



**République Algérienne Démocratique et
Populaire**



**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de
la Recherche Scientifique**

UNIVERSITE D'EL-OUED

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Spécialité : Génie mécanique

Option : Maintenance des Equipements Industriels

Thème

**Etude et maintenance de travée de pivot
d'irrigation de type ANABIB**

Devant le jury composé de :

..... Président
..... Examineur
..... Examineur
A. Guerrah Encadreur

Présenté par :

- Boudina Abdel Ali
- Ahmima El Habib

2012-2013

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	6
-------------------	---

I.2.4 Porte-à-faux.....	7
-------------------------	---

I.2.5 Articulation des canalisations entre les travées.....	8
---	---

I.3.Caractéristique mécanique	8
-------------------------------------	---

I.3.1 Matériau	8
----------------------	---

I.3.2 Sections	9
----------------------	---

I.4 Fonctionnement.....	9
-------------------------	---

I.4.1 Arrosage	9
----------------------	---

I.4.2 Avancement des rampes pivotantes:	10
---	----

I.5 Caractéristiques de pivot ANABIB.....	12
---	----

Chapitre II : Comportement mécanique de la travée de pivot d'irrigation

II.1 Actions mécaniques de base	13
---------------------------------------	----

II.1.1 Poids propre de la structure.....	13
--	----

II.1.2 Poids de l'eau	13
-----------------------------	----

II.1.3 Effet du vent:	14
-----------------------------	----

II.1.4 Les Efforts de ripage.....	16
-----------------------------------	----

II.2 Cas de charges	16
---------------------------	----

II.3 Critères de vérification.....	17
------------------------------------	----

II.3.1 Hauteur libre sous travée	17
--	----

II.3.2 Résistance des sections	18
--------------------------------------	----

II.3.3 Critère de renversement	18
--------------------------------------	----

II.4 Présentation des résultats	19
---------------------------------------	----

II.4.1 Hauteur libre sous travée	19
--	----

II.4.2 Résistance des sections	20
--------------------------------------	----

II.4.3 Critère de renversement	21
--------------------------------------	----

II.5 La flèche de la travée	21
II.6 Les contraintes dans la canalisation	22
II.6.1 Les contraintes dans les tirants	23
II.6.2 Les contraintes dans les cornières	24

Chapitre III : Aspects théoriques de la corrosion

III.1 Les différents types de corrosion	27
III.1.1 Processus de la corrosion	27
III.1.2 Aspect économique de la corrosion	28
III.1.3 Influence de la corrosion dans le choix d'un matériau	28
III. 2 Les différents types de corrosion	29
III.2.1 La corrosion uniforme	29
III.2. 2 Les corrosions localisées	29
III.2.2.1 La corrosion galvanique	29
III.2.2.2 La corrosion par plaques	29
III.2.2.3 La corrosion caverneuse	29
III.2.2.4 La corrosion par piqûres	30
III.2.2.5 La corrosion inter-granulaire	30
III.2.2.6 La corrosion sous contrainte	30
III.2.2.7 La fragilisation par hydrogène	31
III.3 Les facteurs de corrosion	31
III.3.1 La corrosion par les eaux	31
III.3.2 La corrosion atmosphérique	32
III.3.3 La corrosion par les sols	33
III.3.4 Les conditions d'utilisation	34
III.4 La lutte contre la corrosion	34
III.4.1 La protection électrochimique	35
III.4.1.1 La protection cathodique	35
III.4.1.2 La protection anodique	36
III.4.2 La protection par revêtement et traitement de surface	37
III.4.2.1 Les revêtements non métalliques	37
III.4.2.2 Les revêtements métalliques	37
III.4.2.3 Traitement des surfaces par voie chimique	37
III.4.3 L'action sur le milieu corrosif	38
III.4.4 Le choix des matériaux	38
III.4.5 La conception et le tracé des assemblages	38

Chapitre IV : Maintenance de la travée de pivot d'irrigation

IV.1 Généralités sur la maintenance	41
IV.1.1 La fonction maintenance	41
IV.1.1.1 Introduction à la fonction maintenance	41
IV.1.1.2 Rôle de la maintenance.....	41
IV.1.1.3 Fonctions d'un service maintenance	42
IV.1.2. Les options de la maintenance.....	42
IV.1.2.1 La maintenance corrective.....	42
IV.1.2.2 La maintenance préventive.....	43
IV.1.2.3 Les diverses options de la maintenance (selon AFNOR)	44
IV.1.2.4 Termes et définitions relatifs à la maintenance	44
IV.1.2.5 Les opérations de maintenance.....	45
IV.1.3 Autres aspects de la maintenance	47
IV.1.3 .1 La fiabilité	47
IV.1.3 .2 La maintenabilité.....	47
IV.1.3 .3 La disponibilité.....	48
IV.1.4 La démarche de maintenance	49
IV.1.4 .1 Le dossier technique	50
IV.1.4 .2 Le dossier machine.....	50
IV.1.4 .3 Déroulement type d'une intervention de maintenance	51
IV.2 Corrosion et son effet sur les pivots d'irrigation.....	52
IV.1.2 Systèmes peint.....	53
IV.1.3 Epoxy revêtements	53
IV.1.4 Les aciers alliés	54
IV.1.5 Galvanisation.....	54
IV.3 Problème de corrosion dans les canalisations de pivot d'irrigation	55
Conclusion générale.....	56
Références	57

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	05
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	Porte-à-faux de rampe d'irrigation. Photo ATLANTIS.	08
Figure I.10	Elément de liaison entre travée. Photo IRRAGRIS	08
Figure I.11	Canon d'extrémité.....	10
Figure I.12	Principe d'avancement d'une rampe pivotante.....	11
Figure I.13	Caractéristiques de pivot ANABIB.	12
Figure II.1	Représentation schématique de la modélisation de l'action du vent.	14
Figure II.2	Modélisation des efforts latéraux.....	16
Figure II.3	Organigramme récapitulatif des différents de cas de chargements à considérer	17
Figure II.4	Représentation schématique de la hauteur libre sous travée (Haut)	17
Figure II.5	Représentation schématique de la réaction du sol sur la roue au vent	18
Figure II.6	La recherche du cas de charge le plus défavorable pour la structure du point de vue de la hauteur libre sous travée.....	19
Figure II.7	Le déplacement vertical pour le point A pour les sept cas de charges.	20
Figure II.8	Recherche du cas de charge le plus défavorable pour la structure du point de vue de la résistance des sections des tubes.....	20
Figure II.9	Recherche du cas de charge le plus défavorable pour la structure du point de vue de renversement de la structure.....	21
Figure II.10	Valeur de la déflexion du point le plus bas du pivot.....	22
Figure II.11	Numérotation des tubes de la canalisation d'une travée.....	22
Figure II.12	Contrainte Maximale de Von Mises dans les tubes de la canalisation.....	23
Figure II.13	Numérotation des tirants d'une travée.....	23
Figure II.14	Contrainte Maximale de Von Mises dans les tirants.....	24
Figure II.15	Numérotation des cornières transversales d'une travée.....	25

Figure II.16	Contrainte Maximale de Von Mises dans les cornières transversales.....	25
Figure II.17	Numérotation des cornières obliques d’une travée.....	26
Figure II.18	Contrainte Maximale de Von Mises dans les cornières obliques.....	26
Figure III.1	Synoptique des compromis dans le choix des matériaux.....	28
Figure III.2	Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition.....	32
Figure III.3	Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition en atmosphère industrielle, marine et rurale (humide et sèche).....	33
Figure III.4	Représentation schématique du mécanisme de la corrosion par frottement.....	34
Figure III.5	Diagramme de Pourbaix simplifiés (à 25°C): a)pour le fer ; b) pour l'aluminium.....	35
Figure III.6	La protection cathodique par soutirage de courant	36
Figure III.7	Quelques règles de conception et d'assemblages à respecter.....	40
Figure IV.1	Liaisons entre les options de la maintenance.....	43
Figure IV.2	Les options de la maintenance.....	44
Figure IV.3	Quantification de la disponibilité.....	49
Figure IV.4	Déroulement type d’une intervention de maintenance.....	51
Figure IV.5	Travée de pivot d’irrigation.....	52

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les pivots d'irrigation ou les rampes pivotante d'irrigation sont des structures métalliques mobiles de grandes dimensions, destinés à l'irrigation automatique de très grandes surfaces cultivées. Ils assurent pour leurs utilisateurs une haute efficacité et une économie dans l'utilisation des ressources hydriques.

Notre étude s'intéresse à une partie du système de pivot d'irrigation qui est la travée. 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 la travée, 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 de 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.

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

Le troisième chapitre a pour but de synthétiser les notions fondamentales et les aspects théoriques de la corrosion pour mieux comprendre ce phénomène, dont nous avons besoin dans le dernier chapitre.

Le quatrième chapitre est consacré à la maintenance de la travée, où nous projetons la lumière sur les notions de base de la maintenance, ensuite, la corrosion et son effet sur les pivots d'irrigation, et enfin le problème de corrosion dans les canalisations de pivot 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.



Fig. 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



Fig. I.2 : Pivot .POHOTO 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 speedy-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 fertigation (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.



Fig.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 présentée.

I.2 divers éléments matériels constituant une rampe pivotante

Il existe différents modèles de rampes pivotantes. Essentiellement on peut distinguer dans chacune d'eux (Fig.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.

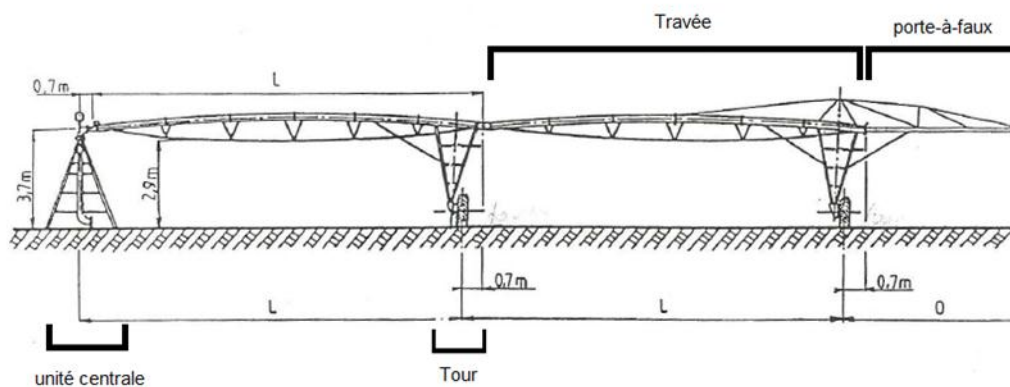


Fig. I.4: Schématisation d'une rampe pivotante[3].

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



Fig.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.



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

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 (Fig. I.7.).

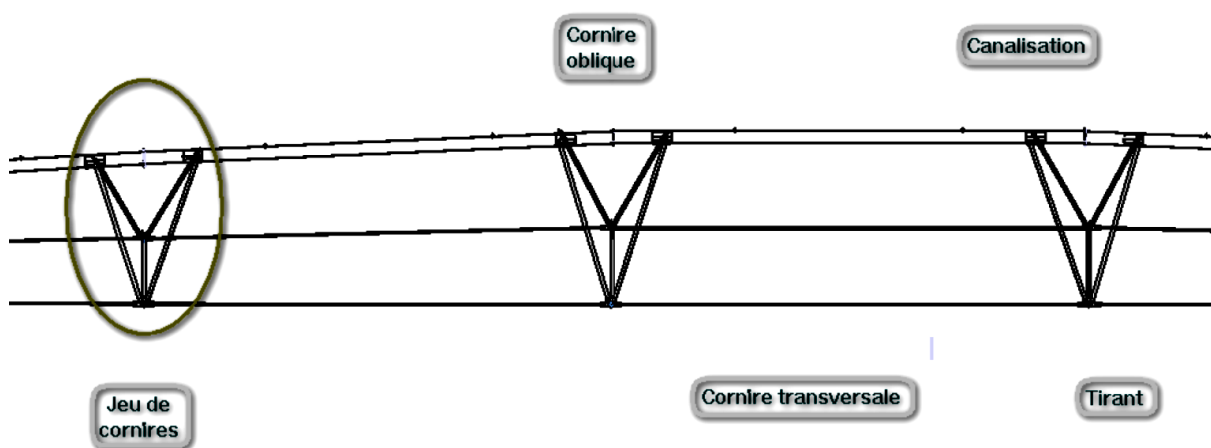


Fig.I.7 : Travée de rampes d'arrosage

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 (Fig. 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 mètres en comporte neuf.

I.2.3 Tours

Chaque tour (Fig. 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.

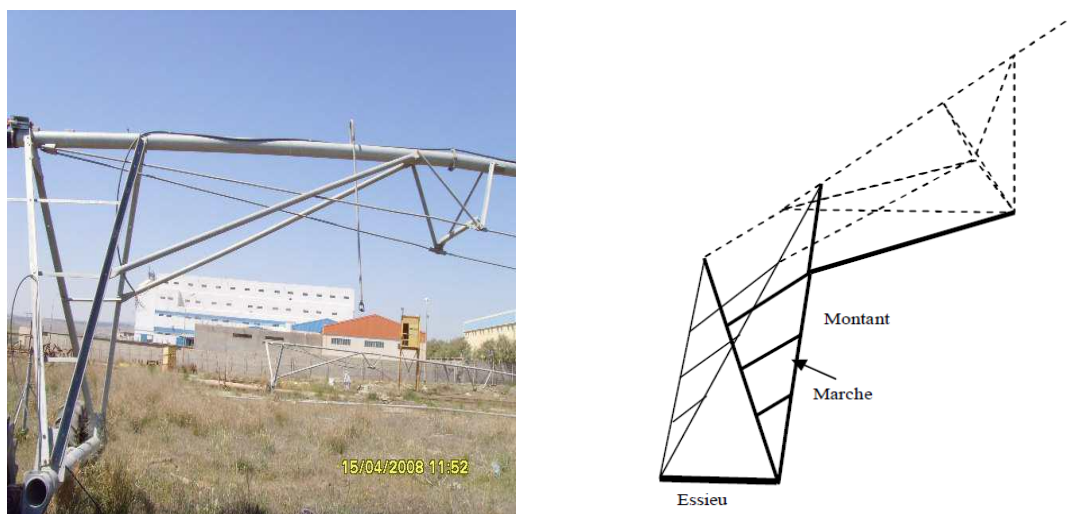


Fig. I.8: Tour de travée. Photo IRRAGRIS (à gauche). Schématisation des différents éléments d'une tour (à droite).

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 actions 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[6].

I.2.4 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[7]. 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.



Fig. I.9 : Porte-à-faux de rampe d'irrigation. Photo ATLANTIS.

I.2.5 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



Fig. I.10 : Élément de liaison entre travée. Photo IRRAGRIS.

I.3.Caractéristique mécanique

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 [8].

I.3.2 Sections

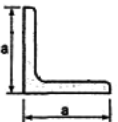
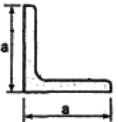
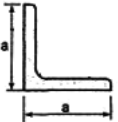
Eléments	Section	Epaisseur (mm)	Dimensions	Longueur
Tube		2.5	D = 159	5850 5845
Tirants		-	D= 20	5825 5540
Cornières obliques et transversales		5	a = 45	1115 1530 1805 1945
Tubes de compression		5	D = 62.5	4325
Montants		8	a = 80	3275
Marches		4	a = 40	480 805 1500
Essieu		8	D = 162	4200

Tableau I.1 : Caractéristiques des sections des éléments de la travée et de la tour[9].

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.



Fig. I.11: 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 (Fig. I.13).

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 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

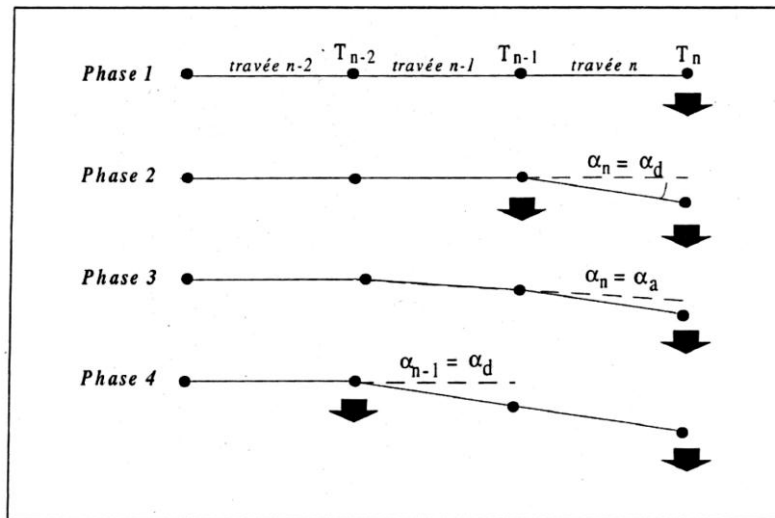


Fig. I.12: Principe d'avancement d'une rampe pivotante.

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 moyennne 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

Fig.I.13: Caractéristiques de pivot ANABIB[3].

CHAPITRE II:

**Comportement mécanique de la
travée de pivot d'irrigation**

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[10].

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[8].

II.1.2 Poids de l'eau

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 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[11], 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.

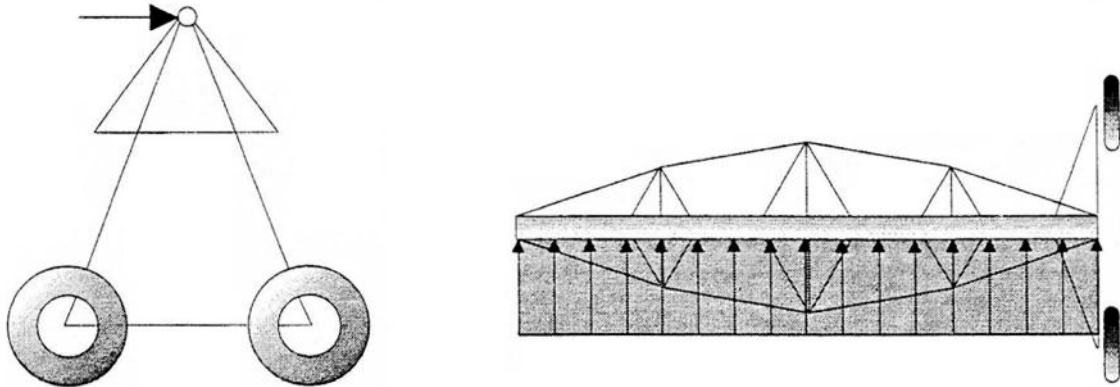


Fig. II.1 : Représentation schématique de la modélisation de l'action du vent.

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 pour cent[5].

Chapitre II : Comportement mécanique de la travée de pivot d'irrigation

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 [12]:

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

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/m^3) est la masse volumique de l'air ($\rho = 1,20 \text{ kg/m}^3$) ;

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 31 m/s [10].

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 m^2/s) est la viscosité cinématique de l'air ; dans le cadre de ce DTR (le document technique réglementaire), on prendra $\vartheta = 15 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

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

Après le calcul des paramètres précédents, on obtient aisément la valeur de charge du vent, qui est : 118 N/m [10].

II.1.4 Les 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.

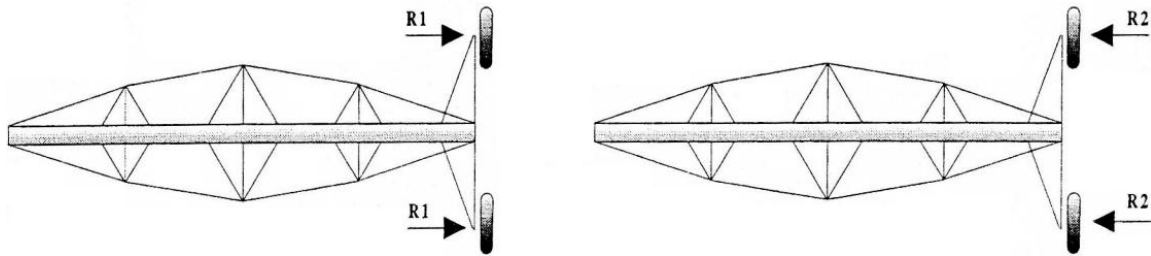


Fig. II.2: Modélisation des efforts latéraux:

(à gauche) ripage de type 1 (R1), (à droite) ripage de type 2 (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. Pey vieux .on prend le cas le plus défavorable (ripage de type 1) et leur intensité est de 2500 N[5].

II.2 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.

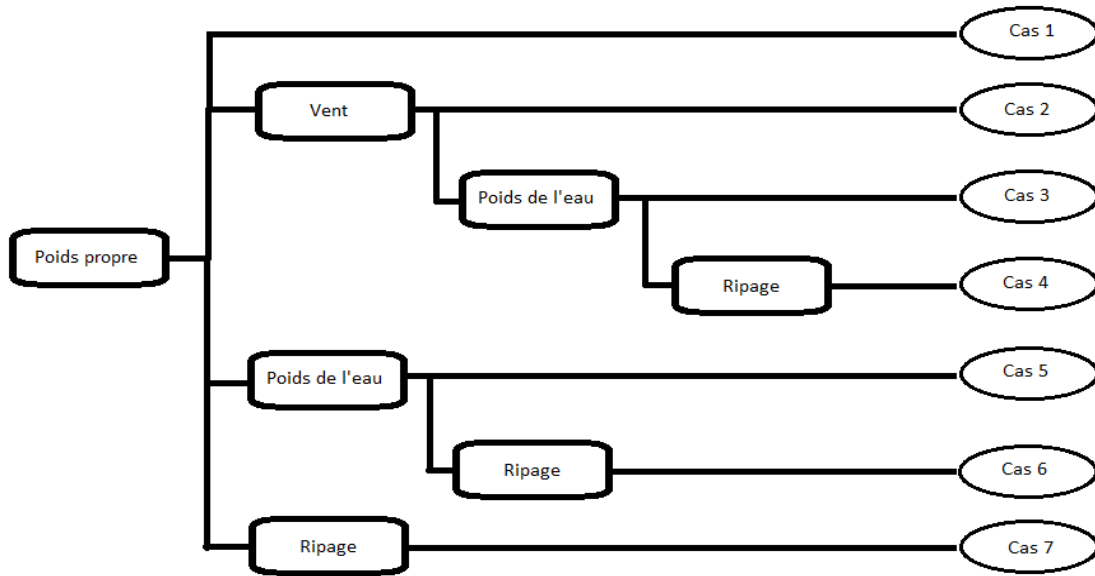


Fig. II.3 : Organigramme récapitulatif des différents de cas de chargements à considérer

II.3 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.3.1 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) (Fig.II.4). On en déduit un critère de vérification très simple, qui consiste à s'assurer que (Haut) reste toujours supérieur à une hauteur minimum $H_{\min}$:

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

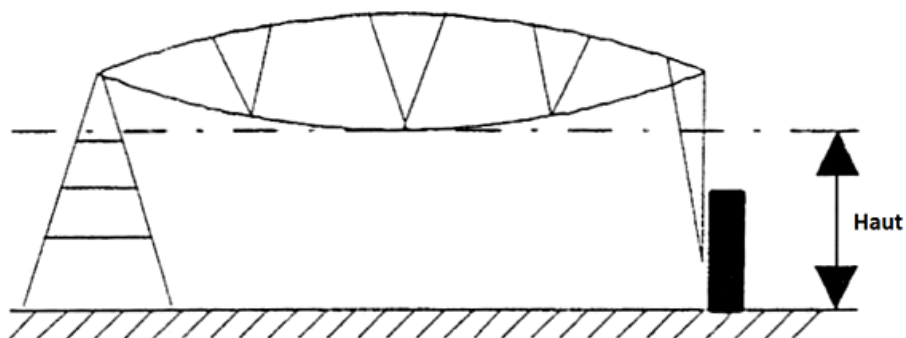


Fig. II.4: Représentation schématique de la hauteur libre sous travée (Haut).

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.3.2 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.3.3 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[5].

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.

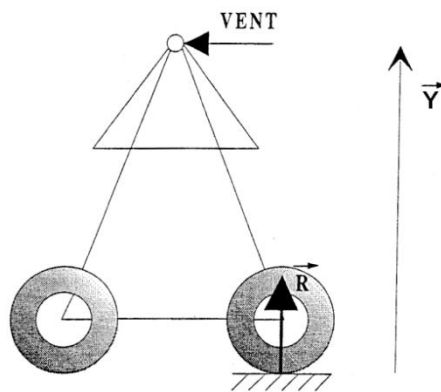


Fig. II.5: Représentation schématique de la réaction du sol sur la roue au vent.

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.4 Présentation des résultats

Ce paragraphe est consacré à représenter la variation des critères ci-dessus dans les différents cas de chargements, les résultats obtenus sont ensuite commentés.

II.4.1 Hauteur libre sous travée

Avant de s'assurer que le critère (équ.II.6) est vérifié, commençons par déterminer le cas de charge le plus défavorable du point de vue de la hauteur libre sous travée, c'est à dire celui pour lequel (Haut) est minimale. On a vu au chapitre précédent que sept chargements (cf. Cas de charges, chapitre II) peuvent s'appliquer sur la structure.

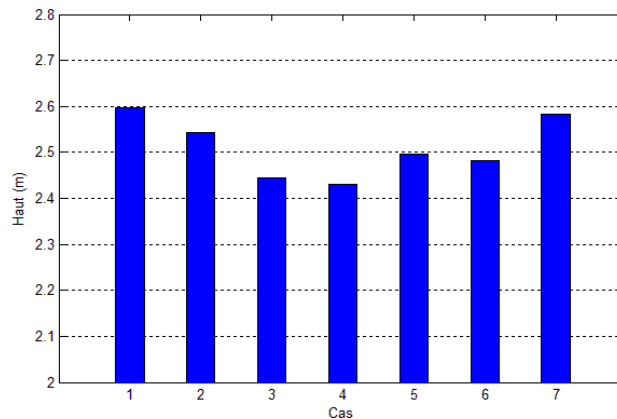


Fig. II.6: La recherche du cas de charge le plus défavorable pour la structure du point de vue de la hauteur libre sous travée[10].

Les résultats obtenus pour les deux cas de charge retenus permettent de constater que le cas de charge pour lequel la hauteur (Haut) finale est la plus faible est le cas 4 (fig.II.6). C'est donc le cas le plus défavorable du point de vue de la hauteur libre sous travée. Pour ce cas de charge, la hauteur libre sous travée finale (2.43m) est supérieure à 2.2 m. Le critère (équ.II.6) est donc respecté.

D'autre part. Nous savons que la hauteur a une relation directe avec le déplacement vertical du point le plus bas de la ligne de tirants située au vent (Fig II.7).

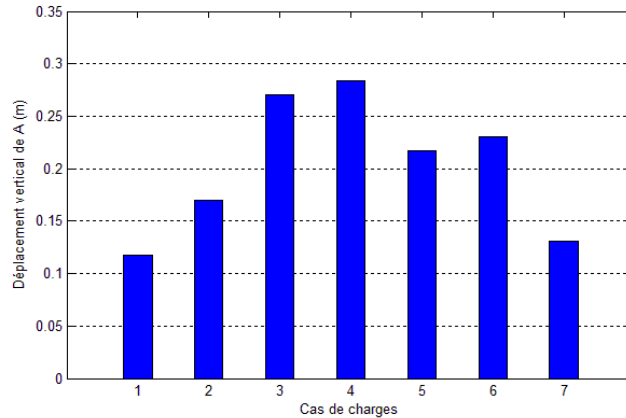


Fig. II.7: Le déplacement vertical pour le point A pour les sept cas de charges[10].

II.4.2 Résistance des sections

Dans notre analyse, nous allons considérer seulement les contraintes dans les canalisations, pour éviter le changement de la géométrie des tubes, d'une part, et d'autre part pour réduire le temps de calcul. En même temps, nous pouvons rétablir les dimensions d'autres éléments.

Afin de vérifier le critère (équ.II.7), on recherche le cas de charge le plus défavorable pour la structure du point de vue de la résistance des sections des tubes.

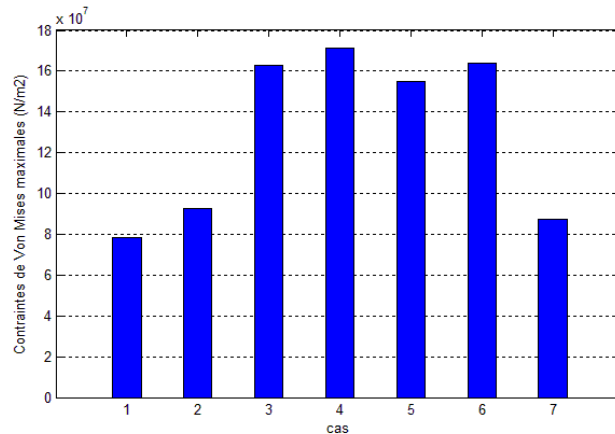


Fig. II.8: Recherche du cas de charge le plus défavorable pour la structure du point de vue de la résistance des sections des tubes[10].

Le rapport maximal existant dans les tubes entre contrainte de Von Mises et contrainte admissible du matériau (0.856) est obtenu pour le chargement 4 qui constitue donc le cas de charge le plus défavorable pour la structure (du point de vue de la résistance des sections).

II.4.3 Critère de renversement

Dans le cas présent, il est possible de connaître par simple raisonnement l'influence de chacune des actions de base sur la stabilité globale de la structure et d'en déduire le chargement le plus défavorable. L'action qui tend le plus à déstabiliser la structure est celle du vent.

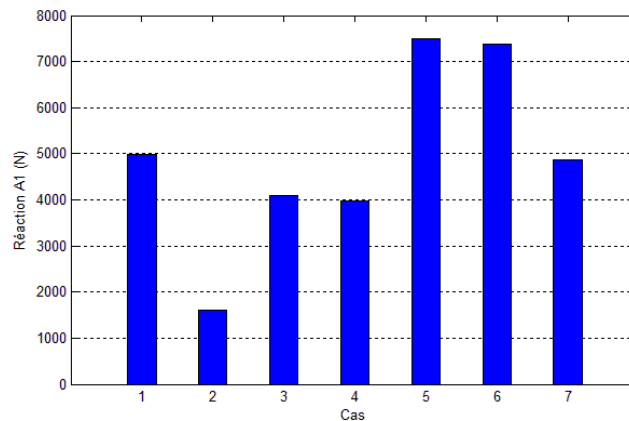


Fig. II.9: Recherche du cas de charge le plus défavorable pour la structure du point de vue de renversement de la structure[10].

Les résultats obtenus montrent une forte diminution de la stabilité de la structure pour le chargement 2 qui constitue donc le cas de charge le plus défavorable pour la structure (du point de vue de renversement de la structure). La réaction finale (1598.5 N) reste cependant positive, ce qui assure le non-renversement de l'ensemble travée-tour.

II.5 La flèche de la travée

La première donnée concerne la déformation due à la déflexion du pivot. Cette information est présentée sur la Fig. II.10 qui donne la déflexion du point le plus bas de la structure. Les cas considérés sont 1, 3, 4 et 5. Il est à remarquer que l'effort de ripage n'a pas d'effet significatif sur la déflexion ce qui rend les courbes des cas 3 et 4 confondues, alors que la déflexion maximale concerne le cas du pivot remplie d'eau est soumis au vent avec une valeur qui dépasse les 300 mm.

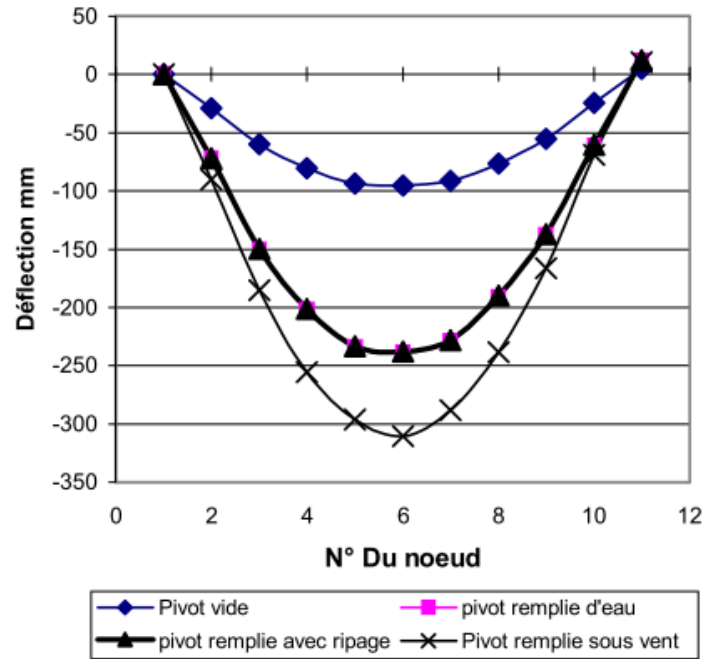


Fig. II.10: Valeur de la déflexion du point le plus bas du pivot[8].

II.6 Les contraintes dans la canalisation

Pour la canalisation nous allons présenter la contrainte maximale de Von Mises.

Pour cela nous allons adopter la numérotation suivante pour identifier les tubes formant la canalisation de la travée voir la Fig. II.11

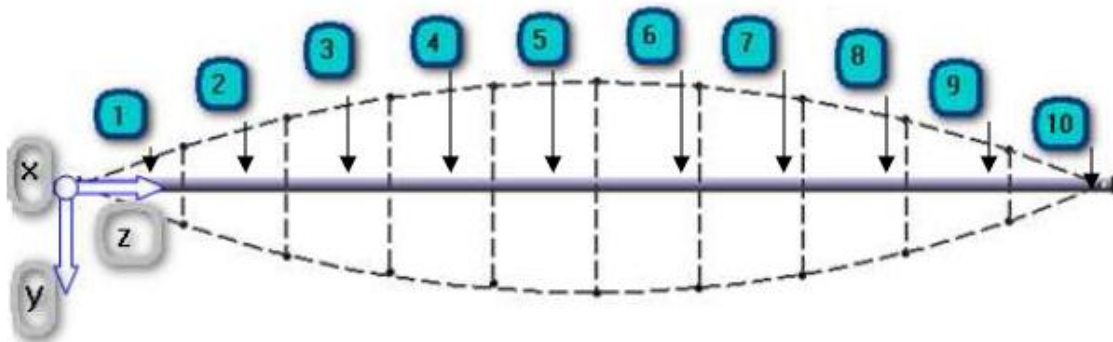


Fig.II.11:Numérotation des tubes de la canalisation d'une travée.

Le graphique de la figure II.12 donne l'évolution de la contraintes de Von mises le long de la canalisation. Les résultats montrent un effet important du vent sur la canalisation, surtout sur les tubes d'extrémités. Mise à part le tube près du tour central toute la canalisation supporte sensiblement un effort équivalent pour chaque cas de chargement. Les valeurs obtenues sont loin de la limite élastique.

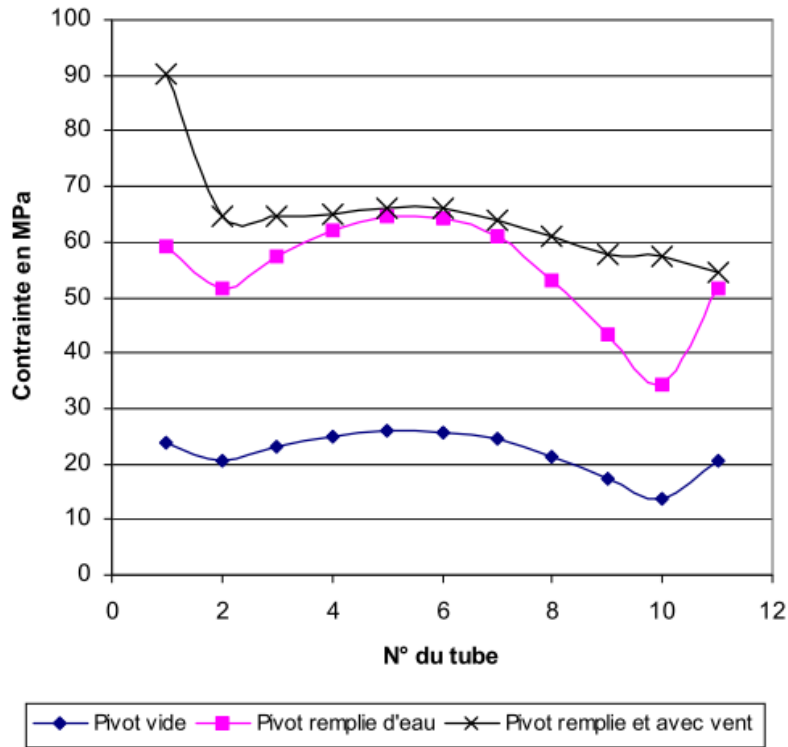


Fig. II.12: Contrainte Maximale de Von Mises dans les tubes de la canalisation[8]

II.6.1 Les contraintes dans les tirants

Après la canalisation, les contraintes dans les tirants seront évaluées. Pour cela on adopte la numérotation présentée sur la Figure II.13.

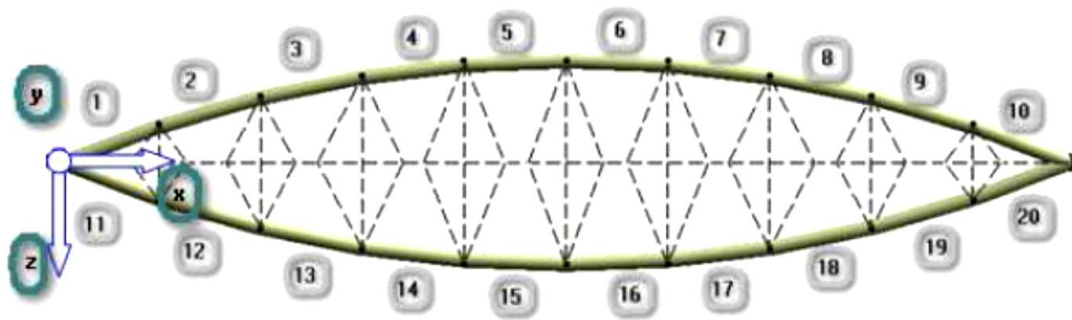


Fig.II.13: Numérotation des tirants d'une travée

Le graphique de la figure II.13 illustre l'évolution de la contrainte maximale de Von Mises dans les tirants pour les cinq cas de chargement. Les contraintes les plus faibles concernent le pivot vide, Alors que le cas le plus sollicité est celui du pivot remplie et soumis au vent. Les calculs ont donné des états de contraintes très proches pour les cas 2, 3 et 4. Il faut signaler d'autre part que dans le cas du pivot soumis au vent les tirants de part et d'autre de la

canalisation ne se comportent pas de la même façon. En effet, en l'absence du vent les contraintes dans les tirants montent une symétrie dans les valeurs par rapport à l'axe de la travée. L'effet du vent crée une tension supplémentaire dans une ligne de tirant et relâche l'autre ligne du tirant la figure II.14 illustre ce comportement, il s'agit d'un pivot remplie d'eau et non soumis au vent, les calculs donnent des contraintes symétriques par rapport à l'axe de la canalisation. Toujours pour un pivot remplie mais soumis au vent, le tirant face au vent se trouve relâché alors que l'autre ligne du tirant se trouve avec une tension supplémentaire.

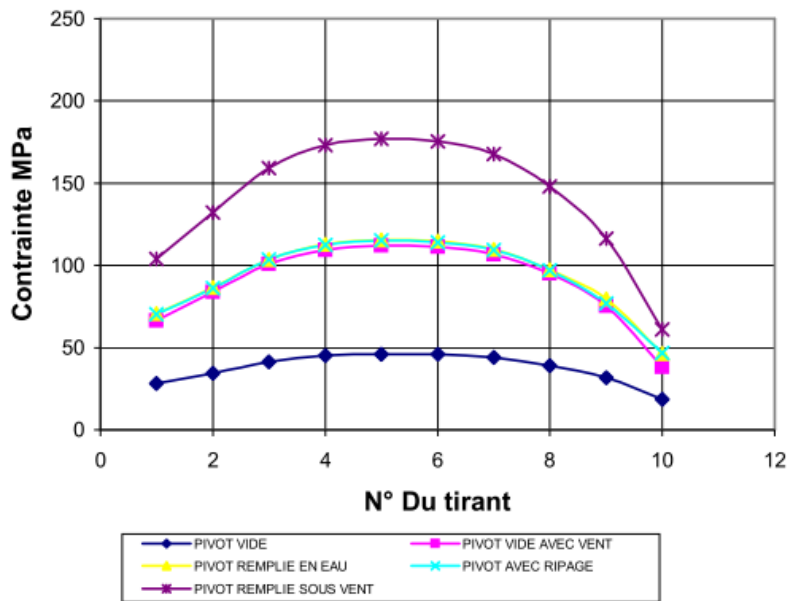


Fig.II.14: Contrainte Maximale de Von Mises dans les tirants[8].

II.6.2 Les contraintes dans les cornières

Les éléments suivants considérés pour le calcul des contraintes sont les cornières. Comme expliqué dans le chapitre 1, il existe deux types; des cornières obliques et des cornières transversales. Nous commençons par les cornières transversales avec une numérotation comme illustré sur la Figure II.15:

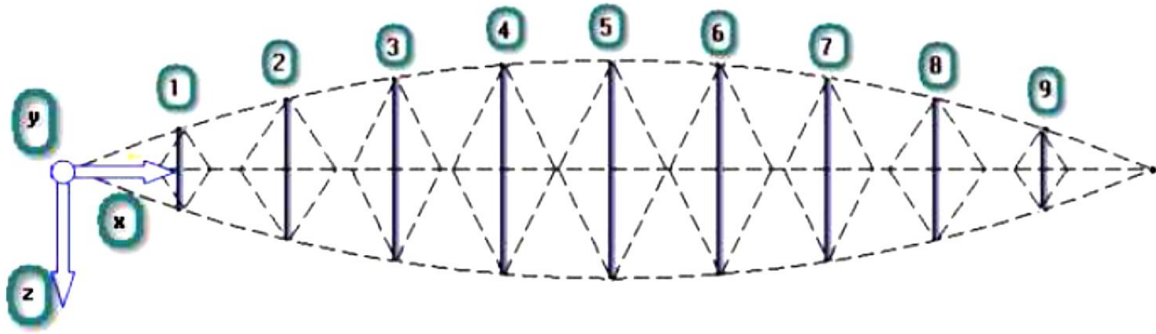


Fig. II.15: Numérotation des cornières transversales d'une travée

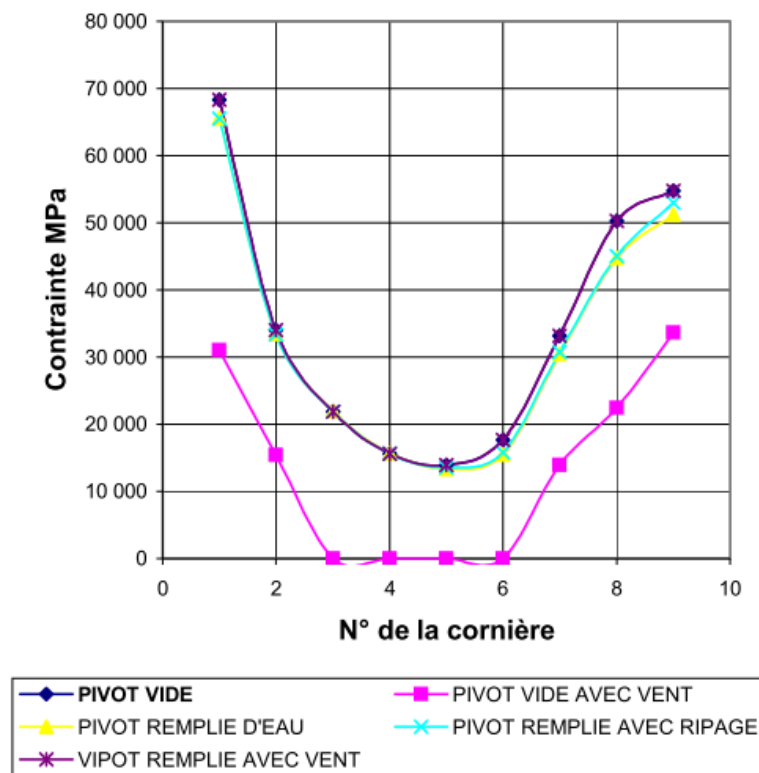


Fig. II.16: Contrainte Maximale de Von Mises dans les cornières transversales[8].

Le graphique de la Fig. II.16 démontre que dans l'ensemble le niveau de contrainte est relativement faible pour les cornières transversales. Seul pour les cornières près des tours donnent des valeurs qui restent loin de la limite d'élasticité.

Le dernier élément considéré dans les calculs est les cornières obliques qui sont numérotées selon la figure II.17. Nous allons considérer pour la présentation des contraintes qu'un seul côté pour des raisons de symétrie et pour illustrer mieux l'évolution des contraintes dans ces éléments.

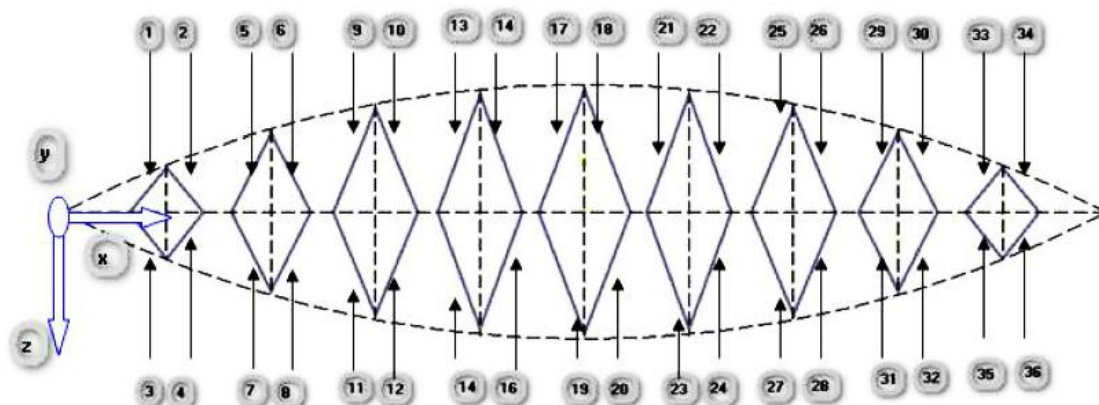


Fig. II.17: Numérotation des cornières obliques d'une travée

L'histogramme de la Fig. II.18 illustre l'évolution des contraintes dans les cornières obliques. Là aussi le niveau de contrainte est faible pour toutes les cornières obliques sauf pour les cornières près des tours, et qui reste aussi, loin de la limite d'élasticité.

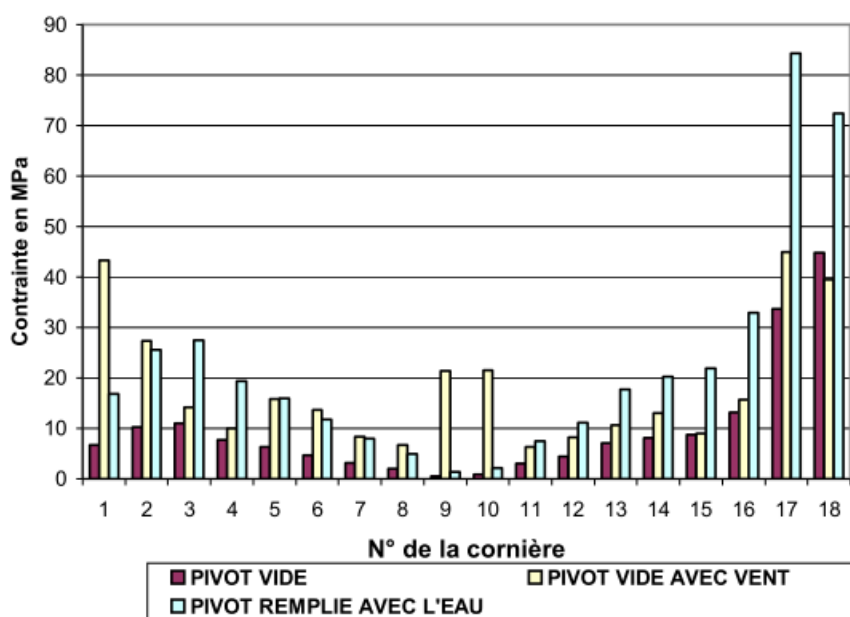


Fig. II.18: Contrainte Maximale de Von Mises dans les cornières obliques[8].

CHAPITRE III:

Aspects théoriques de la corrosion

III.1 Les différents types de corrosion

Selon les différents auteurs la corrosion correspond :

- à une destruction ou détérioration des métaux par les agents chimiques qui les environnent. Du point de vue étymologique le terme «corrosion » vient du mot latin« corroder » qui signifie ronger.
- à un retour des matériaux et alliages à leur état naturel de minerais (processus inverse de la métallurgie extractive)

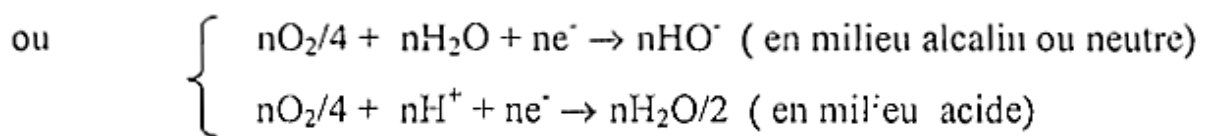
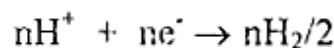
III.1.1 Processus de la corrosion

La distinction peut être faite entre deux processus ;

- La corrosion en milieu humide ou corrosion aqueuse : le milieu est constitué par un liquide ou par des vapeurs humides,
- La corrosion par voie sèche ; elle est généralement associée aux hautes températures. Pratiquement tous les cas de corrosion peuvent être décrit ou expliqués à partir de concepts électrochimique même si au premier abord ils apparaissent comme ayant un caractère clinique. Ainsi la réaction fondamentale d'un métal M est la réaction anodique:



à laquelle est couplée une réaction cathodique qui sera dans la plupart des cas:



Il en résulte que le métal attaqué sera l'anode couplée à une cathode sur laquelle se produira l'une des trois réactions précédentes. Il y a donc constitution d'une pile électrochimique

La plupart des réactions de corrosion ont lieu en présence de l'eau dans la phase liquide ou sous forme de vapeur condensée. Certaines corrosions « sèches» en l'absence d'eau ont lieu dans un électrolyte solide et sont aussi considérées comme électrochimiques.

III.1.2 Aspect économique de la corrosion

L'objectif principal de l'étude de la corrosion est d'ordre économique. En effet, les cas où on parle de maîtrise de la corrosion sont quelque peu trompeurs car le niveau 0 (zéro) de corrosion est inaccessible. Certaines mesures bien qu'elles réduisent la corrosion coûtent plus que l'équipement protégé. Les effets directs ou indirects de la corrosion peuvent être résumés ci-après:

- arrêt de la production.
- coût de l'entretien et du contrôle.
- coût des pièces à remplacer, des réparations à effectuer.
- coût dû à l'utilisation de matériaux plus nobles.
- contamination du produit par les produits de corrosion solubles.
- perte du produit.
- perte d'efficacité.
- augmentation des coefficients de sécurité (surdimensionnement).

III.1.3 Influence de la corrosion dans le choix d'un matériau

Le choix d'un matériau pour la construction d'un équipement résulte d'un compromis entre plusieurs facteurs:

- compromis entre la résistance à la corrosion et d'autres propriétés comme la résistance mécanique, la facilité de mise en œuvre, le soudage.
- compromis entre la durée de vie de l'équipement et la durée de vie estimée du matériau.

La synoptique de la figure II résume les différents compromis qui règlent le choix d'un matériau dans la construction d'un appareil ou d'une installation.

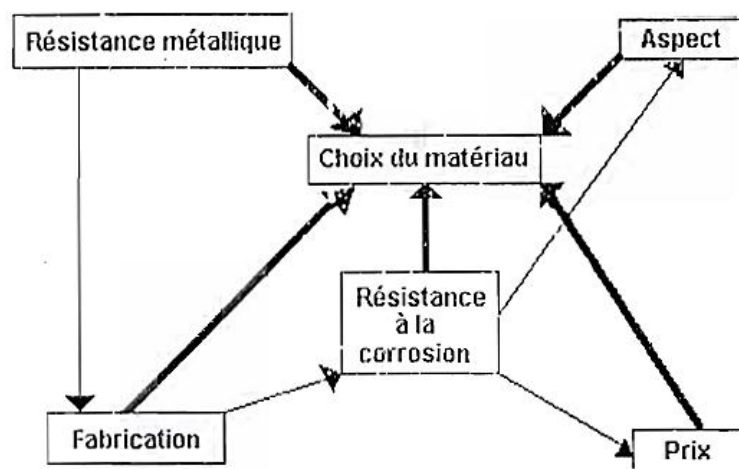


Fig. III.1: Synoptique des compromis dans le choix des matériaux

III. 2 Les différents types de corrosion

III.2.1 La corrosion uniforme

Un enlèvement uniforme, régulier de matière provenant de la surface du métal est le modèle habituel de corrosion uniforme. Pour la corrosion uniforme, toutes les parties de la surface du métal sont exposées de la même manière à l'environnement corrosif. Ces conditions ne prévalent pas généralement dans les équipements utilisés aussi un certain degré de non-conformité est toléré par la définition. Dans ce cas la vitesse de corrosion est généralement facile à prévoir avec une précision suffisante pour déterminer la durée de vie probable d'un appareil.

III.2. 2 Les corrosions localisées

A la corrosion uniforme, on oppose un ensemble d'autres formes de corrosion dites localisées. En effet, il y a la différence de la situation précédente ces formes de corrosion n'intéressent que certains sites de la surface; ces derniers ne comportent que des zones anodiques par opposition aux parties non attaquées qui sont des zones cathodiques. Dans la plupart des cas, la perte de matière est faible voire insignifiante.

III.2.2.1 La corrosion galvanique

La corrosion galvanique se produit donc quand deux métaux sont en contact dans un milieu humide. Le moins noble, se corrodera, il est dit anode alors que le second, la cathode sera en partie protégé de la corrosion. Ce phénomène s'appelle aussi effet de piles métalliques. Une condition indispensable pour l'apparition du phénomène de corrosion galvanique est la présence d'un électrolyte et ce, même si le contact n'est pas direct entre deux métaux, de l'eau légèrement acide voire faiblement minéralisée peut constituer cet électrolyte.

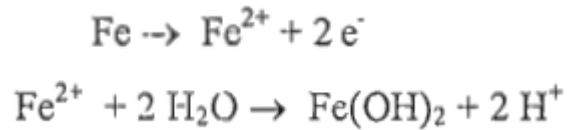
III.2.2.2 La corrosion par plaques

L'aire des surfaces anodiques prises individuellement est suffisamment importante, Ce type d'attaque peut être décelé par de simples observations macrographiques ou à l'œil nu. A ce type de corrosion on peut rattacher l'attaque d'une des phases d'un système biphasé lorsque celle-ci occupe une surface importante.

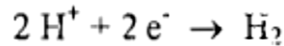
III.2.2.3 La corrosion caverneuse

Ce type corrosion se rencontre dans toutes les parties où il y a confinement du milieu: sous des joints non étanches, dans des interstices, dans les recoins etc. On parle aussi de corrosion par crevasses. Par suite de ce confinement, la composition du milieu est différente de celle du reste de la solution, ce qui entraîne la constitution d'une pile, d'où un phénomène de corrosion.

Le confinement du milieu peut être dû, soit à l'absence d'oxygène (avec formation d'une pile d'Evans), soit à une acidification du milieu par hydrolyse des sels:



Cette acidification entraîne une dépolarisation de la réaction cathodique de l'hydrogène :



Et par conséquent une augmentation du courant de corrosion. Dans cette forme de corrosion, une meilleure conception des pièces peut constituer un moyen efficace pour lutter contre la corrosion (prévention par le design).

III.2.2.4 La corrosion par piqûres

Cette corrosion est une attaque ponctuelle qui, dans le cas de l'acier, se produit sous l'effet d'ions halogènes, particulièrement les chlorures, en présence d'un oxydant et qui peut aboutir à la perforation du métal. Cette corrosion progresse rapidement et peut mener en peu de temps à la destruction du matériau.

III.2.2.5 La corrosion inter-granulaire

Ce phénomène se rencontre dans le cas d'alliages qui sont à l'état de solution solide à haute température et dans le cas d'un système biphasé à basse température avec précipitation d'une seconde phase pouvant être, par exemple, un carbure ou un composé intermétallique. C'est le cas des aciers inoxydables austénitiques et des alliages légers Al-Cu qui donnent respectivement naissance à une précipitation de carbures de chrome (Cr_{23}C_6) et à un composé intermétallique (Al_2Cu).

Ces précipités se forment préférentiellement dans les joints de grains qui constituent des centres de germination plus faciles. Dans le cas de l'acier austénitique, la précipitation de carbure entraîne un appauvrissement en chrome de part et d'autre du joint de grain. Cette zone est alors dépassivée et l'acier est dit sensibilisé.

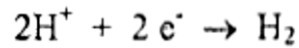
III.2.2.6 La corrosion sous contrainte

La corrosion fissurant sous contrainte conduit à une fissuration du métal résultant de l'action combinée d'une contrainte mécanique d'extension et d'un milieu électrolytique. C'est une des formes les plus graves de corrosion car le métal est soumis à une dégradation rapide.

sans manifestation extérieure visible, c'est-à-dire sans formation de produit de corrosion, ni de variation de poids.

III.2.2.7 La fragilisation par hydrogène

C'est une fissuration du matériau provoquée par la diffusion de l'hydrogène dans le réseau de l'alliage. Cela se produit lorsque la réaction d'évolution de l'hydrogène :



Produit de l'hydrogène atomique en surface pendant la corrosion, ou pendant l'électrodéposition, la protection cathodique ou encore pendant le nettoyage électrochimique des pièces. On la distingue de la fissuration sous contrainte par le fait que la polarisation cathodique l'accélère alors qu'elle supprime la corrosion sous contrainte.

Différents modes d'action ont été identifiés :

- ✓ ((l'attaque hydrogène » action chimique à haute température: décarburation des aciers;
- ✓ les flacons : précipitation d'hydrogène à la solidification;
- ✓ la fissuration des soudures;
- ✓ le cloquage (blister ING) ou fissuration induite par l'hydrogène : création de défauts sans action de contraintes;
- ✓ la fragilisation proprement dite: dégradation des propriétés mécaniques (allongement, striction, ténacité) en présence d'hydrogène.

III.3 Les facteurs de corrosion

III.3.1 La corrosion par les eaux

La nature de l'eau en contact avec les métaux peut être très déterminante

L'eau de mer est un milieu particulièrement agressif, on peut définir l'eau d'un océan à partir de sa salinité ou de sa conductivité. La solubilité de l'oxygène dans l'eau de mer est fonction de la température.

Les eaux douces dont l'eau de distribution des villes possèdent des caractéristiques diverses selon leur composition (pourcentage des minéraux dissous, teneur en oxygène et en gaz carbonique, pH, etc.). La résistance à la corrosion d'un métal mis au contact de l'eau douce peut varier considérablement selon le type d'eau. Les eaux peuvent être incrustantes ou

agressives. On les nomme respectivement eau dure et eau douce. Dans le premier cas l'eau est très minéralisée et laisse un dépôt de calcaire et de carbonate provoquant l'entartrage des conduites. Ce dépôt, qui isole le métal de l'eau, ralentit ainsi la corrosion; cependant, s'il n'est pas uniforme, il peut y avoir corrosion localisée par piqûres. Les eaux agressives, quant à elles, sont peu minéralisées ; elles sont donc plus corrosives que les eaux incrustantes, car elles ne favorisent pas la formation d'un dépôt protecteur

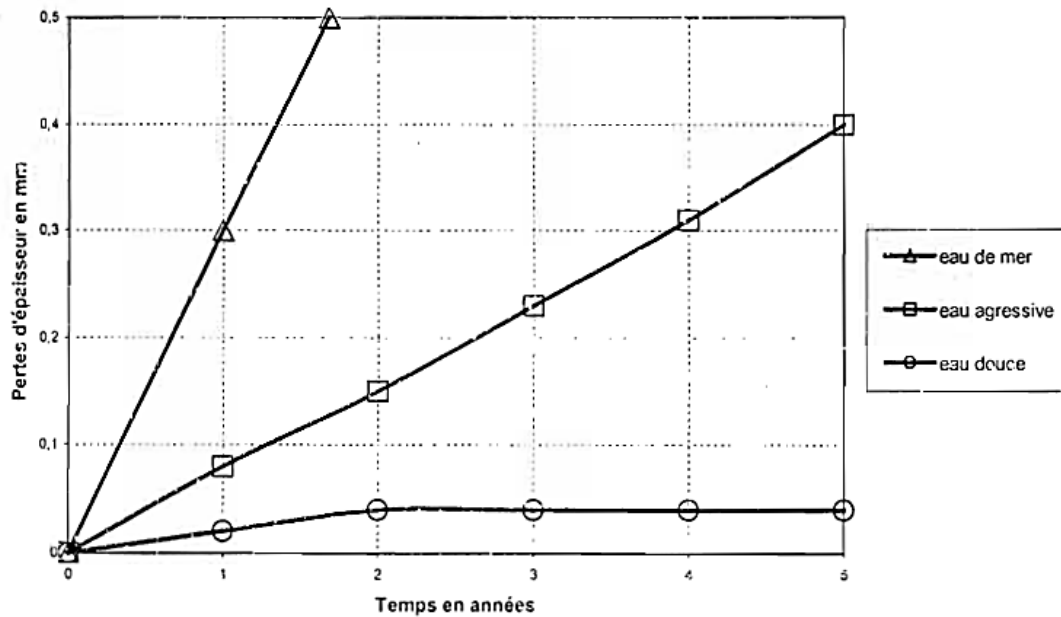


Fig.III.2 : Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition : dans l'eau de mer, dans une eau aggressive et une eau incrustante, extrait de Des matériaux[13]

III.3.2 La corrosion atmosphérique

Au contact d'une atmosphère humide les aciers au carbone non protégés se recouvrent d'une couche d'oxydes de fer uniforme dont l'épaisseur croît de façon parabolique avec le temps.

L'atmosphère devient corrosive dès que le taux d'humidité de l'air est supérieur à 30%. Sa corrosivité dépend essentiellement de trois paramètres :

- l'humidité relative.
- la teneur en SO_2 .
- la teneur en Cl^- .

La corrosion dépend également beaucoup de l'agressivité locale: atmosphère rurale industrielle ou marine.

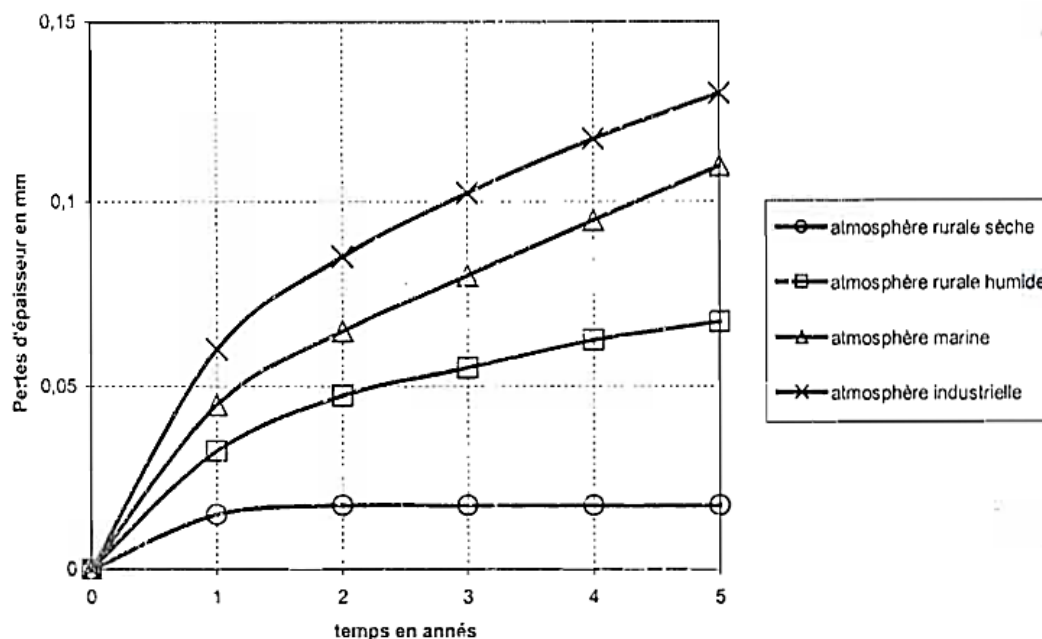


Fig. III.3 : Corrosion de l'acier doux en fonction de la durée d'exposition en atmosphère industrielle, marine et rurale (humide et sèche)[13].

III.3.3 La corrosion par les sols

Les sols sont loin d'être des milieux homogènes ; ils présentent en effet, d'un site à l'autre, des caractéristiques très variées. Le caractère corrosif des sols est fonction des paramètres suivants :

- leur perméabilité l'air et à l'eau, qui dépend de leur porosité et de la granulométrie des matériaux constitutifs.
- leur taux d'humidité.
- leur teneur en sels.
- leur alcalinité ou leur acidité (c'est à dire leur pH).
- leur conductibilité électrique.

En général ce sont ces deux derniers paramètres (pH et conductibilité électrique) que l'on mesure. Dans la grande majorité des cas, le pH des sols est compris entre 6 et 9. Quand une canalisation traverse des sols de natures différentes, le potentiel d'équilibre du métal avec chacun de ces milieux peut être différent, ce qui entraîne la formation de zones cathodiques et de zones anodiques.

III.3.4 Les conditions d'utilisation

Certaines conditions d'utilisation ont pour effet d'accélérer la corrosion et de raccourcir ainsi la vie des pièces ou des assemblages.

En milieu corrosif la résistance à la tension mécanique de beaucoup d'alliages se trouve diminuée. Cette diminution est due à l'effet combinée de facteurs électrochimiques et de facteurs mécaniques; c'est la corrosion par fatigue.

Des déplacements de très faible amplitude (inférieurs au micromètre) entre les pièces sont la cause, aux points de contact, de la corrosion par frottement. Puisque les surfaces ne sont jamais complètement lisses, elles sont en contact par leurs aspérités.

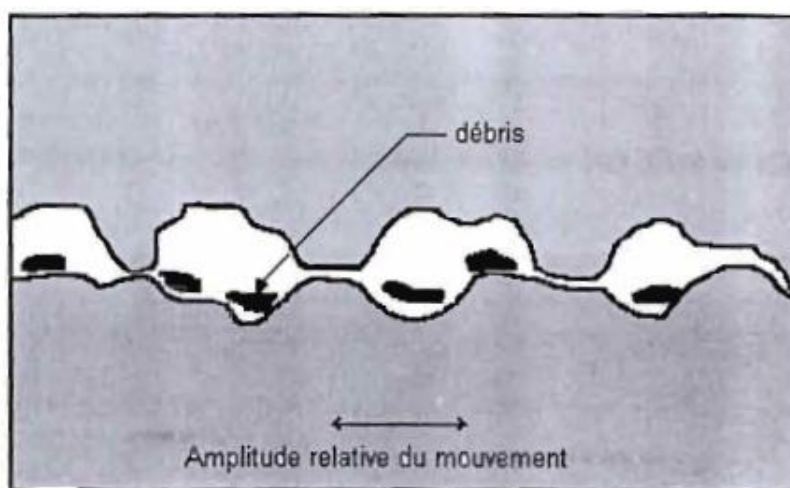


Fig.III.4 : Représentation schématique du mécanisme de la corrosion par frottement.

Dans une pièce métallique, un gradient de température entraîne un gradient de potentiel électrochimique entre la partie froide et la partie chaude. La zone froide, qui est anodique par rapport à la zone chaude, peut être le siège de corrosion.

Quand on fait une installation de mise à la terre par le sol d'une installation électrique, il y a passage de courants dans le sol. Si des conduites métalliques sont enterrées à proximité de cette installation, le courant (courant vagabond) peut y circuler car leur résistance est inférieure à celle du sol. Il y a alors formation de zones anodiques sur les conduites et, par conséquent, accélération de la corrosion.

III.4 La lutte contre la corrosion

La lutte contre la corrosion doit être une préoccupation constante, depuis la conception des équipements jusqu'à leur entretien quotidien. Si les moyens à mettre en œuvre sont variés

et dépendent en grande partie des situations d'utilisations particulières, le but recherché est d'enrayer la dégradation des équipements pour augmenter leur durée de vie.

Les différents moyens de lutte contre la corrosion sont:

- La protection électrochimique
- La protection par revêtement et traitement de surface
- L'action sur le milieu de corrosion
- Le choix des matériaux
- La conception et le tracé des assemblages

III.4.1 La protection électrochimique

Pour effectuer la protection électrochimique d'un métal, on modifie son potentiel de dissolution de façon à l'utiliser soit dans la zone d'immunité, soit dans la zone de passivité. On parle alors de protection cathodique ou anodique.

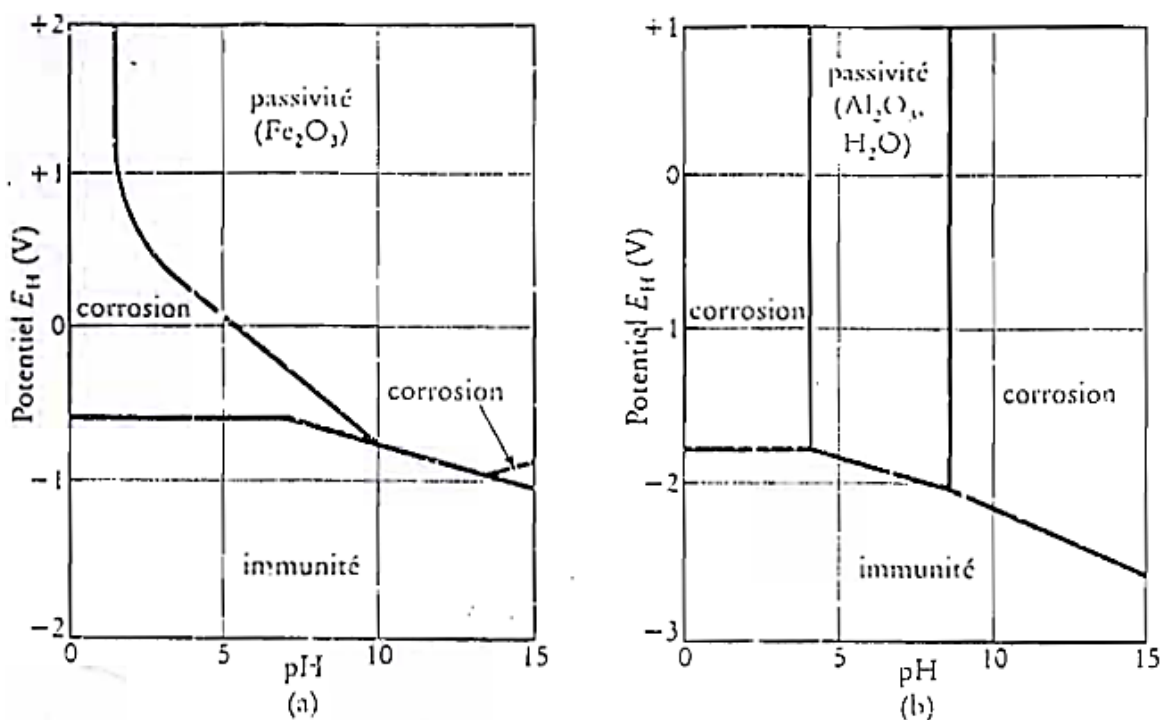


Fig.III.5: Diagramme de Pourbaix simplifiés (à 25°C): a) pour le fer ; b) pour l'aluminium[13].

III.4.1.1 La protection cathodique

La protection cathodique est la technique qui permet de conserver dans son intégrité la surface extérieure des structures en acier enterrées ou immergées, en s'opposant au processus

électrochimique d'attaque du métal par le milieu ambiant. Les canalisations en acier constituent le champ d'application principal de cette protection. Les réseaux en acier, même anciens et dégradés, peuvent bénéficier de cette technique dans des conditions économiques admissibles.

La protection cathodique pourra donc se faire soit par :

- **anodes sacrificielles**

Le métal à protéger est couplé à un métal moins noble c'est à dire plus électronégatif (magnésium, aluminium, zinc). Celui-ci devient alors l'anode et la structure à protéger la cathode du système. L'anode se corrode alors et il faut la remplacer périodiquement.

- **le soutirage de courant**

Cette méthode consiste à coupler le métal à protéger avec une anode inerte. On impose à l'équipement à protéger son potentiel (qui donne le critère de protection en tous points) à l'aide d'un générateur de courant. Cette méthode est aussi appelée protection cathodique par courant extérieur imposé.

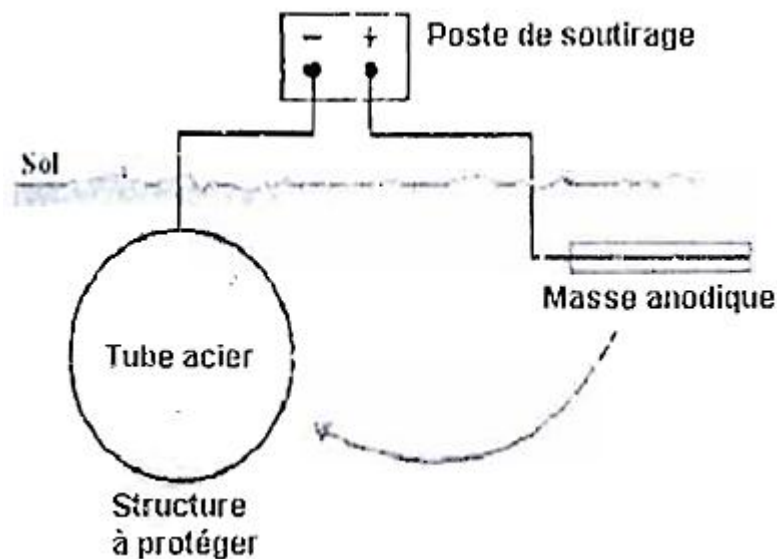


Fig.III.6: La protection cathodique par soutirage de courant

III.4.1.2 La protection anodique

Le principe de la protection anodique diffère de celui de la protection cathodique en ce sens qu'on fait augmenter le potentiel de corrosion de façon qu'il se situe dans la zone passive (voir diagramme de Pourbaix (Fig.III.5)). Cette méthode est donc uniquement applicable aux métaux qui peuvent être passivés.

III.4.2 La protection par revêtement et traitement de surface

Un revêtement ayant pour fonction d'isoler le métal du milieu corrosif, il doit être continu, adhérent et inerte par rapport à l'environnement. A cet effet, il faut préparer soigneusement les surfaces à traiter; c'est à dire éliminer toute trace d'oxydation, de graisse ou de tout autre corps étranger, afin que le revêtement joue totalement son rôle de barrière au passage des électrons

III.4.2.1 Les revêtements non métalliques

Les revêtements non métalliques sont soit des peintures, soit des polymères soit des goudrons qui sont des produits organiques. En ce qui concerne les peintures, il faut en appliquer au moins deux types différents: une couche de fond et des couches de finition. La peinture utilisée pour les couches de fond, doit mouiller parfaitement la surface à peindre et y adhérer fortement ; ces peintures contiennent souvent des poudres de zinc ou d'aluminium, qui agissent comme anode, ou des pigments (comme le chromate de zinc), qui peuvent jouer le rôle d'inhibiteur.

Les polymères utilisés comme revêtement sont soit thermoplastiques (PET, PVC, etc.), soit thermodurcissables (poly époxydes)[14].

Les structures enfouies sont souvent protégées par des revêtements à base de goudron, d'asphalte ou de bitume.

III.4.2.2 Les revêtements métalliques

Par rapport au métal à protéger, les revêtements métalliques peuvent être soit anodiques, soit cathodiques. Ainsi, le zinc, qui est anodique par rapport à l'acier, joue le rôle de d'anode sacrificielle dans les pièces en tôles galvanisées. Le chrome par contre est cathodique par rapport à l'acier par conséquent, au niveau de chaque discontinuité du revêtement, il y a corrosion de l'acier sous le chrome.

III.4.2.3 Traitement des surfaces par voie chimique

Les traitements de surface par voie chimique modifient chimiquement les surfaces des métaux de façon à leur conférer une meilleure résistance à la corrosion. Ainsi lorsqu'on trempe une pièce d'acier dans un bain d'acide phosphorique, il se forme à sa surface, du phosphate de fer. On utilise ce procédé, la phosphatation pour traiter les carrosseries d'automobiles avant de les peindre. La chromisation d'aluminium et de magnésium est un autre exemple de modification chimique des surfaces métalliques.

Dans certains cas on protège les métaux grâce à une couche d'oxyde formée artificiellement à leur surface. Le bronzage de l'acier et l'anodisation de l'aluminium sont des exemples de ce procédé.

III.4.3 L'action sur le milieu corrosif

On peut exercer une action sur le milieu essentiellement en modifiant la cinétique de corrosion. Ce type de protection ne peut par conséquent s'appliquer qu'à un système fermé. Une façon d'agir sur le milieu est de diminuer le pouvoir oxydant de l'électrolyte, quand la réaction électrochimique de réduction est celle de l'oxygène, la vitesse de corrosion est nettement réduite lorsqu'on élimine préalablement l'oxygène dissous

L'addition d'inhibiteurs peut aussi être utilisée car ceux-ci agissent sur la polarisation cathodique la pile de corrosion fonctionne alors sous contrôle cathodique, et le courant en est diminué. Les inhibiteurs agissent en très faible concentration et leur nature varie en fonction du métal à protéger et du milieu corrosif avec lequel celui-ci est en contact.

Une troisième action pouvant être menée est l'addition de passivateurs qui agissent en surtension anodique. Ce sont des agents oxydants (chromates, nitrites), qui élèvent la valeur du potentiel de corrosion des métaux passivables jusque dans leur domaine de passivité. Les passivateurs pour aciers au carbone et pour aciers inoxydables sont les plus utilisés.

III.4.4 Le choix des matériaux

Le souci d'éviter la corrosion pousse à choisir avant tout des matériaux qui ne se dégradent pas dans leur environnement ou, du moins, qui se corroderont de façon uniforme afin qu'on puisse connaître le plus exactement possible la durée de vie utile de l'équipement. Il faut en outre porter une attention spéciale aux conditions d'utilisation (combinaison matériau milieu corrosif-contraintes) qui entraînent des types particulièrement perniciox de corrosion, comme la corrosion sous contraintes ou la corrosion par piqûres.

III.4.5 La conception et le tracé des assemblages

Avant d'utiliser les méthodes décrites précédemment, il est possible de lutter contre la corrosion dès le début c'est à dire sur la table de dessin. En fait, pour minimiser les possibilités de corrosion, il faut étudier très soigneusement la conception des équipements et des assemblages. Les règles à respecter sont aussi nombreuses que variées, car chaque assemblage est en soi un cas d'espèce; on peut toutefois les regrouper comme suit:

- a) Eviter la formation de couples galvaniques entre des métaux différents: pour des métaux différents, les isoler électriquement l'un de l'autre.
- b) Eviter la formation d'interstices dans les assemblages afin de ne pas favoriser la corrosion cavernueuse, les obturer à l'aide de mastic hydrofuge ou de cordon de soudure.
- c) Eviter, où que ce soit, l'accumulation d'eau stagnante ou de résidus de boues afin d'éviter la corrosion par aération différentielle. Pour les mêmes raisons, éviter de créer des espaces renfermés et difficiles d'accès, qui rendent l'entretien et les inspections presque irréalisables.
- d) Eviter tout tracé qui risque d'entraîner des concentrations de contraintes dans les matériaux sensibles à la corrosion sous contrainte.
- e) Eviter dans les conduites, les changements brusques de section, les vannes trop petites ou les irrégularités, qui peuvent engendrer des zones de turbulences et favoriser ainsi la corrosion par érosion.

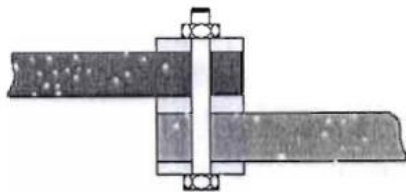
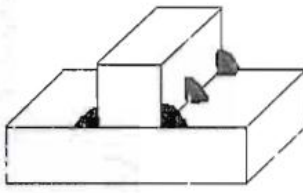
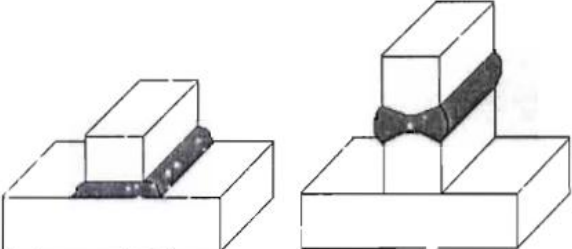
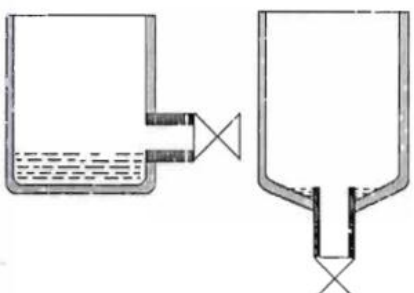
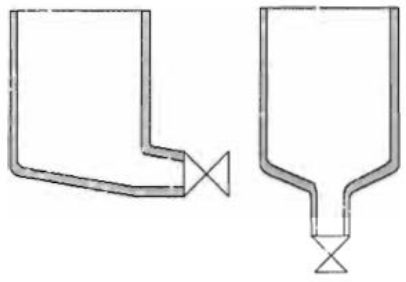
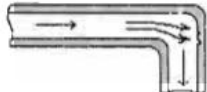
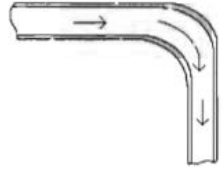
Mauvais	Bon
métaux différents directement en contact 	métaux séparés par un isolant 
soudure discontinue 	soudure continue 
accumulation d'eau 	vidange complète 
courbure brusque 	grande courbure 

Fig.III.7 : Quelques règles de conception et d'assemblages à respecter[14].

CHAPITRE IV :

Maintenance de la travée de pivot d'irrigation

IV.1 Généralités sur la maintenance

IV.1.1 La fonction maintenance

IV.1.1.1 Introduction à la fonction maintenance

Définition selon l'AFNOR (Association Française de Normalisation) [15]: « Ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié, ou en mesure d'assurer un service déterminé » (NF X60-010).

- **La maintenance de fabrication (production)**

Elle consiste principalement à :

- Dépanner les machines utilisées pour la production
- Réparer, réviser, rénover et les maintenir en état

- **La maintenance générale**

Elle consiste principalement à :

- Réparer et maintenir en état les bâtiments, les engins de transport, les espaces verts...
- Contrôler et surveiller les travaux concernant l'hygiène, la sécurité, la pollution, la gestion de l'énergie...

- **La maintenance sous-traitée**

Il s'agit dans ce cas de :

- Négocier les contrats d'assistance technique
- Veiller au respect de ces contrats

IV.1.1.2 Rôle de la maintenance

- Elle doit assurer la rentabilité des équipements en tenant compte de la politique définie par l'entreprise.
- Elle procède à des études préalables afin de permettre la réduction des coûts et des interventions.

- Elle prépare le travail, étudie les conditions de fonctionnement, les défaillances possibles et les conditions d'intervention.

IV.1.1.3 Fonctions d'un service maintenance

- **Fonction étude et méthode**

Elle consiste à mettre en place des études techniques pour :

- Rechercher des améliorations.
- Participer à la conception de travaux neufs.
- Participer à l'analyse des accidents de travail.
- Etablir des fiches d'instructions pour les interventions.
- Etablir les plannings d'intervention.
- Gérer les approvisionnements.
- Analyser les coûts de maintenance.
- Définir des stratégies de maintenance.

- **Fonction exécution et mise en œuvre**

Son aspect pluri-technique nécessite une bonne connaissance des matériels ainsi qu'une bonne maîtrise des diverses technologies.

IV.1.2. Les options de la maintenance

Les options susceptibles d'être mises en œuvre par le service maintenance relèvent de deux concepts principaux :

- La maintenance corrective
- La maintenance préventive

IV.1.2.1 La maintenance corrective

Elle correspond à une attitude passive d'attente de la panne ou de l'incident ; la réaction consiste alors à éliminer le défaut, grâce à un dépannage ou une réparation.

IV.1.2.2 La maintenance préventive

Elle correspond à la volonté de prévoir la dégradation de l'équipement afin d'éviter d'être pris au dépourvu par la panne.

Il existe alors deux solutions :

- Le changement ou la réparation systématique d'organes : c'est la maintenance systématique qui consiste à bien connaître les processus de dégradation
- Le changement ou la réparation des organes en fonction de leur état de dégradation : c'est la maintenance conditionnelle qui impose une surveillance de la progression du défaut

Il existe aussi un troisième concept qui consiste à se débarrasser définitivement des défaillances : c'est la maintenance améliorative. Elle nécessite une réflexion pour :

- Déterminer les causes réelles du problème
- Envisager les remèdes adaptés à leur suppression.

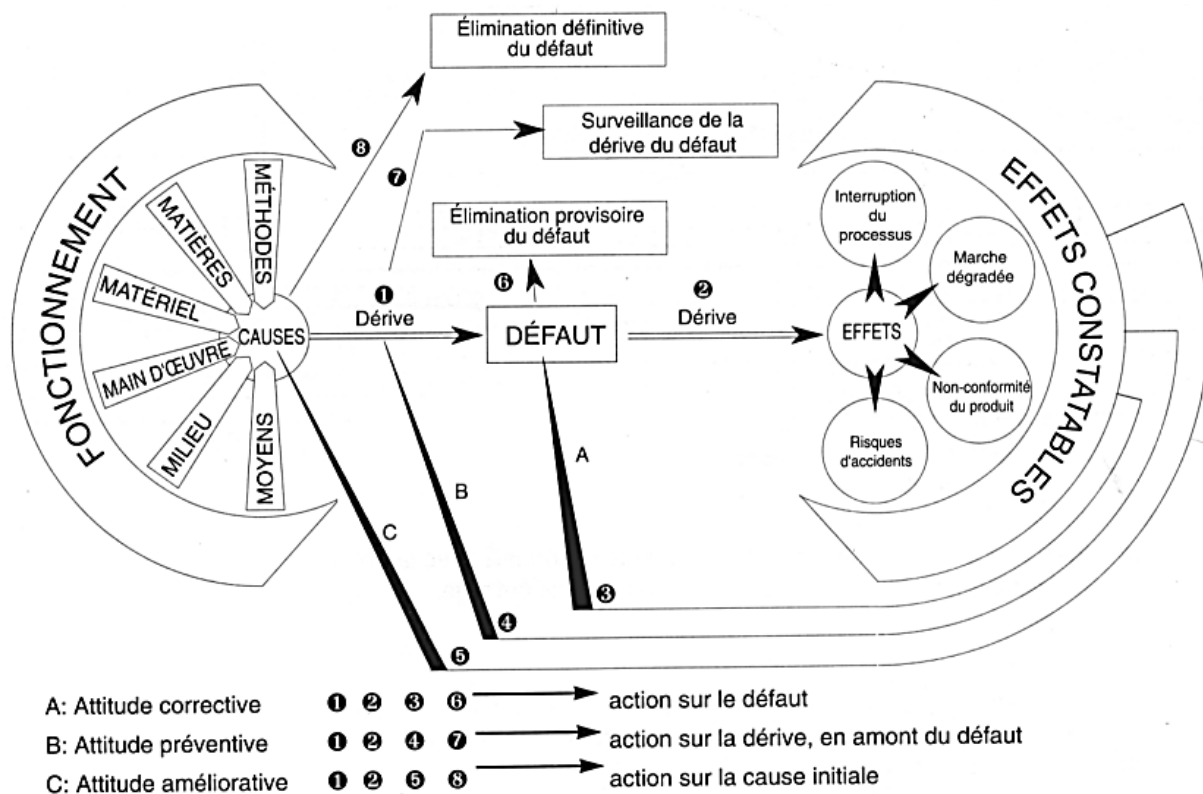


Fig.IV.1 : Liaisons entre les options de la maintenance.

IV.1.2.3 Les diverses options de la maintenance (selon AFNOR)

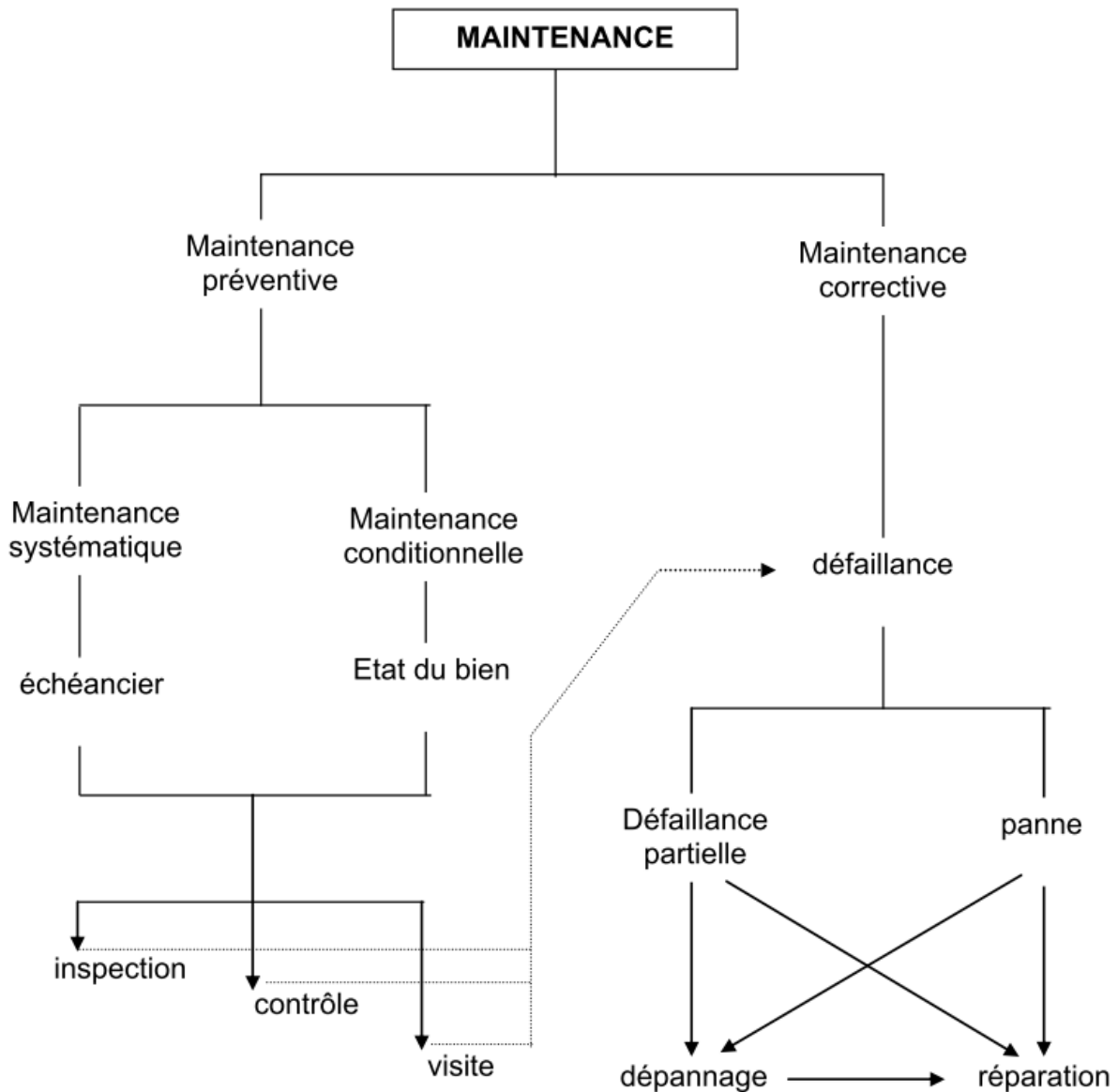


Fig.IV.2 : Les options de la maintenance.

IV.1.2.4 Termes et définitions relatifs à la maintenance

- **Maintenance préventive**

Maintenance effectuée selon des critères déterminés, dans l'intention de réduire la probabilité de défaillance d'un bien ou la dégradation d'un service rendu.

- Maintenance systématique : maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi selon le temps ou le nombre d'unités d'usage.

- **Maintenance conditionnelle** : maintenance préventive subordonnée à un type d'événement prédéterminé (auto diagnostic, information d'un capteur, mesure d'une usure, etc.) révélateur de l'état du bien.

- **Maintenance corrective** : maintenance effectuée après une défaillance.

IV.1.2.5 Les opérations de maintenance

- **Les opérations de maintenance préventive**

Les opérations suivantes sont effectuées de manière continue ou à des intervalles prédéterminés calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

- **Inspection** : activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle peut être effectuée sous forme de « rondes » et a pour but la détection de défaillances mineures :

- défauts de lubrification (contrôles des niveaux)
- défauts de pression, de températures, de vibrations.
- détection visuelles de fuites, détection d'odeurs, de bruits anormaux.
- dépannages simples : réglage de tension de courroie, échanges de lampes...

- **Contrôle** : vérification de la conformité par rapport à des données préétablies, suivies d'un jugement (décision de non-conformité, d'acceptation, d'ajournement)

- **Visite** : activité consistant en un examen détaillé et prédéterminé de tout ou partie des éléments d'un bien. Elle peut entraîner certains démontages et déclencher des opérations correctives des anomalies constatées.

- **Les opérations de maintenance corrective**

-**Dépannage** : action sur un bien en panne en vue de le remettre en état de fonctionnement, provisoirement avant réparation.

- **Réparation** : intervention définitive et limitée de maintenance corrective

- **Autres activités du service maintenance**

- **Les travaux d'amélioration** : ils consistent à modifier un équipement pour augmenter sa sécurité, sa fiabilité et sa maintenabilité.

- **Les travaux de modernisation** : ils consistent à remplacer des composants âgés ou à leurs adjoindre des composants d'une génération nouvelle.
- **La rénovation**: ces travaux comprennent l'inspection complète de tous les organes suivie de:
 - la réparation des éléments usés.
 - l'achat d'éléments neufs.
- **les travaux neufs** : ils contiennent, entre autres, les tâches suivantes :
 - avis sur le choix du matériel.
 - réception technique et vérification de la conformité.
 - Installation.
 - mise au point (réglages, essais préliminaires...).
 - mise en service.
- **La reconstruction** : elle intervient à la fin de vie du bien. Toutes les pièces sensibles sont remplacées par des pièces d'origine. On peut prévoir des performances supérieures à celles d'origine.

niveaux	Types de travaux	Personnel d'intervention	Moyens
1 ^{er} niveau	réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement, ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.	pilote ou conducteur du système	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2 ^{ème} niveau	dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive (rondes)	technicien habilité	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation et pièces de rechanges disponibles sans délai.
3 ^{ème} niveau	identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.	technicien spécialisé	outillage prévu et appareils de mesure, banc d'essai, contrôle...
4 ^{ème} niveau	travaux importants de maintenance corrective ou préventive	équipe encadrée par un technicien spécialisé	outillage général et spécialisé, matériels d'essais, de contrôle...
5 ^{ème} niveau	travaux de rénovation, de reconstruction ou réparation importantes confiées à un atelier central	équipe complète et polyvalente	moyens proches de la fabrication

IV.1.3 Autres aspects de la maintenance

IV.1.3 .1 La fiabilité

- **Définition :**

« Aptitude d'un bien à accomplir une fonction requise dans des conditions données pendant un temps donné »[16]. La notion de temps peut prendre la forme :

- Du nombre de cycles effectués.
- De la distance parcourue.
- Du tonnage produit...

- **Commentaires**

Un équipement est fiable s'il subit peu d'arrêts pour pannes. La notion de fiabilité s'applique à:

- Du matériel réparable (équipements industriels ou domestiques)
- Du matériel non réparable (composants, lampes...)

La fiabilité peut se caractériser par la moyenne des temps de bon fonctionnement (MTBF).

IV.1.3 .2 La maintenabilité

- **Définition**

« Dans les conditions d'utilisation pour lesquelles il a été conçu, aptitude d'un bien à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut remplir sa fonction, lorsque sa maintenance est accomplie ».

- **Commentaires**

La maintenabilité caractérise la facilité à remettre ou à maintenir un bien en bon état de fonctionnement.

La maintenabilité d'un équipement dépend de nombreux facteurs :

- Ceux liés à l'équipement : documentation, aptitude au démontage, facilité d'utilisation...

- Ceux liés au constructeur : qualité du service après-vente, facilité d'obtention de pièces de rechange, coût des pièces de rechange...
- Ceux liés à la maintenance : préparation et formation du personnel, outillages adéquats, études d'améliorations...

- **Quantification de la maintenabilité**

On peut caractériser la maintenabilité par la « moyenne des temps techniques de réparation »

Où MTTR

$$\text{MTTR} = \frac{\sum \text{temps d'intervention pour pannes}}{\text{Nombre de pannes}}$$

Exemple : en janvier 1998, la somme des temps d'intervention d'un équipement a été de 7,45 heures pour 9 pannes ; d'où $\text{MTTR} = 7.45/9 = 0.83$ heures.

IV.1.3 .3 La disponibilité

- **Définition**

« Aptitude d'un bien à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions de temps déterminées »

- **Commentaires**

Pour qu'un équipement présente une bonne disponibilité, il doit :

- Avoir le moins possible d'arrêts de production.
- Etre rapidement remis en état s'il tombe en panne.

La disponibilité d'un équipement est donc liée à la fiabilité et à la maintenabilité.

- **Quantification de la disponibilité**

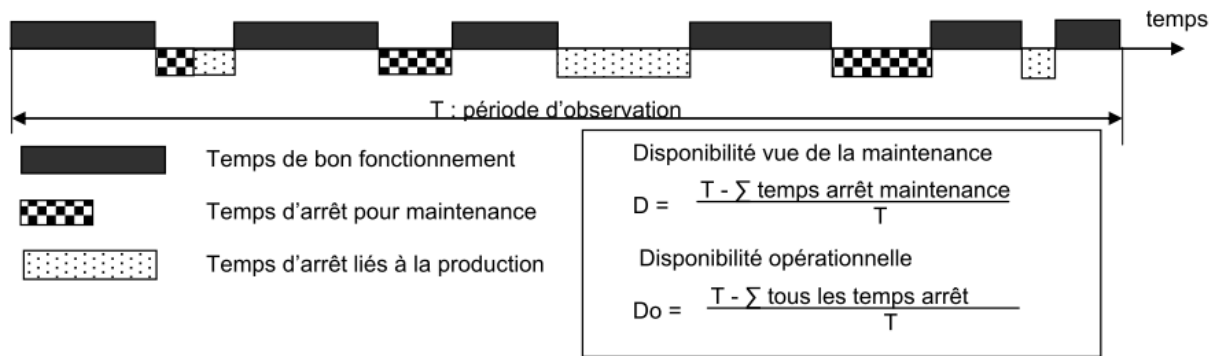


Fig.IV.3 : Quantification de la disponibilité

IV.1.4 La démarche de maintenance

Les interventions sur les équipements sont nécessaires pour garantir leur bon état de fonctionnement. Pour cela, l'équipe de maintenance doit s'organiser pour :

- que ce bon fonctionnement soit atteint dans les meilleures conditions de coût et de réalisation
- que les problèmes passés et présents soient mis à profit pour améliorer la situation future de l'équipement.

Il est donc possible de garder en mémoire :

- les pannes et incidents qui se sont présentés.
- les coûts de remise en état.
- les temps d'indisponibilité.
- les coûts de perte de production liés à l'indisponibilité.
- les modifications techniques apportées.
- les valeurs avant et après corrections, etc.

Cette nécessité conduit à mettre en place, pour chaque équipement, un dossier qui, en pratique, se présente en deux parties :

- le dossier technique
- le dossier machine

IV.1.4 .1 Le dossier technique

Il regroupe tout ce qui est propre à un modèle de machine : données constructeur, plans, schémas électriques, caractéristiques générales, nomenclatures, documents pièces de rechanges...

Exemples :

- le dossier technique des palettiseurs de type « Z » de la marque « W ».
- le dossier technique des presses de type « P » de la marque « R ».

IV.1.4 .2 Le dossier machine

Appartenant à chaque machine, il regroupe :

- Les renseignements propres à la machine (année de mise en service, configuration de fonctionnement, GRAFCET, GEMMA, modifications apportées, opérations spécifiques de réglage, travaux d'entretien, instructions de graissage, résultats de contrôles et visites etc.
- La trace écrite de toutes les opérations réalisées sur la machine (dépannages, réparations, révisions, graissages, améliorations, etc. ainsi que les temps passés, les coûts, les sorties de pièces ou de produits). Cette partie constitue le « dossier historique » ou plus simplement « l'historique ».

Ces renseignements pourront ensuite être exploités pour la gestion de la maintenance de façon à :

- Constituer une source d'informations précise et complète concernant chaque équipement.
- Stocker toutes les informations relatives aux pannes, aux opérations d'entretien.
- Améliorer la disponibilité de l'équipement.
- Adapter le stock de pièces de rechange ainsi que les procédures d'entretien à appliquer
- Optimiser la durée de vie des équipements et les coûts de maintenance.

Cette démarche est nécessaire pour dépasser le stade de l'entretien et progresser vers la maintenance.

IV.1.4 .3 Déroulement type d'une intervention de maintenance

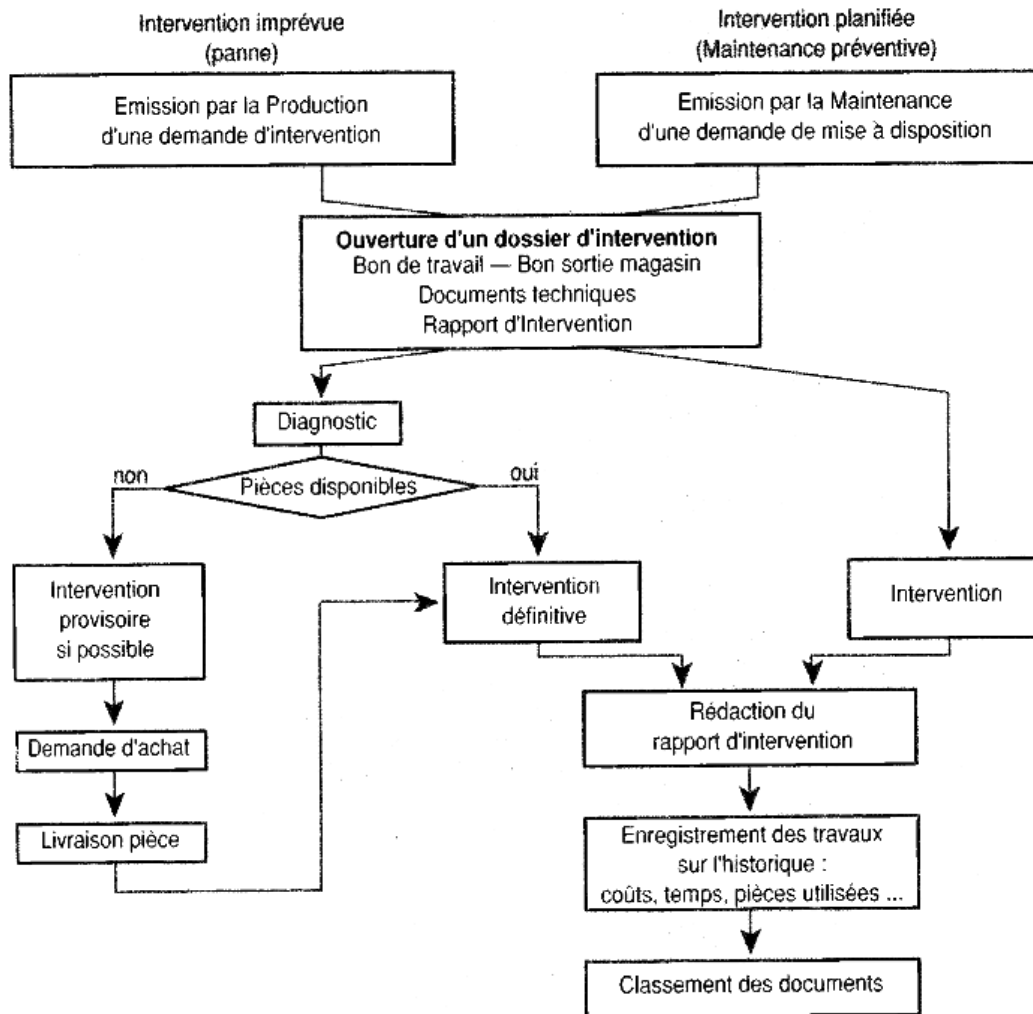


Fig.IV.4 : Déroulement type d'une intervention de maintenance

La volonté d'efficacité conduit à maîtriser des données nombreuses et complexes qui justifient le passage à la maintenance assistée par ordinateur (MAO). La maintenance est aussi concernée par la maîtrise de qualité symbolisée par l'objectif des cinq zéros :

- **zéro panne** : objectif naturel de la maintenance.
- **zéro défaut** : outil de production en parfait état (tout défaut entraîne un arrêt de production d'où augmentation des coûts et des délais).
- **zéro stock, zéro délai** : un outil de fabrication fiable permet une fabrication sans stock (flux tendu) et une livraison sans délai.
- **zéro papier** : il faut comprendre « zéro papier inutile », c'est à dire les papiers engendrés par les erreurs, les défauts, les défaillances, les retards qui viennent alourdir le travail et l'organisation.

IV.2 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.



Fig.IV.5 : Travée de pivot d'irrigation [17].

Conception structurelle affecte le taux de décroissance. Par exemple, les assemblages boulonnés détiennent 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.

IV.1.2 Systèmes peinture

Peinture structures d'acier est un effort pour maintenir le métal "à sec" en appliquant un revêtement mince (environ 1 à 2 mm) [17]. 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.1.3 Epoxy revêtements

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. L'épaisseur du film sur des arêtes vives peut être réduite à 20% de la moyenne [17]. 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.1.4 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.1.5 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 [17], 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 a 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.

IV.3 Problème de corrosion dans les canalisations de pivot d'irrigation

En 1995 Hussein Abo-Ghobar et Fawzi SaidMohammad ont réalisé une étude sur la corrosion dans les canalisations des pivots d'irrigation[18] :

Une enquête sur le problème de la corrosion dans les tuyaux a été réalisée sur 761 systèmes à pivot central. Ces pivots irrigués environ une superficie de 38050 ha dans les différentes régions du Royaume. Les données ont été recueillies au cours de la période allant de 1993 à 1994. Les résultats ont montré que toutes les exploitations agricoles dans le Royaume ont souffert de la corrosion dans les systèmes à pivot central. Les résultats ont montré que les tuyaux en acier galvanisé ont été les plus touchés alors que le plastique était les moins touchés par la corrosion. Le problème de corrosion affecté les tuyaux près des articulations ou des connexions plus que les autres sections de la conduite. Il a également été constaté qu'il y avait une relation étroite entre la qualité de l'eau d'irrigation, matériau de la conduite et à la corrosion. L'enquête a révélé que la plupart des exploitations agricoles dans le royaume étaient irrigués avec de l'eau saline. La capacité de puissance des pompes installées dans ces fermes variait de 70 à 500 HP. Les pompes ayant une puissance inférieure à 120 CV étaient situées à l'extérieur du puits et 80% utilisaient des écrans à la fin de leurs tuyaux d'aspiration. On a constaté que la partie immergée des tuyaux d'aspiration a été le plus affecté par la corrosion. Le pourcentage de corrosion a été constaté que 81,8% en tubes immergés alors qu'il a été ramené à 27,3% pour les tubes non immergés.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le présent travail traite de l'étude et la maintenance d'une partie de la travée de pivot d'irrigation. Ces systèmes sont actuellement produits par une entreprise nationale. Ce 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 travée, 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 les aspects théoriques de la corrosion, ensuite, la maintenance de la travée et en particulier le phénomène de corrosion dans les canalisations.

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 ed, 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. Phocaides, *Manuel Des Techniques D'irrigation Sous Pression*, FAO ed., 2008.
- [7] C. Mathieu, P. Audoye, and J.-C. Chossat, *Bases techniques de l'irrigation par aspersion*, Lavoisier ed., 2007.
- [8] K. Mghezzi-Chaa, "Calcul et Optimisation D'un Mini Pivot D'irrigation," Mémoire de magister, Université de Biskra, 2009.
- [9] ANABIB, "Plans de production," ANABIB Entreprise nationale de tubes et transformation de produits plats, 1987.
- [10] A. Cuerrah, "Contribution à l'adaptation et au perfectionnement par optimisation géométrique d'un système de pivot d'irrigation," Mémoire de magister, Université de Biskra, 2012.
- [11] CNERIB, "Règlement Neige et Vent 1999," ed: Le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment, 2000.
- [12] P. R. Smith and T. J. Van Laan, *Piping and pipe support systems: design and engineering*. New York: McGraw-Hill, 1987.
- [13] J. P. Baïlon and J. M. Dorlot, *Des Matériaux*: Presses Internationales Polytechnique, 2000.

- [14] N. P. MALOU, "Etude de la corrosion et maintenance des installations pétrolières de Shell Sénégal: Cas du dépôt de Jetée Nord," Mémoire d'ingénieur, Ecole Supérieure Polytechnique Centre de THIES, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2003.
- [15] P. GARIN, S. LOUBIER, G. GLEYES, J. PLATON, and 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.
- [16] G. Zwingelstein, *La maintenance basée sur la fiabilité: Guide pratique d'application de la RCM*, Hermès ed., 1996.
- [17] www.traxcoirrigation.com/corrosion-effect-on-center-pivots.
- [18] H. Al-Ghobari and F. Mohammad, "A survey study of the corrosion problem in center pivot irrigation pipes in farms of Saudi Arabia. King Saud University, College of Agriculture," *Agric. Res. Center, Research Bulletin*, pp. 1-25, 1995.

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.

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 travée, 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 les aspects théoriques de la corrosion, ensuite, la maintenance de la travée et en particulier le phénomène de corrosion dans les canalisations.

Mots clefs : pivot d'irrigation, travée, comportement mécanique, maintenance, corrosion.

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 الجسر. 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 الجسر و العناصر المرتبطة به، ثم يليه، ثم نمذجة الهيكل و الأحمال المطبقة عليه كل هذا في إطار دراسة جسر جهاز الرش المحوري. و في المرحلة الثانية، عرضنا الجوانب النظرية للتآكل، ثم ذكرنا صيانة الجسر المتمثلة في دراسة ظاهرة التآكل في الأنابيب و الجهاز عموماً.

كلمات مفتاحية : مرشحات السقي المحوري، جسر، سلوك ميكانيكي، صيانة، تآكل.