une automatisation de l'opération et de grandes économies dans les ressources hydriques.

L'effort de ce travail s'inscrit dans le cadre de la maîtrise des technologies du système de pivot d'irrigation. Dans un premier temps, nous avons présenté le système avec une description complète, surtout la partie de la tour mobile, ensuite, nous avons procédé à la modélisation de la structure et des chargements, tout cela entrant dans le cadre de l'étude du système. Dans le deuxième temps, nous avons présenté une généralité sur la maintenance industrielle, ensuite, la maintenance des éléments principaux constituants d'une tour de pivot d'irrigation.

Enfin, nous avons parlé des problèmes rencontrés par le système et les solutions appropriées, en particulier le phénomène de corrosion. Cette étude nous rend plus efficace de travailler dans les entreprises, puisque nous avons essayé de maîtriser l'une des technologies actuelles et la façon de la maintenir.

Références

- [1] www.southern-colorado-guide.com.
- [2] <http://www.irrifrance.com/>.
- [3] S. SAIDI, "Analyse hydraulique du fonctionnement du système pivot d'irrigation par aspersion de type ANABIB," Mémoire de magister, Ecole Nationale de l'Hydraulique Blida, 1996.
- [4] Valley, "Catalogue de produits Valley," Valmont Industries éd, 2008.
- [5] E. Peyvieux, "Analyse du comportement mécanique & optimisation de forme d'une travée de pivot d'irrigation," Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 1997.
- [6] A. Guerrah, "Contribution à l'adaptation et au perfectionnement par optimisation géométrique d'un système de pivot d'irrigation," Mémoire de magister, Université de Biskra, 2012.
- [7] ANABIB, "Plans de production," ANABIB Entreprise nationale de tubes et transformation de produits plats, 1987.
- [8] K. Mghezzi-Chaa, "Calcul et Optimisation D'un Mini Pivot D'irrigation," Mémoire de magister, Université de Biskra, 2009.
- [9] CNERIB, "Règlement Neige et Vent 1999," éd: Le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, 2000.
- [10] P. R. Smith et T. J. Van Laan, *Piping and pipe support systems : design and engineering*. New York: McGraw-Hill, 1987.
- [11] S. BENISSAAD, *Cours de maintenance industrielle TEC 336*, Université de Mentouri - Constantine, 2008.
- [12] P. GARIN, S. LOUBIER, G. GLEYESSES, J. PLATON, et D. L. Y. LUNET, "Les associations syndicales autorisées: bilan d'étude sur leur fonctionnement et leur stratégies de maintenance," *Montpellier, France, Cemagref-Wp Ur Irrigation, à paraître*, 2000.

- [13] P. Potes Ruiz, D. Noyes, et B. Kamsu-Foguem, "Raisonnement collaboratif à partir de cas dans la résolution de problèmes en maintenance," presented at the 9th International Conference on Modeling, Optimization & SIMulation, 6-8 June 2012.
- [14] G. Zwingelstein, *La maintenance basée sur la fiabilité: Guide pratique d'application de la RCM*, Hermès éd., 1996.
- [15] A. Lannoy, *Maîtrise des risques et sûreté de fonctionnement: repères historiques et méthodologiques*, Tec & Doc Lavoisier éd., 2008.
- [16] SEW-EURODRIVE, *Notice d'exploitation Réducteurs séries R..7, F..7, K..7, S..7, SPIROPLAN*, SEW-EURODRIVE éd., 2010.
- [17] SEW-USOCOME, *Manuel Réducteurs et motoréducteurs*: SEW-USOCOME, 2006.
- [18] www.traxcoirrigation.com/corrosion-effect-on-center-pivots.

Résumé

Les rampes pivotantes sont des structures métalliques de grandes dimensions, employées pour l'irrigation de cultures. Elles réalisent ceci de manière automatique, en se déplaçant de façon circulaire autour d'un point fixe. Leur élément principal est la canalisation dans laquelle circule l'eau d'irrigation. Rigidifiée par un treillis tridimensionnel, cette dernière est découpée en une succession de travées par des tours d'environ 3 mètres de hauteur.

Notre étude s'intéresse à une partie du système de pivot d'irrigation qui est la tour ou appelé aussi la tour mobile. L'effort de ce travail s'inscrit dans le cadre de la maîtrise des technologies du système de pivot d'irrigation. Dans un premier temps, nous avons présenté le système avec une description complète, surtout la partie de la tour mobile, ensuite, nous avons procédé à la modélisation de la structure et des chargements, tout cela entrant dans le cadre de l'étude du système. Dans le deuxième temps, nous avons présenté une généralité sur la maintenance industrielle, ensuite, la maintenance des éléments principaux constituants d'une tour de pivot d'irrigation.

Mots clés : pivot d'irrigation, tour mobile, maintenance, réducteur, motoréducteur.

ملخص

مرشحات السقي المحوري هي هياكل معدنية ذات أبعاد كبيرة، تستعمل في السقي الزراعي، تعمل هذه الأجهزة بطريقة آلية حيث تتحرك بشكل دائري حول نقطة ثابتة. العناصر الأساسية المكونة للجهاز هي الأنابيب التي يجري فيها ماء السقي، متماسكة بشبكة حديدية ثلاثية الأبعاد، و تقسم هذه الأخيرة بواسطة أبراج ارتفاعها حوالي 3 متر.

تركز دراستنا على جزء من جهاز الرش المحوري ألا و هو الأبراج أو الأبراج المتحركة. حيث أن المجهود في هذا العمل في إطار التحكم و اتقان تكنولوجيات أجهزة الرش المحوري. في المرحلة الأولى، عرضنا الجهاز مع وصف كامل له، خاصة جزء الأبراج و العناصر المرتبطة به، ثم يليه، ثم نمذجة الهيكل و الأحمال المطبقة عليه كل هذا في إطار دراسة أبراج جهاز الرش المحوري. و في المرحلة الثانية، عرضنا عموميات حول الصيانة الصناعية، ثم ذكرنا بالخصوص صيانة العناصر الأساسية المكونة لأبراج محور السقي.

كلمات مفتاحية: مرشحات السقي المحوري، الأبراج المتنقلة، صيانة، مخفض السرعات، محرك ذو مخفض السرعات.