

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA**

**Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur
Département de Génie Mécanique**

N^o d'ordre...
Série :...

**MEMOIRE
Présenté par
Mghezzi Chaa Khaled**

**Pour l'obtention du diplôme de magistère en génie mécanique
Option : construction mécanique**

**Calcul et Optimisation D'un Mini Pivot
D'irrigation**

Soutenu : Le .../.../2009

Devant le jury:

MOUMI Nouredine
HADID Mohamed
BELOUNAR Lamine
HECINI Mabrouk

M.C. Université de Biskra
M.C. Université de Biskra
M.C. Université de Biskra
M.C. Université de Biskra

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

TABLE DES MATIERES

I. PRESENTATION DES RAMPES PIVOTANTES

1.INTRODUCTION	2
1.1 Généralités.....	4
1.2 Description de rampe d'arrosage.....	6
2. GEOMETRIE D'UNE RAMPE PIVOTANTE	7
2.1 Avant-propos.....	7
2.2 L'Unité centrale.....	8
2.3 La Travées.....	11
2.4 La tour mobile.....	13
2.5 Le Porte-à-faux.....	14
2.6 La liaison de type cardant liant une travée au tour central ou à une autre travée.....	15
3. FONCTIONNEMENT	17
3.1. Arrosage.....	17
3.2. Déplacement des travées.....	18

II. IRRIGATION PAR RAMPE PIVOTANT

1. DEMARCHE GENERALE	23
2. DEBIT ET VITESSE DE ROTATION DU PIVOT	25
3. ADAPTATION DES RAMPES PIVOTANTES AU TERRAIN (PENTENATURE DU SOL)	33
3.1 La topographie du terrain.....	33
3.2 La nature de sol.....	34
4. ADAPTATION DES RAMPES PIVOTANTES AUX DIVERS TYPES DE PARCELAIRE	36
5. ADAPTATION DES RAMPES PIVOTANTES AUX DIVERS TYPES DE CULTURES	41
6. QUALITES DE L'ARROSAGE PAR RAMPE PIVOTANTE	43
6.1 Compactage de la surface du sol et infiltration de l'eau.....	43
6.2 Souplesse du système d'irrigation.....	43

III. CONCEPTION MECANIQUE DE PIVOT D'IRRIGATION D'RRAGRIS

1. L'OBJECTIF DU CHAPITRE	48
2. LA TOUR CENTRALE	48
2.1 Les parties constituantes de la tour centrale.....	49
2.2 Quelques éléments de la tour centrale.....	52
3. LA TRAVEE	54
3.1 Les parties constituantes de la Travée.....	55
3.2 Les pièces d'assemblage de la travée.....	58
3.3 Détails d'une goussette d'assemblage.....	59
4. LA TOUR MOBILE	65
4.1 La transmission du mouvement aux roues.....	65
4.2 Les parties principales de la tour mobile.....	66
5. LE PORT A FAUX	72
5.1 Les différentes pièces constituant le port à faux.....	72
6. CAS D'INTERET DANS LA CONCEPTION DE QUELQUE PIECES ET LES SOLUTIONS ADOPTEES	75

IV. ETABLISSEMENT DES MODELES NUMERIQUES

1. INTRODUCTION	82
1.2 Objectifs du chapitre.....	82
1.3 Présentation des paragraphes.....	82
2. CARACTERISTIQUES MECANQUES DE LA MATIERE PREMIERE UTILISE POUR RECONSTRUIRE DU PIVOT	83
2.1 Matériau.....	83
2.2. Sections.....	83
3-MODELIATION DE LA STRUCTURE	85
3.1 Choix des éléments.....	86
3.2 Conditions d'appuis et de liaisons.....	87
3.2.1. Notations.....	87
3.2.2 Conditions d'appuis.....	88
3.2.3 Conditions de liaisons.....	88

3.3 Maillage.....	90
4. MODELISATION DES CHARGEMENTS.....	91
4.1 Poids propre de la structure.....	91
4.2 Poids de l'eau contenue dans la canalisation.....	92
4.3 Action du vent.....	92
4.4 Efforts de ripage.....	94
5. CAS DE CHARGEMENTS À CONSIDERES POUR LES CALCULS DU COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE.....	95
6. RESULTATS ET DISCUSSION.....	97
6.1 La flèche de la travée.....	97
6.2 Les contraintes dans la canalisation.....	97
6.3 Les contraintes dans les tirants.....	99
6.4 Les contraintes dans les cornières.....	101
7. LES CONTRAINTES ENGENDREES POUR LA COURBATURE DE LA CANALISATION DE LA TRAVEE.....	105
7.1 Les contraintes dans les tubes.....	105
7.2 Les contraintes dans les tirants.....	109
CONCLUSION.....	112
REFERENCES.....	113

REMERCIEMENT

Je dois, en premier, remercier Dieu le tout puissant de m'avoir donné les capacités mentales et physiques pour réaliser ce travail.

Derrière ce travail se cache la présence, le support et l'ouverture d'esprit de mon encadreur le docteur HADID Mohamed, maître de conférence au département de génie mécanique à l'université de Biskra, à qui je dois énormément. J'ai particulièrement appris ses encouragements, ses conseils, et la liberté qu'il m'a accordée dans la poursuite de mon travail. Je lui suis très reconnaissant pour m'avoir sensibilisé à l'importance de la communication scientifique.

J'adresse mes remerciements à Monsieur MOUMI Noureddine maître de conférence au département de génie mécanique à l'université de Biskra, pour l'honneur qu'il me fait d'accepter la présidence du jury de cette thèse.

Je remercie aussi Monsieur BELOUNAR Lamine maître de conférence au département de génie civil à l'université de Biskra, d'avoir accepté d'examiner cette thèse. Qu'il trouve ici le témoignage de mon profond respect.

Mes remerciements vont également à Monsieur HECINI Mabrouk maître de conférence au département de génie mécanique à l'université de Biskra, qui bien voulu examiner ce travail.

Je tiens aussi à remercier toutes les personnes, que je ne peux citer ici et qui m'ont aidé de près ou de loin à l'achèvement de ce travail.

CHAPITRE I

PRESENTATION DES RAMPES PIVOTANTES

1 INTRODUCTION

1.1 Généralités

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:

- 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 [1].



Fig.1.1 : Rampe d'arrosage. , Photo IRRAGRIS [2].



Fig. 1.2 : Rampes frontale [3].



Fig. 1.3 : Pivot IRRAGRIS [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 l'achimigation (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.1.3), se développent également



Fig.1.4 : Pivot d'infiltration [3].

1.2 Description de rampe d'arrosage :

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 [1].

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.

2. GEOMETRIE D'UNE RAMPE PIVOTANTE

2.1. Avant-propos

Il existe différents modèles de rampes pivotantes. Essentiellement on peut distinguer dans chacune d'eux (Fig.1.5):

- 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.

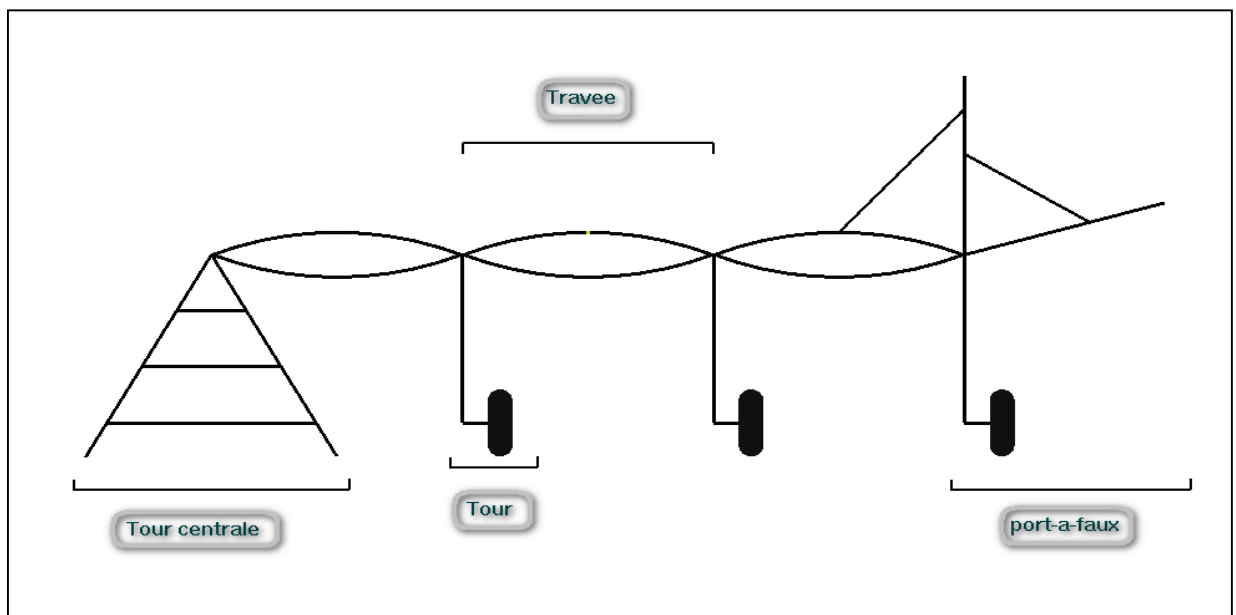


Fig. 1.5: Schématisation d'une rampe pivotante

Dans ce qui suit, nous présentons successivement les différentes parties du modèle de la 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.

2.2 L'unité centrale

C'est la 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 3 mètres de hauteur et 3 mètres de côté. L'ensemble est fixé sur une dalle en béton dont le poids est calculé pour s'opposer au couple de renversement créé par la rampe.



Fig. 1.6: Unité centrale. , Photo IRRAGRIS [2].

Le tour central est soumis à d'importants efforts lorsque la rampe tourne en refoulant l'eau pompée. Il doit être placé sur un massif que l'on réalise généralement en béton armé suivant un plan de type représenté par la figure suivant :

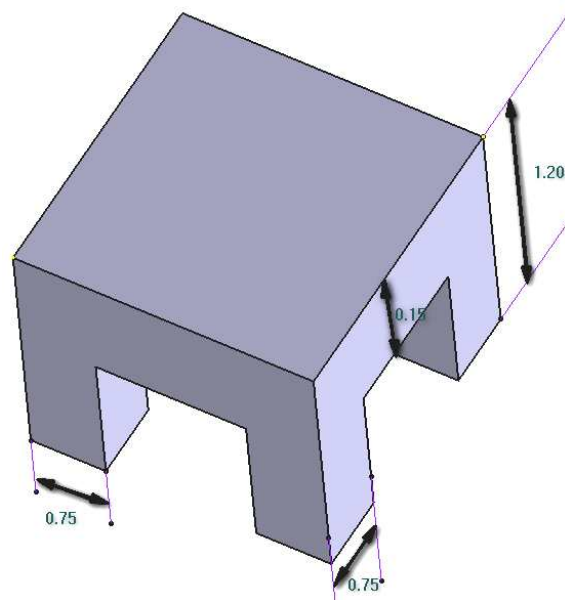


Fig.1.7

La surface de la plate forme est de l'ordre de $3.00 * 3.00$ m et le volume de massif de 1 m^3 . En générale, 4 anneaux d'ancrage du pivot sont disposés à fleur du socle lorsque le béton est coulé. Si la rampe pivotante s'appuie en un point de la partie supérieure du pivot, le couple de renversement est trois fois plus élevé que si la rampe pivotante prend appui en plusieurs points (voir la figure 1.8). Le massif doit être trois fois plus important que dans le premier cas.

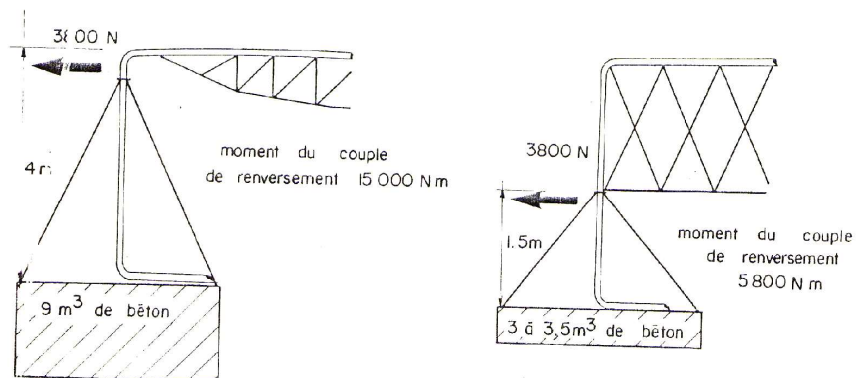
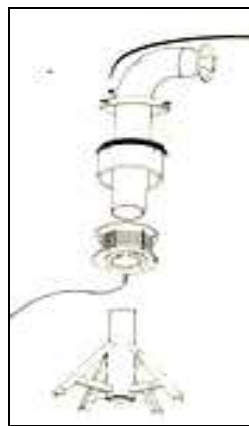


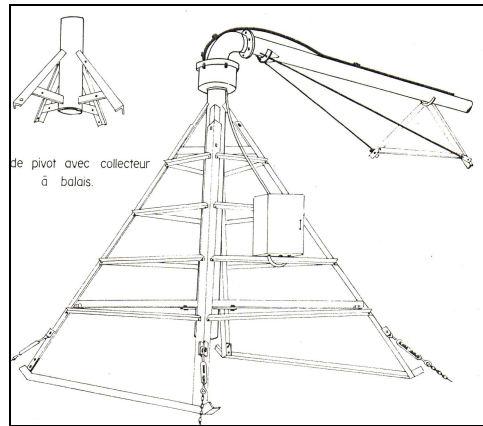
Fig.1.8 Schémas illustrant la différence entre les moments du renversement de deux types de rampes pivotantes.

La tête de la tour est constituée par un coude et une jonction étanche, permettant la rotation de la rampe et reliant le tube horizontal à l'élément du tuyau vertical. Il ne doit pas y avoir de fuites d'eau ; nécessairement, les lignes électriques d'alimentation, de commande et celles garantissant la sécurité transitent par les anneaux d'un collecteur à balais qui, dans certain modèle de rampes pivotants, encerclent la partie inférieure du coude, au-dessus du joint.

D'une façon générale, le raccorde et le collecteur se présentent comme il est indiqué sur les (fig1.9 et 1.10), soit de haut en bas par : le capot supérieur du collecteur, le joint supérieur du capot du collecteur à balais, le capot inférieur du collecteur et le joint inférieur du capot du collecteur.



Tête de tour avec collecteur à balais



Charpente de pivot

Fig.1.9



Fig.1.10 *Détail de collecteur à balais*

2.3 La travées

Comme on a vu précédemment, les rampes sont découpées par les tours en une succession de travées. On trouve différents modèles de travées. Leur élément principal est dans tous les cas la canalisation dans laquelle circule l'eau, qui est constituée de tubes de différentes longueurs. Toujours de façon générale, cette canalisation est sous-tendue par deux lignes de tirants auxquels elle est reliée par un treillis destiné à rigidifier l'ensemble. L'assemblage de ces différents éléments est réalisé par boulonnage.

Les différents modèles de travées se distinguent entre eux : par la forme de leur tube, qui peut être plat ou en arc ; par la nature des éléments qui constituent le treillis (éléments à section tubulaires ou cornières). Dans la suite de l'étude, nous considérons un modèle à tube en arc et à treillis de cornières (Fig. 1.11).



*Fig. 1.11: Travées de rampes d'arrosage. Photo IRRAGRIS
Schématisation des différents éléments d'une travée (bas) [2].*

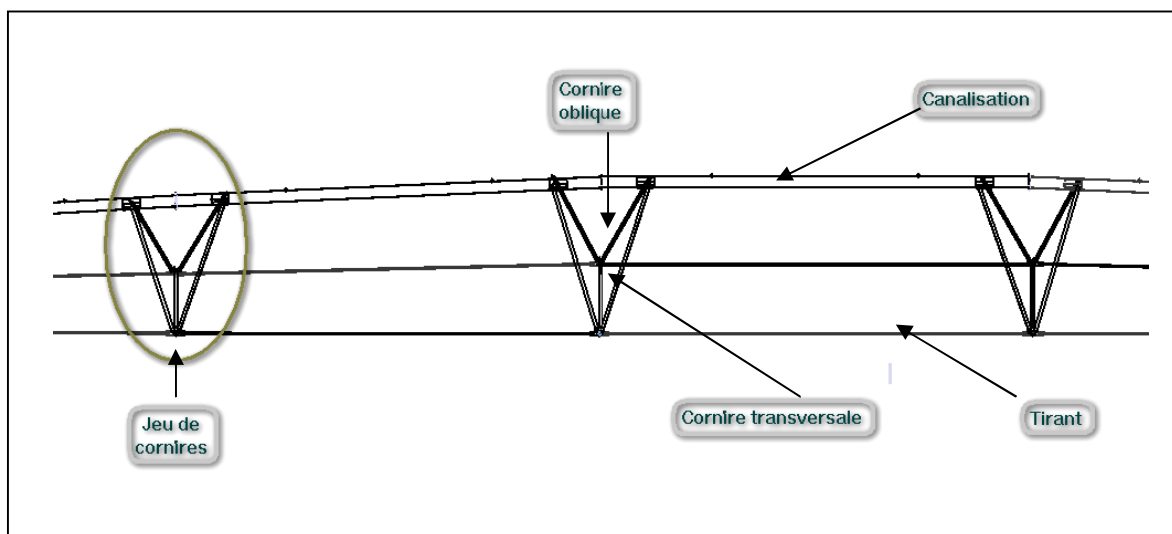


Fig.1.12 Travée de rampes d'arrosage.

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

Nous allons maintenant présenter le vocabulaire associé aux différents éléments de ces appareils (Fig.1.12). 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.

2.4 La tour mobile

Chaque tour (Fig.1.13) 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 fonction 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 la canalisation.

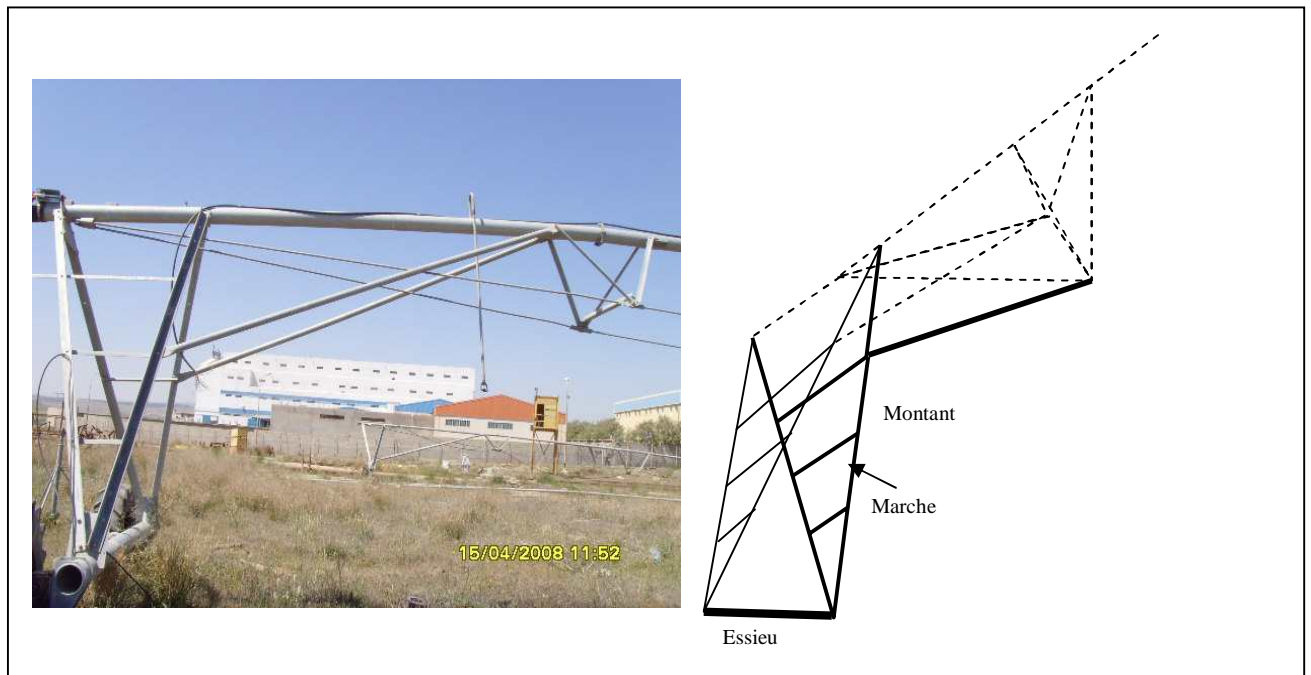


Fig. 1.13: Tour de travée.
Schématisation des différents éléments d'une tour [2].

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.

2.5 Le Porte-à-faux

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



Fig. 1.14 : Porte-à-faux de rampe d'irrigation.

2.6 La liaison de type cardant liant une travée au tour central ou à une autre travée

La liaison mécanique entre les différentes travées peut être assurée de différentes façons. Nous considérons dans la suite une liaison d'amortisseur, Il absorbe les chocs, et transmet le mouvement d'une travée à l'autre de façon flexible.



Figure 1.15: Elément de liaison entre travée, Photo IRRAGRIS.

:

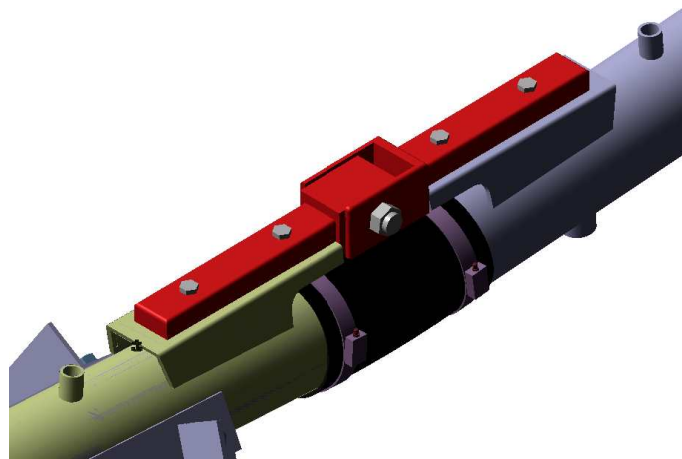
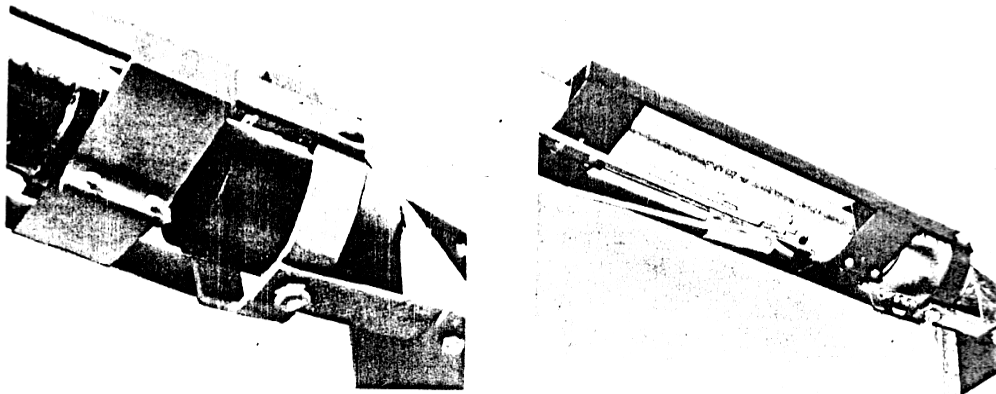


Fig.1.16 *Elément de liaison entre travée, CAO*

Il existe trois principaux types d'assemblages possibles :

- par cardon extérieur et manchon à rotule ; les pièces du cardon sont portées par un collier serré sur les deux têtes du tuyau joue sur un raccord à rotules métalliques, étanche quand l'eau est sous pression (voir figure 1.17)
- par cardon extérieur et manchon en matière synthétiques souple (voir figure 1.18)
- par cardon inférieur et manchon à rotules métalliques extérieur (voir figure 1.19)



Type UNI KNUKLE (LINCAV)

Fig.1.17 - Jonctions articulées entre éléments de rampe pivotante par cardon extérieur et manchon à rotules 110

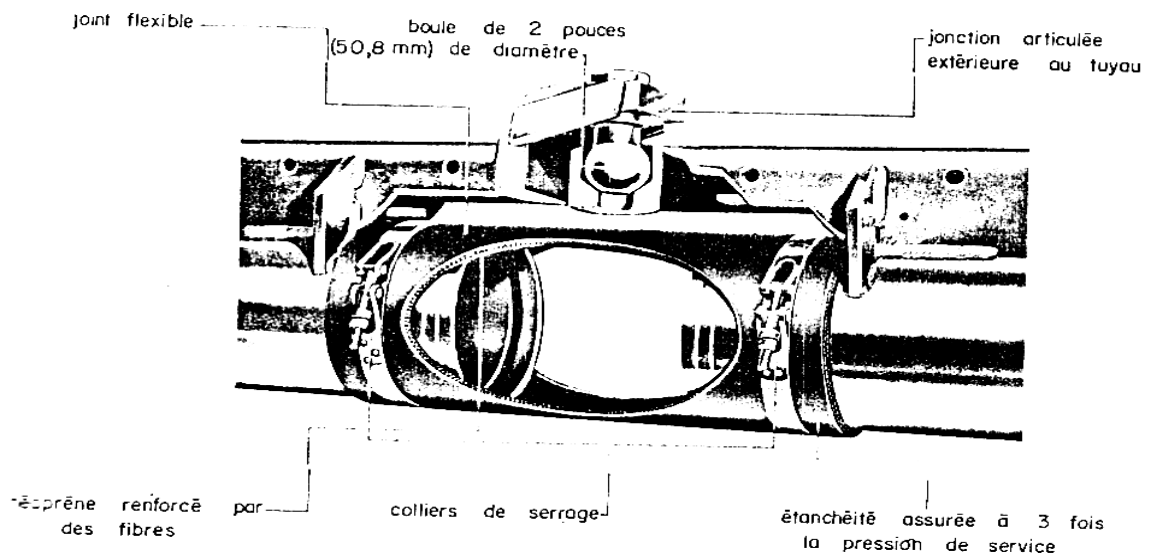


Fig.1.18- Jonctions articulées entre éléments de rampe pivotante par cardon extérieur et manchon en caoutchouc armé 107



Fig.1.19 Jonctions articulées entre éléments de rampe pivotante par cardon intérieur et manchon à rotules métalliques

3. FONCTIONNEMENT

3.1 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'aspenseurs 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.



Fig. 1.20: Canon d'extrémité.

3.2 Déplacement des travées

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. 1.21).

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

La vitesse d'avancement de la tour T_{n-1} est la même que celle de la tour T_n , et son rayon de giration est plus faible. Il arrive donc un moment où l'angle α_n redescend à une valeur α_a dite d'arrêt, car sa détection par le boîtier de la tour T_{n-1} déclenche l'arrêt de la travée correspondante (phase 3) [4].

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 $T_{a_{n-2}}$

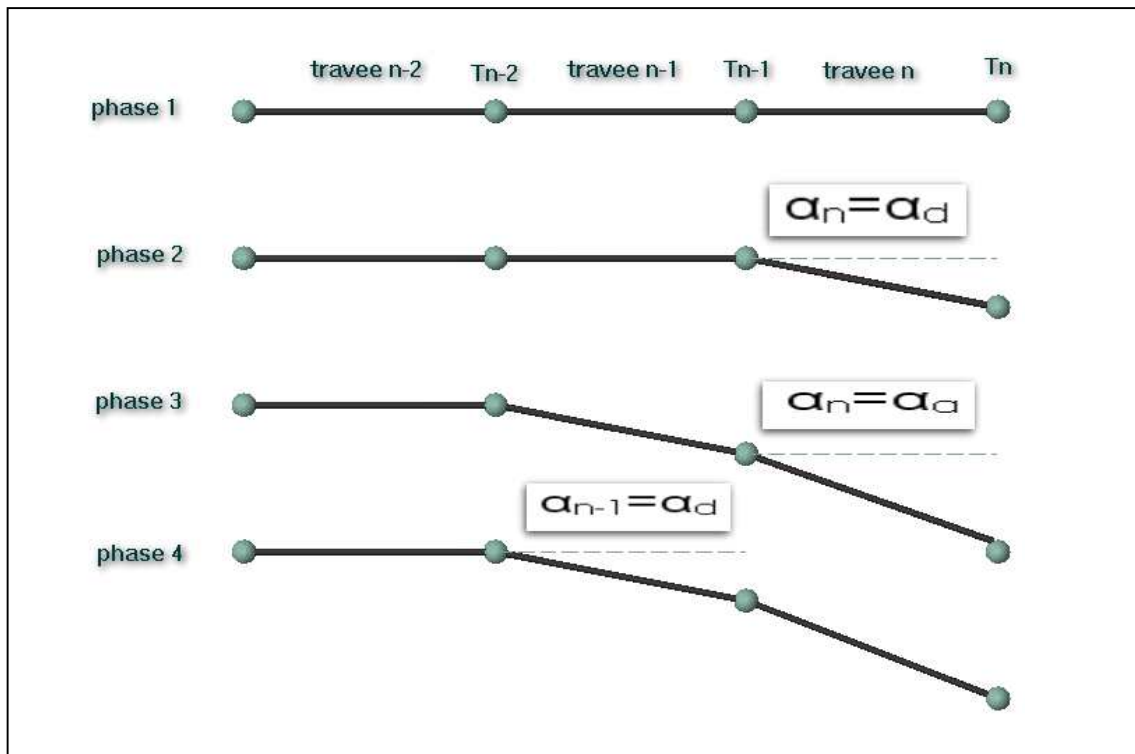


Fig.1.21 : Principe d'avancement d'une rampe pivotante [4].

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 [4].

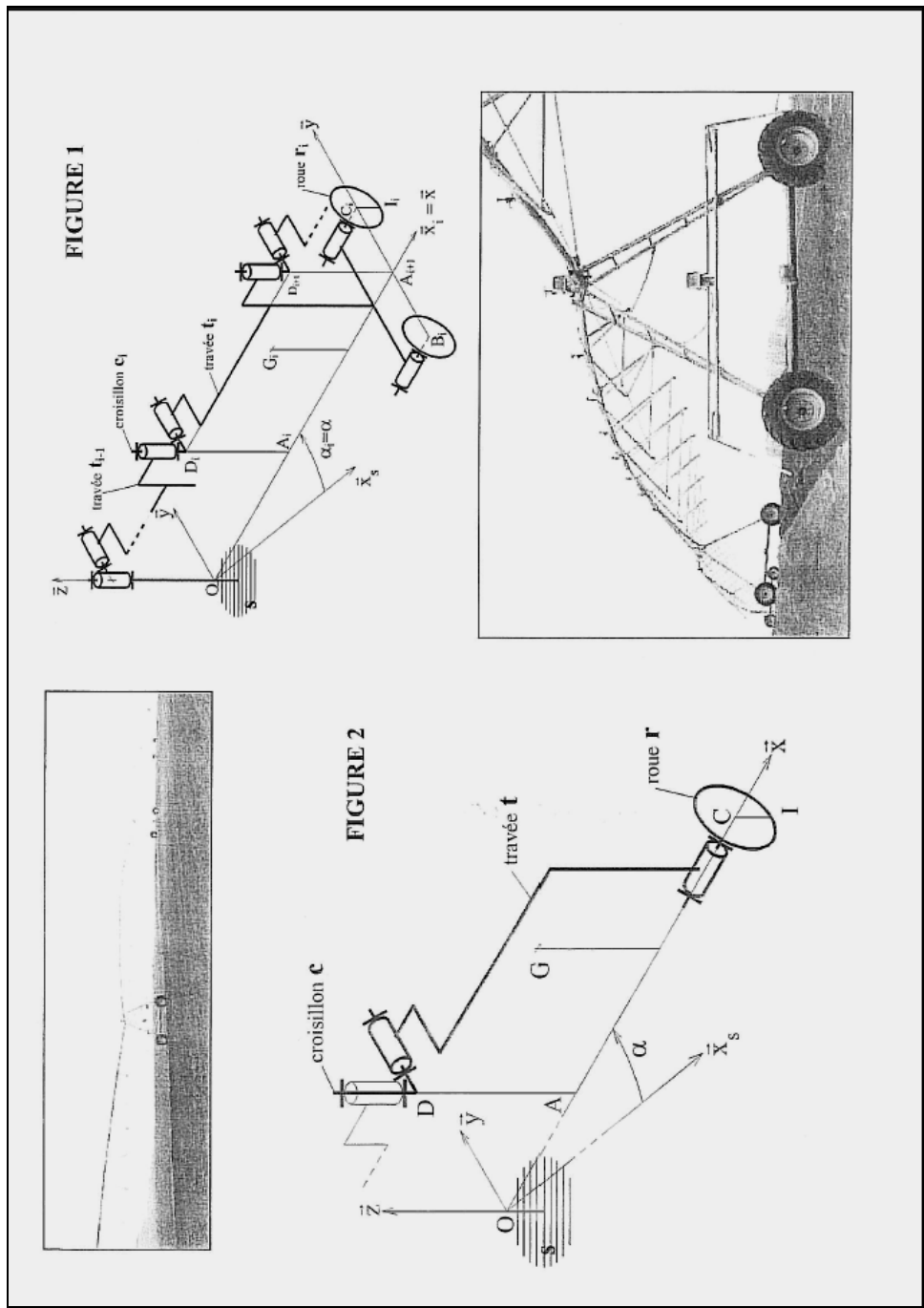


Fig 1.22 le schéma cinématique d'un pivot d'irrigation [13].

CHAPITRE II

IRRIGATION PAR

RAMPE PIVOTANT

1. DEMARCHE GENERALE

Le système d'irrigation par rampes pivotantes a été inventé aux EATS UNIS ; le premier appareil a été construit dans l'état du NEBRASKA en 1949 ; ce système devait permettre d'irriguer des cercles de très grand rayon, pratiquement sans main d'œuvre, et en prélevant seulement une très faible quantité de l'énergie hydraulique fournie par le pompage pour mouvoir le dispositif. (Voir Figure 2.1 et 2, 2) [5].



Fig. 2.1

Fig.2. 2

Les rampes pivotantes n'ont cessé d'être l'objet de perfectionnements depuis cette époque et la technique elle-même a évolué. On réalise notamment, à l'heure actuelle, la propulsion des rampes pivotantes par énergie électrique délaissant ainsi très souvent la première idée de l'inventeur. En Amérique, il était possible de dénombrer, en 1980, plus de 3000000ha irrigués avec des matériels de ce type. L'U.R.S.S. et les pays d'Europe de l'est utilisent aussi des rampes pivotantes sur les grandes exploitations. Par exemple, en Ukraine, il y en a plus de 2000 qui irriguent environ 100 000 ha [4]. D'importants projets d'irrigation sont réalisés avec des appareils de ce type dans plusieurs pays du monde tels que le CANADA, les pays d'AMÉRIQUE LATINE, la LIBYE, dans le but d'obtenir par l'irrigation, la mise en valeur de grands espaces non cloisonnés par des limites parcellaires rapprochées [4].

Les dimensions fréquemment réduites, et les formes souvent irrégulières des parcelles dans les pays d'EUROPE occidentale, sont peu favorables à l'implantation de rampes pivotantes ; c'est pourquoi le développement de cette technique d'irrigation n'y est pas très prononcé.

On peut cependant préciser que la FRANCE et l'ESPAGNE en fabriquent et les emploient sur quelques dizaines de milliers d'hectares.

Au total dans le monde, et mis à part les ETATS UNIS, l'irrigation par rampes pivotantes couvrait en 1979, entre 500 000 et 1 000 000 d'hectares [4].

En Algérie, essentiellement au sud d'Algérie, les statistiques concernant l'utilisation des pivots d'irrigation sont apportés sur le tableau suivant :

Campagne	86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/98
Total	4	49	69	154	190	221	273	340	Les statistiques fiables
Fonctionnels	4	25	38	93	114	124	176	225	
En panne	0	24	31	61	76	97	97	115	
Taux de panne	0	48.9	44.9	39.6	40	43.8	35.8	33.8	

Tableau.2.1 Evolution d'une plantation des pivots au sud Algérien [6].

La représentation graphique de ces données montre que le nombre de pivots non fonctionnels va de paire avec la progression de leur implantation avec des taux de pannes qui tournent autour des 36 % [6].

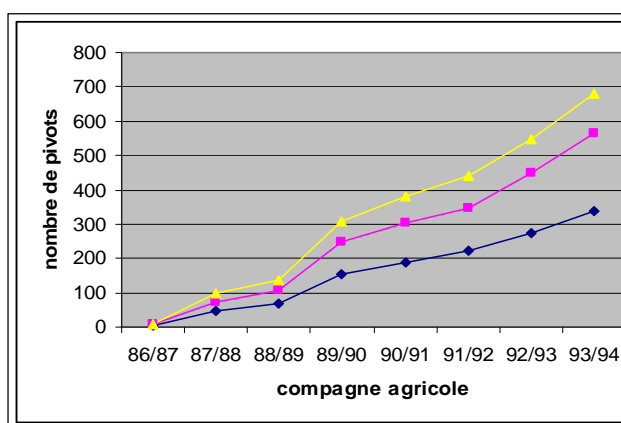


Fig.2.3 Pivot total, opérationnels et en panne.

2. DEBIT ET VITESSE DE ROTATION DU PIVOT

L'objectif agronomique détermine le débit et la vitesse de rotation du pivot une fois choisis, les organes d'aspersion doivent être adaptés à cet objectif.

Or, cet objectif agronomique est d'apporter aux plantes les quantités d'eau dont elles ont besoin, sans dommages aux cultures et au sol, c'est-à-dire en apportant cette eau à un rythme qui correspond à la possibilité d'infiltration et sans provoquer le compactage du sol ou la détérioration des produits agricoles arrosés. Il faut donc réaliser une intensité d'arrosage appropriée avec une pulvérisation de l'eau satisfaisante en gouttes de taille convenable. Nous supposons connues les quantités d'eau à apporter sans nuire aux cultures ; il convient d'agoûter la quantité perdue par évaporation, sous l'effet du vent, par suite de l'hétérogénéité de l'arrosage, ce qui détermine l'efficacité de l'irrigation.

Le tableau n° 2.1 ci-dessous représente, à titre d'exemple, une hypothèse simple avec 80 % d'efficacité due à 20 % d'évaporation. Mais les valeurs d'efficacité sont le résultat de recherches et d'observations scientifiques ; elles doivent être choisies avec soin [4].

Mois	Hauteur d'eau requis en pouces (mm)	Perte par évaporation en mm 20 %	Total de la hauteur d'eau requis en mm
Mai	118	29.5	147
Juin	138	34.5	173
Juillet	156	39	196
Août	142	35.5	178
Septembre	136	35	170

Tableau 2.1 Hauteur d'eau requise en fonction de l'évaporation (exemple donné pour des circonstances particulières)

Le débit de la rampe doit être calculé pour le besoin maximum de 196 mm en 30 jours, soit :

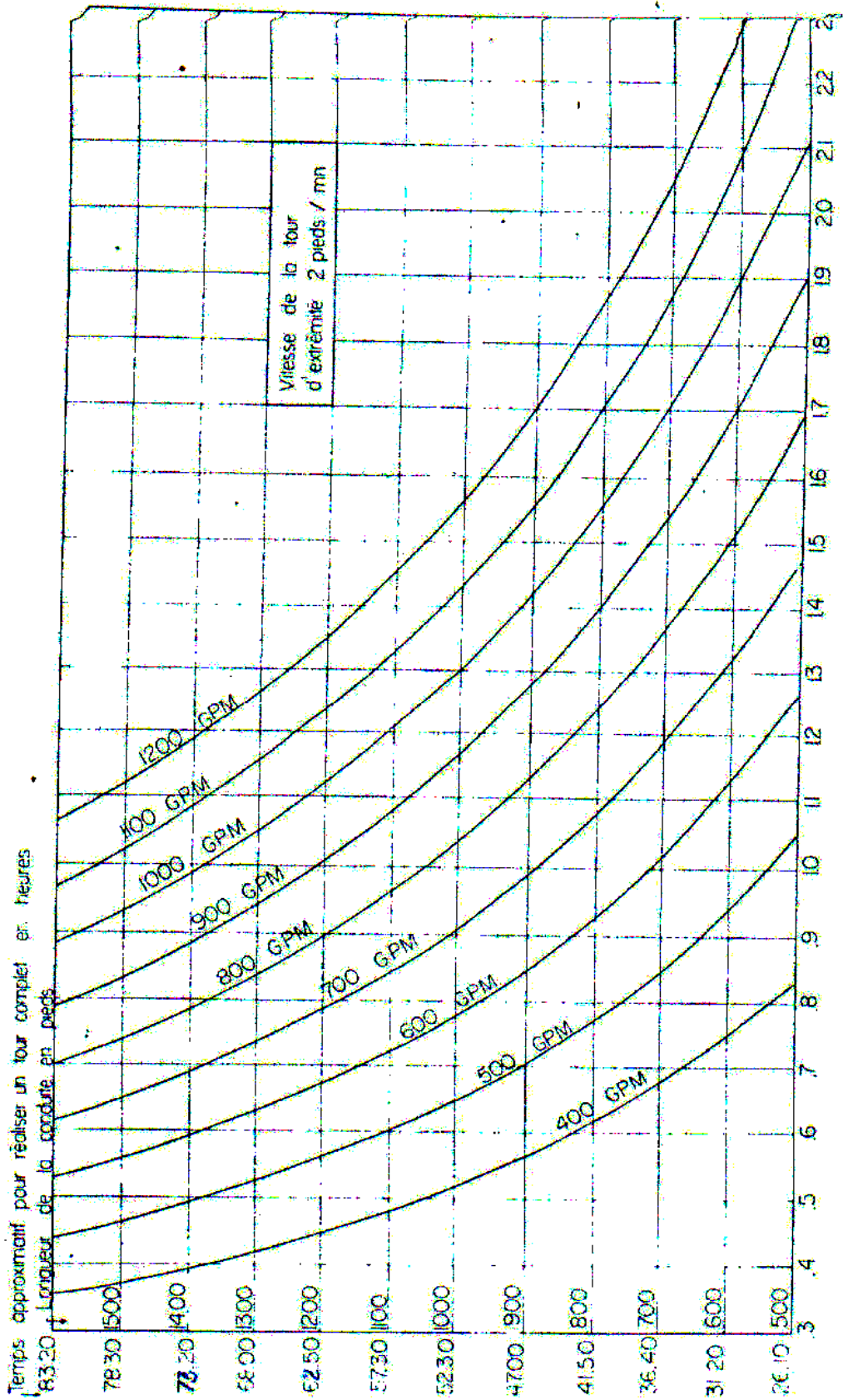
$$\frac{196}{30} = 6.60mm / jour$$

Pouvant délivrer cette intensité d'arrosage, l'équipement sera en mesure, avec des réglages différents ou en interrompant l'arrosage, d'en délivrer Moins.

Les constructeurs de rampes pivotantes fournissent des tableaux et abaques qui établissent les correspondances entre longueur de rampe, débit au pivot, hauteur d'eau appliquée en révolution pour une vitesse donnée de l'avancement de la tour d'extrémité.

Cette vitesse étant déterminée, le temps mis par une rampe pivotante pour accomplir sa révolution l'est également, et il dépend de sa longueur.

Les graphiques des figure 2.4, 2.5, et 2.6 extraits des publications HIGROMATIC permettent, par exemple, de procéder à la détermination du débit et de la durée de révolution des rampes, pour assurer l'apport d'une hauteur d'eau donnée par jour.



(1 pied = 0,305 m 1 GPM = 0,227 m³/h)

* - Si la hauteur d'eau à appliquer est souhaitée pour une vitesse de 1 pied par minute, multiplier le temps pour réaliser une révolution par 2 et multiplier la hauteur d'eau par 2

Fig.2.4

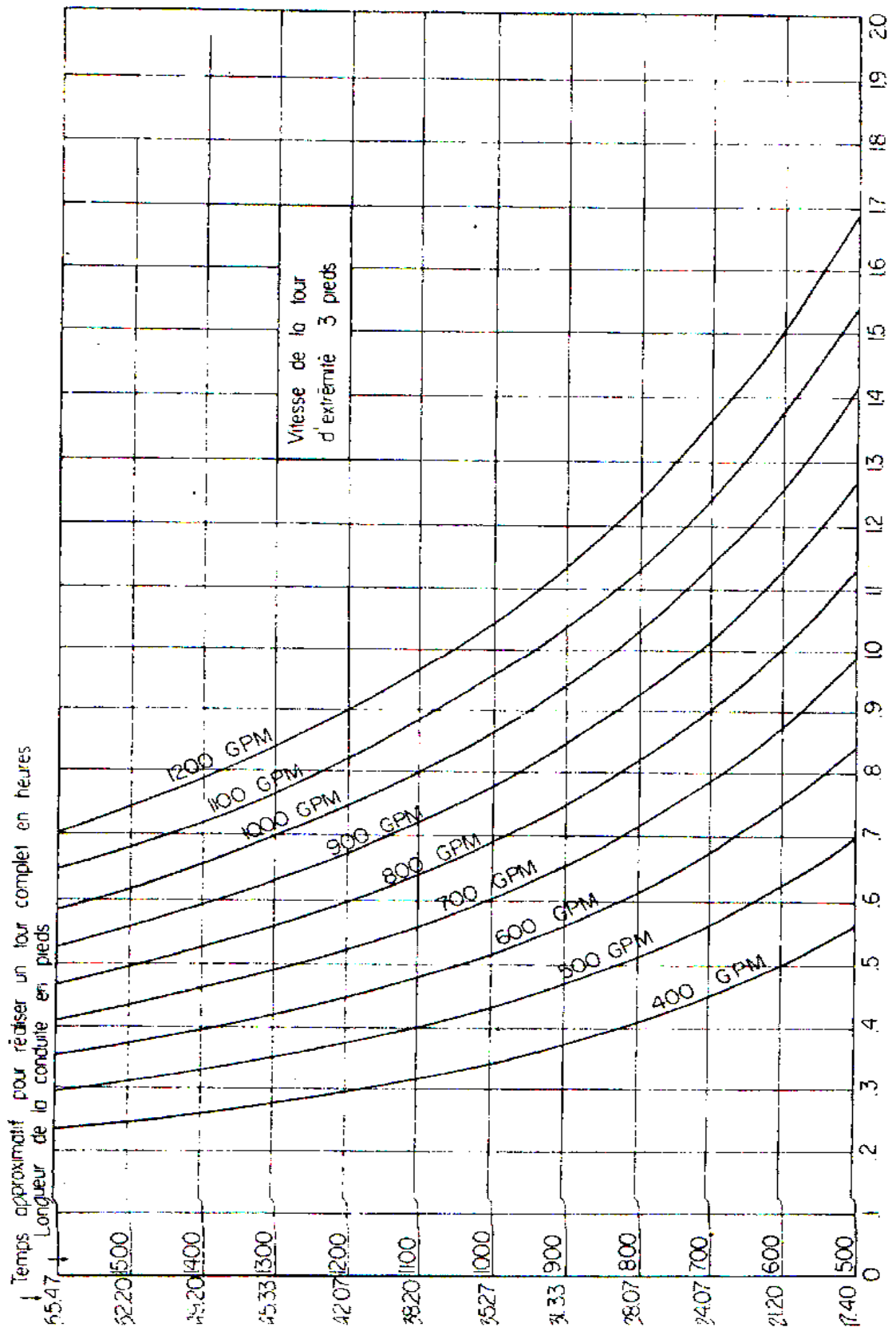


Fig.2.5

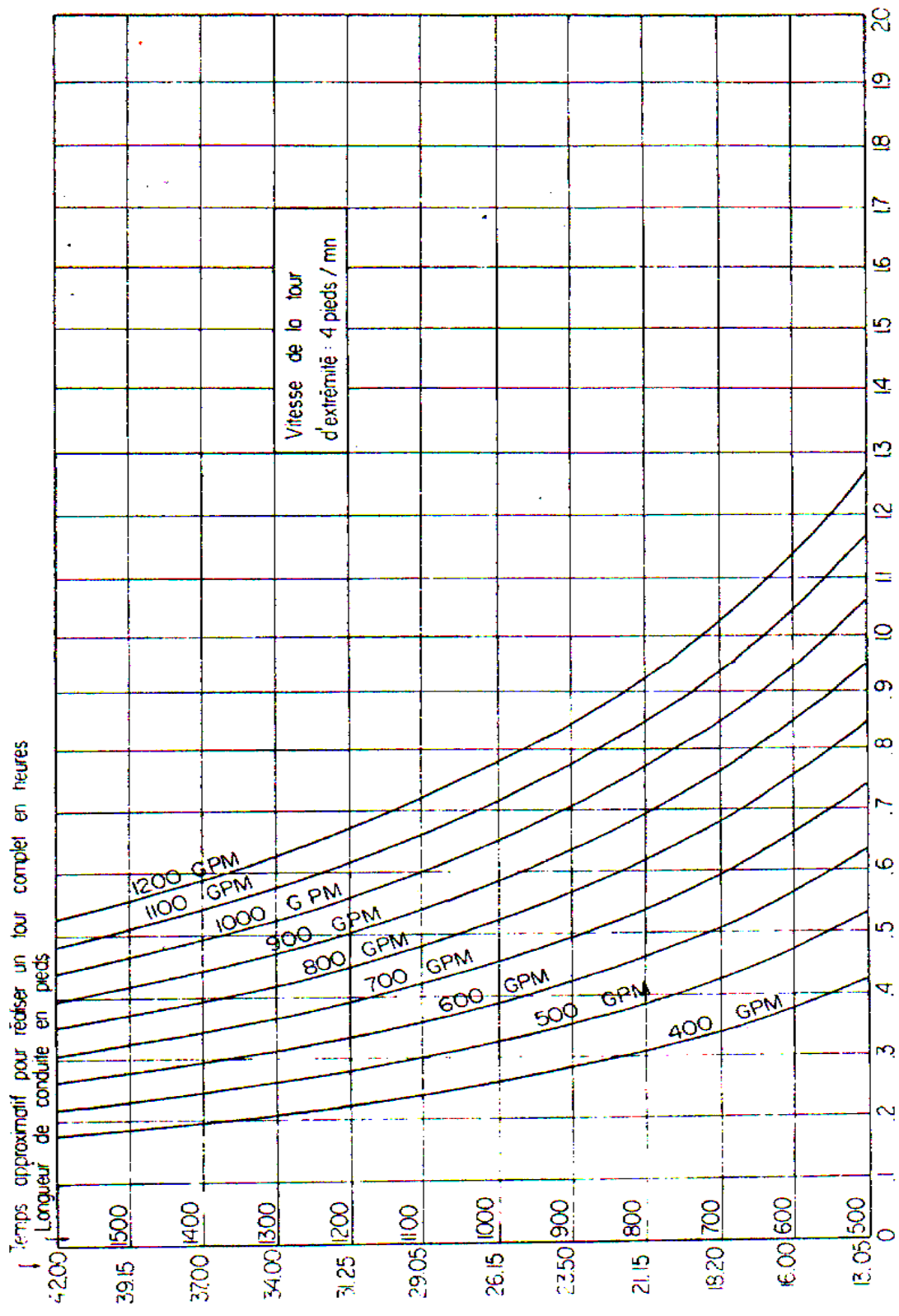


Fig.2.6

Supposons que la rampe considérée ait une longueur de (390 m), que sa tour d'extrémité avance au maximum à 60 centimètre par minute (0,60 m/mn) (*cas* des rampes à propulsion hydraulique), cette rampe fera une révolution en 66 heures, valeur qui peut être lue sur le graphique [4].

Comme il y a 720 heures en un mois, la rampe pourra exécuter :

$$\frac{720}{66} = 11 \text{cycles / mois} \quad (3)$$

Etant donné qu' il faut apporter 196 mm par mois , la machine devra livrer

$$\frac{196}{11} = 18 \text{mm / révolution} \quad (4)$$

En prenant le graphique de la figure 2.4 et en y cherchant le point (18mm - 390 m - 66 heures par révolution), on trouve le débit maximum demandé au pivot, soit (150 m³/heure). Il conviendra en outre de se souvenir que ce débit suppose qu'il n'y aurait, pendant le mois de pointe, aucun arrêt de la machine; il est donc prudent de prévoir une marge dans les calculs, en admettant par exemple que la rampe pivotante fonctionnera 22h sur 24h.

Les conditions de terrain impliquent une limitation de ce débit .Si la hauteur d'eau appliquée par heure en moyenne dépasse les capacités d'infiltration du sol, l'eau ruisselle et se trouve perdue pour les cultures, sans parler des dégâts qui peuvent en résulter.

Or, le débit total de la rampe évalué au pivot (150 m³/h), dans l'exemple précédent), se répartit suivant une loi linéaire le long de la rampe. on se reportera, pour apprécier cette répartition, où il est supposé que la rampe a (402 m) et que le débit est de (227 m³/h), la hauteur d'eau moyenne appliquée en une heure au pivot sera 0 et à l'extrémité elle sera de (25,4 mm) environ [4].



La fig.2.7 Rampe pivotante fonctionnant en terrain vallonné [5].

La figure 2.7 montre comment se répartit, par tranches, le débit sur une rampe de (402 m). Les tranches délimitées correspondent chacune à 25 % de la superficie ; le temps d'application de la hauteur d'eau requise pour les cultures sera le plus long pour le premier quart de rayon (201 mm) et sera le moins long pour le dernier quart de rayon (23,5 mm). Le temps d'application d'une hauteur d'eau donnée détermine l'intensité moyenne d'application d'eau par heure qui sera d'autant plus forte que la durée d'application sera courte. Il peut arriver que cette hauteur de 25.4 mm par heure dépasse la perméabilité sol; aussi devra-t-on réduire le débit ; et si, de surcroît, le débit étant limité, on ne peut satisfaire la demande en eau des cultures, il faudra réduire la longueur de la rampe [4].

La perméabilité du sol évolue pendant l'arrosage et l'application de la hauteur d'eau délivrée dure un temps déterminé celui pendant lequel les jets des asperseurs atteignent un point considéré, il dépend de la vitesse de rotation de la rampe.

On peut représenter l'évolution de la perméabilité du sol sous arrosage dans le cas de l'argile, du limon et du sable. La forte décroissance de cette perméabilité en cours d'arrosage pour les argiles et, dans une moindre mesure, les limons, montre que l'on a avantage, dans ces deux cas, à choisir des vitesses de rotation plus grandes pour éviter le ruissellement en fin d'irrigation.

Les services de recherche aux ETAT UNIS, donnent, pour des cultures pratiquées dans un climat déterminé, les demandes de pointe à partir desquelles doit se faire le calcul de

l'installation ; si l'on dispose de valeurs de cette nature, il est alors possible d'utiliser le diagramme de la figure 2.8 extrait d'une publication de l'Université de l'IDAHO (ETAT UNIS) qui permet de déterminer le débit au pivot en fonction de la demande de pointe évaluée suivant diverses hypothèses d'efficacité de l'irrigation, comprises entre 60 et 100 %.

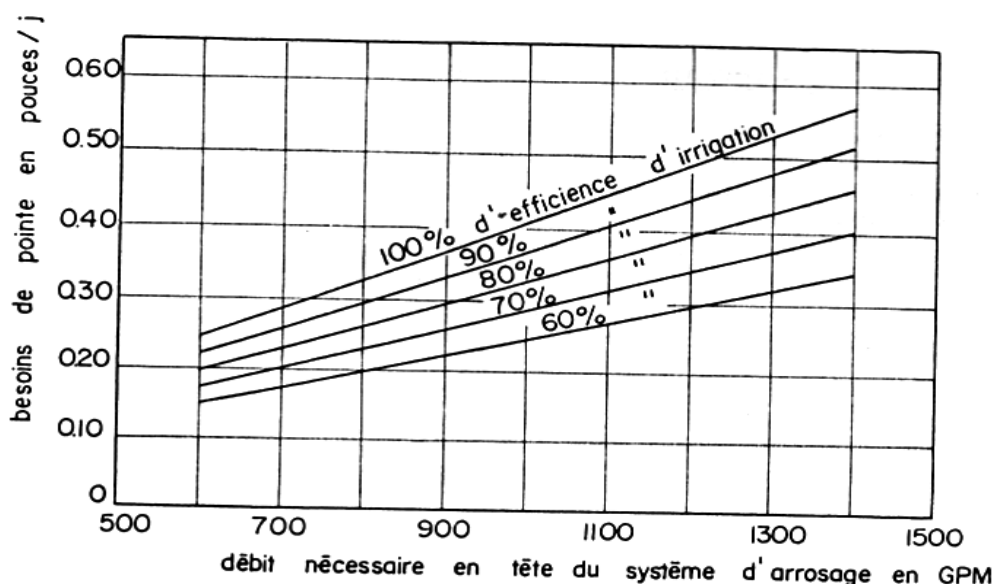


fig.2.8 Eau nécessaire pour l'irrigation de 130 acres [4].

$$1 \text{ GPM} = 0,227 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$1 \text{ pouce} = 25,4 \text{ mm}$$

Ces graphiques sont donnés à titre indicatif; Les valeurs de perméabilité en début et en fin d'arrosage peuvent être considérées comme étant utilisables, mais on ne peut exploiter sans réserves la forme des graphiques. L'évolution de la perméabilité pendant l'arrosage par rampe pivotante a été étudiée aux ETATS UNIS par J.W. ADDINK, D.L. MILES, G.V. SKOEERSOR en 1975.

Il convient, pour terminer ce paragraphe relatif à la vitesse de rotation de la rampe et au débit, de rappeler que les objectifs agronomiques ne peuvent être atteints si les sols risquent d'être compactés ou si les intensités moyennes des apports d'eau sont trop élevées en égard à la perméabilité du sol.

On peut, choisir les organes d'aspersion équipant les rampes à cet effet, mais il faudra vérifier que la solution choisie ne correspondant pas à une durée d'application trop longue

et que la vitesse de rotation peut être élevée suffisamment pour compenser cet inconvénient.

Les rampes pivotantes à propulsion hydraulique sont limitées dans leurs applications par la vitesse d'avancement des tours d'extrémité qui est de (0,30 à 0.90 m) /minute. Par contre, les rampes à propulsion électrique ont des tours d'extrémité dont la vitesse peut aller, selon le réglage, de (0,15 à 3,70 m) /minute.

Le débit d'une rampe de dimensions classiques est de l'ordre de 136 à 272 m³/h). Les très grandes rampes pivotantes ayant environ 750 m peuvent avoir des débits de l'ordre de 350 à 400 m³/h [4].

3. ADAPTATION DES RAMPES PIVOTANTES AUX TERRAINS (PENTE - NATURE DU SOL)

Il existe des limites dans l'utilisation des rampes pivotantes, en fonction des caractéristiques du terrain.

3.1 La Topographie du terrain

Tout d'abord, la pente ne doit pas dépasser 10 à 15 % pour que l'avancement des tours puisse se faire sans désordres dus à des efforts trop grands. Il ne faut pas non plus que le terrain soit trop accidenté, c'est-à-dire bosselé. Les limites sont assez satisfaisantes ; elles correspondent à la souplesse de l'articulation entre éléments de conduite ou à sa latitude de flexion ; la photographie de la figure 2.8 montre que les rampes pivotantes peuvent irriguer dans les régions vallonnées. Des essais réalisés sur des pentes supérieures à 10 ou 15 % semblent montrer que ces matériels fonctionnent encore bien dans de telles conditions, mais on doit être prudent et obtenir des constructeurs les garanties de solidité suffisantes des équipements.

Cependant, la pente du terrain a un autre inconvénient que celui de rendre difficile, voir impossible, la propulsion des tours; plus la déclivité est grande, plus le ruissellement se produit facilement. Aussi, lorsque le terrain est peu perméable, ne peut-on envisager d'irriguer avec des rampes pivotantes, que sur des pentes très faibles ou des terrains plats ; l'incidence de la pente et de la nature du sol doivent être étudiées simultanément pour

choisir le système d'irrigation à retenir et, si la rampe pivotante est à recommander, il faut encore en déterminer les caractéristiques pour qu'elle convienne au terrain.

3.2 La nature de Sol

Le sol en lui-même peut poser des problèmes, indépendamment de la pente s'il est argileux ou très limoneux ; les sols de texture fine rendent difficile l'avancement des tours lorsqu'ils sont humidifiés ; il peut y avoir création de profondes ornières au passage des roues puis blocage du mouvement de la rampe pivotante.

Les moyens de pallier ces inconvénients sont divers ; on équipera l'appareil de roues à pneus spéciaux ; on peut remplir les ornières de sable mais ces procédés ne sont pas toujours efficaces. Il faut surtout choisir un matériel capable de surmonter ces difficultés, s'il existe.

La tendance actuelle est de fabriquer du matériel pour lesquels la pression au sol au niveau des pneus n'est pas trop élevée. A cet effet, certaines rampes pivotantes sont en aluminium et si le sol est propice à l'orniérage, les travées sont courtes soit par exemple 30 m (inversement très longues soit près de 70 m dans le cas contraire).

Mais le problème essentiel, en ce qui concerne le sol, résulte de sa perméabilité insuffisante et aussi des limites de son aptitude à emmagasiner l'eau d'irrigation en surface sans qu'elle ruisselle. Il est évident que plus la pente du terrain est forte, plus cette possibilité d'emmagasinement sera réduite.

Le tableau n° 2 établi par SHOCKLEY [6] en 1968, propose des valeurs de cette aptitude à l'emmagasinement en fonction de la pente du sol.

Pente en pour cent	Capacité d'emmagasinement en surface (mm)
0 – 1	(12.7)
1 – 3	(7.6)
3 - 5	(2.5)

Tableau .2.2 -Aptitude à l'emmagasinement de l'eau en surface en fonction de la pente du terrain [4].

On a vu, que pour une rampe pivotante donnée, la hauteur délivrée dans l'unité de temps (heure) est la plus élevée en extrémité de rampe (elle croît du pivot jusqu'à cette extrémité), la limite d'utilisation d'une rampe pivotante en égard à sa perméabilité, est donc fixée par la hauteur d'eau délivrée par heure en extrémité lorsque la rampe avance aussi vite que le permet sa conception.



Fig.2.9 Excès d'irrigation en bout de rampe [5].

Si la rampe projetée ne peut arroser en son extrémité sans ruissellement (voir figure 2.9), il faut alors en réduire la longueur, ce qui conduit à en installer deux au lieu d'une, solution pouvant ne pas être avantageuse sur le plan de l'économie de l'exploitation car le prix de l'irrigation par rampe pivotante est d'autant plus faible que sa longueur est grande.

Précisons cependant qu'il existe des moyens de limiter le ruissellement à la surface du sol, par exemple en aménageant la surface du sol en morceaux de sillons, pour former des bassins de quelques décimètre de longueur avec des machines appropriées (voir figure

2.10), ou travailler le sol en sillons de contour, ou encore couvrir d'un mulch de paille, mais ces pratiques impliquent certaines gênes [4].



Fig.2.10 Machine à gaufrer le sol.

4. ADAPTATION DES RAMPES PIVOTANTES AUX DIVERS TYPES DE PARCELAIRE

On a imaginé la conception des rampes pivotantes pour réaliser, avec une main d'œuvre réduite, l'irrigation de grands espaces sans limites de parcellaire contraignantes, où le prix de la terre était relativement bas. Cependant, l'arrosage par rampes pivotantes se développe maintenant dans des conditions autres que celles-ci, pour des cultures riches, là où la terre coûte chère.

A l'heure actuelle, différents cas peuvent être distingués :

- a) il n'y a pas de limites de parcelles ; on met par exemple en valeur par l'irrigation, une zone non cultivée jusqu'alors.

L'implantation des pivots, la longueur des rampes, le recours ou non à un canon d'extrémité, le déplacement éventuel des rampes d'un point de pompage à l'autre, deviennent des choix économiques indépendamment de la notion de surface perdue, dès lors que l'on se maintient dans la limite des possibilités d'alimentation en eau des pivots. On ne cherche pas à réaliser l'arrosage des espaces compris entre cercles ; les pivots peuvent être plus ou moins écartés.

b) des lots sont découpés dans une région, en vue d'y pratiquer l'irrigation par rampes pivotantes.

Généralement, de tels lots seront des carrés ; les plus courants, aux ETATS UNIS, sont des carrés de (402 m) dont la superficie est de (65 ha) ; la superficie irriguée est alors de l'ordre de (53 ha). Il s'agit là de cultures riches plutôt que de cultures extensives. Pour valoriser l'équipement, on a cherché à réaliser l'irrigation des espaces non arrosés dans les coins du carré par divers systèmes complémentaires de la rampe pivotante "Corner System".

Le choix d'un canon d'extrémité se pose encore en termes de calcul économique ; il faut examiner s'il est préférable ou non, soit d'arroser le pourtour avec un canon, éventuellement par l'intermédiaire d'un supprimeur, soit de prolonger la rampe et d'économiser sur la pression, donc les consommations d'énergie.

c) on dispose d'assez grandes parcelles (ayant par exemple plus de 50 hectares), dont les formes sont quelconques.

Dans de telles circonstances, il faut installer une ou plusieurs rampes pivotantes qui domineront des cercles en général tangents, et il faudra rechercher les dispositions qui laisseront le moins possible d'espaces irrigués entre les cercles et les limites de parcelles.

Pour réduire les espaces perdus à l'irrigation, on pourra utiliser des moyens complémentaires d'arrosage plus ou moins efficaces qui pourront être éventuellement des systèmes d'arrosage dans les coins ("corner System"- voir figure 2.11).

On aura toujours ainsi la ressource d'avoir un matériel différent à installer dans les espaces morts, même si ce dernier est moins avantageux, sur le plan économique que les rampes pivotantes.

On peut ainsi prévoir une grande rampe fixe et une ou deux plus petites déplaçables comme le montre la figure 2.12.

Une autre façon d'occuper le terrain peut être d'exploiter la possibilité des rampes à propulsion électrique d'arroser un secteur.

Signalons aussi les équipements fixes à canons “solide set system” comme le propose la société NELSON, qui s’accommodent de n’importe quelle forme de parcelle (voir figure 2.13) On peut envisager diverses combinaisons de l’arrosage par canon fixe ou par les canons d’extrémité de la rampe pivotante.

Enfin, le “Robot Rain”, dont le circuit peut être quelconque est très adapté à l’irrigation complémentaire de l’arrosage par rampe pivotante. On verra sur la figure 2.14 un exemple d’association de “Robot Rain” et de rampe pivotante.

Mais il sera possible, dans certaines régions où le climat n’est pas trop sévère et où l’irrigation assure un complément avantageux bien que pas indispensable, de cultiver en sec les espaces non dominés par les rampes pivotantes.

Il reste que, dans certaines circonstances, on trouve rentable de tolérer le recoupant des cercles arrosés par rampes pivotantes ; la zone de recouplement (voir figure 2.15) reçoit deux fois l’eau nécessaire, mais l’espace mort est réduit ; on doit alors rechercher dans quelle mesure et à quel taux de recouplement, il est avantageux, du point de vue économique, de faire se recouvrir les cercles arrosés (comparaison du gain de terrain irrigué dans un cas, de la consommation d’eau inutile dans l’autre).

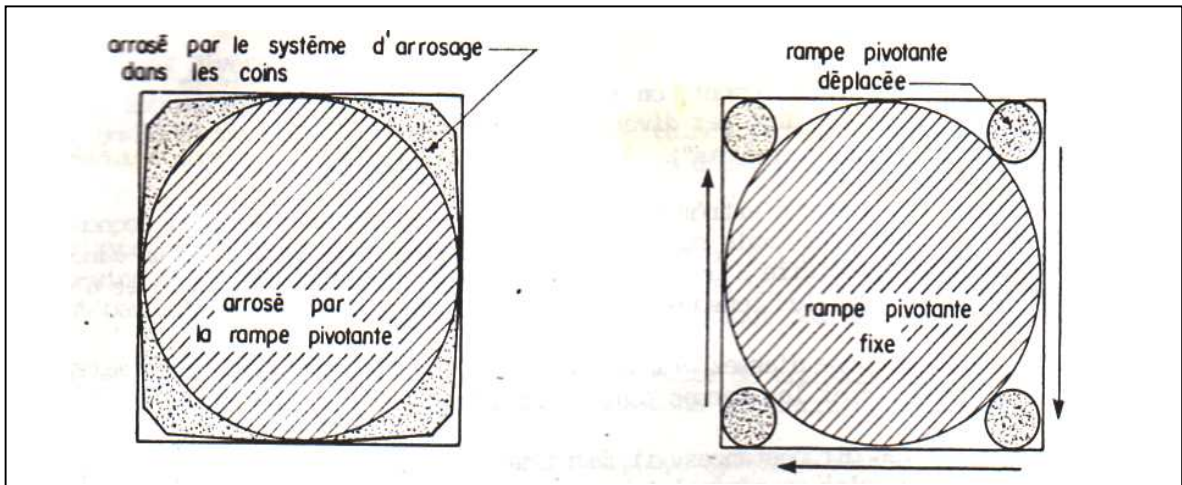


Fig.2.11 - Complément de l'irrigation système d'arrosage dans les coins

Fig.2.12 - Complément de l'irrigation avec un petit pivot déplaçable

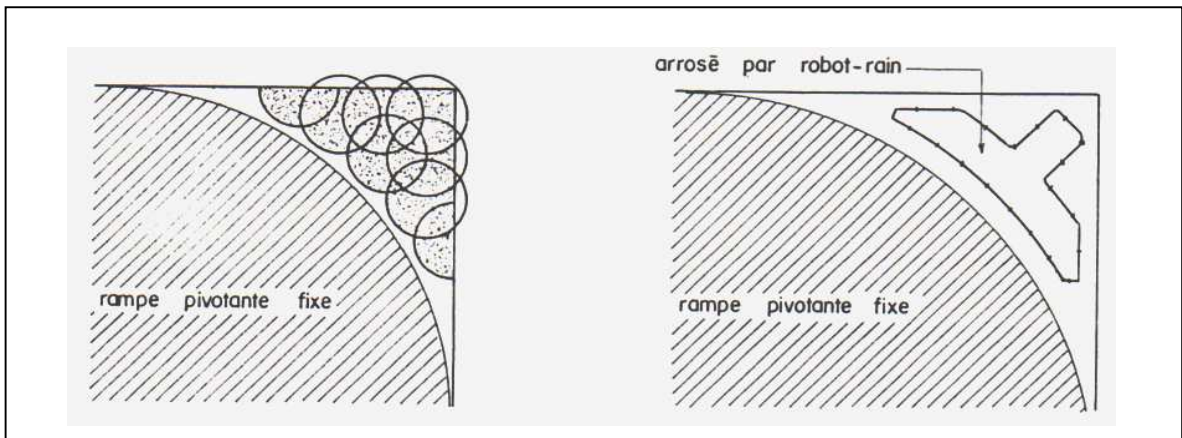


Fig.2.13 - complément de l'irrigation avec un système d'irrigation par canons à poste fixe

Fig.2.14 complément de l'irrigation par "Robot rain"

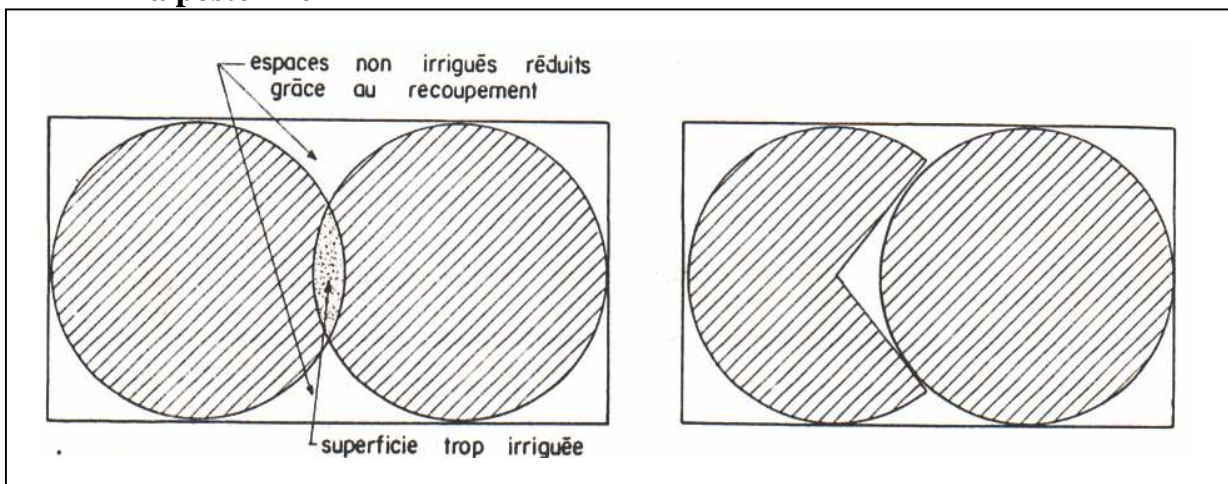


Fig.2.15- Réduction des superficies non irriguées superposant une partie des possibilités cercles arrosés

Fig.2.16- Réduction des superficies non irriguées en utilisant la de faire marcher

la rampe pivotante secteur

sur un

Il convient pour terminer, de rappeler la faculté des rampes pivotantes à propulsion électrique, d'arroser un secteur sans arroser les autres, de marcher en avant et en arrière ; ceci offre beaucoup de possibilités d'occuper mieux le terrain, comme le montre la figure 2.16.

On tend de plus en plus à utiliser les rampes pivotantes de très petites dimensions; Il semble que l'utilisation de rampes de 2 ou 3 tours puisse se répandre dans certaines régions et qu'un tel équipement a des avantages à condition de les déplacer d'un point d'alimentation en eau à l'autre soit possible. Par exemple, des rampes de 3 tours, écartées de 60 m, arrosent des cercles de 10 hectares. On notera que ce matériel est léger et peut être facilement tiré sur l'exploitation.

Le graphique de la figure 2.17 représente les surfaces irriguées par une rampe en fonction de sa longueur suivant qu'il y a ou non un canon d'extrémité, ce diagramme donne une idée de la grande variété de cas où les rampes pivotantes sont utilisées.

Il reste que l'on pourrait envisager le groupement approprié de partages parcellaires sous une même grande rampe pivotante, éventuellement par un remembrement, mais ce genre de projet d'irrigation collective se heurte souvent à l'individualisme des exploitants.

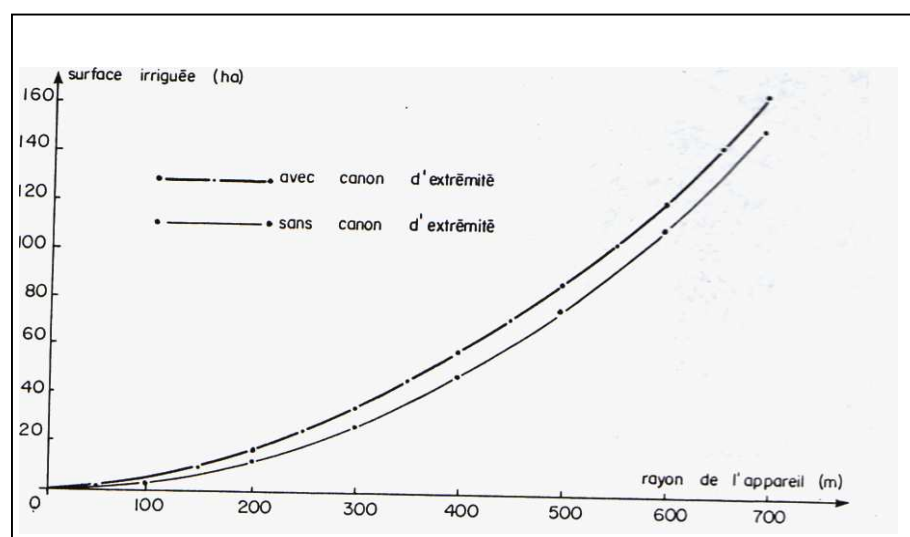


Fig.2.17 Surface arrosée en fonction du rayon de la rampe pivotante (avec ou sans canon d'extrémité) [4].

5. ADAPTATION DES RAMPES PIVOTANTES AUX DIVERS TYPES DE CULTURES

- Le premier point à considérer, en ce qui concerne l'adaptation des rampes pivotantes aux cultures, est la hauteur libre de celles-ci au-dessus des cultures pour qu'elles ne soient pas abîmées pendant le mouvement de rotation.

On distinguera les cultures hautes telles que par exemple le maïs et les cultures basses telles que par exemple la betterave. À ce titre, il faut prévoir une hauteur de tuyau appropriée. Généralement, cette hauteur est de l'ordre de 3 mètres quand il s'agit de cultures hautes.

Si l'on a affaire à des cultures basses, il serait préférable de baisser le tuyau pour que les asperseurs soient plus près du sol et offrent ainsi moins de prise au vent on dispose alors la rampe à 1,50 m environ au-dessus du sol. Mais une telle solution est rarement adoptée ; on préfère équiper la rampe pivotante de dispositifs permettant de placer l'organe d'arrosage près du sol [4].

- Les tours, en passant toujours au même endroit, tracent dans la culture un passage étroit correspondant à celui des roues. Si la culture est riche, on a avantage à limiter les dégâts au maximum, aussi doit-on choisir dans ce cas du matériel dont l'équipement des roues, ou des bâtis de roues (moteurs et boîtes de transmission à pignons par exemple), ne provoque pas trop de dommages en raison de leur position. On préfère, à ce titre les moteurs placés sur la traverse horizontale de la tour plutôt que ceux accolés à la roue.

- Très souvent, l'exploitant utilise les rampes pivotantes sur diverses cultures qu'il faut arroser à des périodes différentes ; on dispose alors ces cultures dans des secteurs (voir Fig.2.18) et la rampe pivotante doit être à propulsion électrique pour pouvoir inverser le sens de rotation et n'arroser que des secteurs déterminés. Il faut aussi qu'on puisse la faire tourner sans arroser, pour sauter un secteur non irrigué.



*Fig.2.18- Irrigation par rampes pivotantes de secteur recevant
des doses différentes [5].*

En ce qui concerne la satisfaction des besoins en eau des cultures et la qualité de l'irrigation, on verra au paragraphe suivant que les rampes pivotantes peuvent, en général, satisfaire les besoins en eau plutôt mieux que d'autres systèmes, sauf si le terrain, du fait de sa faible perméabilité ou de sa pente, n'est pas en mesure d'absorber l'eau délivrée, plus particulièrement en extrémité de rampe [4].

6. QUALITES DE L'ARROSAGE PAR RAMPE PIVOTANTE

6.2. Compactage de la surface du sol et infiltration de l'eau

Le compactage de la surface du sol est limité si l'on équipe les rampes pivotantes avec des organes d'aspersion qui assurent une bonne pulvérisation.

Les schémas de la figure 2.19 montrent comment varie la dimension des gouttes et l'intensité des arrosages suivant les types d'équipement des rampes.

C'est avec les gouttes les plus petites (avec les buses), ou avec les asperseurs également espacés (de taille variable), que l'intensité de l'arrosage est la plus faible, c'est-à-dire le plus apte à éviter les ruissellements.

Le choix des organes d'aspersion s'avère donc déterminant dans la qualité de l'arrosage en fonction de la nature du sol ; cette question doit être posée avec soin par l'exploitant avant d'acquiescer d'une rampe pivotante [4].

6.3 Souplesse du système d'irrigation

L'irrigation par rampes pivotantes a en culture une qualité : celle de pouvoir être adaptée parfaitement à la satisfaction des besoins en eau des plantes, tels qu'ils se présentent dans le temps. Cet avantage n'est vraiment obtenu qu'avec les rampes pivotantes à propulsion électrique dont on peut accélérer la rotation dans une plage de vitesse assez grande.

Généralement, la rampe pivotante est calculée pour tourner sans interruption durant la période de consommation de pointe des cultures maïs, hormis cette période, il reste le plus souvent une grande latitude pour modifier à volonté le rythme des applications d'eau.

Les Figure 2.20 et 2.21 reproduisent un diagramme des consommations d'eau du mois et des besoins à satisfaire pendant le cycle végétatif ainsi que la réduction de récolte intervenant après 4 jours de fléchissement en période critique dans la « CORN BELT » (ETATS UNIS) . (Nous prenons l'exemple du maïs, mais toute autre culture a des besoins en eau se présentant de façon analogue) [4].

1 - Buses basse pression

Pression à l'extrémité : 15 PST (1 bar)

Espacement : 4,6 m — 1,5 m

Taille es gouttes : petites - moyennes

Intensité de l'apport d'eau : élevée

Consommation d'énergie : très faible Système adapté aux sols filtrants (voir la figure 2.19-a).

2 - Asperseurs basse pression

Pression à l'extrémité : 35 PSI (2,5 bars)

Espacement : 9,1 m-6,1 m-3m

Taille des gouttes : grande

Intensité de l'apport d'eau : moyenne

Consommation d'énergie : faible

Système moins affecté par le vent. Peut convenir à des sols très compacts du fait de la faible intensité de l'arrosage (voir la figure 2.19-b).

3 - Asperseurs haute pression espacement variable

Pression à l'extrémité : 60 PSI (4,2 bars)

Espacement : 9,1 m - 6,1 m - 3 m

Taille des gouttes : moyenne

Intensité de l'apport d'eau : moyenne à faible consommation d'énergie : élevée

Peu d'effet de compactage et d'imperméabilisation du terrain.

Convient aux sols de structure fragile (voir la figure 2.19-c).

4- Asperseurs haute pression espacement constant

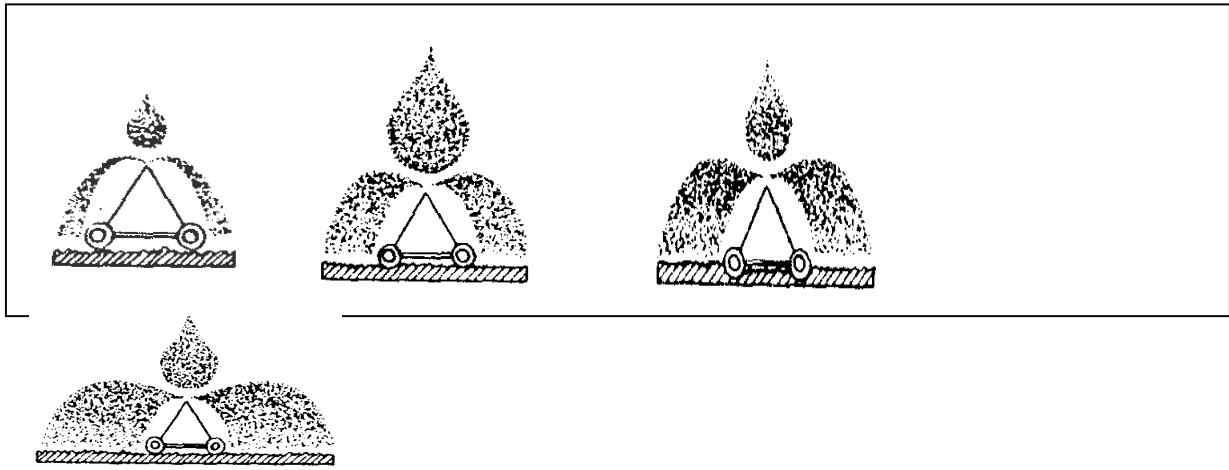
Pression à l'extrémité : 60 PSI. (4,2 bars)

Espacement : 6,1 m

Taille des gouttes : moyenne à grande

Intensité de l'apport d'eau : faible consommation d'énergie : élevée

Système peu affecté par le vent. Convient aux sols de caractéristiques moyennes (voir la figure 2.19-d).



-a-

-b-

-c-

-d-

Fig.2.19 - Variation de la dimension des gouttes et de l'intensité de l'arrosage suivant le type d'équipement des rampes [4].

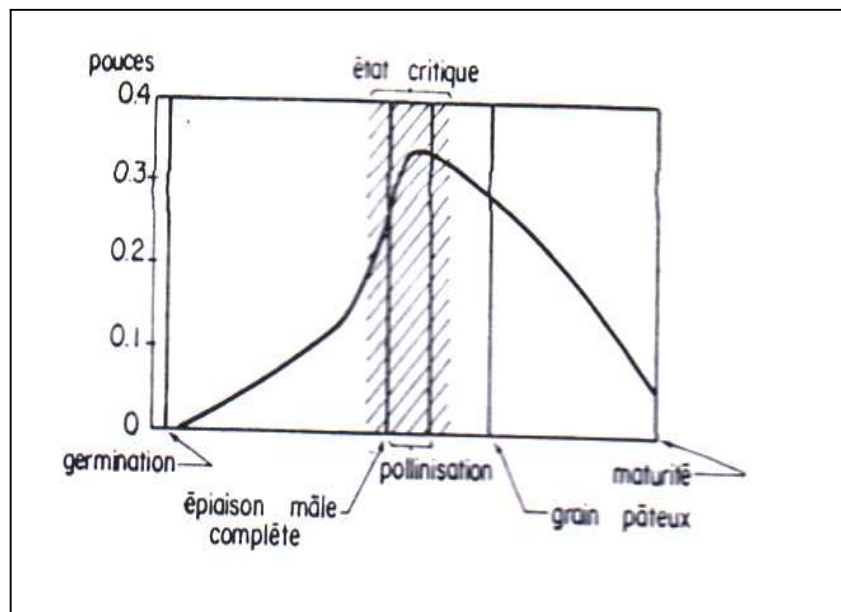


Fig.2.20 Consommation d'eau par le maïs [4].

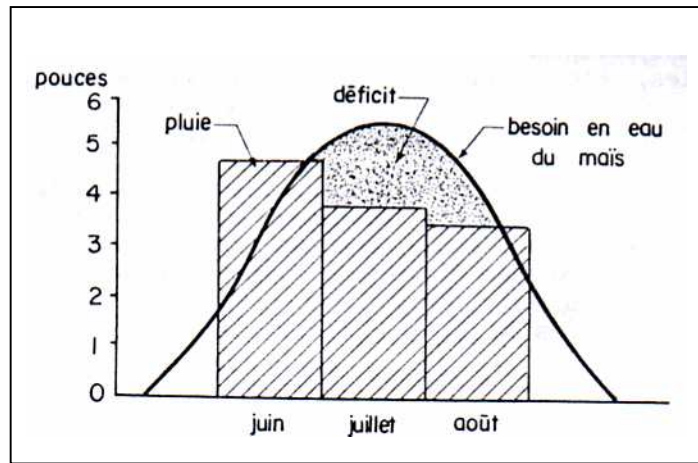


Fig. 2.21 *Besoin en eau du maïs à satisfaire compte tenu de la pluie [4].*

Ces diagrammes montrent que les besoins en eau sont élevés pendant une période très courte et beaucoup moins importante pendant les autres stades végétatifs ; par ailleurs, suivant la répartition des pluies de l'année considérée, durant la période d'irrigation, le déficit se manifeste à des moments qu'il est impossible de prévoir dans un régime d'arrosage programmé en début de culture.

Les besoins de la plante ne sont pas au total très importants, mais leur satisfaction a un impact considérable sur la récolte, surtout lorsque les déficits ont lieu en période critique [4].

CHAPITRE III:

**CONCEPTION MECANIQUE
DE PIVOT D'IRRIGATION
D'IRRAGRIS**

1. L'OBJECTIF DU CHAPITRE

L'objectif de ce chapitre est la conception de tous les constituants du pivot d'irrigation produit par la société IRRAGRIS et son assemblage par le logiciel de conception mécanique CATIA V5. Ce but est réalisé par les étapes suivantes:

- Réalisation des constituants avec les dimensions réelles.
- Assemblage des principales parties (tour centrale –travée -tour mobile- port a faux) du pivot par la fonctionnalité d'assemblage.
- La construction du pivot avec les parties assemblées dans l'étape 2.

Lors de cette tâche plusieurs problèmes ont été rencontrés qui peuvent être classés selon le genre, essentiellement en :

- Des problèmes d'ordre géométrique. Ceci est dû à la forme spatiale de la structure étudiée et la diversité des pièces et de leurs dispositions.
- Des problèmes liés à l'utilisation du logiciel lors de l'assemblage de ces parties. Il faut rappeler que le pivot réalisé compte plus de 1225 pièces.

Nous allons évoquer quels problèmes de conception en présentant des parties du pivot à la fin de ce chapitre.

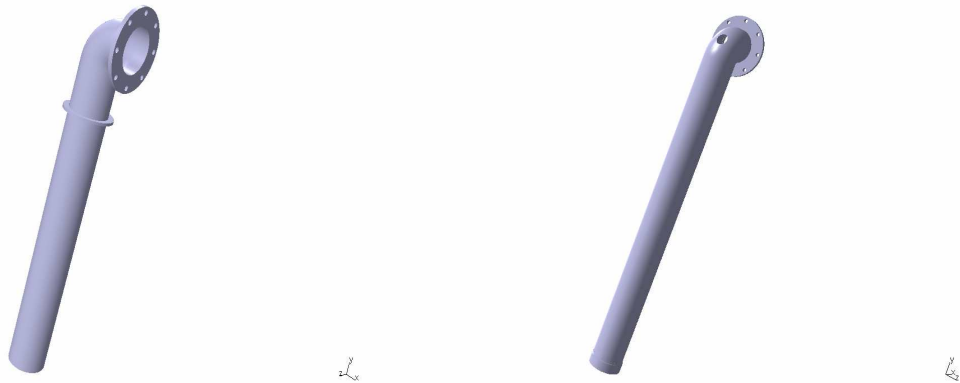
2. LA TOUR CENTRALE

C'est le point fixe de la rampe, l'unité centrale est l'élément par où arrive l'eau destinée à l'irrigation et aussi par où arrive l'énergie électrique et la commande du pivot. Elle est constituée de deux tubes de diamètre (197mm), un inférieur l'autre supérieur (ou extérieur). Dans ce tube passe un autre tube dans lequel sont logés les fils électriques. Le tube d'alimentation du pivot est soutenu par une structure en pyramide (d'environ 3 mètres de hauteur et 3 mètres de côté) par un assemblage boulonné de cornières (éléments à section en L), deux colliers soutiennent le tube à la pyramide par des cornières. Un collier supérieur (fig.3.3) et un collier inférieur (fig.3.4) Il faut rappeler que le pivot doit tourner autour de cette tour centrale, c'est pourquoi la conduite principale est composée par deux tubes coaxiaux pour donner cette possibilité de rotation (fig.3.1).

Un élément extrêmement important dans le fonctionnement du pivot et qui assure la liaison entre la tour et la travée : c'est le cardan. Cette élément jouie d'une très grande souplesse. En effet, il autorise toutes les rotations, sauf autour de l'axe de la travée. Cette mobilité est obtenue par l'utilisation d'un morceau de tube en caoutchouc renforcé d'une part et par une articulation cylindrique d'autre part (fig.3.11).

En tous, le tour central est composé de 109 pièces.

2.1 Les parties constituantes de la tour centrale



*Fig.3.1 Les deux parties constituant le tube principal de la tour centrale
A droite le tube extérieur, a gauche le tube inférieur.*

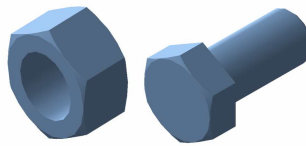


Fig.3.2 Écrou Vis

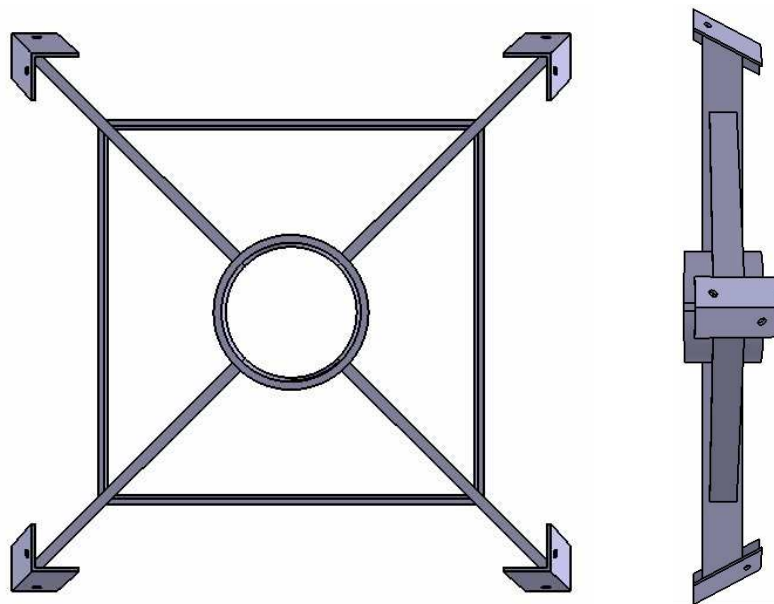


Fig.3.3 Collier supérieur de fixation vue d'en haut (gauche) vue de côté (droit).

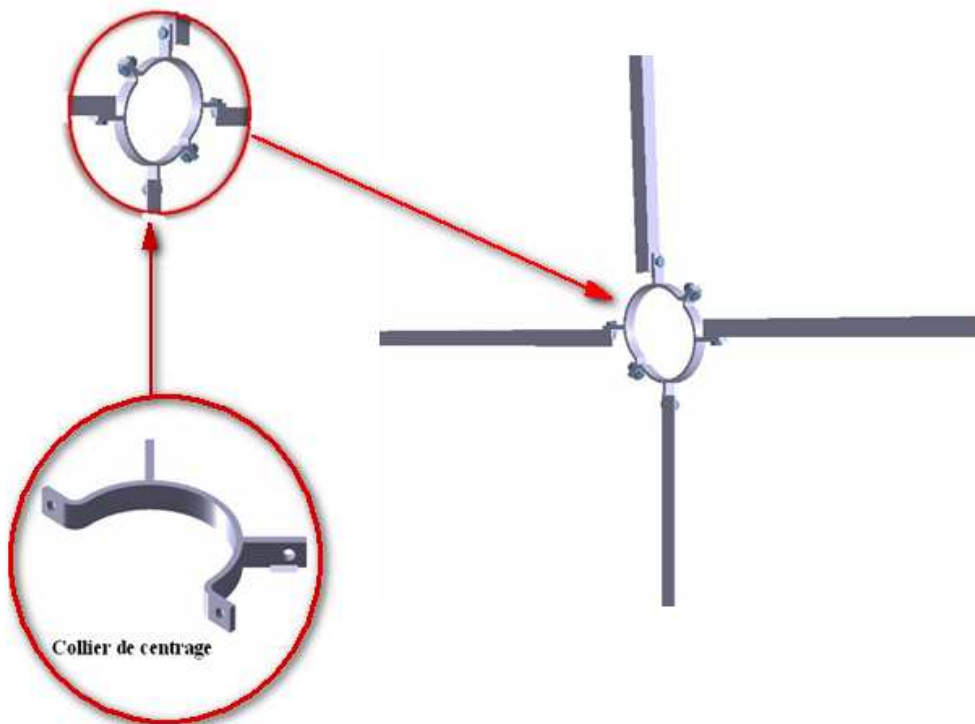


Fig.3.4 Collier inférieur de fixation



Fig.3.5 La tour centrale assemblée.

2.2 Quelques éléments de la tour centrale

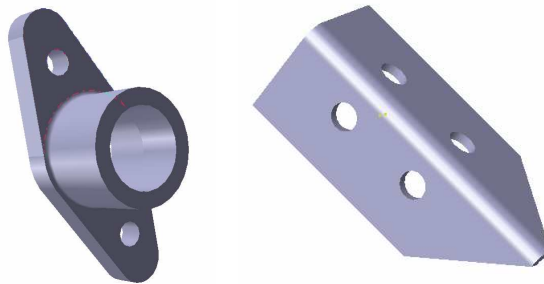


Fig.3.6

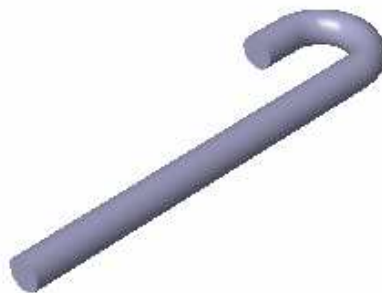


Fig.3.7 Etrier en U



Fig.3.8 Support équerre

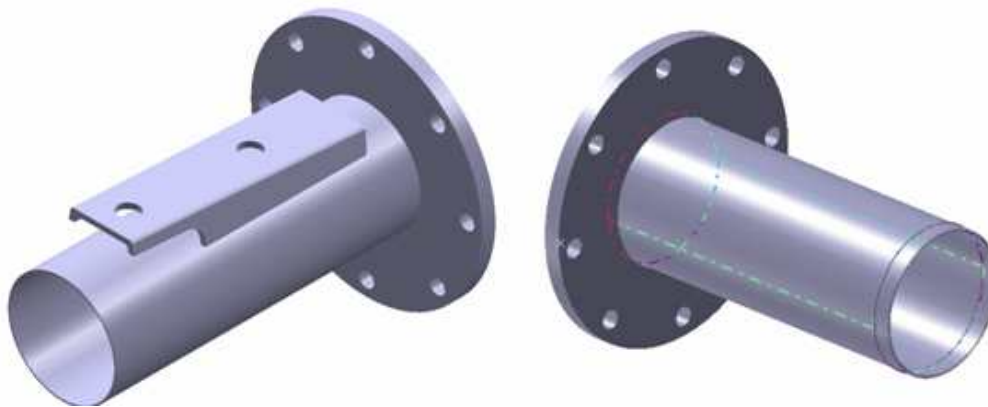


Fig.3.9 Accouplement de la tour centrale (à la rotule)

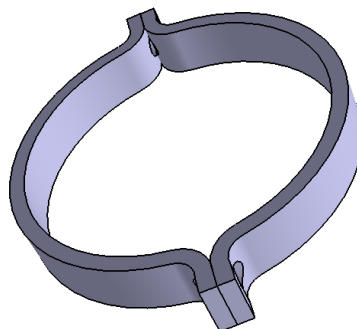


Fig.3.10 Bague de support

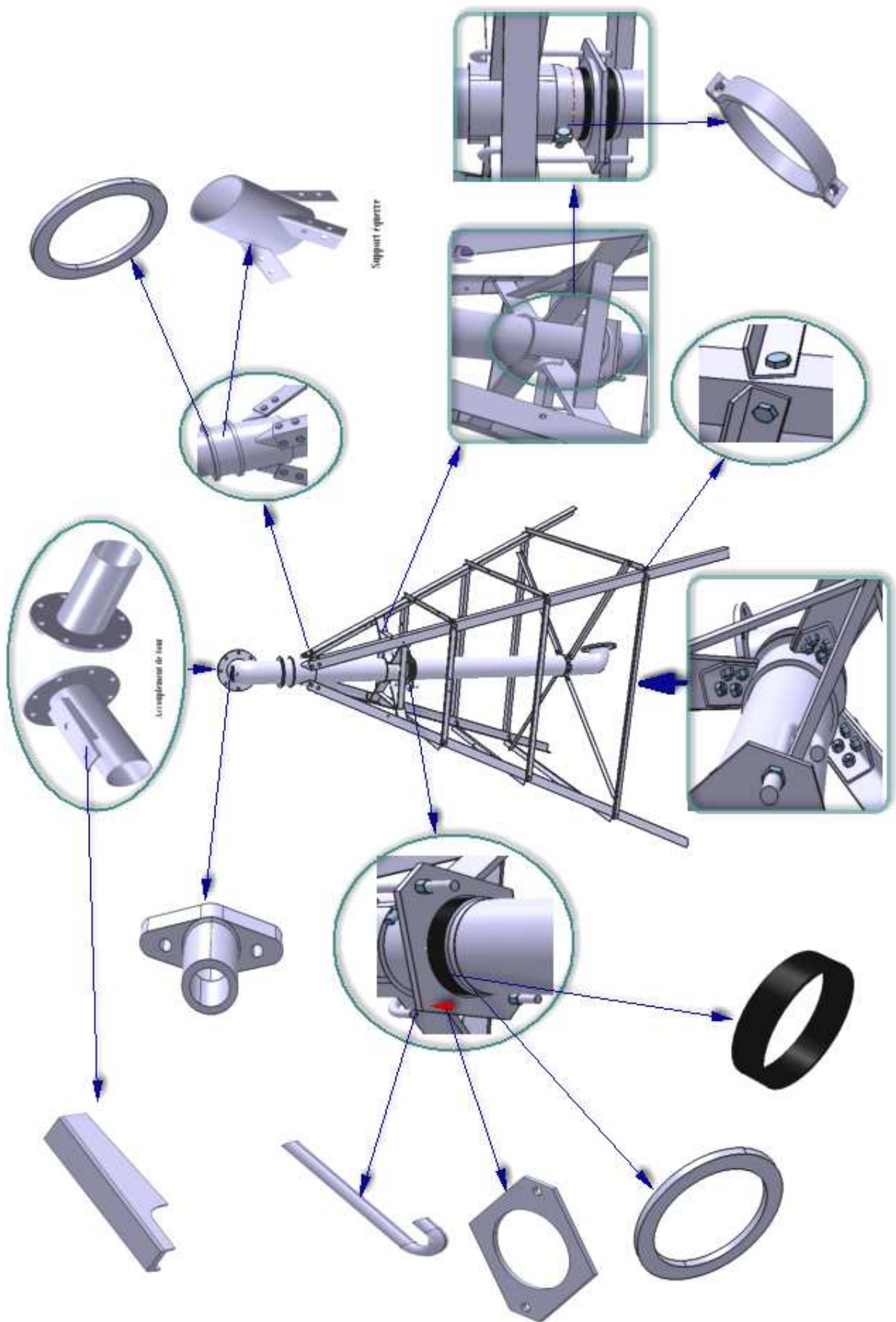


Fig.3.11

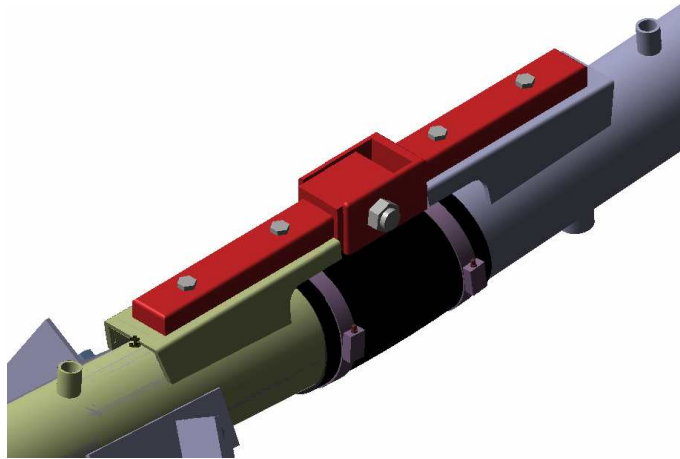


Fig.3.12 Liaison de type cardant liant une travée au tour central ou à une autre travée

3. LA TRAVEE

La seconde partie du pivot est la travée, elle est constituante par la canalisation principale dans laquelle circule l'eau, elle est obtenue par l'assemblage d'un certain nombre de tubes d'une longueur donnée, des brides soudés de part et d'autre du tube permettes cette assemblage par boulons. La travée a une forme en arc obtenue géométriquement par des jeux de cornières formant un système de treillis avec une disposition spatiale et des dimensions choisies judicieusement pour arriver à cette forme en arc de la canalisation. Elle est sous-tendue par deux lignes de tirants reliant les différents jeux de cornières. Cette utilisation de jeux de cornière assurant la liaison de la canalisation au tirant et permet de rigidifier l'ensemble. L'assemblage de ces différents éléments est réalisé par boulonnage.

Une travée est composée de 514 pièces plus les pièces d'assemblage.

Sa longueur est d'environ 54m

Une largeur d'environ 2,18 m

Et une hauteur de 2,13 m

3.1 Les parties constituantes de la Travée :

Les corniers

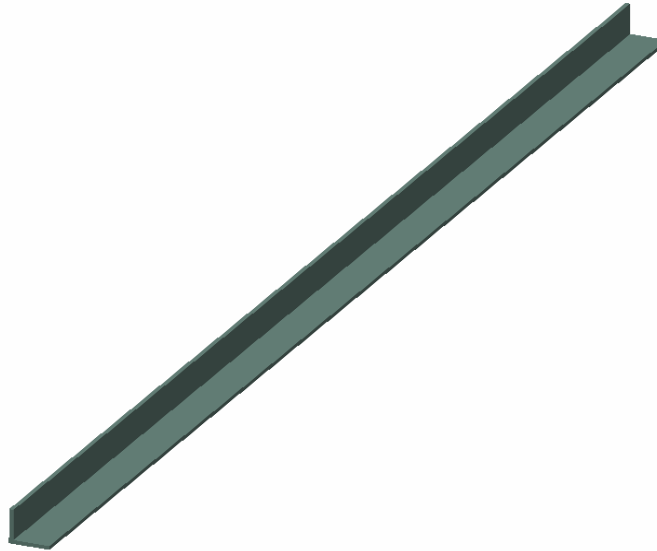


Fig.3.13

Les cornières utilisées ont toutes le même format, mais avec des longueurs différentes.

Les tirants

Il y a deux types de tirants :

Le premier type a un bout fileté et près à recevoir un serrage par écrou. L'autre bout est muni d'un fer à plat troué permettant sa fixation à la goussette d'assemblage. Ce type de tirant est utilisé au début ou à la fin d'une ligne de tirant.

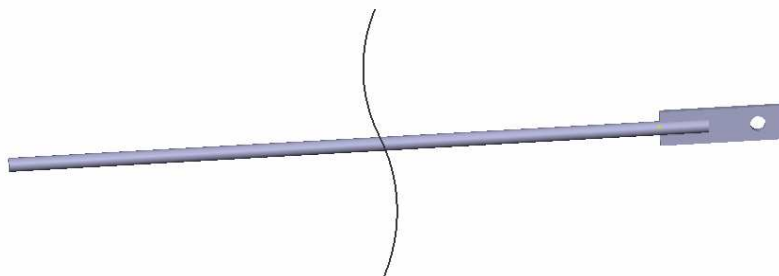


Fig.3.14 Tirants 1

Le deuxième type tirant ne comprend pas de filtrage.

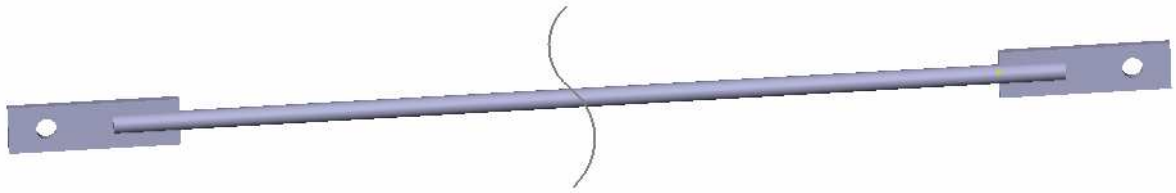


Fig.3.15 Tirants 2

Canalisation

Une travée comprend trois types de tubes pour la canalisation principale dont le diamètre est de 159 mm. Plusieurs tubes principaux, un tube final 1 qui assure le lien avec la tour centrale et un tube final 2 qui lie la travée à la tour mobile.

Le long de la canalisation principale est piqué des tubes d'irrigation équipés d'asperseurs (fig.3.16).

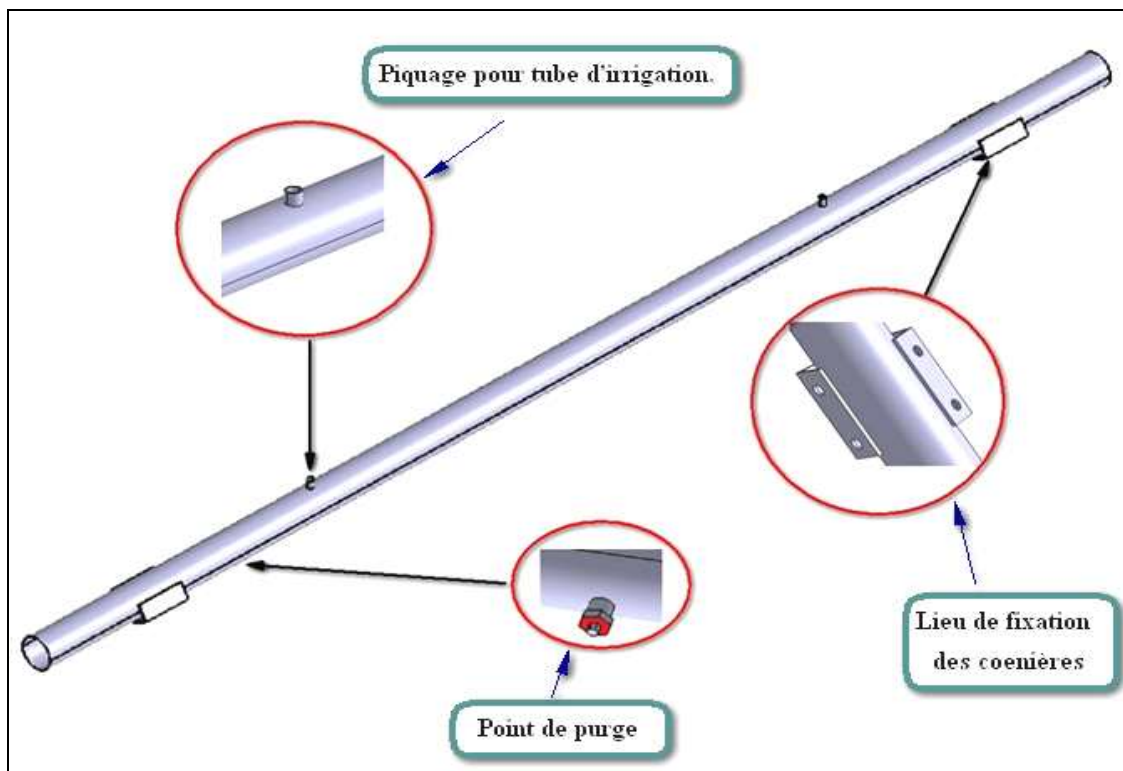


Fig.3.16 Vue isométrique d'un tube principale avec ses parties fonctionnelles (sans brides).

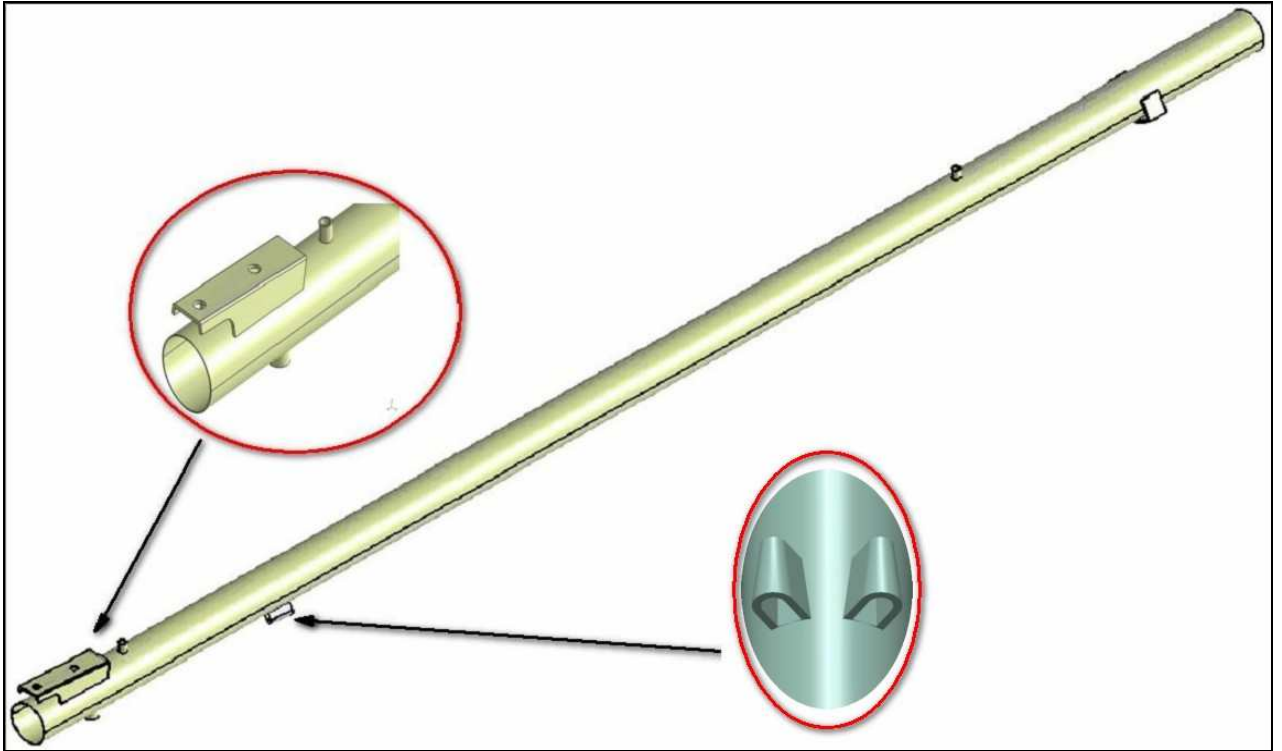


Fig.3.17 *Vue isométrique d'un tube finale.*

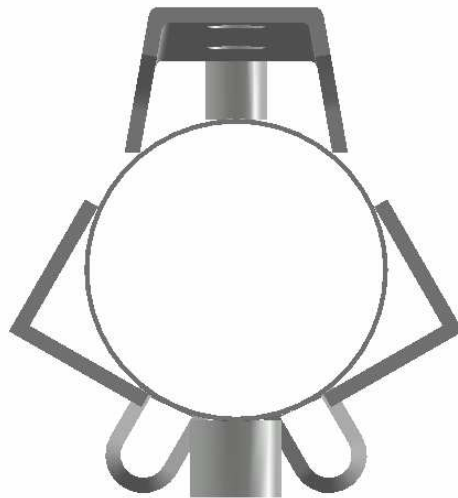


Fig.3.18 *Vue de face d'un tube finale*



Fig.3.19 Tube d'irrigation (piquage du tube principale).

3.2 Les pièces d'assemblage de la travée :

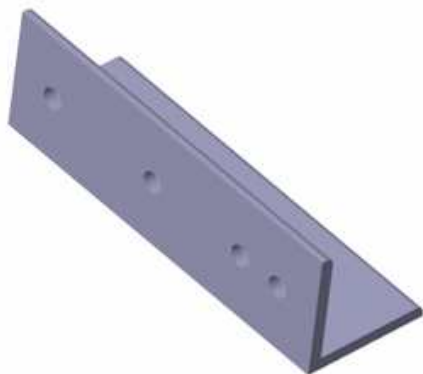


Fig.3.20 Support d'entretoise



Fig.3.21 Bride

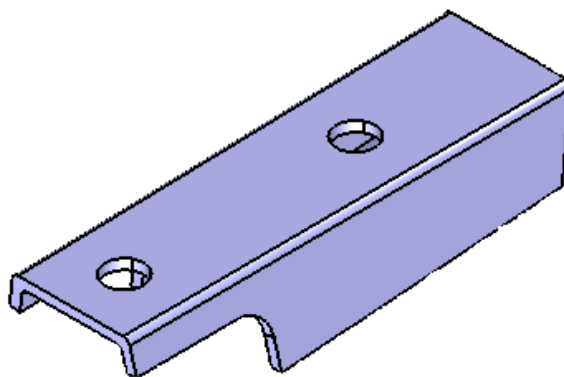


Fig.3.22 Console

3.3 Détails d'une goussette d'assemblage

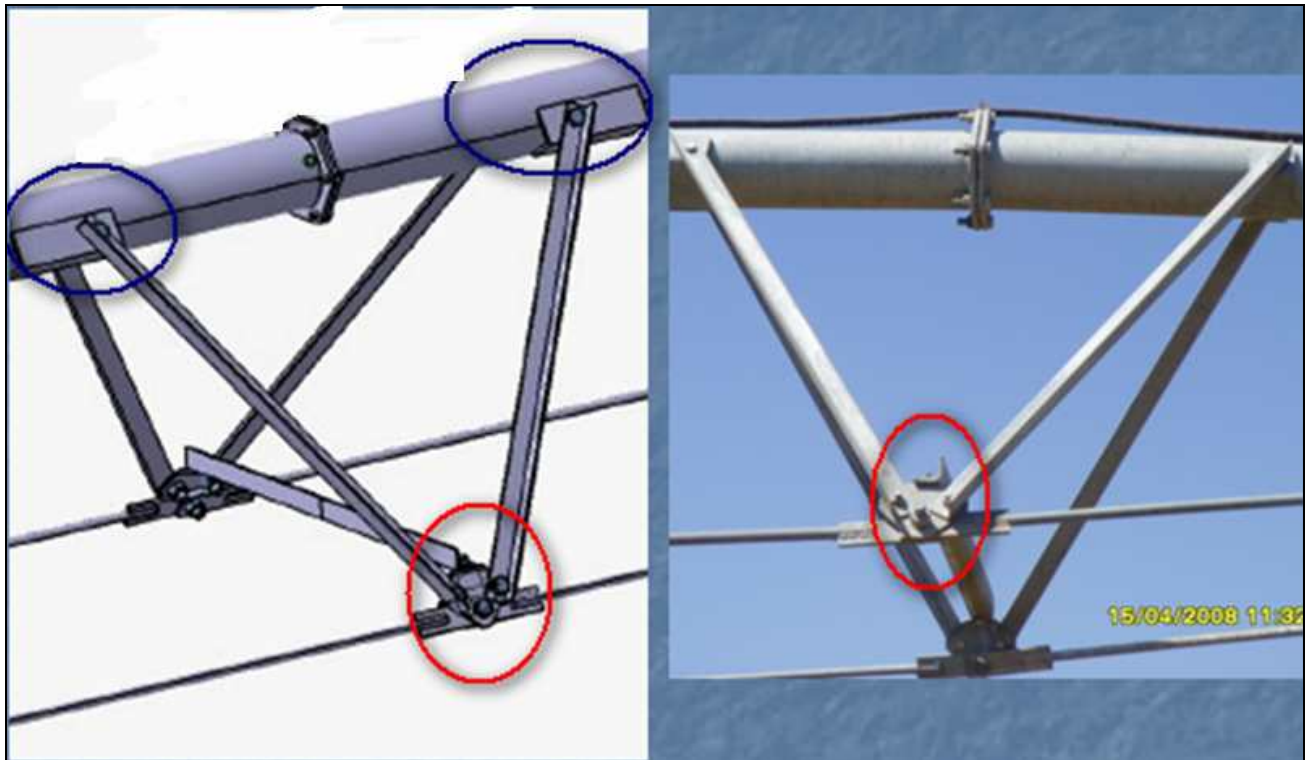


Fig.3.23 Illustration de la fonction de la Goussette et du *support d'entretoise*

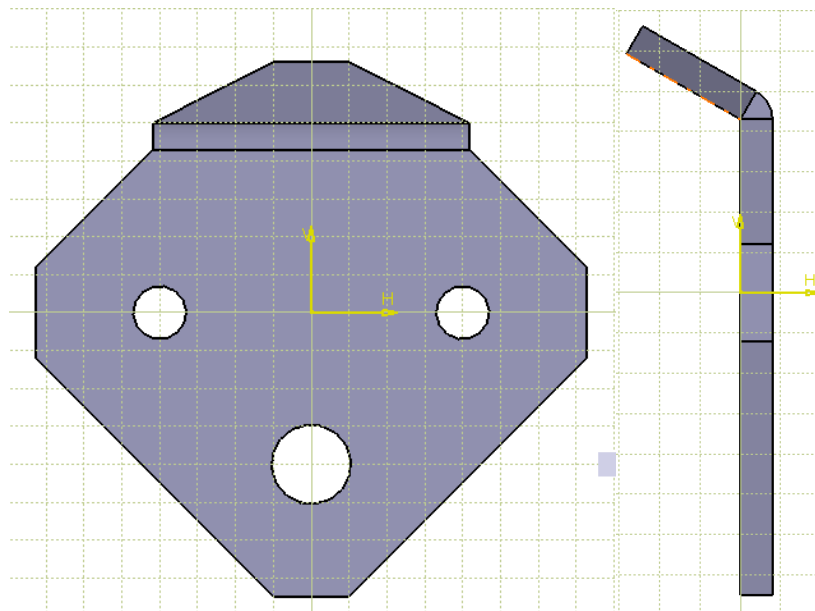


Fig.3.24 Projection de la goussette

Le rôle de cette pièce est l'assemblage de deux tirant, de deux cornières oblique avec angle 30^0 et d'une cornière transversale horizontale comme le montre la figure 3.25

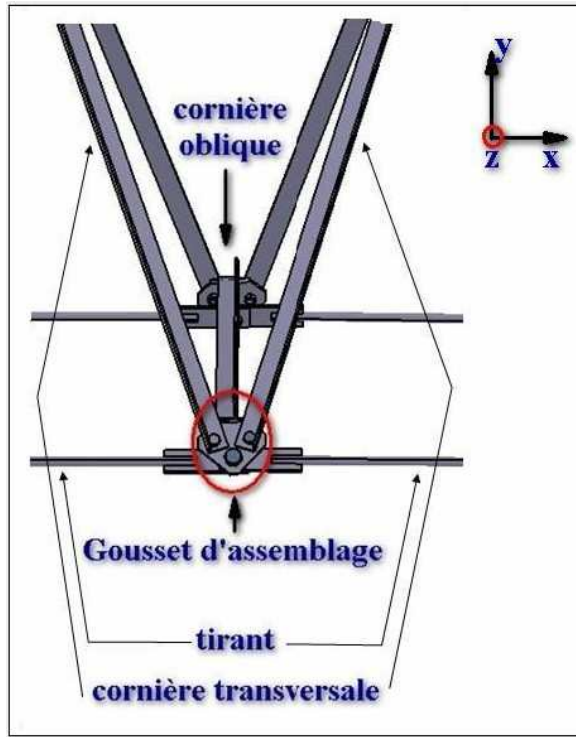


Fig.3.25 Fonction d'une goussette d'assemblage.

Pendant l'assemblage de la travée, nous avons trouvé une variation ordonnée dans la disposition de la gousset, cette variation est caractérisée par un angles β . cet angle β représente la rotation de la goussette par rapport à l'axe (y).

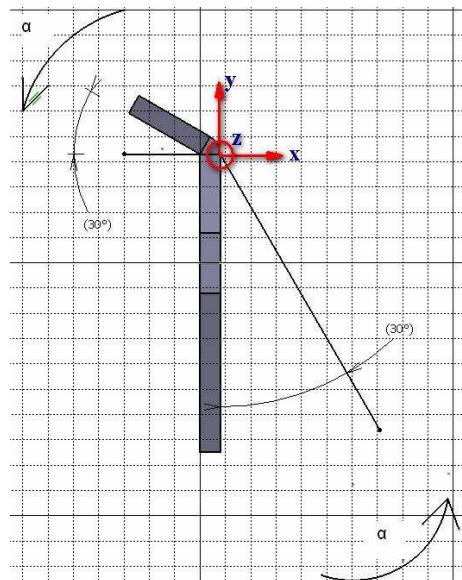


Fig.3.26 Vue de coté d'une goussette.

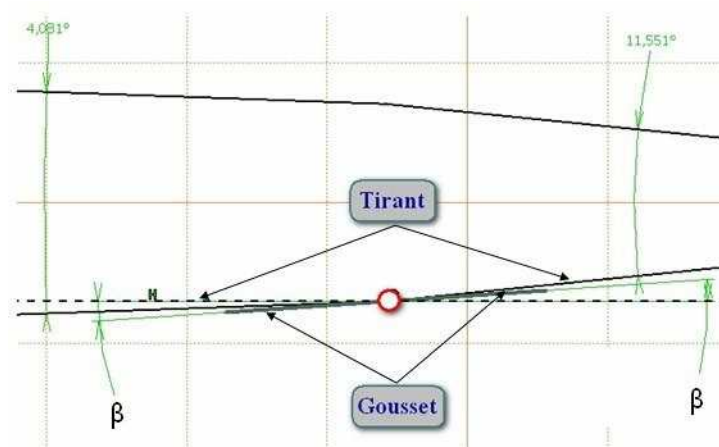


Fig.3.27 Illustration de l'angle de rotation d'une goussete entre deux tirants successives.

Les valeurs de l'angles β' sont représentées dans le tableau suivant :

β (deg) angle entre deux tirants	-3.9	-1.7	-1	0	1	1	3.9
β' (deg) angle de rotation de la goussete	-6.6	-2.7	-1	0	1	2.7	6.6

Et finalement l'assemblage de la travée est illustré dans fig.3.28

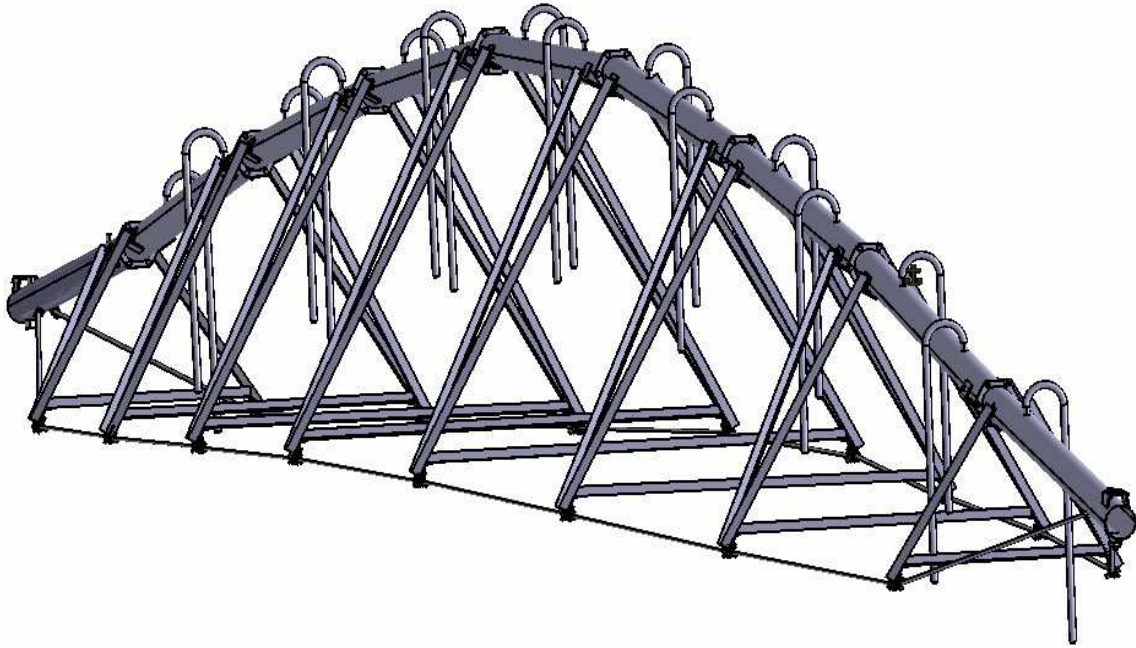


Fig3.28 La travée assemblée

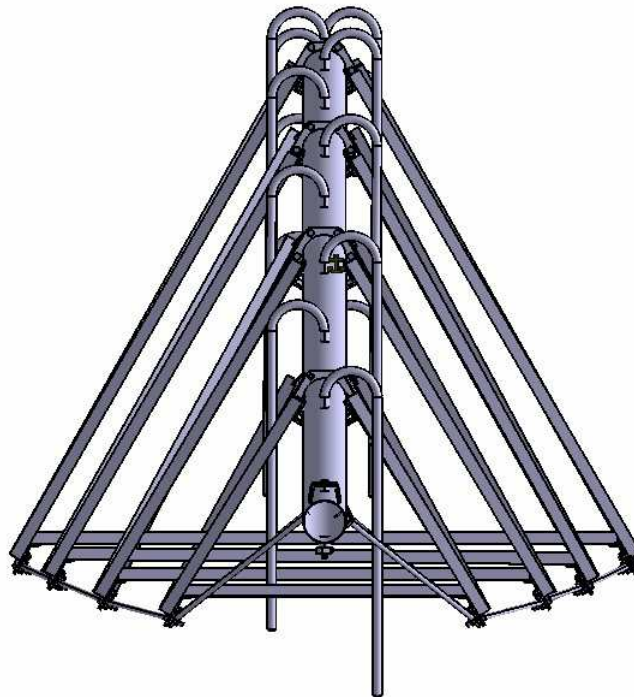


Fig.3.29 Vue de face de la travée

La figure suivante présente l'assemblage de la tour centrale et de la première travée :

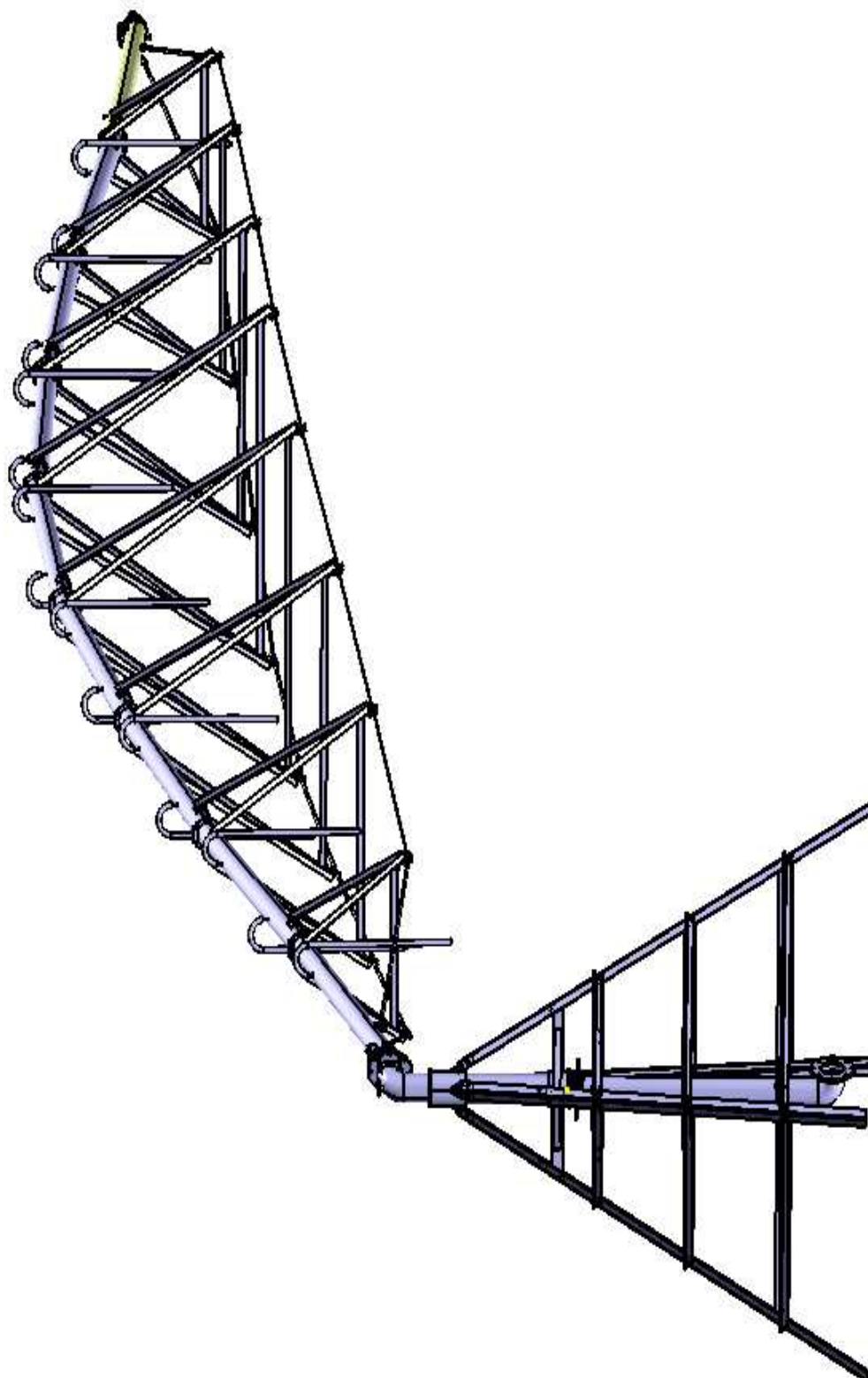


Fig.3.30 Assemblage de la travée à la tour centrale

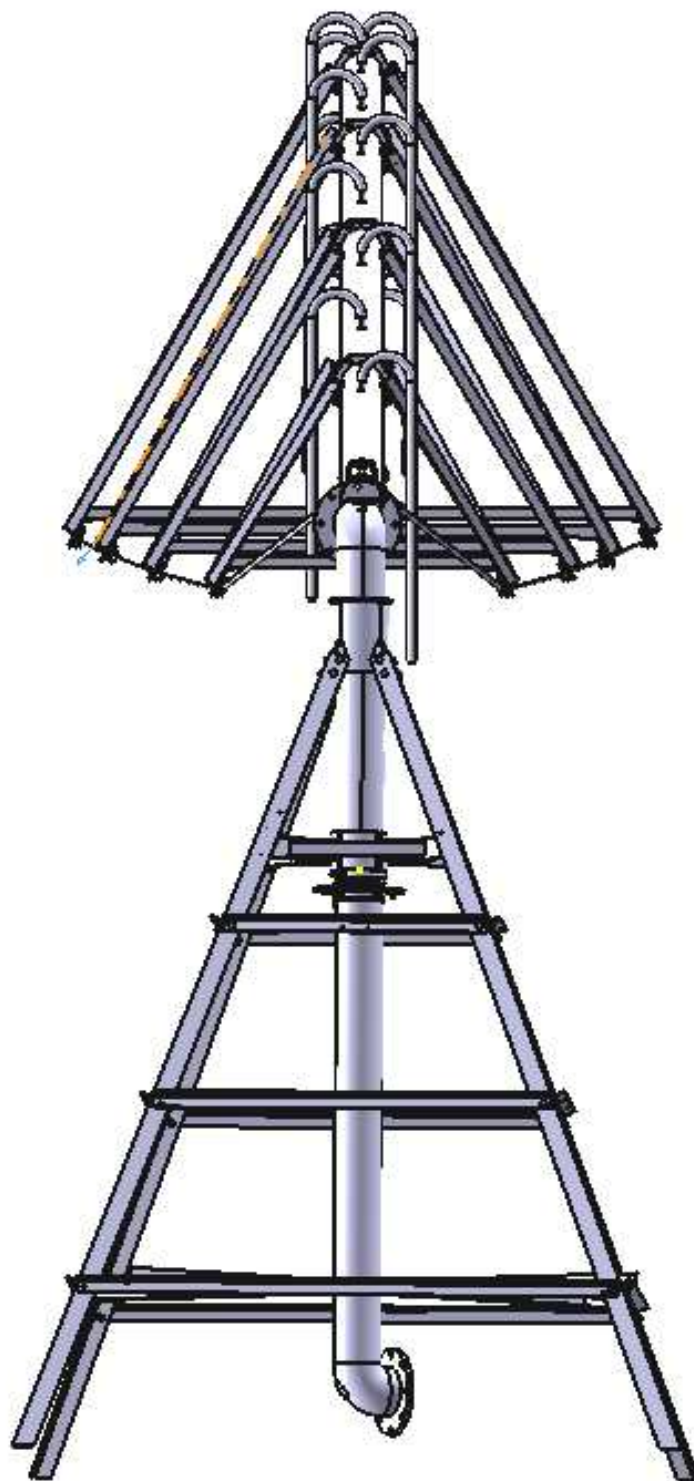


Fig.3.31 Assemblage de la travée à la tour centrale (vue de face)

4. LA TOUR MOBILE

La tour mobile possède deux fonctions; Le soutien de la travée à une hauteur donnée au dessus du sol et d'assure la mobilité de la rampe grâce à deux roues commandées par un moteur. 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. Chaque extrémité de l'essieu est reliée au tube de la conduite principale de la travée 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.

On associe à chaque tour deux tubes dits de compression, qui servent de lien entre la tour proprement dite et le tube final 2 pour renforcer le soutien de la travée.

Le tour mobile est composé de 91 pièces plus le moteur électrique avec le système de transmission, les roues et leurs fixations avec l'essieu et en fin les pièces d'assemblage.

4.1 La transmission du mouvement aux roues

Le moteur peut être placé sur la traverse horizontale de la tour ou en son milieu ; il actionne des tiges horizontales à cardans qui commandent chacune des deux roues par l'intermédiaire d'une boîte à pignons format le réducteur (voir fig.3.30 et 3.31)



Fig.3.32



Fig.3.33

Le moteur peut être aussi monté au niveau des roues et commander alors l'une des roues de la tour par une boîte de réduction et de renvoi d'angle.

4.2 Les parties principales de la tour mobile :

- les cornières : il y a trois types de cornières : Dont les longueurs relatives sont (1500 mm, 805mm et 480 mm).
- les montants : même forme que les cornières mais avec des dimensions différentes.
- support de roue : qui forme la base du tour mobile.

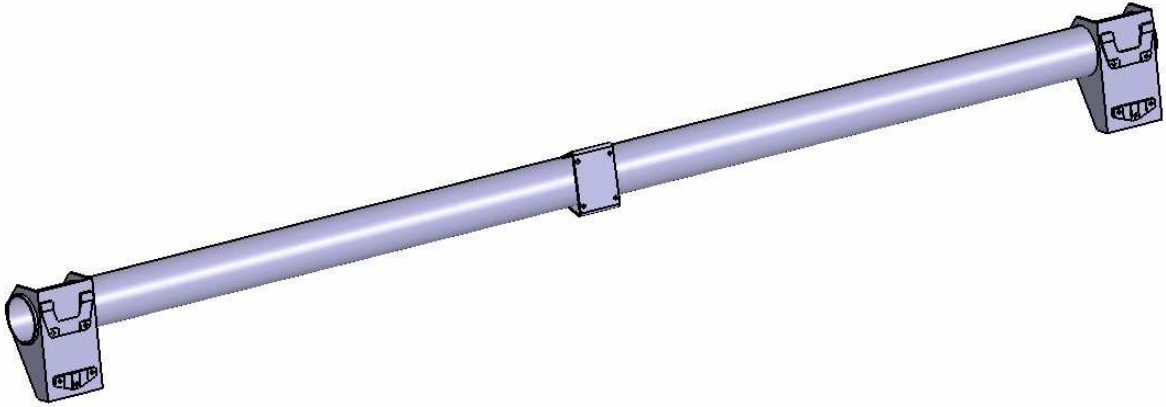


Fig.3.34 Essieu

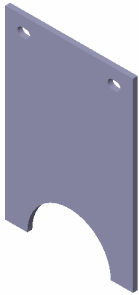


Fig.3.35 Plaque

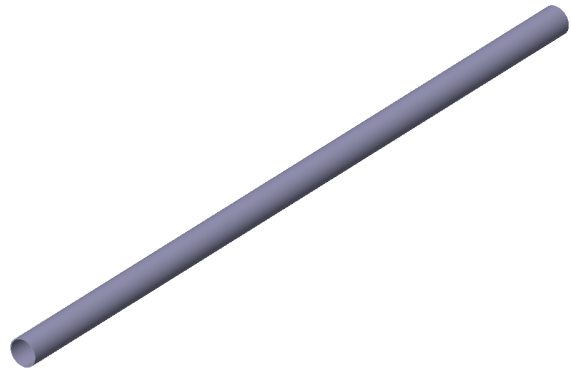


Fig.3.36 Tube d'essieu



Fig.3.37 Console d'engrenage



Fig.3.38 Console

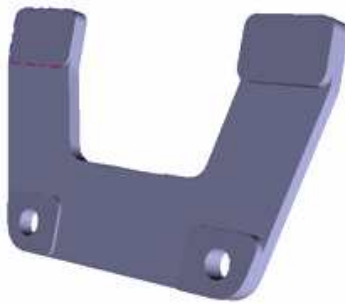


Fig.3.39 Cale supérieure

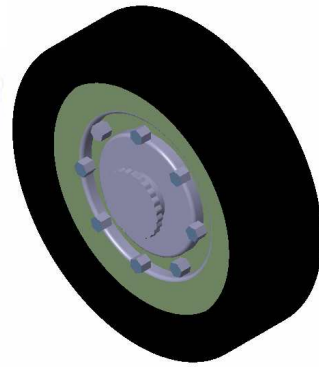
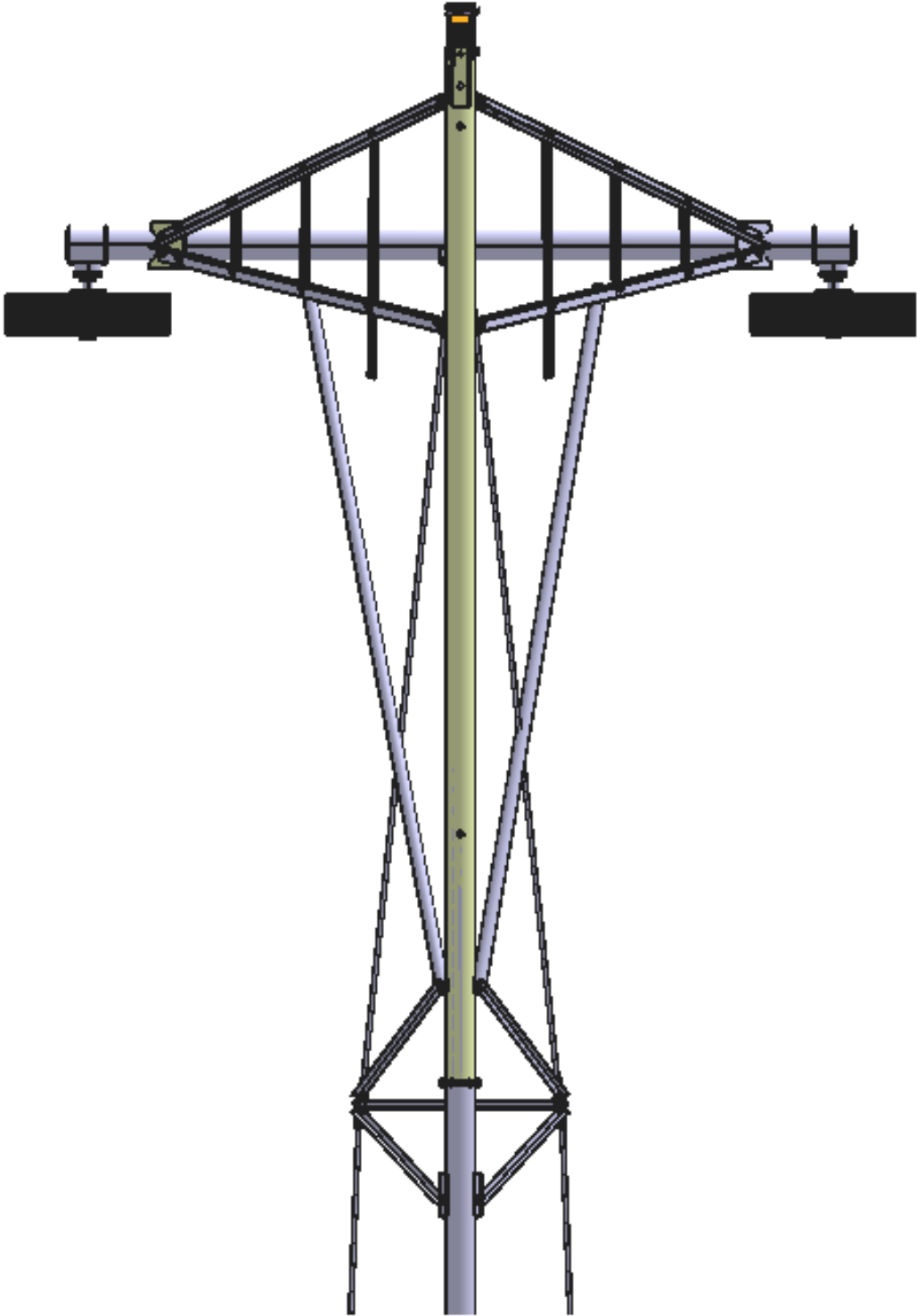


Fig.3.40 Roue

La figure suivant présente l'assemblage des pièces mentionnées ci-dessus pour obtenir La tour mobile:



Fig.3.41 La tour mobile



Fi.3.39 Vue de la face de dessus de la tour mobile

La figure suivant présente l'assemblage de la tour centrale, de la travée et de la tour mobile :

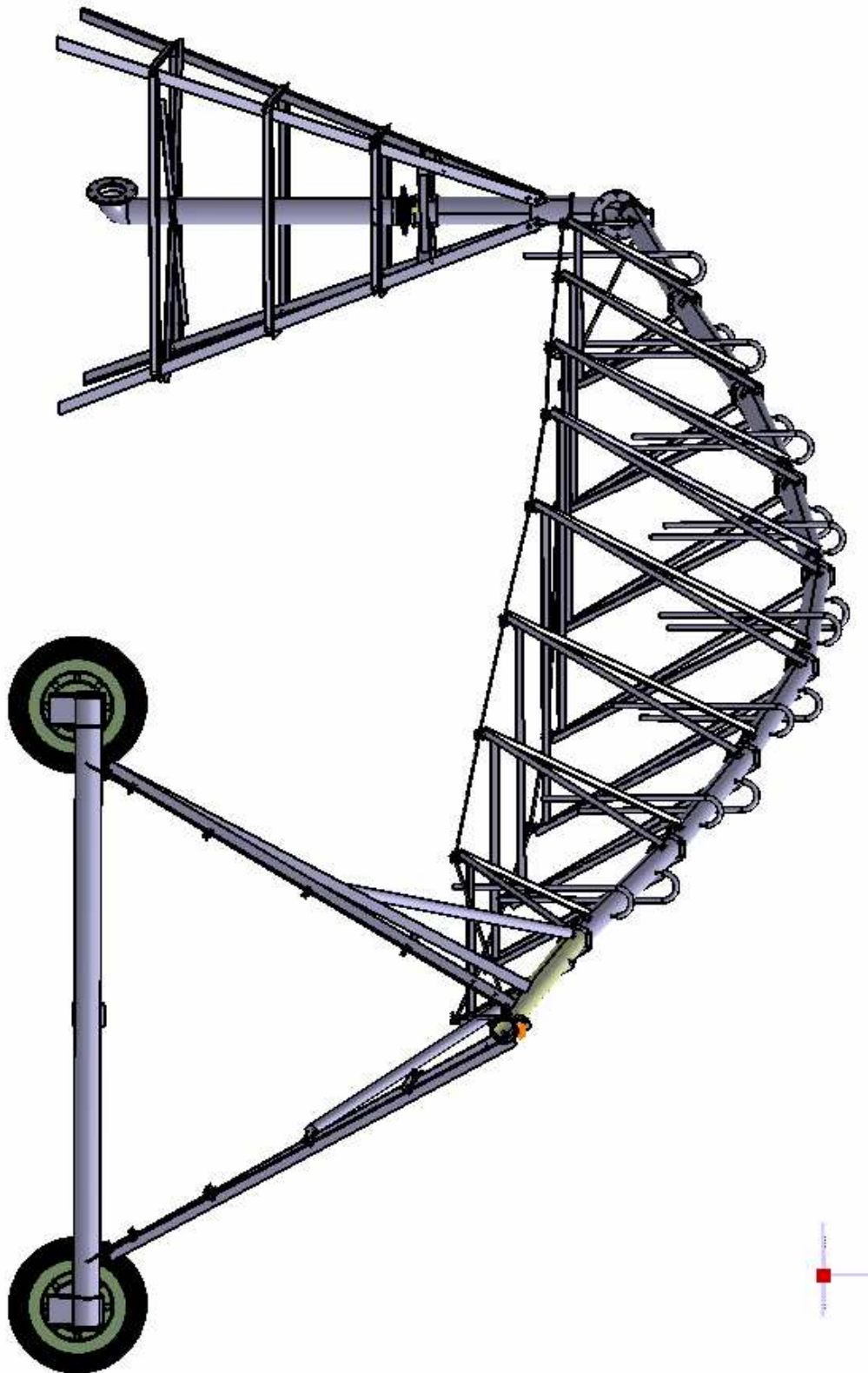


Fig.3.42 Assemblage d'une tour centrale, de la travée et de la tour mobile.

4. Le port à faux

Le port à faux vient pour prolonger la rampe d'irrigation et permet d'augmenter considérablement la surface irriguée, il est située à l'opposé de l'unité centrale est habituellement prolongée par une canalisation haubanée située en porte-à-faux équipée d'un canon d'extrémité dont la portée peut atteindre une quarantaine de mètres. Un jeu de deux tirants est utilisé pour supporter le port à faux, ils passent au dessus du tour mobile et sont attachés à la canalisation de la travée. Ceci a pour effet d'augmenter la pression sur le tour mobile donc sur le sol. La longueur du port à faux doit prendre en considération ce problème.

Le port à faux est composé de 234 pièces plus les pièces d'assemblage (fig.3.48). Sa longueur est d'environ 30 m.

4.1 Les différentes pièces constituant le port à faux :

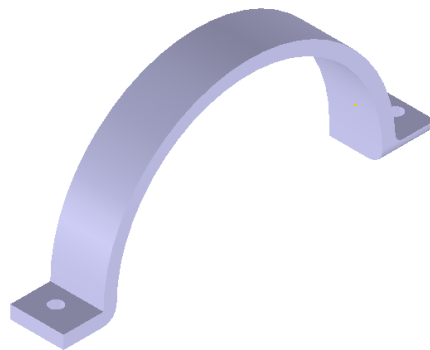


Fig.3.43 Collier

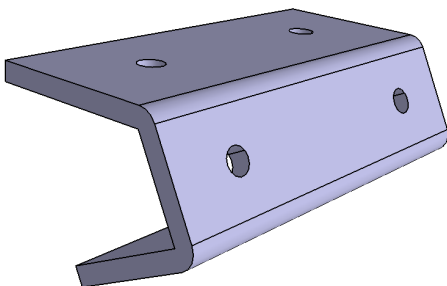


Fig.3.44 Gousset d'assemblage

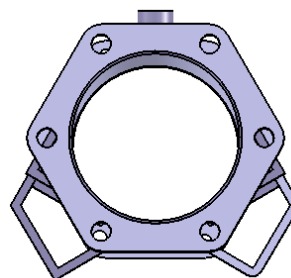


Fig.3.45 Tuyau finale- port à faux (vue de face)



Fig.3.46 Tuyau finale- port à faux (vue droit)

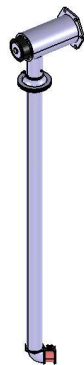


Fig.3.47 Déssableur



Fig.3.48 Le port à faux (prolongement du pivot)

5. CAS D'INTERET DANS LA CONCEPTION DE QUELQUE PIECES ET LES SOLUTIONS ADOPTEES

Au cours de la conception des pièces du pivot et lors de leur assemblage, nous avons rencontré certains problèmes. Il faut rappeler que le logiciel suit une rigueur géométrique extrême, et le concepteur doit prendre ses précautions et proposer des solutions adéquates selon le cas posé, on donne ici quels exemples des problèmes rencontrés :

1/ la forme en arc de la conduite de la travée :

La conduite de la travée qui a une forme en arc est obtenue par l'assemblage de neuf tubes. Sur chaque extrémité de tube est soudé une bride perpendiculairement à l'axe du tube. Du point de vue géométrique l'association de n'importe quel nombre de tube par la CAO donne une ligne parfaitement droite. En pratique en assemblant un pivot réel la forme en arc de la conduite est dû à leurs association avec les cornières et la sous tension des tirants. En effet, les tubes subissent des déformations élastiques aux niveaux des brides et le long des tubes. En utilisant la CAO et pour obtenir cette forme en arc deux dispositions doivent être prises :

En incliner chaque tube d'un certain angle :

En prenant en considération les dimensions des cornières, on peut calculer l'angle d'inclinaison de chaque tube par rapport à l'horizontal. Donc chaque tube est incliné d'un angle par rapport au suivant. Ceci n'est pas suffisant, car nous allons constater qu'au niveau des brides de deux tubes adjacent, on ne peut pas obtenir une parfaite correspondance de leur surface, mais on va avoir un certain angle entre les brides. Donc il faut en plus ;

Incliner chaque bride d'un certain angle par rapport au tube :

Pour remédier à la non correspondance des surfaces des brides, la solution est d'incliner chaque bride d'un certain angle par rapport à l'axe du tube.

La différence entre la conception par la CAO et l'assemblage réelles des pièces conçues et réalisées selon le dessin technique classique est le suivant ; la CAO considère les pièces comme des objets parfaitement rigides et travail selon une rigueur géométrique exact. Par contre et en réalité le matériau peut subir des déformations et peut par conséquent rattraper des inexactitudes géométriques de conception. Le problème est donc résolu du point de vue

de CAO mais cependant il reste à évaluer les conséquences de ces déformations en particulier sur les contraintes induites dans les différentes pièces.

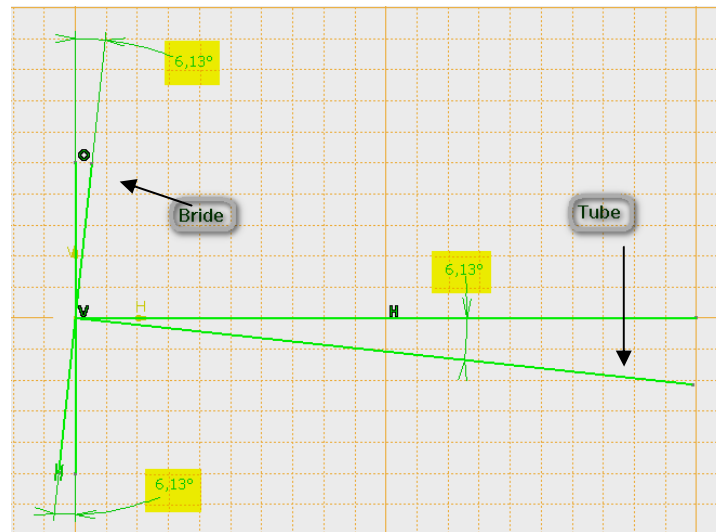


Fig3.49 Angle d'indinaison de la bride et du tube en CAO

2/ Dispositif de serrage pour le tirant (la tôle):

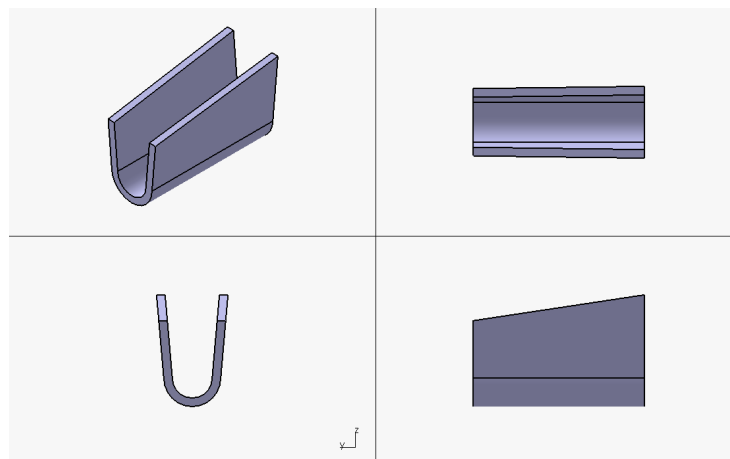


Fig.3.50 Dispositif de serrage pour le tirant

Un autre exemple d'illustration que nous donnons d'une pièce visiblement simple mais riche en paramètres géométriques. Elle est dite tôle (Dispositif de serrage pour tirant). Elle est soudée à la conduite de la travée par lequel départ un tirant pour aller au premier jeu de cornières.

Cette pièce se présente comme suit ; sa section est en forme de U, si on considère que ce U se trouve dans le plan xy. Le premier paramètre géométrique concerne son l'ouverture (comme un V) avec un certain angle α de cette U. De plus la hauteur de cette U varie dans la direction z avec un autre angle donnant un autre paramètre géométrique β . La fixation de

cette pièce ne se fait pas parallèlement à la génératrice du tube mais se fait plutôt avec un certain angle θ . Lors de l'assemblage de cette pièce avec le tube qui a une forme cylindrique se pose le problème de compatibilité de cette forme avec la forme plane des lèvres du de la tôle.

Les solutions qui tiennent en compte ces paramètres sont réalisées comme suit ;

Pour l'obtention de l'angle α on plie une plaque de forme trapézoïdale à l'angle désiré α . Les autres angles β et θ sont obtenue par l'utilisation de la fonctionnalité de coupe offerte par le logiciel de la CAO, on conçoit dans ce cas un outil de coupe de forme cylindrique et qui a le même diamètre de la conduite sur la quelle elle va être soudée. Cet outil de coupe doit être incliné avec un angle $-\beta$ et $-\theta$ respectivement comme expliqué. Sans la prise en compte de ces considérations cette pièce ne peut être correctement installée sur le tube.

Il faut signaler qu'en pratique sur les pièces réelles les lèvres de cette pièce ont des surfaces planes, donc non exactement superposable avec la forme du tube. Le contact entre la tôle (dispositif de serrage pour tirant) et le tube se fait sur une petite zone. Ceci a pour conséquence une mauvaise adhérence de la tôle d'une part et la consommation d'une plus grande quantité de matière de soudure d'autre part.

Une fois la tôle (dispositif de serrage pour tirant) conçue correctement et exactement, on peut remonter à la forme plane de cette tôle pour obtenir la forme exacte de la plaque à plier pour l'obtenir (fig.3.51).

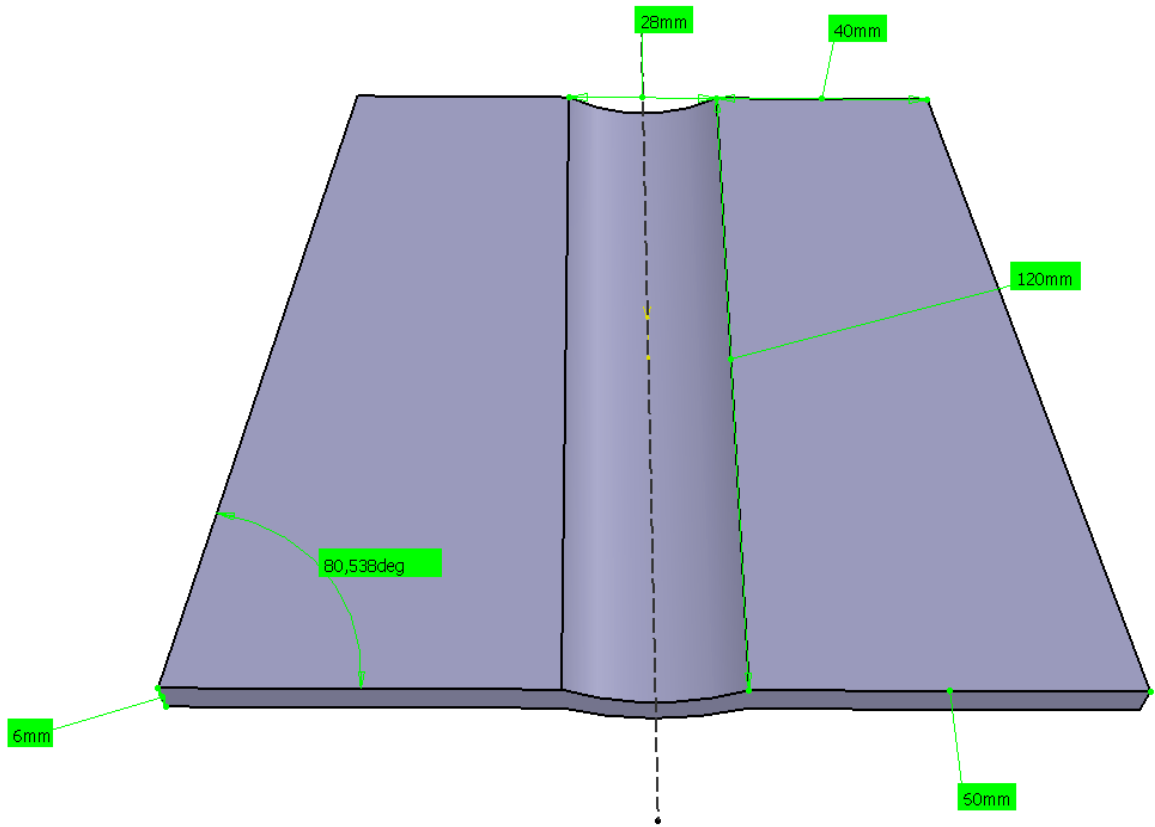


Fig. 3.51 La forme plane (théorique) de la tôle.

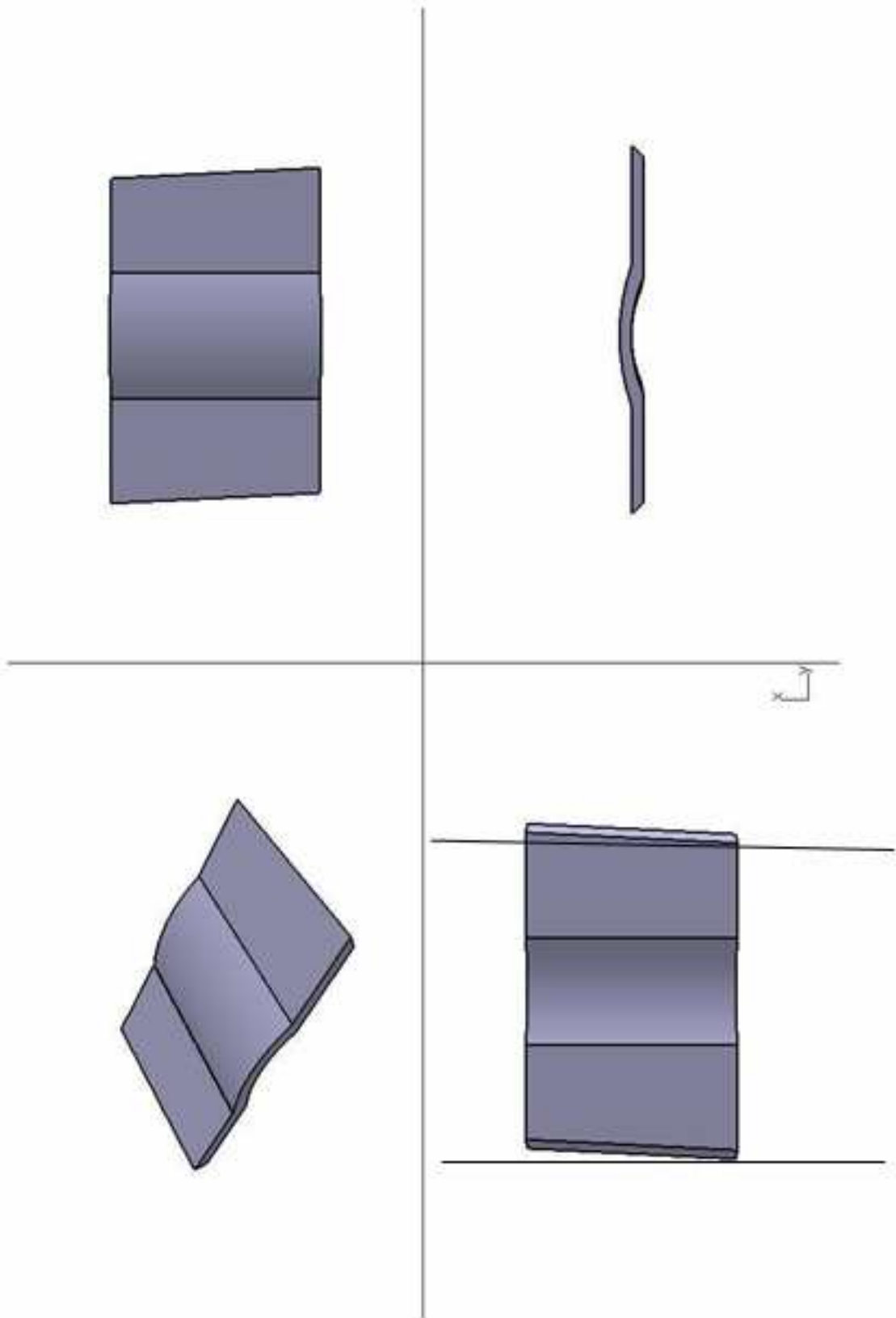


Fig.52

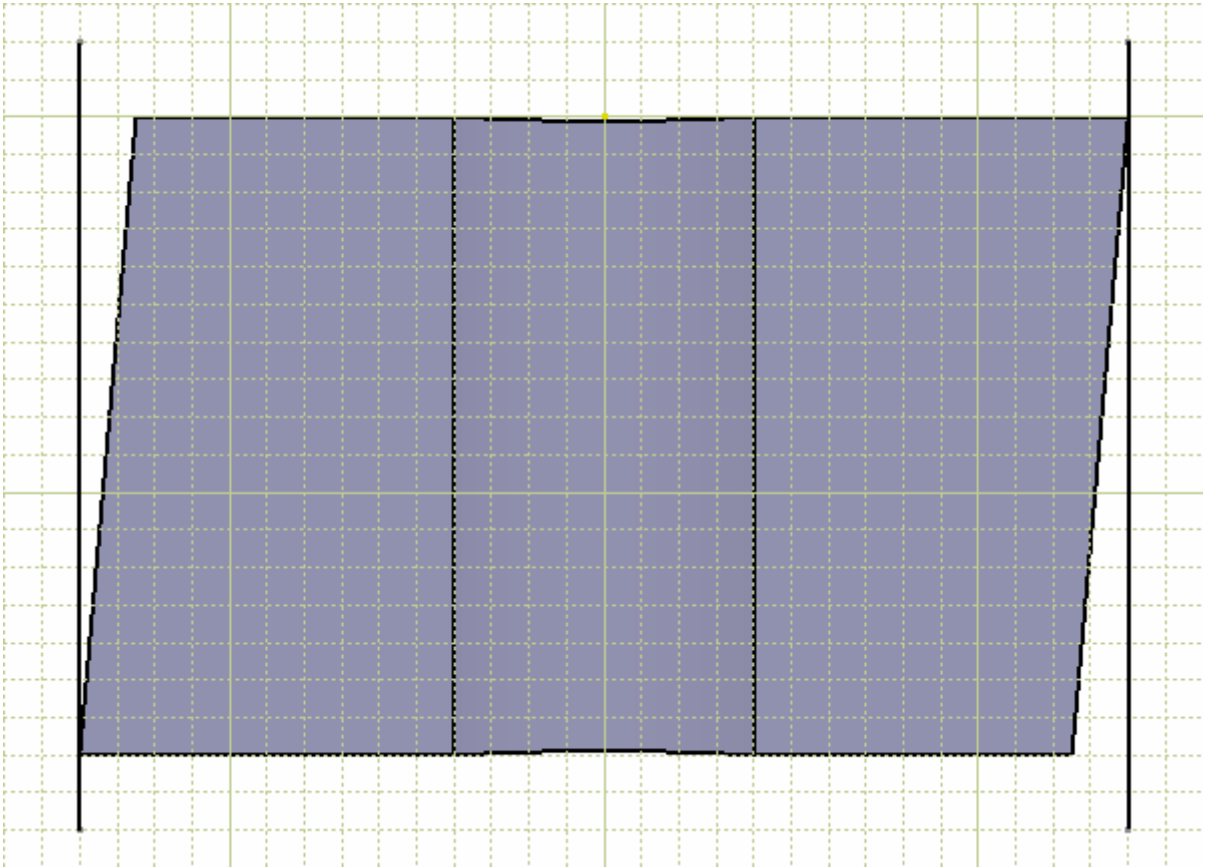


Fig.53 La forme plane (pratique) de la (après sa mis à plat)

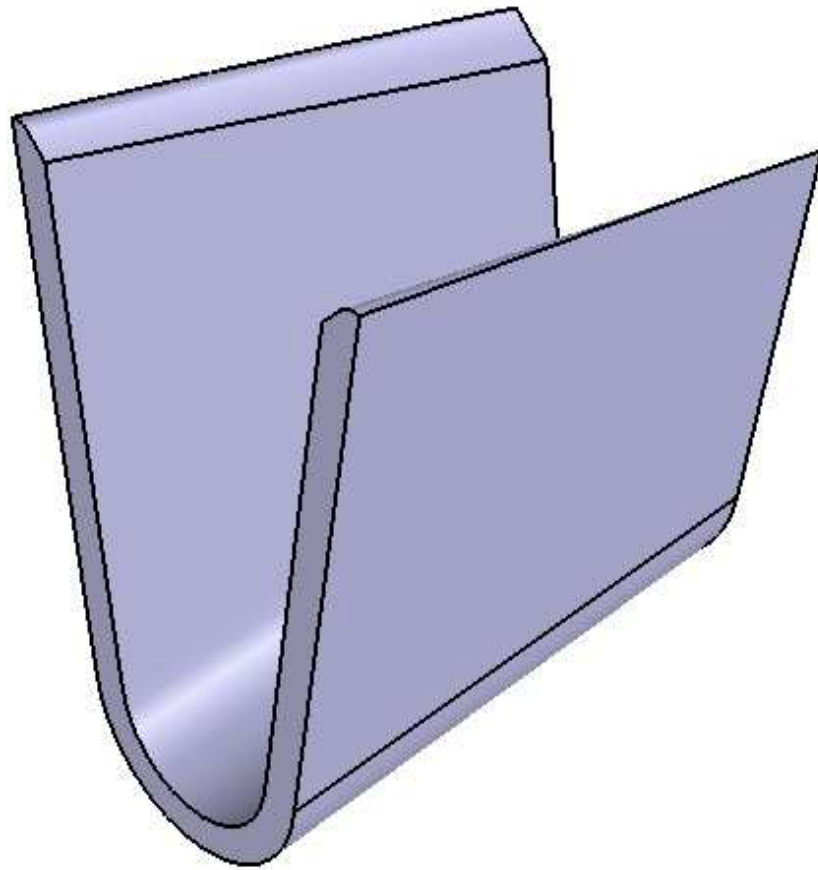


Fig.54 Vue isométrique de la tôle (forme de lèvre cylindrique inclinée).

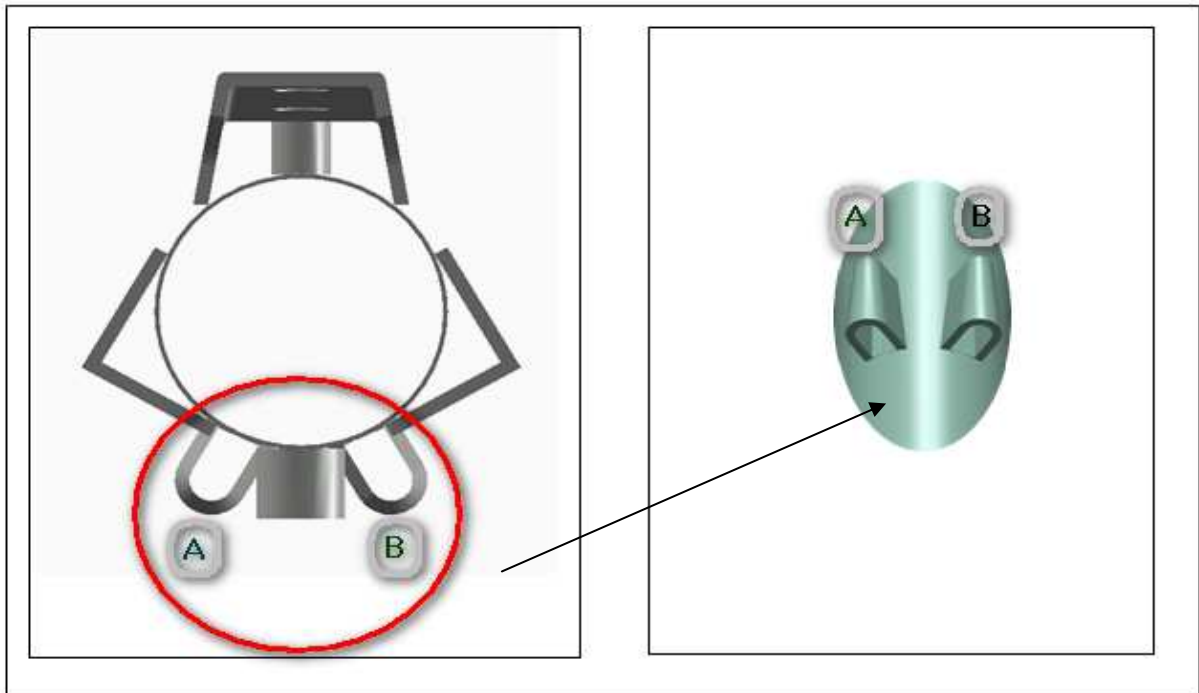


Fig.55 Position de la tôle sur le tube finale

CHAPITRE IV:
ETABLISSEMENT DES MODELES
NUMERIQUES DES CHARGEMENTS ET DU SYSTEME
TOUR TRAVEE

1. INTRODUCTION

1.1 Objectifs du chapitre

Comme on l'a vu lors de l'introduction générale, le premier objectif de notre travail consiste à reconstruire une rampe d'irrigations par le dessin d'une rampe pivotante et de ces éléments constitutants et par son assemblage. Par la suite, nous allons analyser son comportement mécanique sous différentes sollicitations.

Pour réaliser ceci, nous utilisons le code de calcul Ansys* spécialisé dans le calcul non linéaire des structures, ce code est basé sur la méthode des Eléments Finis, couramment employée pour l'analyse des structures à des géométries et à des lois de comportement ou chargements complexes.

Le chapitre présent a pour but de modéliser et à définir les différentes entrées, concernant la structure et les chargements qui seront utilisées pour le calculer de la structure. Les procédures d'analyse et les résultats obtenus seront présentés à la fin du chapitre.

1.2 Présentation des paragraphes

Un premier paragraphe est consacré à la présentation de la modélisation des éléments constituant de la travée et de la tour. Il comporte trois étapes principales

- Le choix des éléments.
- La définition des conditions d'appuis et de liaison.
- La détermination du maillage.

Dans le paragraphe suivant, nous présentons les modèles des différents chargements auxquels

la structure peut être soumise.

- définition des principales actions mécaniques qui s'exercent sur la structure.
- détermination des chargements par combinaison des différentes actions.

2- CARACTERISTIQUES DE LA MATIERE PREMIERE UTILISEE POUR LA CONSTRUCTION DU PIVOT

2.1 Matériau

Tous les éléments de la travée et de la tour étudiés sont en acier galvanisé. Celui-ci est pour la plupart des éléments un acier courant de limite d'élasticité 20 daN/mm². Seuls les tirants sont constitués d'un acier à plus haute résistance, de limite d'élasticité 30 daN/mm².

2.2 Sections

A titre indicatif, nous avons rassemblé dans le Tableau 4.1 ci-dessous les informations concernant les sections des différents éléments de la travée étudiée.

	Description	Epaisseur :e (mm)	Dimension (mm)	Longueur
Tube principale	Circulaire creuse	2.5	D=159	5850
Tube finale				5845
Tube de port à faux				
Tirant 1 Tirant 2	Circulaire Pleine		D=20	5825 5540
Cornière Transversale et Oblique	Forme L Cotes égales	5	W = 45	1115 1530 1805 1945
Tube de compression	Circulaire creuse	5	D = 62.5	4325
Marche	Forme L Cotes égales	4	W =40	480 805 1500
Montant	Forme L Cotes égales	8	W = 80	3275
essieux	Circulaire creuse	8	D = 162	4200

*Tableau.4. 1 : Caractéristiques des sections des éléments de la travée et de la tour
D diamètre extérieur, W : longueur.*



Fig.4.1

Remarque:

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.

3-MODELISATION DE LA STRUCTURE

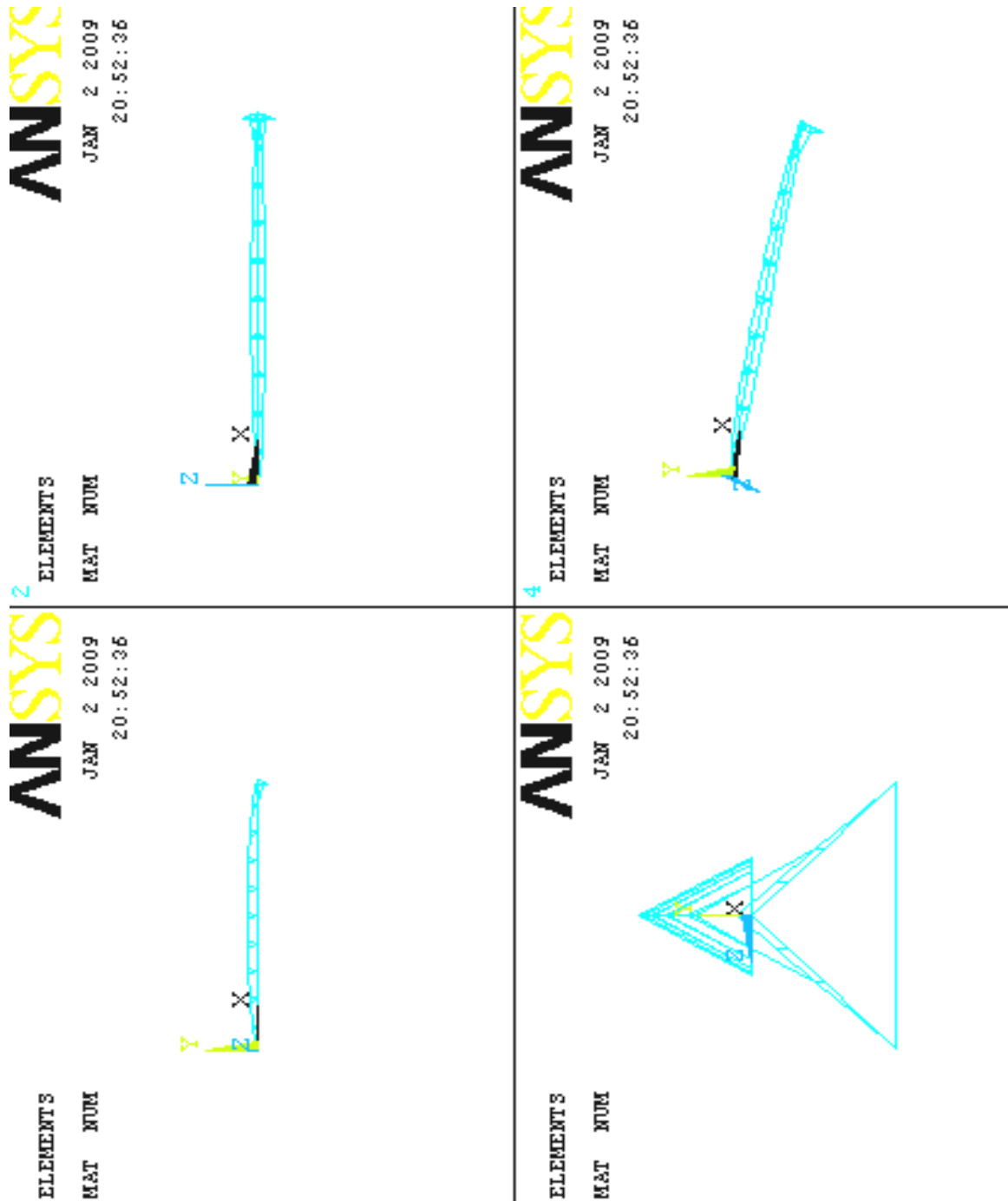


Fig.4.2: Visualisation du pivot modélisé pour le calcul en élément finie (de face, de dessus, de droite et en perspective).

3.1 Choix des éléments

On peut dire que la travée comporte essentiellement la canalisation principale, des cornières et les tirants. Avant de passer au calcul nous devons choisir un modèle pour la structure qui traduit fidèlement la forme et la fonction de chaque constituant. De plus il faut choisir aussi pour chaque constituant l'élément adéquat pour le calcul en éléments finis.

- Pour la canalisation

Pour modéliser la canalisation, la bibliothèque d'éléments propose deux sortes d'éléments de tube : des éléments de type PIPE, dont la section reste toujours circulaire ; et des éléments de type ELBOW, dont la section peut s'ovaliser. La classification des sections proposée par l'Eurocode 3 [7] permet de constater que le rapport diamètre extérieur / épaisseur de la canalisation étudiée permet donc de choisir les éléments de type PIPE tridimensionnels à interpolation linéaire.

- Pour les autres éléments de la structure

Les autres éléments de la structure sont modélisés par des éléments de poutres tridimensionnels à interpolation linéaire basés sur le modèle de timoshenko. Chaque nœud de la structure possède six degrés de liberté : trois de translation et trois de rotation. Soit R le repère global définie par les axes 1, 2 et 3 dans le quel est considérée la structure :

3.2 Conditions d'appuis et de liaisons

3.2.1. Notations

La structure repose sur le sol par l'intermédiaire des deux roues de la tour. Ces dernières n'étant pas prises en compte autant que telle dans notre modèle, mais plutôt comme deux points d'appui correspondant donc aux deux pieds de la tour. Ces deux points sont dans la suite notés A1 et A2 (Fig.4.3).

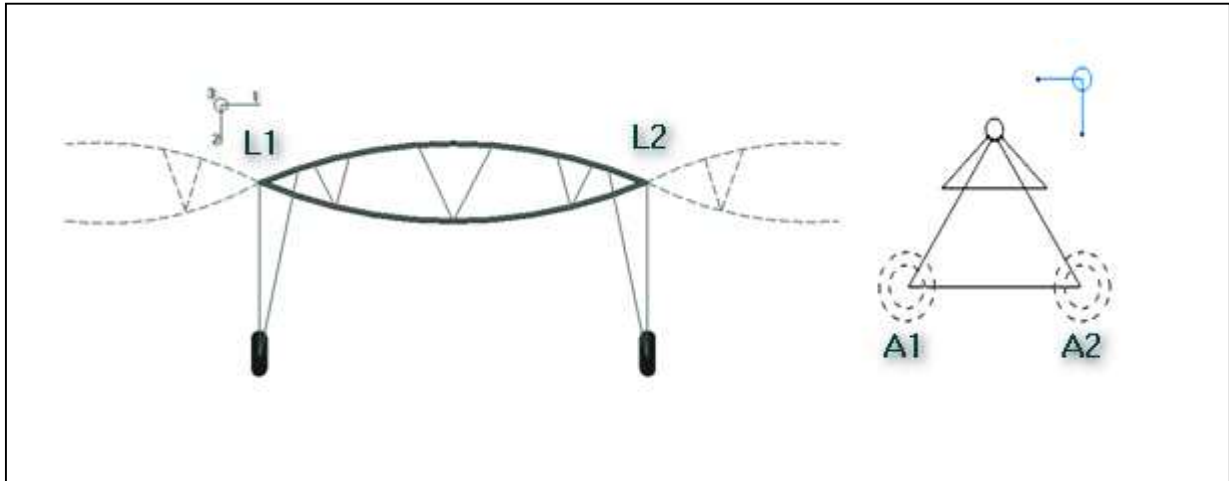


Fig.4.3 : Position des points d'appui et de liaison .Repère global associé à la structure

La travée comporte également, à chacune des extrémités de sa canalisation, deux points de liaison avec les structures adjacentes. Ils sont notés par la suite L1 et L2 suivant qu'ils se situent respectivement du côté de l'unité centrale ou bien du côté de la tour (Fig.4.3).

Chaque nœud de la structure possède six degrés de liberté : trois de translation et trois de rotation. Soit R le repère global (défini par les axes 1, 2 et 3) dans lequel est considérée la structure . Pour un nœud i, on note alors (Fig.4.3):

- $U_1(i)$, $U_2(i)$ et $U_3(i)$ les trois degrés de liberté de translation suivant respectivement les axes 1,2 et 3 du repère global R;
- $\varnothing_1(i)$, $\varnothing_2(i)$ et $\varnothing_3(i)$ les trois degrés de liberté de rotation autour respectivement des axes 1, 2 et 3 du repère global R.

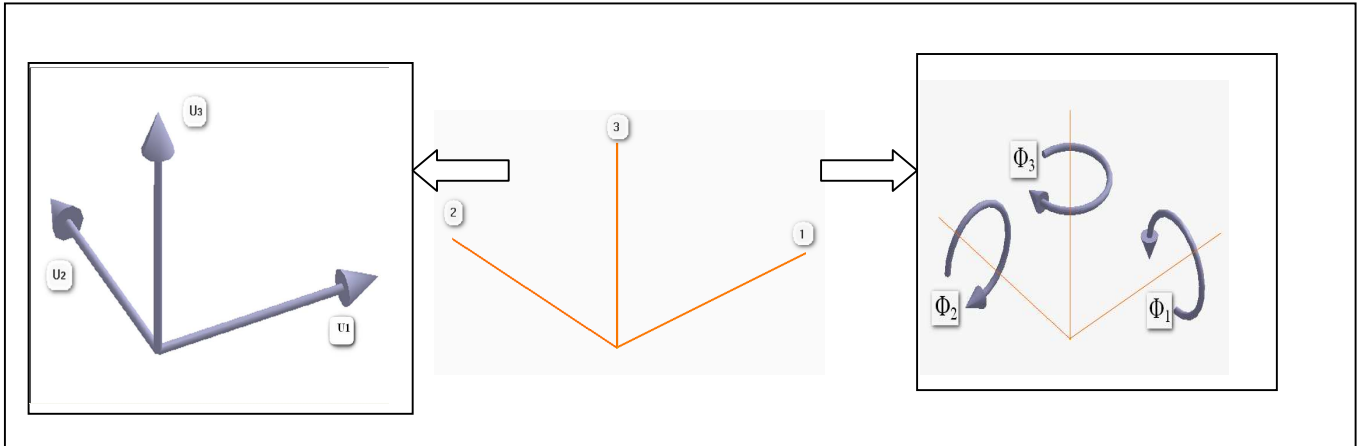


Fig.4.4 : Degrés de liberté associés à chaque nœud

3.2.2 Conditions d'appuis

Au point A_1

Le déplacement suivant l'axe 3 est bloqué par le sol. Les déplacements suivant les axes 1 et 3

sont eux laissés libres pour tenir compte de la présence de la roue. Les rotations sont toutes laissées libres, soit en raison de la nature propre des roues, soit pour tenir compte de la souplesse des pneus. En résumé:

Translations	{	$U_1(A_1): \text{libre}$ $U_2(A_1) = 0$ $U_3(A_1): \text{libre}$	{	Rotations	{	$\Phi_1(A_1): \text{libre}$ $\Phi_2(A_1): \text{libre}$ $\Phi_3(A_1): \text{libre}$
---------------------	---	--	---	------------------	---	---

Au point A_2

On impose les mêmes conditions que pour le premier point d'appui, exception faite du déplacement suivant l'axe 2 qui est bloqué pour éviter la rotation d'ensemble du modèle:

Translations	{	$U_1(A_2): \text{libre}$ $U_2(A_2) = 0$ $U_3(A_2) = 0$	{	Rotations	{	$\Phi_1(A_2): \text{libre}$ $\Phi_2(A_2): \text{libre}$ $\Phi_3(A_2): \text{libre}$
---------------------	---	--	---	------------------	---	---

3.2.3 Conditions de liaisons

Nous adoptons les conditions de liaison de la travée qui autorise les rotations autour des axes 2 et 3 et interdit la rotation autour de l'axe 1. Rappelons que pour les rampes comportant plusieurs travées, la liaison entre elles est assurée par un accouplement de type cardon. Donc cette condition est valable pour la travée extérieure (celle qui initie le mouvement).

Au point L_1 :

$\mathbf{Translations} \left\{ \begin{array}{l} U_1(L_1) = 0 \\ U_2(L_1) = 0 \\ U_3(L_1) = 0 \end{array} \right.$	$\mathbf{Rotations} \left\{ \begin{array}{l} \emptyset_1(L_1) = 0 \\ \emptyset_2(L_1): \text{libre} \\ \emptyset_3(L_1): \text{libre} \end{array} \right.$
---	--

Au point L_2 :

$\mathbf{Translations} \left\{ \begin{array}{l} U_1(L_2): \text{libre} \\ U_2(L_2) = \text{libre} \\ U_3(L_2): \text{libre} \end{array} \right.$	$\mathbf{Rotations} \left\{ \begin{array}{l} \emptyset_1(L_2): \text{libre} \\ \emptyset_2(L_2): \text{libre} \\ \emptyset_3(L_2): \text{libre} \end{array} \right.$
--	--

3.3 Maillage

Nous effectuons dans un premier temps un maillage "intuitif" de la structure. Celui-ci comporte tous les points nécessaires à la définition de la géométrie (points de raccordement de deux ou plusieurs éléments, points d'appui et de liaison).

Le maillage final de la structure est obtenu suivant une procédure classique de raffinement du maillage initial : pour chaque ensemble d'éléments, le maillage est augmenté de façon régulière jusqu'à la convergence de la contrainte de Von Mises maximale, la structure étant chargée de façon représentative. Pour la canalisation par exemple, on constate que la contrainte de Von Mises maximale, augmente fortement jusqu'à 200 éléments, et ne varie plus significativement au delà de 800 éléments (Fig.4.5).

Le maillage correspondant est donc retenu comme maillage final du tube. Le maillage de la structure comporte finalement et en tous 2072 éléments. La figure 4.6 propose les différentes vues du modèle de calcul correspondant: vue de profil, de dessus, de droite et en perspective.

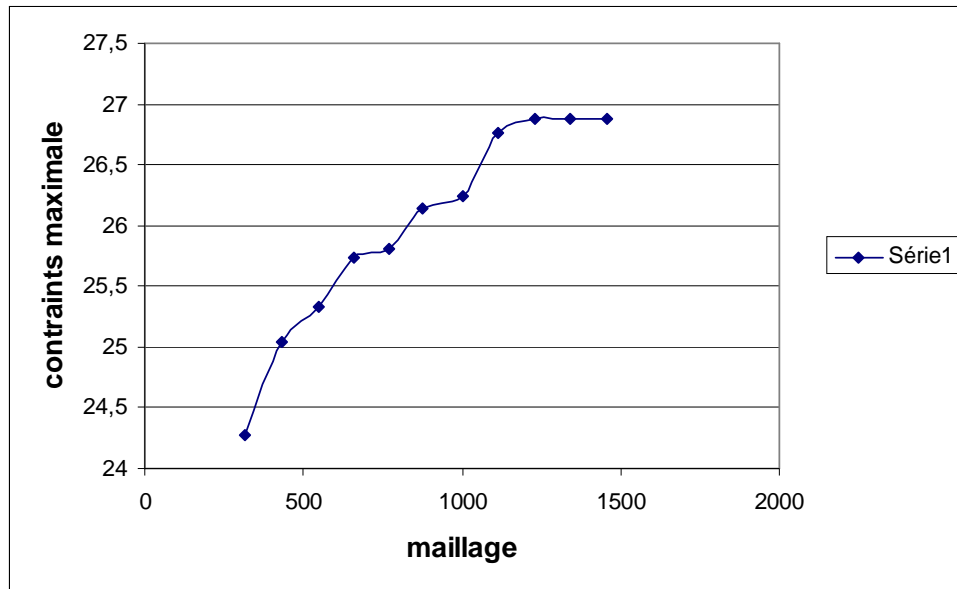


Fig.4.5

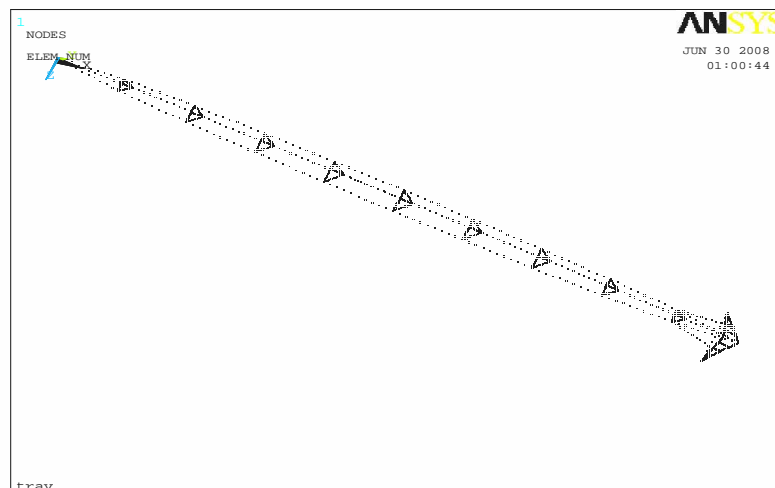


Fig. A1 Modèle d'une travée+tour pour le calcul en éléments finis.

4. MODELISATION DES CHARGEMENTS

Les actions mécaniques que subisse la rampe sont essentiellement ;

- Le poids propre de la rampe
- Le poids de l'eau d'irrigation
- L'effort du au vent
- L'effort de ripage

4.1 Poids propre de la structure

Le code de calcul Ansys ne prend pas automatiquement en compte le poids propre de la structure. C'est donc la première sollicitation que nous avons à définir.

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 linéaire est calculée pour chaque élément grâce à la formule suivante:

$$p = \rho \cdot g \cdot S \quad (1)$$

Où: ρ est la masse volumique du matériau ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$),
 g est la constante de gravité ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$),
 S est la section de l'élément (m^2).

Le Tableau 4.2 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 $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ et $7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

	Travée			Tour mobile			
	Tube	Cornières	Tirants	Tubes de compression	marches	Montants	essieu
Poids propre [kg/m]	94.51	32.69	24.15	69.45	23.08	24.15	155.56

Tableau.4. 2 : Poids propre des différents éléments de la travée.

Remarque:

Les roues n'étant pas modélisées, 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.

4.2 Poids de l'eau contenue dans la canalisation

En service, l'eau servant à l'irrigation circule dans le tube. La longueur de ce dernier (62 mètres), par rapport aux autres chargement de la rampe pivotante, 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:

$$P_e = \rho_e \frac{\pi D_i^2}{4} \quad (2)$$

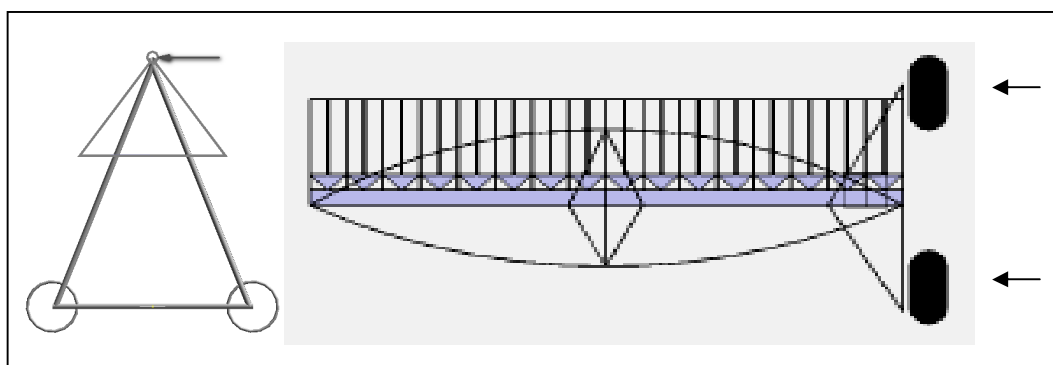
Le poids de l'eau ($202 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$) s'avère quasiment 2 fois supérieur au poids propre du tube.

4.3 Action du vent

La troisième action pouvant s'exercer sur les pivots est celle du vent. Pour déterminer ses différentes caractéristiques, nous appliquons le règlement français de 1965. Usuellement désignée sous le sigle NV65, qui définit les effets du vent sur les constructions [9].

- Direction et sens du vent

La structure étant spatiale, la direction du vent doit être définie dans deux plans différents. Pour aller dans le sens de la sécurité, on choisie la direction la plus défavorable. Comme le représente la figure 4.7 suppose le vent toujours dirigé horizontalement (même pour un terrain en pente).



**Fig.4.7 : Représentation schématique de la modélisation de l'action du vent.
Vue en coupe (gauche) et vue de dessus (droite).**

La deuxième direction est définie comme celle pour laquelle le maître-couple de la structure défini comme la projection orthogonale de la structure sur un plan normal à la direction du vent, est maximal (Fig.4.7) [10].

En terrain plat, la symétrie de la structure nous laisse libre du choix du sens du vent.

- Points d'application.

Nous considérons que le vent est une charge uniformément répartie s'exerçant principalement sur le tube. Le treillis est pris en compte par la multiplication de l'intensité statique par un coefficient de majoration de 10 pour cent [1].

- Intensité statique.

Le calcul de l'intensité statique u du vent sur le tube fait intervenir le diamètre extérieur du tube D_e la pression dynamique q et le coefficient de traînée c :

$$U = 1,1 D_e q \quad (3)$$

Le calcul de la pression dynamique q comporte deux étapes principales [1].

- La détermination de la pression statique.
- La détermination de coefficients pondérateurs tenant compte et des la plus grandes dimensions de la structure.

En terme de vitesse, nous effectuons donc les calculs avec une intensité correspondant, à une situation de vent 'normal' de 140 km/h (celui d'un vent extrême peut atteindre les 180 km/h).

Le calcul du coefficient aérodynamique 'C' se fait à l'aide des normes NV65, en considérant le tube comme une construction prismatique à base circulaire.

Nous adaptons ici des valeurs utilisées dans un autre travail et qui donne l'intensité statique et par l'utilisation des coefficients de majoration, Il estime les actions dynamiques du vent. Ces coefficients sont fonction de la géométrie de la structure. L'intensité dynamique dans notre cas est estimée à 100 N.m^{-1} pour un vent de 140 km/h .

4.4 Efforts de ripage

Le déplacement des travées engendre au niveau du point de contact entre les roues et le sol l'apparition de réactions du sol que l'on désigne sous le nom d'efforts de ripage ou encore d'efforts de sillon. Spécifiques aux rampes pivotantes, les différentes caractéristiques de ces actions sont actuellement définies par la préforme européenne [PRE 96] réglementant entre autres le calcul des pivots [8].

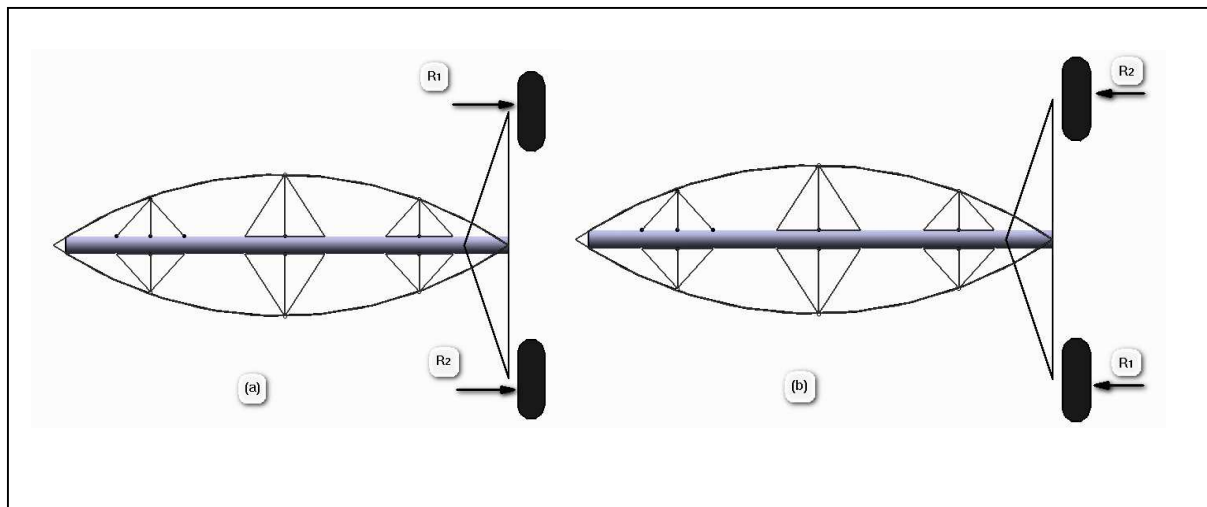


Fig.4.8: Modélisation des efforts latéraux.

(a) ripage de type 1 (R1), (b) ripage de type 2 (R2)

Considérés comme deux actions semblables, s'exerçant de façon ponctuelle sur les roues, dirigés parallèlement au tube de la rampe 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). Leurs intensités respectives sont de 2500 Newtons [1].

5 - CAS DE CHARGEMENTS À CONSIDERER POUR LES CALCULS DU COMPORTEMENT DE LA STRUCTURE

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 et arrose), ou bien hors service. Pour une travée hors service, deux actions interviennent: le poids propre de la structure et le vent. Après la mise en service, deux autres actions viennent s'y ajouter: le poids de l'eau et le ripage (encore appelé effort latéral).

Le tableau suivant rassemble les informations concernant les sections des différents éléments de la travée étudiée.

Eléments	Description	Epaisseur mm	Dimensions
Tube	Circulaire creux	2.5	$D_{ext}=159$ $D_{int}=155$
Tirants	Circulaire pleine	-	20
Cornières	Forme L ailes égaux	e = 5	45
Tube de compression	Circulaire creux	e = 5	62.5
Montants	Forme L Cotes égaux	e = 8	40
Marches	Forme L Cotes égaux	e = 4	40
Essieu	Circulaire creux	e = 8	D = 165

Tableau.4. 5 : Différents constituants du pivot

Suite à ce qui a été avancé, il sera question de considérer et de calculer les sollicitations dans les cas de figures suivants :

- ❖ **Cas 1** : la structure non chargée (pivot vide)
- ❖ **Cas 2** : structure vide avec vent
- ❖ **Cas 3** : la structure avec canalisation chargée en eau
- ❖ **Cas 4** : la structure avec canalisation chargée en eau avec des efforts de ripage
- ❖ **Cas 5** : la structure avec canalisation chargée en eau avec des efforts de ripage et soumis au vent.

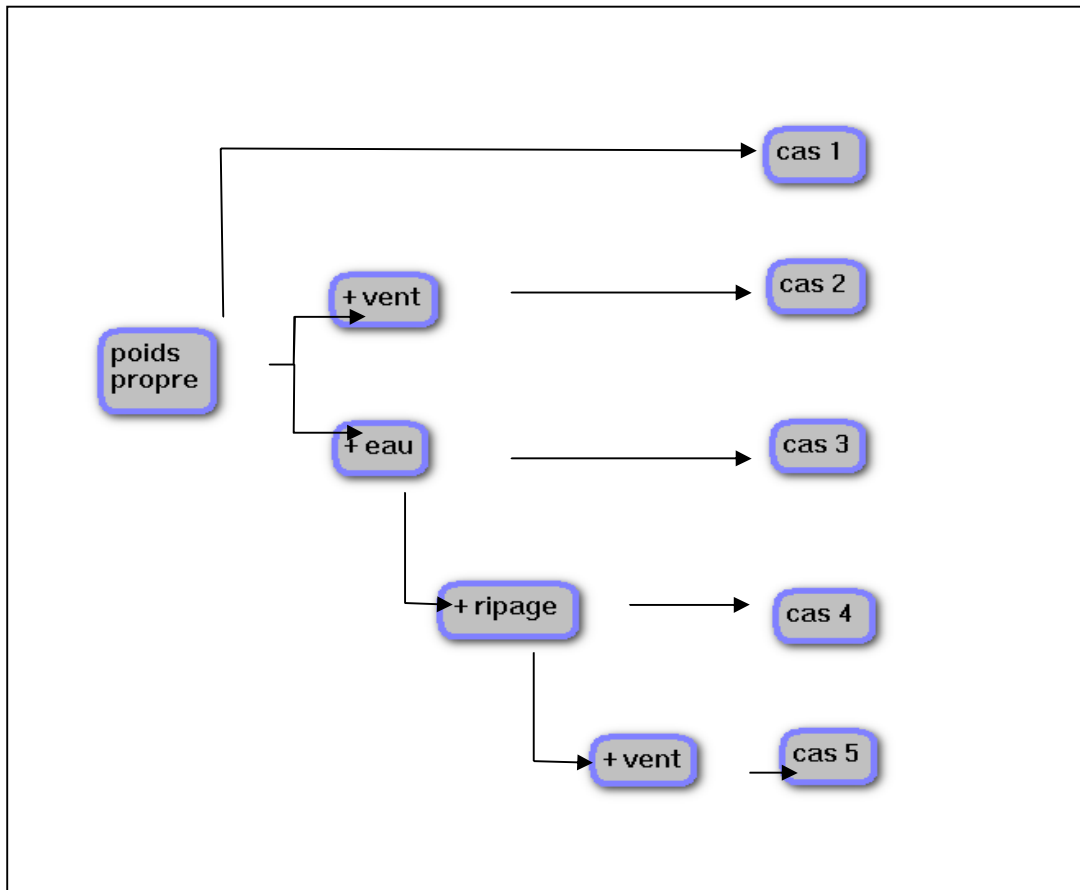


Fig.4.9: Organigramme récapitulatif des différents cas de chargements à considérer

Tous les éléments de la travée et de la tour sont en acier courant de limite d'élasticité 200 N/mm². Seul les tirants ont une limite d'élasticité plus élevée et de 300 N/mm². Le module de Young de l'acier est de $2.1 \cdot 10^7$ Pa et le coefficient de poisson est de 0.3 ; À partir des résultats obtenues nous calculons la contrainte de Von Mises maximales dans chaque élément, cette dernière est comparée à la limite d'élasticité du matériau.

6. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans ce qui suit, nous présentons successivement les résultats obtenus pour les quatre ensembles d'éléments de la travée et les quatre ensemble d'élément de la tour.

6.1 La flèche de la travée :

La première donnée concerne la déformation due à la déflexion du pivot. Cette information est présentée sur la Figure 4.10 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 300mm .

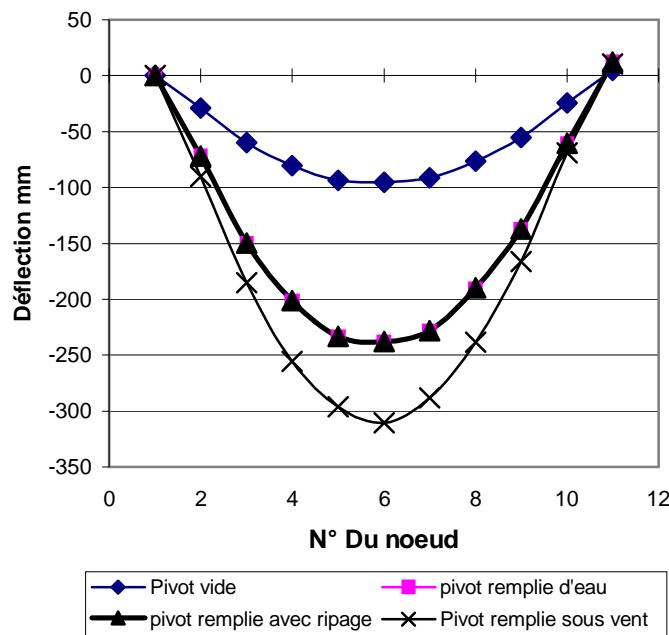


Fig.4.10 Valeur de la déflexion du point le plus bas du pivot

6.2 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 Figure 4.11.

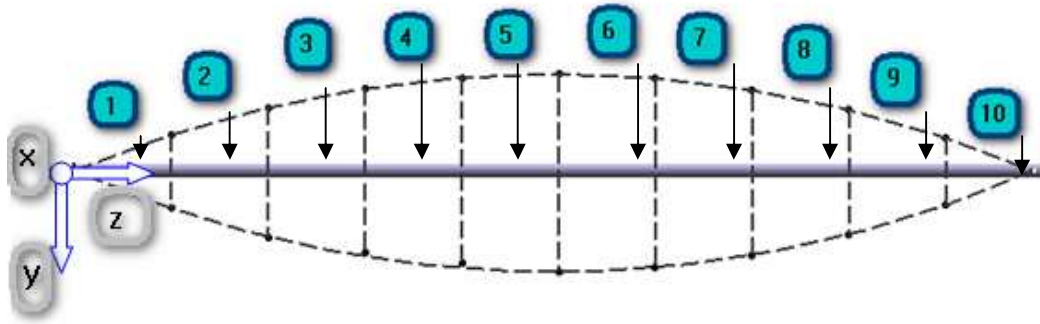


Fig.4. 11 Numérotation des tubes de la canalisation d'une travée

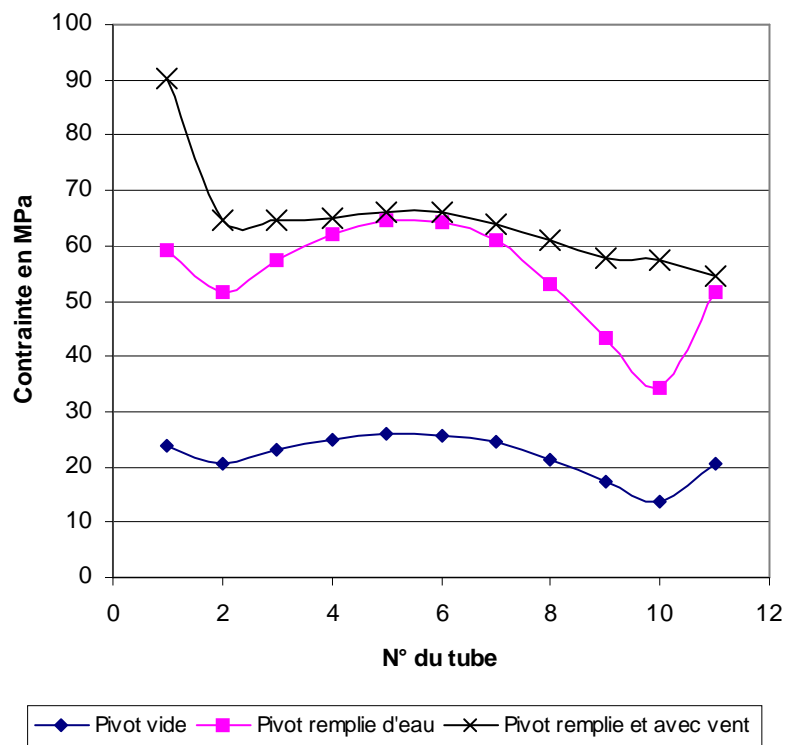


Fig.4. 12 Contrainte Maximale de Von Mises dans les tubes de la canalisation

Le graphique de la figure 4.12 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.

6.3 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 4.13.

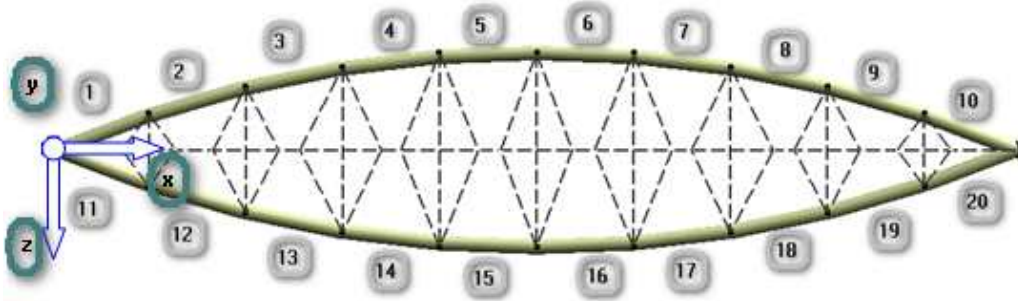


Fig.4.13 Numérotation des tirants d'une travée

Le graphique de la figure 4.14 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 craie une tension supplémentaire dans une ligne de tirant et relâche l'autre ligne du tirant la figure 4.15 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.

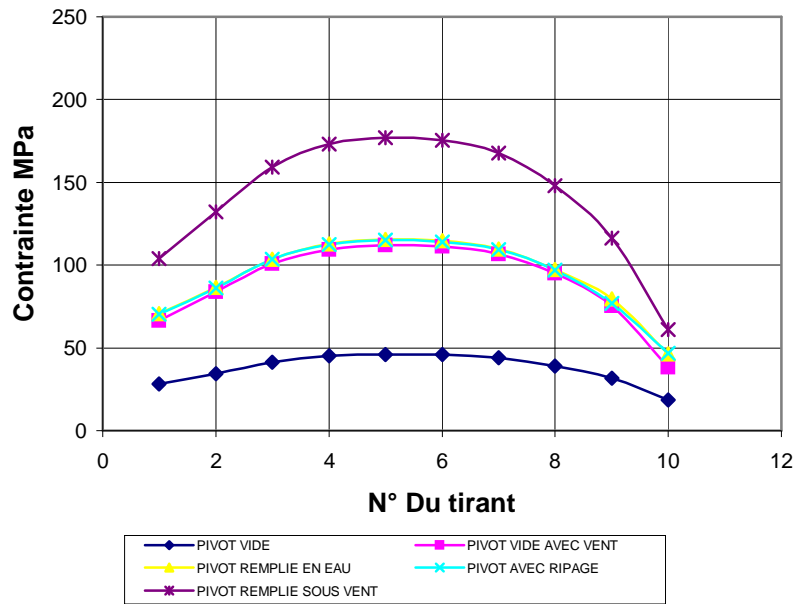


Fig.4. 14 Contrainte Maximal de Von Mises dans les tirants

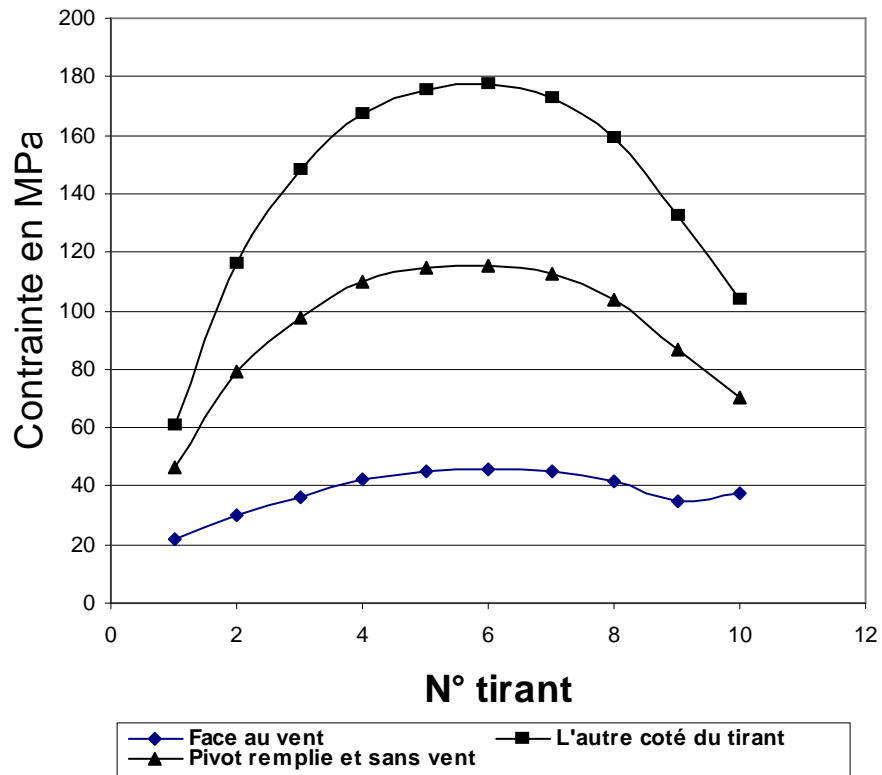


Fig.4. 15 Effet du vent sur les deux lignes de tirants

a/ Pivot remplie sans vent

b/ Pivot remplie d'eau et soumis au vent

6.4 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 4.16.

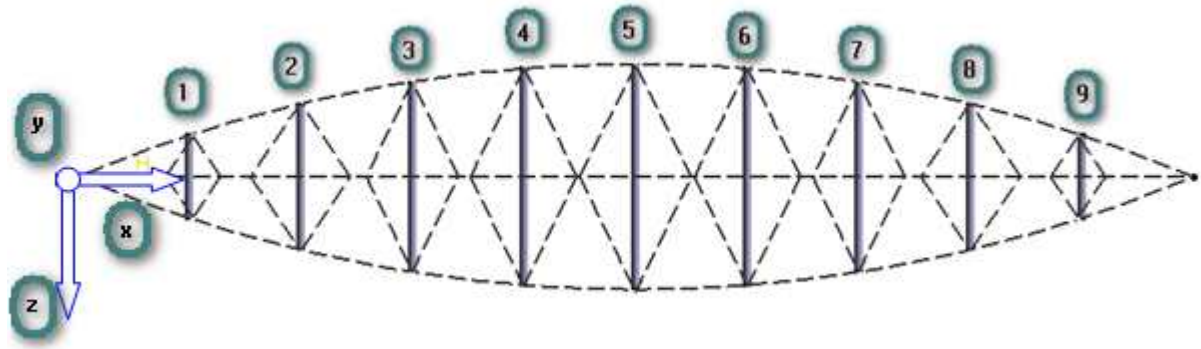


Fig.4. 16 Numérotation des cornières transversales d'une travée

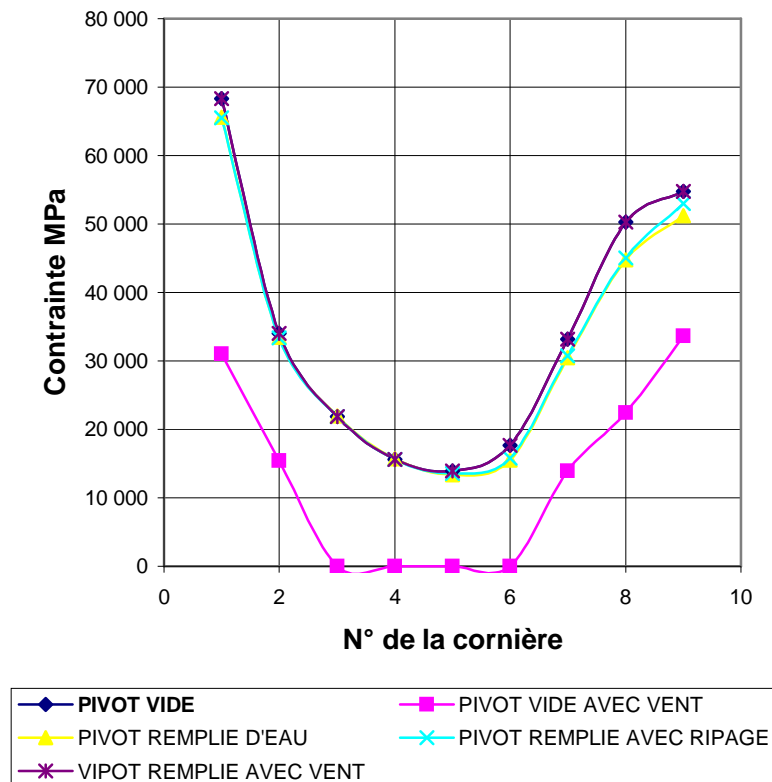


Fig.4. 17 Contrainte Maximale de Von Mises dans les cornières transversales.

Le graphique de la figure 4.17 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 sont les cornières obliques qui sont numérotées selon la figure 4.18. Nous allons considérer pour la présentation des contraintes qu'un seul coté pour des raisons de symétrie et pour illustré mieux l'évolution des contraintes dans ces éléments.

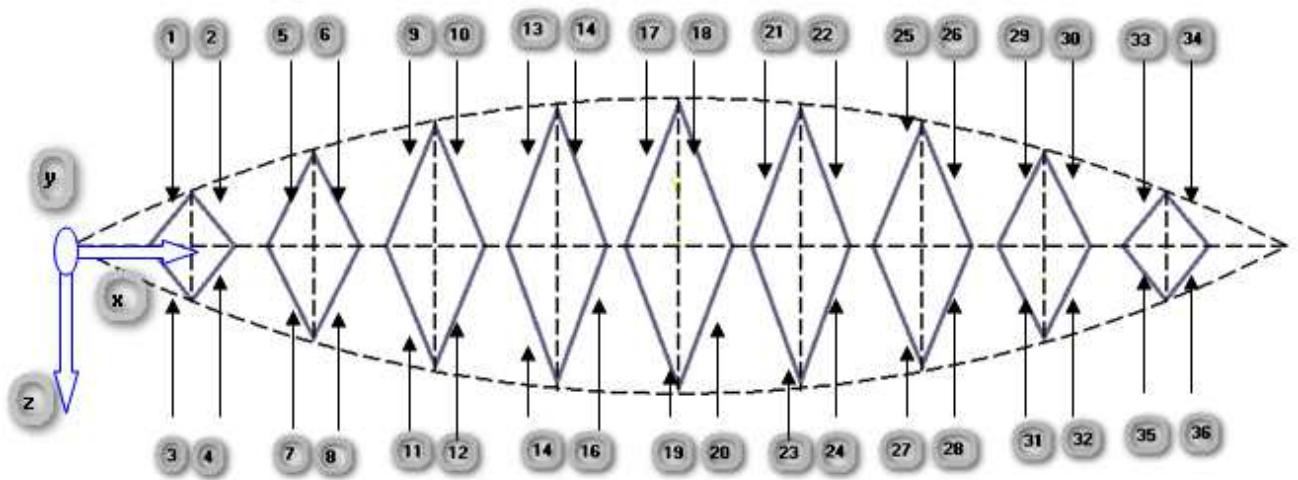


Fig.4. 18 Numérotation des cornières obliques d'une travée

L'histogramme de la figure 4.19 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.

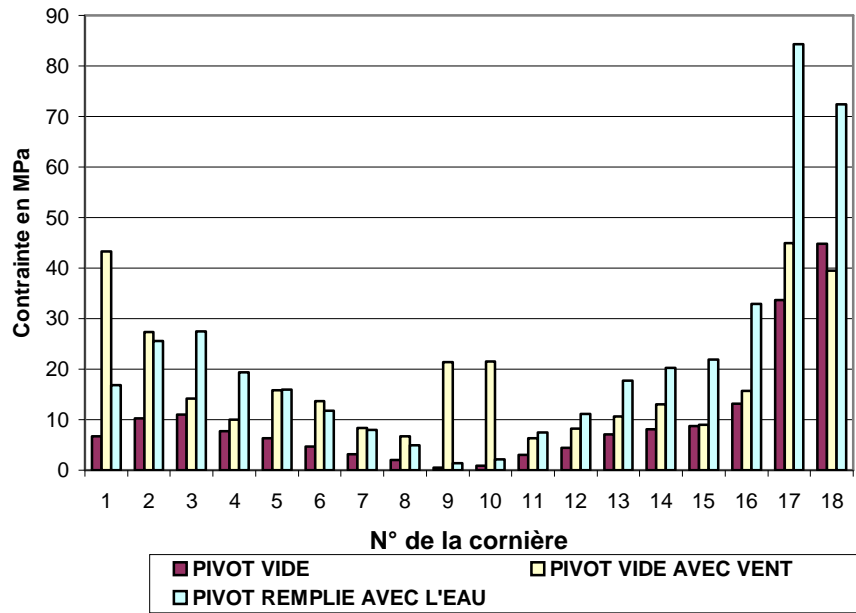


Fig.4. 19 Contraite Maximale de Von Mises dans les cornières obliques.

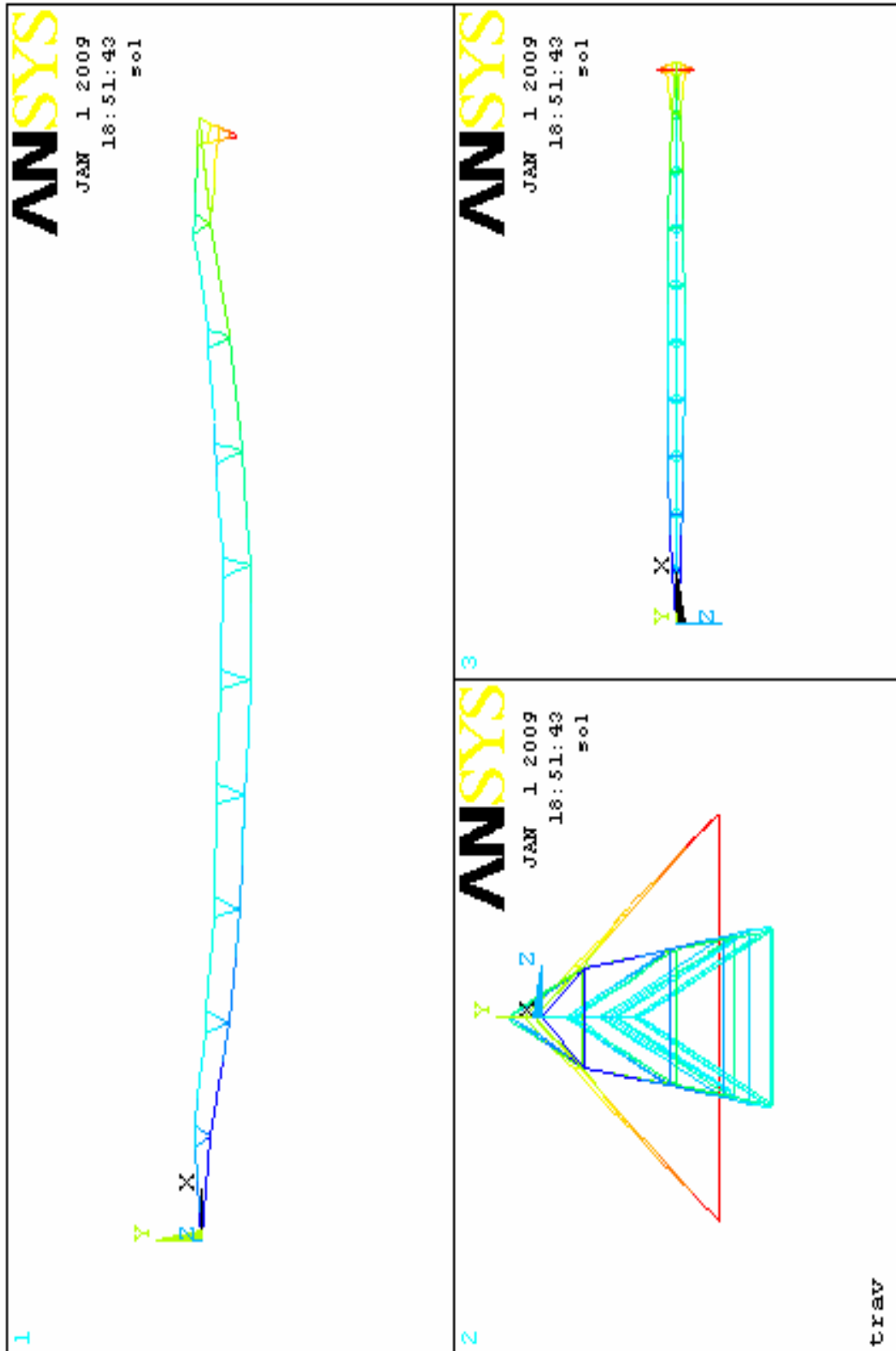


Fig.4.20 Cas de la structure non chargée (poids propre).

7. LES CONTRAINTES ENGENDREES POUR LA COURBATURE DE LA CANALISATION DE LA TRAVEE :

7.1 Les contraintes dans les tubes :

Nous avons évoqué lors du chapitre concernant la conception du pivot le problème lié à la forme en arc de la canalisation de la travée. Les plans utilisés par le producteur et les tubes produits ont des brides perpendiculaires aux tubes. Par conséquent, un assemblage de tubes donne une ligne droite. La courbature de la canalisation est là due à une déformation élastique de la structure par l'ensemble des cornières et des tirants. En effet, les dimensions et la disposition de ces éléments sont choisies pour permettre l'obtention de cette forme.

Ceci pose une importante question relative à l'évaluation des niveaux de contraintes dû à cette déformation imposée à la structure.

Dans cette partie nous avons calculé les contraintes engendrées dans la canalisation en considérant deux cas ; Dans le premier cas toute canalisation est considérée comme un seul tube. Dans le deuxième cas on considère qu'une partie représentative et pour des raisons de symétrie on va choisir deux demi tubes assemblés par deux brides.

Premier cas :

La figure 4.21 présente la ligne de la canalisation assemblée et non déformée. Sa déformation lui donne une forme d'un arc de cercle. Les paramètres de cette forme sont obtenus à l'aide de l'outil CAO.

A partir de la géométrie obtenue par la CAO, on impose au tube un déplacement aboutissant à la déformation correspondante à la courbature du tube voir figure 4. 22.



Fig.4.21 La canalisation entière d'une travée non déformée.

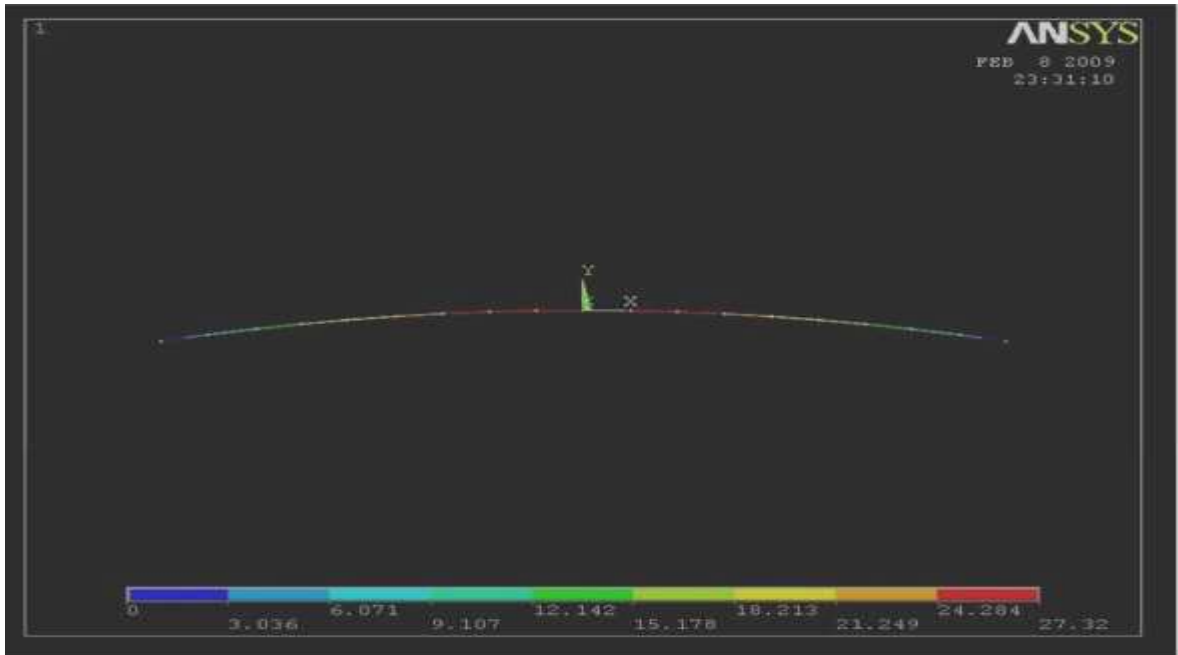


Fig4.22 la déformation correspondante à la courbature du tube.

Les contraintes équivalentes de Von mises engendrées par cette déformation sont présentées sur le graphique de la figure 4.23 La courbe de la contrainte de Von mises donne une contrainte maximale 27 Mpa. D’après nos calculs cette contrainte maximale est équivalente à la contrainte maximale dû au poids propre de la structure. Elle vaut pratiquement 40% de la contrainte maximale dans la canalisation remplie d’eau.

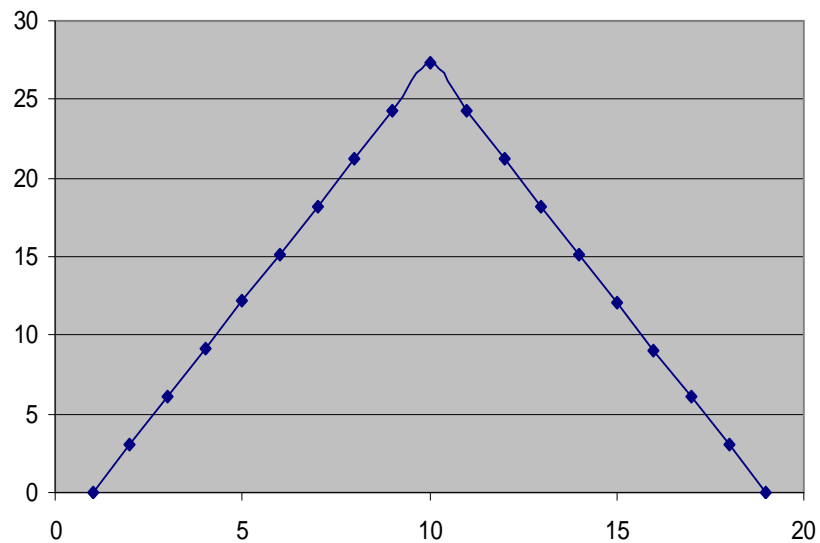


Fig.4.23 Evolution de la contrainte de Von Mises à la courbature de la canalisation.

Deuxième cas :

En ne modélisant que deux moitiés de tubes assemble au niveau des brides comme illustré sur la figure 4.24

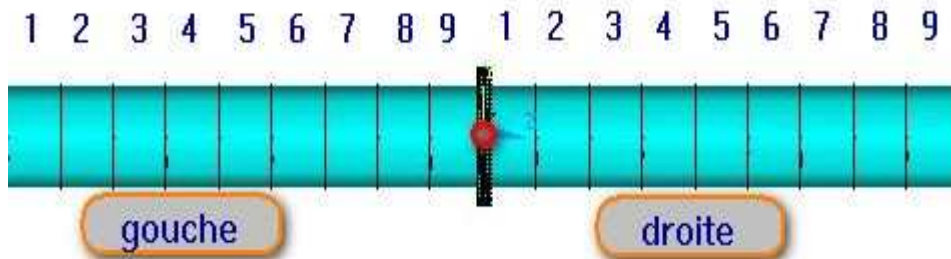


Fig.4.24 Deux tubes assembles au niveau des brides

On impose à ce modèle un déplacement en bout des tubes. Le déplacement est obtenue selon la géométrie du tube courbé voir figure 4.25. Ce dernier représente une condition au limite imposé au système et engendrant un état de contrainte rapporté sur le graphique de la figure 4.28.

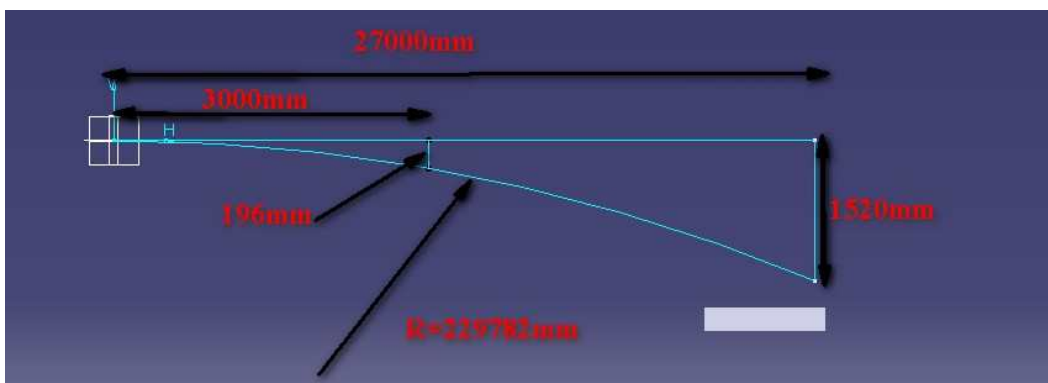


Fig.4.25 Déflexion du tube pour la longueur donnée.

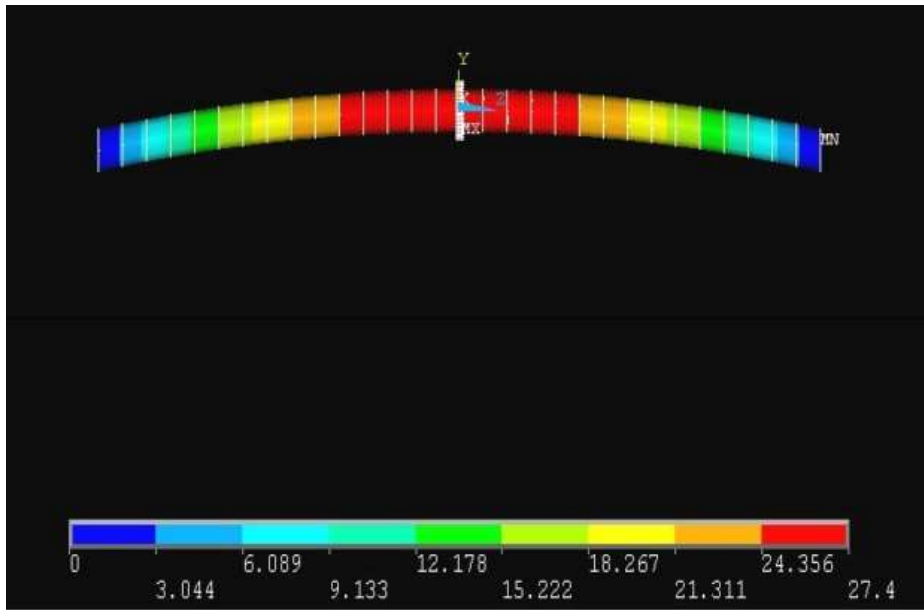


Fig.4.27 L'état de contrainte pour deux demi tube.

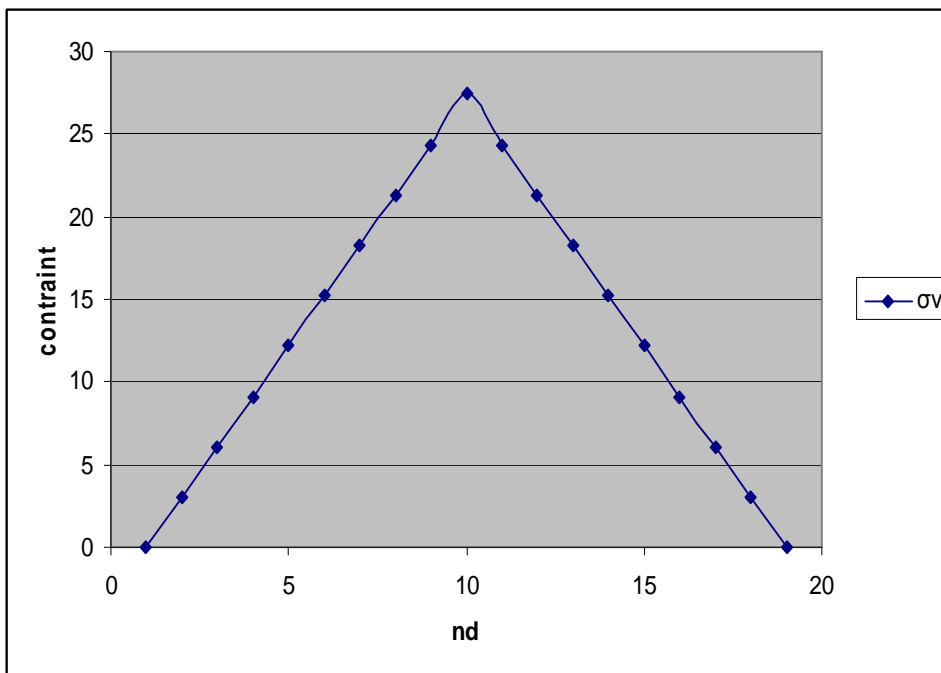


Fig.4.28 L'état de contrainte

La courbe de la figure 4.28 donne des niveaux de contrainte similaire aux valeurs obtenues en considérant toute la canalisation d'une travée.

7.2 Les contraintes dans les tirants :

En plus des contraintes dans la canalisation qui sont dus soumise à des efforts de courbature, et comme conséquence les tirants de leur part sont le siège d'une tension. En effet, la déformation élastique de courbature de la canalisation engendre des moments de rappels. Ces moments sont équilibrés par des efforts supportés par les tirants. Ces forces à leurs tours donnent des contraintes supplémentaires dans les tirants. Par l'utilisation des résultats de calcul cette force en bout de canalisation vaut :

$$F = -23876 \text{ N}$$

Cette force est partagée sur les deux lignes de tirant. Divisée par la section du tirant on obtient la contrainte de tension dans les tirants due à la déformation imposée au système et qui est de :

$$\sigma = -38 \text{ Mpa}$$

Pour éliminer ce problème on propose une légère modification au niveau de la disposition des brides. En effet, au lieu d'une disposition perpendiculaire de la bride par rapport à l'axe du tube il faut introduire un certain angle entre la bride et la perpendiculaire au tube selon la position du tube sur la canalisation. Du point de vu technologique cette idée peut être discuté avec l'industriel pour une éventuelle concrétisation. Cette modification dans la conception permet par un simple assemblage des différents tubes de la canalisation d'obtenir la forme en arc de la travée sans efforts de tension dans les tirants.

Il faut mentionner d'autre part que les contraintes engendrées par la courbature de la canalisation vont en sens contraire avec les contraintes dus au poids propre et au poids de l'eau, donc s'annulent mutuellement.

Par contre au niveau des tirants ces contraintes s'ajoutent et ne s'annulent pas mutuellement.

Dans tous les cas de figure cette partie de l'étude a permet de mettre de la lumière sur un aspect important précisément concernant ce point. Des réalisations réelles peuvent répondre de façon définitif à cette question.

CONCLUSION

CONCLUSION :

Un aspect d'une grande importance est traité dans ce travail ; Il s'agit d'une technique d'irrigation utilisée en agriculture qui est l'irrigation par pivot ou par rampe pivotante. Ce problème est d'une importance à plus d'un égard. Premièrement parce que l'agriculture est un secteur stratégique pour toute nation et son développement passe par le développement des techniques utilisées. Et deuxièmement parce que précisément cette technique est rationnelle et efficace dans l'utilisation de l'eau et permet des économies très importantes en matière d'eau, ressource rare en Algérie.

Le pivot est un appareil métallique mobile de grandes dimensions fonctionnant de manière automatique. Il est le sujet d'étude dans ce travail. Ce travail est de nature recherche développement. Cette étude entre dans le cadre d'une collaboration entre l'université et le secteur industriel. Sa finalité est de pouvoir améliorer et adapter le produit existant pour des besoins spécifiques à nos agriculteurs.

La première partie du travail concerne la conception de tous les constituants du pivot d'irrigation et leurs assemblages par le logiciel de conception mécanique. Ce but est réalisé selon les étapes suivantes:

- 1/ Réalisation de tous les éléments et constituants avec les dimensions réelles.
- 2/ Assemblage des principales parties du pivot (tour centrale –travée -tour mobile-port à faux) par la fonctionnalité d'assemblage.
- 3/ La construction du pivot entier avec les parties assemblées.

Lors de cette tâche plusieurs problèmes en relation avec l'utilisation de la CAO ont été rencontrés. Essentiellement ; 1/ des problèmes d'ordre géométrique. Ceci est dû à la forme spatiale de la structure étudiée et la diversification des pièces et de leurs emplacements. 2/ des problèmes liés à l'utilisation du logiciel lors de l'assemblage de ces parties. La confrontation et la résolution des problèmes posés a permis de clarifier des aspects techniques importants et utiles dans le développement futur du pivot. A l'aide du logiciel de la CAO des paramètres géométriques globaux de la forme du pivot ont été trouvés. En fin le pivot réalisé compte plus de 1225 pièces.

La deuxième partie du travail consiste à évaluer les niveaux de contraintes dans chaque constituant de la structure. Nous avons utilisé le code de calcul par éléments finis. Pour arriver à ce but, il fallait adopter une modélisation de la structure avec ces liaisons d'une part et une modélisation des différentes sollicitations imposées au pivot d'autre part. Cinq cas de chargements ont été considérés. On a trouvé que les effets majeurs sur les niveaux de contrainte sont surtout le poids propre, le poids de l'eau et l'effet du vent.

Par ailleurs, les éléments les plus sollicités de la structure par ordre décroissant sont respectivement ; les tirants, la canalisation et les cornières. Dans tous les cas les contraintes de Von Mises sont loin de la limite élastique. De plus quelques éléments seulement sont fortement sollicités. Cette étude permet de dire qu'il y a de forte possibilité d'optimisation et de modification de la structure et ce en redimensionnant plusieurs parties. La conjoncture économique oblige le constructeur à de tel démarche.

La quantité d'informations scientifiques techniques et technologiques rassemblées à l'issue de ce travail forme une base conséquente et une opportunité, associée au savoir faire de l'industriel, cela peut fructifier en réalisant de nouveaux équipements bénéfiques pour les agriculteurs en augmentant leur production à moindre coût d'une part, et pour l'industriel en proposant des produits plus compétitif d'autre part et finalement pour l'universitaire en rendant la science au service de la nation.

Références :

- [1] Eric Peyvieux, Analyse du comportement mécanique & optimisation de forme d'une travée de pivot d'irrigation, Thèse de doctorat, université Bordeaux I, 1997
- [2] www.anabib.com/irragris; le 12/09/2008 ;(les photos de pivot d'irrigation de l'entreprise de ANABIB).
- [3] www.irrifrance.com/23/11/2008_produits/rampes/sommaire.html - 11k - (les photos)
- [4] Les publication de CETIM, la bibliothèque du mécanicien, 2000,
- [5] [www.valley-fr.com /flash Brochure/ pdf.aspx?flash BrochureId34](http://www.valley-fr.com/flash_Brochure/pdf.aspx?flash_BrochureId34); le 23/11/2008 :(les photos d'autre pivot d'irrigation).
- [6] **Contraints d'Irrigation par Rampe Pivotante, Etat des Lieux et Proposition D'Amélioration**, Thèse de magister en agronomie, Institut National Agronomique El-Harrach Alger 2003.
- [7] Eurocode 3, calcul des structures en acier, AFNOR, CTICM, 1992
- [8] Règles de calcul des constructions en acier, CTICM, Eyrolles, 1966.
- [9] Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions, Eyrolles, 1990.
- [10] Résistance des matériaux édition 1992 de l'école POLYTECHNIQUE DE MONTREAL ; de **André BAZERGUI, Thang BUI-QUOC, André BIRON. Georges MCINTYRE, Charles LABERGE.**
- [11] ANABIBE entreprise nationale de tube et de transformation des produit plats,
(les dessins et les dimensions des pièces).
- [12] Analyse des structures et milieux (**T.G.C. Vol. 6**) ; Méthode des éléments finis, 2001 ; **François Frey, J. Jirousek.**
- [13] www.epita.fr/files/ le 08/09/2008 ; **Concours_2003/epreuve_ sciences _indus-2003**

Résumé :

La technique d'irrigation par rampe pivotant est une technique fortement mécanisée permettant la couverture de très grandes surfaces. Elle offre une excellente efficacité et une économie dans l'utilisation de l'eau. Les pivots d'irrigations sont produits en Algérie par une entreprise nationale. Ce travail est de nature recherche développement en collaboration avec cette industriel. Il consiste en deux grandes parties.

La première partie est la conception du pivot par l'utilisation de la CAO, en partant de tous ses pièces constitutives (1225 pièces) jusqu'à leurs assemblages pour obtenir la structure complète. Ceci nécessite la confrontation de nombreuses difficultés liées à la complexité géométrique de la structure elle même ou dû à l'utilisation du logiciel de la CAO.

La deuxième partie utilise La méthode des éléments finis comme moyen de calcul de cette structure. Elle démarre par la modélisation de la structure du pivot, le choix d'éléments représentant chaque constituant, le choix des conditions aux limites et la modélisation des différentes sollicitations imposés au système en fonctionnement. Les résultats obtenus ont permis d'évaluer pour la première fois les déformations et les contraintes de la structure en sollicitation.

Le fruit de ce travail que ce soit la conception par la CAO du pivot ou les résultats obtenus par la méthode des éléments finis sont mis à la disposition de l'industriel. Il sert de base pour le développement et l'amélioration de nouveaux produits et concrétise un partenariat entre l'université et l'industrie pour l'intérêt de l'économie nationale.

Mots clés : Pivot d'irrigation, modélisation, CAO, éléments finis, développement.

