

5/98

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT : GENIE INDUSTRIEL



PROJET DE FIN D'ETUDE

SUJET

**Contribution à l'amélioration de la qualité des tuyaux  
en béton précontraint FB  
Application aux produits de l'entreprise  
Hydro-aménagement**

Proposé par :

Mr. CHARAT

Etudié par :

Mr. A. LAMRI

Dirigé par :

Mr. T. LAMRAOUI  
Mr. A. OUABDESSELAM

Promotion 1997-1998

## ملخص

هذه الدراسة تمثل في : المساهمة في تحسين نوعية أنابيب الخرسانة المسلحة الإجماع "FB"، دراسة الأنابيب تمت على مستويين :  
- الأول تمثل في دراسة الواقع عن طريق المخططات المستعملة وتخصير نسب الأخطاء حسب مستوى ظهور تسرب الماء من الأنبوب، سمحت لنا بدراسة جزء طرف الأنبوب « mâle »

- الثاني تمثل في دراسة معمقة لأسباب الخلل وسمحت لنا بتتبع مراحل إنجاز الأنبوب ومراقبتها والوسائل المستعملة .

## Résumé

Notre objectif à travers cette étude consiste à la contribution de l'amélioration de la qualité des tuyaux en béton précontraint FB

L'étude du tuyau FB, à été effectuée à deux niveaux :

- Le premier étant l'étude de l'existant à travers les plans utilisés. L'établissement des taux de défauts d'après le niveau d'apparition des fuites d'eau sur le tuyau, nous a conduit à l'étude de la partie extrémité mâle du tuyau.
- Pour le deuxième niveau une étude approfondie des causes de cette anomalie, nous a permis de suivre les procédés de fabrication des tuyaux, leur contrôle et les moyens utilisés.

## Abstract

The aim of this study is the contribution for improvement the quality of pipes of precompel concert FB.

the pipe's study was executed at two levels:

- The first is a study of existent throughout plane's used, the establishment of rates of defaults from the appearance's of escape of water, in the pipe, we has handled for study the male's extremity of pipe.
- The second is a profound study of causes of this anomaly, we has permuted to be continued the process of manufactures of pipes, their control, means used.

## REMERCIEMENTS

Tous ceux qui nous ont aidés , de près ou de loin par leur soutien moral et physique trouvent dans ces quelques lignes l'expression de notre gratitude et nos sincères remerciements.

Nous sommes reconnaissants à Melle ABOUN, notre directrice du département génie industriel et envers tous les professeurs qui ont contribué à notre formation.

Profonde reconnaissance va à Mr. LAMRAOUI et Mr. OUABDESLAM, qui n'ont cessé de nous prodiguer aides et conseils tout au long de ce travail, qu' ils trouvent ici l'expression de notre haute considération

Nos remerciements vont également au Directeur des études et de planification Mr. CHAHRAT et au Directeur de l'unité béton Mr. HAMID ainsi que MOURAD , SAID , IZEDINE , ABDELKADAR , SAMIR, FIROUZ, AMALE, AHMED, HOCINE, SALIM, ainsi que tout le personnel de l'unité béton .

# Glossaire



**UB** : Unité béton.

**FB** : Fretté béton.

**FTI** : Fretté tôle incorporée.

**Pu** : Pression de l'essai en usine.

**Pc** : Pression de service dans le chantier.

**Précontraint** : C'est soumettre une construction, avant application des charges, à des forces additionnelles.

**Défaut sur le tuyau** : C'est la fuite d'eau qui se présente lors des essais hydrauliques.

**Banc-d'essai** : Banc-d'essai est une installation permettant de déterminer les défauts sur le tuyau lors des essais hydrauliques.

**Conforme** : Le produit satisfait les spécifications.

## SOMMAIRE



## Introduction

## CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

1- Description de l'entreprise Hydro-aménagement.....	1
1-1- Missions de l'entreprise. ....	1
1-2- Le patrimoine de l'entreprise.....	1
1-3- L'organisation de l'entreprise.....	2
1-4- Présentation de l'unité béton.....	3
1-4-1- Historique.....	3
1-4-2- Gamme de production.....	3
1-4-3- L'organigramme de l'unité béton. ....	5
1-4-4- Le département technique.....	6
1-4-5- Le laboratoire de contrôle de la qualité.....	7

## CHAPITRE II : LES TUYAUX PRECONTRAINTS

1- Introduction. ....	8
2- Description des tuyaux précontraints. ....	8
3- Tuyau FB .. ....	9
3-1- Description de tuyau. ....	9
3-2- Conception.....	10
3-3- La précontrainte. ....	10
3-3-1- La précontrainte transversale.....	10
3-3-2- La précontrainte Langitudinale.....	11
3-4- Les tensions dues à la poussée hydrostatique. ....	11
3-5- Les matériaux. ....	13
3-5-1- Le ciment.....	13
3-5-2- Le granulat.....	13
3-5-3- Les aciers de la précontrainte. ....	14
3-5-4- Le béton. ....	15
3-6- Processus de fabrication des tuyaux FB. ....	17
3-6-1- Organigramme de Processus de fabrication.....	21
3-7- Essais en usine.....	22
3-8- Tolérance d'implémentations. ....	22

## CHAPITRE III : QUALITE ET CONTROLE ;DEFINITION ET CONCEPTS

1- Qualité.....	23
1-1- Définition de la qualité.....	23
1-2- Qualité d'un produit.....	23
1-3- Caractéristiques de la qualité.....	25
1-4- Audit qualité. ....	26
1-5- Assurance de la qualité.....	26
1-6- Le cercle de la qualité.....	26
2- Le contrôle. ....	28
2-1- Définition du contrôle.....	28
2-2- Classification des contrôles.....	29
2-3- Les modes de contrôle.....	30
2-4- Le contrôle statistique en cours de fabrication.....	31
2-4-1- Pourquoi le contrôle statistique en cours de fabrication.....	31
2-4-3- Notion de variabilité.....	32
2-4-4- Les cartes de contrôle.....	33
2-4-5- Type de carte de contrôle.....	35
1- La loi normale.....	35
2- Carte de contrôle par mesure.....	36



## CHAPITRE IV : LE CONTROLE DE LA QUALITE DANS L'UNITE

1- Source d'information.....	38
2- Concept qualité dans l'unité.....	38
2-1- Contrôle de production.....	39
2-2- Contrôle de conformité.....	39
2-3- Contrôle de la qualité des tuyaux.....	39
3- Présentation de laboratoire de contrôle de la qualité.....	41
3-1- L'effectif du laboratoire. ....	41
3-2- Les matériaux et composants contrôlés.....	41
3-3- L'outil de contrôle.....	42
3-4- Les types de contrôle effectués par le laboratoire.....	43
3-5- Les normes utilisés par le laboratoire.....	43
4- Les plans de contrôle actuels.....	44
4-1- Contrôle de conformité des matériaux.....	44
4-1-1- Les essais de granulats.....	44
4-1-2- Les essais de ciment.....	45
4-1-3- Les essais de fil d'aciers.....	45
4-1-4- Contrôle de conformité du béton.....	46
4-2- Contrôle de production.....	48
4-2-1- Essais hydraulique des âmes tôles.....	48
4-2-2- Contrôle visuel.....	48
4-3- Contrôle de la qualité des tuyaux.....	48
5- Etude des plans de contrôle utilisés.....	50
5-1- Contrôle de conformité.....	50

5-1-1- Organigramme de contrôle de conformité.....	50
5-1-2- Les principales normes des essais des matériaux.....	51
5-1-3- Les critères d'acceptation de béton.....	52
5-2- Contrôle de la qualité des tuyaux.....	54
5-2-1- Organigramme de contrôle de la qualité des tuyaux.....	54
6- Etude des défauts dans les tuyaux FB.....	55
6-1- L'origine des défauts dans le tuyaux FB.....	56
7- Conclusion.....	59

## CHAPITRE V : ANALYSE DES CAUSES DU DEFAUT DES TUYAUX FB

1-Explication de l' anomalie.....	61
2-Explication de phénomène des fissures.....	61
3-Analyse des causes de défauts.....	62
3-1- Diagramme d'ISHIKAWA.....	62
4-Le plan d'action .....	65
4-1- La matière. ....	65
4-2- La main d'oeuvre.....	66
4-3- Les machines.....	67
5- Etude de la machine à fretter.....	69
6-L'utilisation des cartes de contrôle.....	72
6-1- La mise en oeuvre de la carte de contrôle pour les pas de spire.....	72
6-2- La mise en oeuvre de la carte de contrôle pour la force de tire.....	76
7-Conclusion.....	81

### Conclusion générale.

### Bibiographie

### Annexes

## **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

Dans le cadre de notre formation d'ingénieur nous sommes amenés à effectuer un projet de fin d'études , dans cet esprit, nous avons élaboré ce document portant sur la "contribution à l'amélioration de la qualité des tuyaux en béton précontraint FB", application aux produits de l'entreprise Hydro-aménagement.

La direction de cette entreprise a défini une stratégie globale d'amélioration de la qualité de l'un de ses produits : le tuyau de béton précontraint FB.

Les tuyaux FB ont connu un manque de suivi et d'identification des vraies causes de défauts lors des essais hydrauliques, ce qui a engendré les problèmes suivants :

- Augmentation des coûts de fabrication.
- Nombre élevé des tuyaux déclassés.
- Ecart important entre la production prévue et réalisée.

Le travail qui nous a été assigné, est un suivi en matière de qualité de tuyau FB. Pour atteindre notre objectif, nous avons effectué un stage de trois mois à l'unité béton, dans la quelle nous avons procédé à un diagnostic relatif au tuyau FB.

Le présent document est structuré comme suit :

- Au chapitre I, nous présentons l'entreprise Hydro-aménagement, l'unité béton et le laboratoire de contrôle de la qualité.
- Au chapitre II, nous donnons un aperçu sur le tuyau précontraint, son utilisation, sa description et son concept de fabrication.
- Le chapitre III est consacré à la qualité et au contrôle. Nous présentons en premier lieu, la qualité en définissant l'audit, l'assurance, ainsi que le cercle et les outils de la qualité. En deuxième étape les classifications et les modes de contrôle sont exposés en plus du contrôle statistique en cours de fabrication.
- Le chapitre IV est consacré à une présentation détaillée du laboratoire de contrôle de la qualité et à une étude des plans de contrôle utilisés, en faisant une analyse des défauts sur les tuyaux FB.
- Au chapitre V, après identification des défauts affectant le tuyau FB, nous traçons le diagramme d'ISHIKAWA relatif à ces défauts, et nous mettons en œuvre des cartes de contrôle relatives aux causes qui proviennent de la machine à fretter.

Nous terminons notre étude par des suggestions en vu d'améliorer la qualité des tuyaux FB.

## **CHAPITRE I**

### **PRESENTATION DE L'ENTREPRISE**

# CHAPITRE I

## PRESENTATION DE L'ENTREPRISE

### 1-Description de l'entreprise Hydro-aménagement :

Hydro-aménagement est une entreprise nationale, issue en 1985 de la société nationale SONAGTHER (société de grands travaux hydrauliques et d'équipement rural ).

#### 1-1- Missions de l'entreprise :

L'activité de l'entreprise s'étend sur tout le territoire national elle porte sur les :

- Travaux d'adduction en eau potable.
- Travaux d'irrigation.
- Travaux de transfert
- Travaux d'assainissement.
- Travaux de réalisations de réservoirs et stations de pompage.
- Production des tuyaux.

#### 1-2- Le patrimoine de l'entreprise :

L'entreprise exerce ces travaux à travers des unités opérationnelles.

- Unité UPC : unité de poste de canalisation (siège social à Rouiba).
- Unité UGH : unité de génie civil hydraulique (siège social à Reghaia ).
- Unité UB : unité béton de production des tuyaux (siège social à Rouiba ).

### 1-3- L'organisation de l'entreprise :

Le siège de Hydro-aménagement est constitué par des directions ayant un rôle vis à vis des unités citées ci-dessus, il s'agit de :

- ◆ Direction générale (DG).
- ◆ Direction centrale de la finance et de la comptabilité (DCFC ).
- ◆ Direction centrale d'administration (DCA ).
- ◆ Direction centrale d'étude et de la planification (DCEP ).
- ◆ Direction centrale de la logistique (DCL ).
- ◆ Direction centrale technique (DCT ).
- ◆ Unité de poste de canalisation (UPC ).
- ◆ Unité de génie civil hydraulique ( UGH ).
- ◆ Unité béton (UB ).

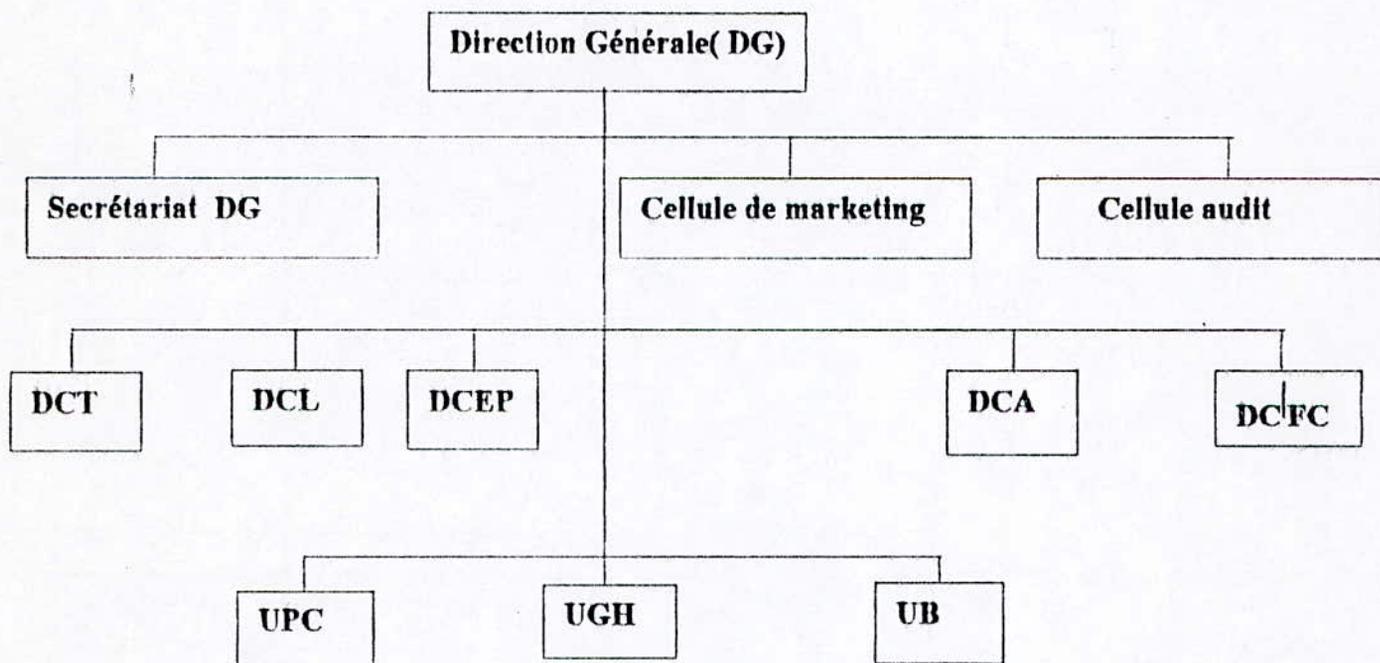


Figure I-1 : Organigramme de l'entreprise

## 1-4- Présentation de l'unité béton (UB) :

### 1-4-1- Historique :

L'unité béton (UB) de production des tuyaux précontraints, est située dans la zone industrielle de Rouiba, elle occupe une surface de 125000m<sup>2</sup>, et emploie un effectifs de 450 travailleurs .

Elle a été livrée par la compagnie Allemande (PFEIFFER) en 1985. Cette usine est destinée à la production des tuyaux précontraints de diamètre de 500mm à 2000mm.

### 1-4-2- Gamme de production :

L'unité dispose de 3 lignes de production livrées par la compagnie Allemande PFEIFFER : FTI (Fretté Tôle Incorporée).

Une quatrième ligne de production livrée par la compagnie Italienne CASAGRANDE: FB ( Fretté Béton).

Il est prévu de réaliser 24 tuyaux par chaque ligne de production.

L'unité est composée de 7 secteurs :

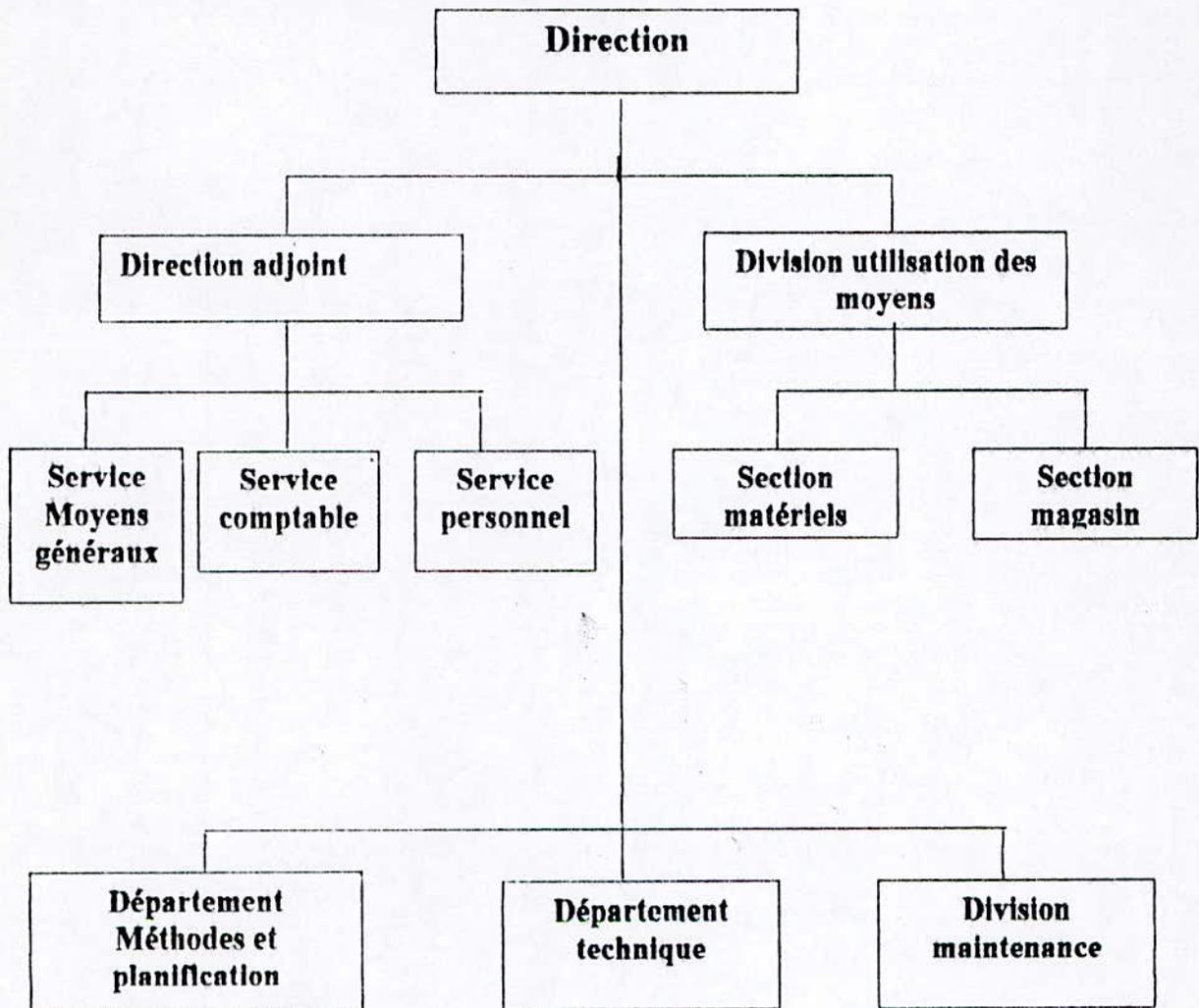
- ◆ Secteur n°: 100: atelier âme tôle (A).
- ◆ Secteur n°: 200: atelier des pièces spéciales (B).
- ◆ Secteur n°: 300: ligne n°: 1 FTI.
- ◆ Secteur n° : 400: ligne n°: 2 FTI.
- ◆ Secteur n°: 500: ligne n°: 3 FTI.
- ◆ Secteur n°: 600: ligne n°: 4 FB.
- ◆ Secteur n°: 700: zone de stock.

Les produits réalisés à l'unité, sont représentés dans le tableau suivant :

Désignation	Diamètre de tuyau (mm)
Tuyau FB	500
	600
	800
	930
	1000
	1250
	1500
Tuyau FTI	500
	600
	700
	800
	1000
	1100
	1200
	1300
	1500
2000	

Tableau I-1 : Gamme de production de l' UB

1-4-3- L'organigramme de l'unité béton :



#### 1-4-4- Le département technique :

Le département technique travaille en collaboration avec les autres services, il a pour missions :

- le suivi et contrôle de la production aux différentes lignes (FB, FTI ).
- de s'assurer que les méthodes d'exécution sont respectées.
- de tracer les plans d'exécution .

Le département technique est structuré de la manière suivante :

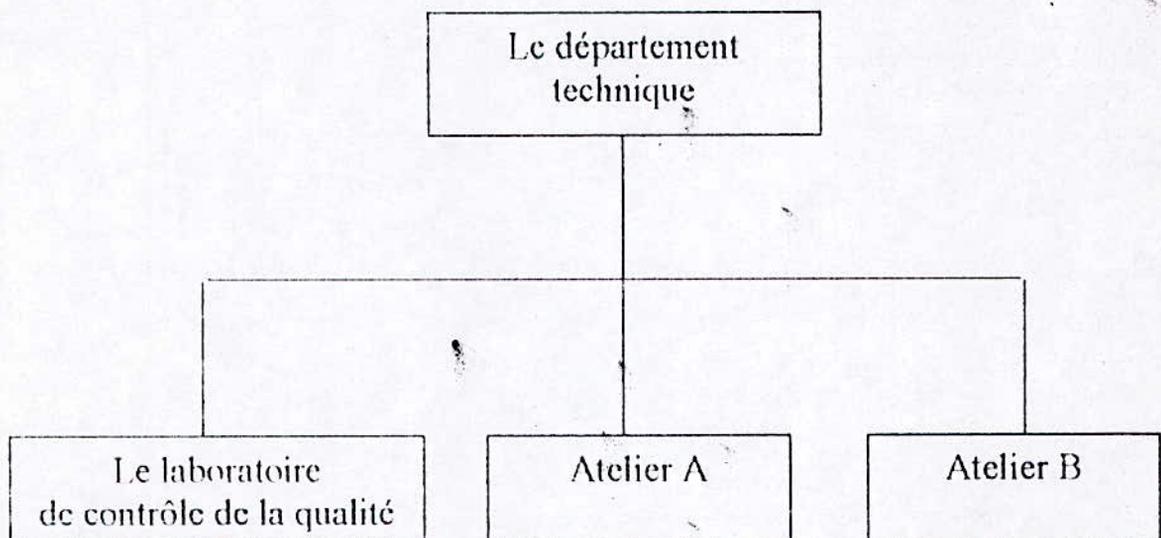


Figure 1-2 : Organigramme de département technique

Atelier A : Fabrication des âmes tôles.

Atelier B : Fabrication des pièces spéciales.

#### 1-4-4-1- Le laboratoire de contrôle de qualité :

La mission de laboratoire est orientée selon les axes suivants :

- Veiller à contrôler la qualité de tous les produits, à la réception de la matière première (agrégat, ciment, fil d'acier ), et en cours de production.
- Veiller à ce que les spécifications du produit tiennent compte des besoins et des demandes du client.
- Faire respecter les règles et les procédures destinées à obtenir des produits conformes aux spécifications.
- Informer régulièrement les différents services concernés des résultats obtenus, des écarts enregistrés et des risques en cours .

## **CHAPITRE II**

### **LES TUYAUX PRECONTRAINTS**

## CHAPITRE II

### LES TUYAUX PRECONTRAINS

#### 1- Introduction :

Une conduite en béton armé dépend de divers facteurs tels que :

- La poussée hydrostatique.
- L'imperméabilité.
- La résistance du béton à la compression.

En général ces facteurs sont définis par le produit : Diamètre  $\times$  Hauteur.

qui est pour les conduites en béton armé normal très petit (D500mm, H5000mm).

Au-delà des limites de ces facteurs on se trouve dans le champ d'application des tuyaux précontraints, qui résistent à des pressions caractéristiques allant jusqu'à  $55 \text{ kg/cm}^2$ , et 1600 mm de diamètre.

#### 2- Description des tuyaux précontraints [4] :

Ce sont des tuyaux en béton simple ou avec légère armature métallique, entourés par une spirale de fil d'acier à haute résistance mise en tension de manière à induire dans le béton du tuyau des tensions unitaires de compression.

Les tuyaux en service sont soumis à :

- des pressions intérieures.
- des charges fixes (poids du tuyau, de l'eau qu'il contient, charges du sol, surcharges fixes et poussées latérales des terres).
- des surcharges mobiles.

Les tuyaux en béton armé précontraint se divisent en deux grandes catégories :

- Les tuyaux avec chemisage de tôle (FTI) : conçus pour les poussées hydrostatiques très élevées. L'étanchéité à l'eau est essentiellement confiée à une enveloppe métallique.

### 3- Tuyau FB [4], [13] :

#### 3-1- Description du tuyau FB :

Le tuyau précontraint sans chemisage "FB" est un tuyau fretté sur corps en béton, il est précontraint longitudinalement et tangentiellement par fil d'acier à haute résistance.

Le tuyau FB est constitué par :

- Un tube primaire : en béton centrifugé ou moulé, précontraint longitudinalement.
- Un frettage : en acier à haute résistance enroulé sous tension, contrôlé autour du tube primaire auquel il confère la précontrainte tangentielle.
- Un revêtement extérieur en béton vibré à haute fréquence, destiné à soustraire les spires de précontrainte à l'influence des agents extérieurs.

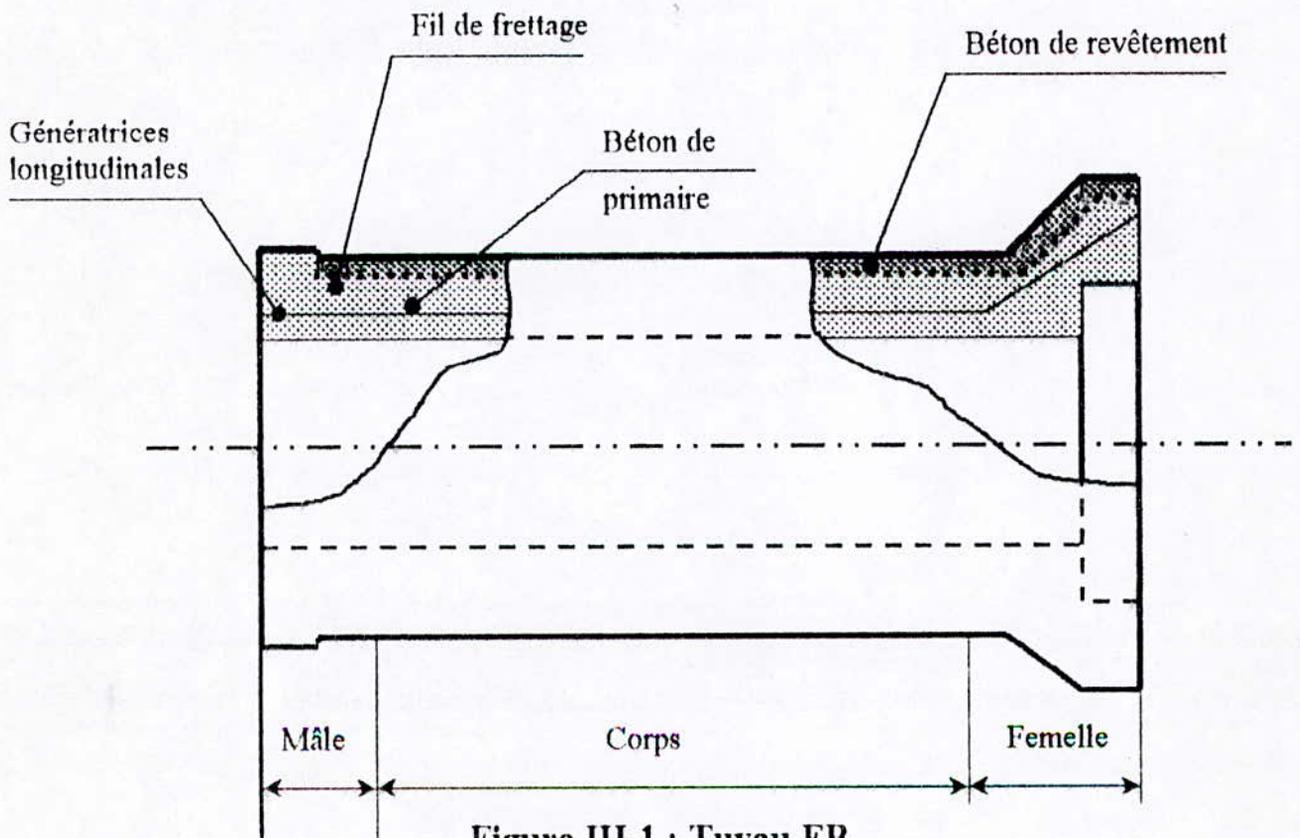


Figure III-1 : Tuyau FB

### 3-2- Conception :

Le tuyau FB est conçu pour résister à la plus sévère des conditions :

- La pression de service ( $P_c$ ) : en régime permanent sur l'effet des surcharges ovalisantes fixes.
- La pression d'épreuve dans l'usine :  $P_u = (P_c + 2)1.2$ .
- La pression statique sur l'effet des surcharges fixes et mobiles.

La longueur utile des tuyaux est de 6000mm, leurs diamètres nominaux sont de : 600, 700, 800, 900, 1000, 1250, 1500mm.

### 3-3- La précontrainte[16] :

Le but et l'avantage de la précontrainte sont l'absence de tension dans le béton sous l'effet des sollicitations de service, c'est pourquoi le tuyau FB précontraint reçoit à la fois une précontrainte longitudinale et une précontrainte tangentielle.

En raison de la relaxation des aciers, du fluage et de retrait du béton, la précontrainte évolue dans le temps depuis l'état initial de sa mise en service, c'est sous l'effet de cette précontrainte finale ce justifie la note de calcul que le tuyau doit satisfaire.

#### 3-3-1- La précontrainte transversale :

La précontrainte s'effectue par frettage, en enroulant une spirale de fil sous tension, à partir d'une extrémité. Cette précontrainte confère au tuyau

- La résistance à la pression hydraulique.
- La résistance à l'ovalisation.

La tension initiale de l'acier de frettage est fixée à 75% de la résistance minimale à la rupture de fil employé, en raison de la relaxation de l'acier et du fluage du béton, la tension maximale est inférieure à la tension initiale.

La tension maximale admissible de compression à la précontrainte transversale est :

$$\sigma_c = 0.48 R_{BC}$$

RBC : Résistance de béton à la compression.

La tension maximale admissible de traction à la précontrainte transversale est :

$$\sigma_{tf} = 1.2\sigma_t$$

$\sigma_t$  : Résistance de béton à la traction.

### 3-3-2- La précontrainte longitudinale :

La précontrainte longitudinale est obtenue avec un certain nombre de fils d'acier (génératrice) à haute résistance, bloqués aux extrémités du tube primaire, une telle précontrainte se justifie généralement car elle assure au tuyau :

- Une grande résistance aux forces découlant des conditions de service ou d'utilisation.
- Une résistance aux forces provenant de l'enroulement du fil pendant la précontrainte transversale.

Au moment de l'état de contrainte du béton, après l'étuvage et le décoffrage, la tension initiale  $T_1$  réduite de 3% par l'effet de relâchement de l'acier durant la période de maturation du primaire, pour laquelle la tension effective de l'acier vaut :

$$\sigma_f = T_1 \times (1 - 0.03) \quad [\text{Kg /cm}^2]$$

### 3-4- Les tensions dues à la poussée hydrostatique [16] :

Quand le tuyau est soumis à la poussée hydrostatique P, le problème se résout en s'appuyant sur les formules de LAMME[4], les efforts longitudinaux et tangentiels sur les équations de compatibilité[4].

- Les tensions unitaires sont :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{- dans le tuyau} \quad : \sigma_i = Bp - C t_1 \\ \quad \quad \quad \quad \quad \sigma_e = Ap - B t_1 \\ \text{- dans le fil} \quad \quad : \sigma_f = B_f (t_1 - t_2) \\ \text{- dans le revêtement} : \sigma_r = B_1 t_2 \end{array} \right.$$

- Les équations de compatibilité sont :  $\frac{\sigma_c}{E_c} = \frac{\sigma_f}{E_f} = \frac{\sigma_r}{E_r}$

$$t_1 = \frac{\eta_2 A}{D} (B_f + n_1 B_r) p \quad , \quad t_2 = \frac{\eta_2 A}{D} B_f p$$

$t_1$  : La pression radiale entre le tuyau et le fil de frettage.

$t_2$  : La pression radiale entre le fil et le revêtement.

$$A = \frac{2r_i}{(r_c^2 - r_i^2)} \quad , \quad B = A + 1 \quad , \quad C = A + 2$$

$E_f$  : Module d'élasticité du fil d'acier.

$E_c$  : Module d'élasticité du béton de tube primaire.

$E_r$  : Module d'élasticité du béton de revêtement.

$$n = \frac{E_f}{E_c} \quad , \quad n_1 = \frac{E_f}{E_r} \quad , \quad n_2 = \frac{E_r}{E_c} \quad , \quad B_f = \frac{R}{\omega} \quad , \quad B_r = \frac{(R_1^2 + R^2)}{(R_1^2 - R^2)}$$

$R$  : Rayon externe de tuyau primaire.

$R_1$  : Rayon externe de revêtement.

$\omega$  : section de fil de frettage par unité de longueur du tube.

### 3-5- Les matériaux [6], [8], [12] :

#### 3-5-1- Le ciment :

Le ciment utilisé dans la fabrication des tuyaux précontraints est un ciment portland artificiel CPA 325 conforme aux normes NF P 15.301.

Les essais de ciment sont normalisés selon NF P 15.414 et NF P 15.431.

Les caractéristiques de ciment utilisé dans la fabrication des tuyaux sont :

désignation	Appellation Normalisé	Composition	Utilisation
Ciment portland artificiel	CPA 325	Clinker ( $\geq 97\%$ ) + Filler	Convient particulièrement bien à tous travaux courants en béton armé ou précontraint, dans l'air, dans le sol ou dans l'eau. Produits moulés ; supporte bien l'étuvage.

Tableau III-1 : Les caractéristiques de ciment

#### 3-5-2- Le granulat :

Entrant dans la fabrication des bétons, permet d'obtenir des bétons de résistance et de compacité optimales. La préparation d'un échantillon pour essai est normalisée selon NF P 18.553.

La détermination des caractéristiques de granulat est normalisée comme suit :

La détermination des caractéristiques de granulat est normalisée comme suit :

Caractéristique	N°: de la norme
- Classes granulaires. (identification des granulats)	NF P 18.557
- Analyse granulométrie.	NF P 18.560
- Propreté.	NF P 18.301
- Equivalant de sable(E.S).	NF P 08.501

Tableau III-2 : Les normes des caractéristiques de ciment

### 3-5-3- Les aciers de la précontrainte :

On utilise des fils en acier harmonique, lisses, pour la précontrainte longitudinale comme pour la transversale.

Dans le tableau suivant sont reportées les valeurs des caractéristiques pour les diamètres des fils adoptés pour la précontrainte des tuyaux :

RRA : Résistance à la rupture de l'acier

RRA02 : Résistance avec allongement 0.2%

Diamètre(mm)	3	4	5	6	7	8
RRA (kg/cm <sup>2</sup> )	190	180	180	165	165	165
RRA02 (kg/cm <sup>2</sup> )	170	160	160	145	145	145

Tableau III-3 : Les caractéristiques de fil d'acier

Le module d'élasticité de fil d'acier :  $EA = 2100000 \text{ kg/cm}^2$

### 3-5-4- Le béton :

Il est d'une composition étudiée, pour obtenir la meilleure ouvrabilité du béton frais et la meilleure compacité du béton durci ; il fait l'objet de prélèvement périodique dont les échantillons sont étudiés à travers des essais en laboratoire définis par la norme AFNOR NP P 18.404. Dans le but de déterminer une formule de composition convenable de :

- Dosage volumétrique des agrégats.
- Dosage en ciment.
- Dosage en eau.
- Rapport E/C (eau / ciment).

#### 3-5-4-1- Caractéristiques de béton durci :

Désignation	Valeur
- Résistance minimale à la compression.	$RBC = 450 \text{ Kg/cm}^2$
- Résistance à la traction	$\sigma_t = 0.58 \sqrt[3]{RBC^2}$
- Le module d'élasticité	$EB = 18000 \sqrt{RBC}$

Tableau III-4 : Les caractéristiques de béton

La résistance à la compression à 28 jours de béton primaire ainsi le béton secondaire (revêtement) doit être supérieure à 400 bars. La résistance à la compression de béton primaire au moment du frettage, soit à 7 jours environ est supérieure deux fois au taux de précontrainte initiale.

Les essais de compression à 7 jours sont nécessaires, ils nous informent sur l'évolution de la résistance de béton dans le temps et permettent donc d'intervenir rapidement sur les constituants et les dosages pour les corrections éventuelles

### **3-6- Processus de fabrication des tuyaux FB :**

#### **1- Préparation du béton :**

La préparation des gâchages est organisée de manière à garantir l'homogénéité et la constance.

Le dosage volumétrique des agrégats et du ciment s'effectue d'après la courbe granulométrie que l'on aura choisi auparavant.

Un dispositif à fiche électronique assure le contrôle continu des quantités d'agrégats, tandis qu'un autre dispositif (électronique) permet de surveiller le rapport E/C (eau / ciment) dans le mélangeur.

La durée prévue pour le mélangeur n'est jamais inférieure à trois minutes.

Une fois confectionné, le béton est déchargé du mélangeur sur des tapis transporteurs qui l'achemineront vers la trémie de dosage de la centrifugeuse.

#### **2- Formation du primaire :**

A l'aide du pont roulant, on installe le moule sur la centrifugeuse et on le met en marche. Lorsque la vitesse de rotation périphérique atteint 6 à 7 m/s, on commence à distribuer le béton à l'intérieur du moule.

Simultanément, on procède à la vibration en rapprochant du moule les rouleaux vibreur.

La vibration est une opération indispensable pour assurer au béton une bonne compacité.

Ensuite, on éloigne les vibreurs et on procède, au moyen du rouleau compacteur, au compactage de la partie interne (durée : une minute environ).

Une fois le rouleau compacteur éloigné, on augmente progressivement la vitesse périphérique jusqu'à atteindre une vitesse de centrifugation de 28-30 m/sec.

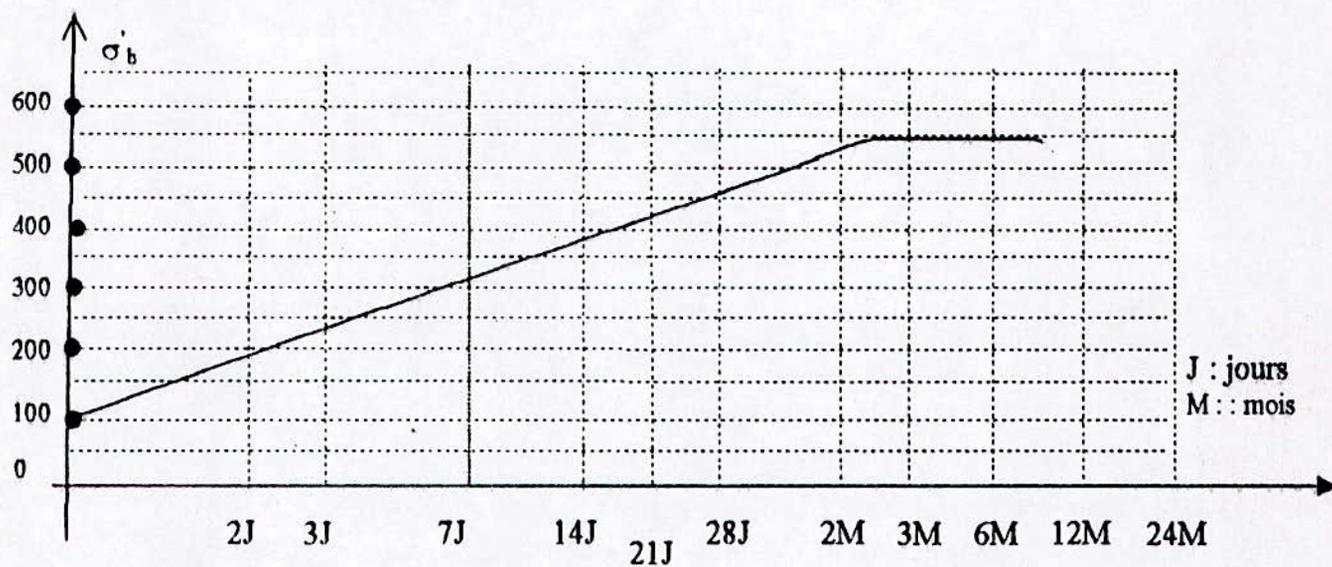


Figure III-2 : Courbe d'évolution de la résistance de béton

### 3- Etuvage en vapeur :

Avec le pont roulant, on retire le moule de la centrifugeuse et on l'installe sur le chariot qui le transporte à l'intérieur de la cellule d'étuvage.

On ferme la cellule et on commence à y introduire la vapeur afin d'augmenter graduellement la température d'étuvage (70-80°C).

Tout le cycle d'étuvage se produit à l'aide de sondes thermoélectrique contrôlées par les valves pneumatiques.

L'étuvage du béton est destiné à accélérer son durcissement de façon à obtenir la résistance nécessaire au démoulage et à la précontrainte longitudinale et radial (tangentielle).

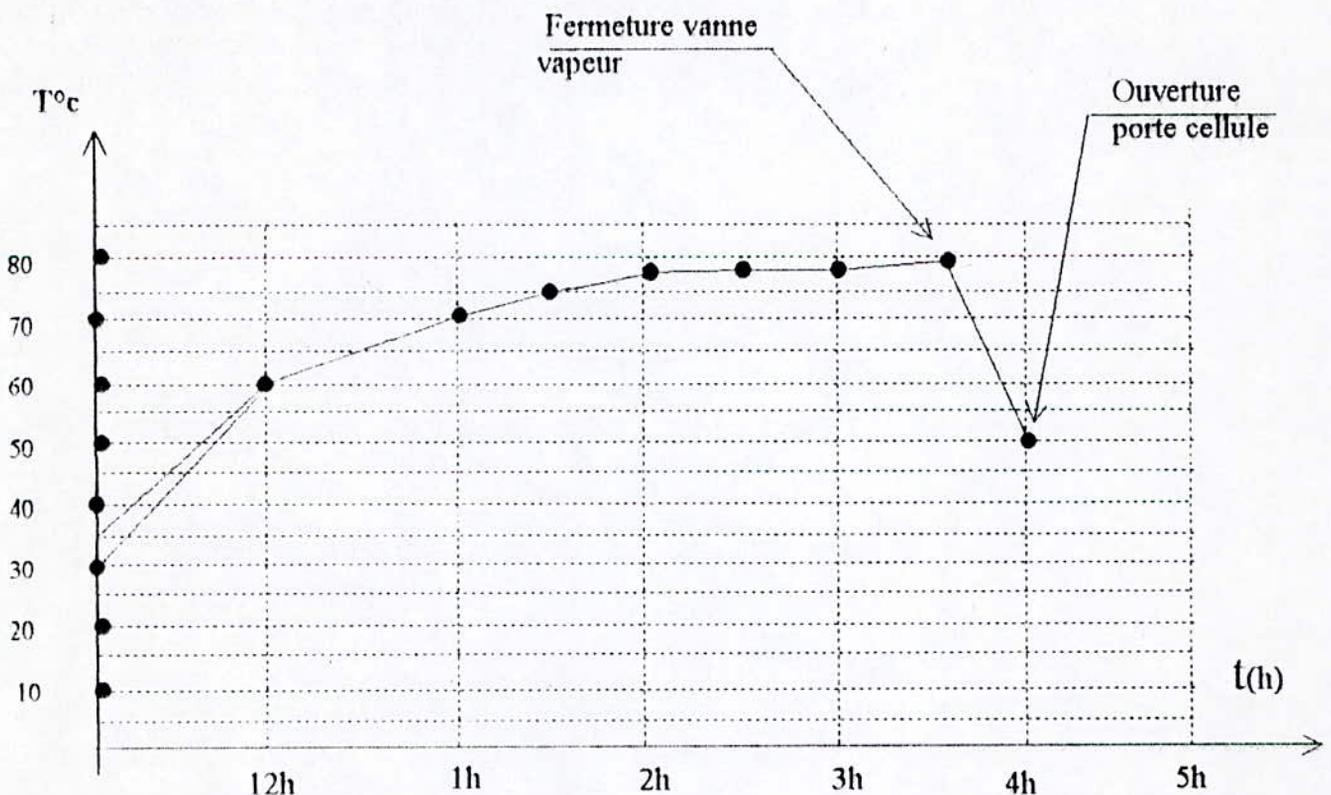


Figure III-3 : Courbe d'étuvage pour tuyau FB

#### 4- Décoffrage du moule :

Après séchage, on saisit le moule avec le pont roulant et on le place sur des bancs de décoffrage.

Toujours à l'aide du pont roulant, on ôte les bagues de roulement et les brides de tête, après avoir dévissé les boulons qui maintenaient en tension avec des barres longitudinales.

On fixe le demi-moule inférieur au banc de coffrage en s'aidant du pont roulant, on ôte le demi-moule supérieur et on l'installe dans la zone de nettoyage sur des supports spéciaux.

#### 5- Précompression radiale(tangentielle) :

Après le décoffrage, le tuyau est stocké durant quelques heures (de 8 à 24 h) afin que le béton atteigne la résistance requise pour pouvoir procéder à la précompression radiale.

Avec le pont –roulant équipé d'un palonnier, on installe le tuyau sur la machine, on place longitudinalement une feuille en acier, de dimensions adéquates, qui est maintenue en place par des bagues élastiques.

Le fil de frettage est fixé à l'extrémité mâle (côté cordon) du tuyau.

En faisant tourner le tuyau, on augmente progressivement la force de tir, le pas de spire de fil est préétabli.

Une fois le frettage terminé, on arrête la machine mais on garde toujours le fil tendu. On fixe alors entre elles les trois dernières spires à l'aide de plaques spéciales. On bloque l'extrémité du fil avec un bouton fixé du côté tulipe.

#### 6- Essai hydraulique :

Immédiatement après le frettage, le tuyau est soumis à l'essai à l'aide du pont roulant doté d'un palonnier, le tuyau est installé sur la machine équipée ou non d'une chemise.

On fait avancer toute la partie mobile de la machine, le tuyau est alors pris entre les deux tampons. On ouvre la vanne et on fait pénétrer l'eau dans le tuyau.

Lorsque le tuyau est rempli, on augmente progressivement la pression avec gradient de 1 bar/mn.

Le tuyau est soumis à une pression hydraulique, rapportée à la dimension moyenne de l'axe du tuyau à l'essai, égale à la pression pour l'essai en usine prévue par les normes qui ont régi le projet du tuyau.

Si on ne vérifie ni perte, ni sudation, le tuyau est acheminé vers la zone de revêtement.

### **7- Revêtement en béton :**

Le revêtement s'effectue immédiatement après l'essai, durant cette opération le tuyau est soutenu à ses extrémités par deux groupes de roues caoutchoutées, le groupe se trouvant du côté tulipe est moteur.

Un chariot équipé d'élévateurs hydrauliques et d'un berceau transporte le tuyau depuis la zone de stockage, qui se trouve en face de la machine à revêtir, à cette même machine, les deux élévateurs fixes soulèvent berceau et tuyau, afin qu'ils soient insérés les roues de support.

On approche du tuyau la trémie vibrante jusqu'à obtenir l'épaisseur de revêtement à l'intérieur de la trémie avec le chariot alimentateur.

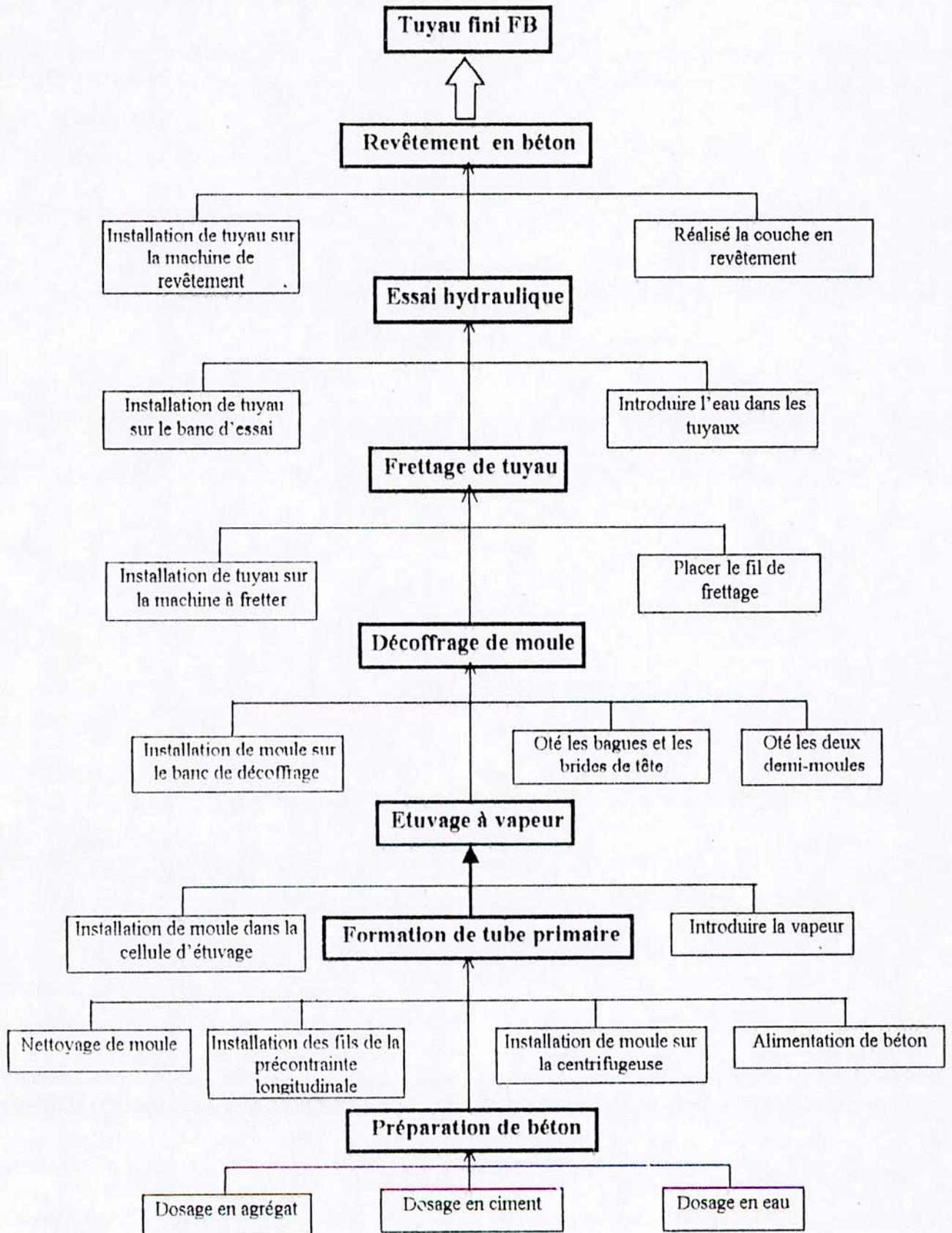
On actionne les vibrateurs, plusieurs opérations commencent à faire tomber le béton dans la trémie vibrante, le tuyau tourne à une vitesse de 15 à 20 cm / mn.

Une opération assurera la finition du revêtement aux extrémités lorsque l'opération de revêtement est terminée, on soulève la trémie vibrante, on saisit le tuyau pour l'amener dans la zone prévue pour la prise et le durcissement du béton.

De six à huit heures après le remplissage, le béton atteint la résistance suffisante pour permettre le transport du tuyau jusqu'à la zone de stockage.

On procède au revêtement final avec du bitume ou des résines.

3-6-1- Organigramme de processus de fabrication :



### 3-7- Essai en usine :

#### 3-7-1- Les tuyaux primaires frettés :

Sont tous essayés avant revêtement afin de vérifier la qualité de l'étanchéité du corps primaire et la qualité de frettage.

La pression d'épreuve en usine sera maximum égale à 90% de la pression de décompression initial calculée en tenant compte de la seule relaxation des aciers et sans faire intervenir le fluage et le retrait de béton.

Pour cette épreuve, le tuyau est placé sur un banc d'essai hydraulique. La durée de l'épreuve est 3mn. Le tuyau ne devra présenter ni rupture ni fuite d'eau, si ce tuyau ne satisfait pas à cet essai et si cet échec ne résulte pas d'un défaut de frettage, il subit un traitement d'étanchéité jusqu'à ce qu'il puisse satisfaire aux clauses de cet essai.

### 3-8- Tolérances dimensionnelles [15] :

- Le diamètre réel des tuyaux finis ne sera pas inférieur au diamètre nominal  $D_n$  exprimée en mm de :

$$2\text{mm} + \frac{1}{100} D_n$$

- L'épaisseur réelle de paroi ne sera inférieure à l'épaisseur nominale  $E_n$  exprimé en mm de :

$$2\text{mm} + \frac{1}{100} C_n$$

## **CHAPITRE III**

**QUALITE ET CONTROLE, DEFINITIONS ET CONCEPTS**

## CHAPITRE III

### QUALITE ET CONTROLE ; DEFINITIONS ET CONCEPTS

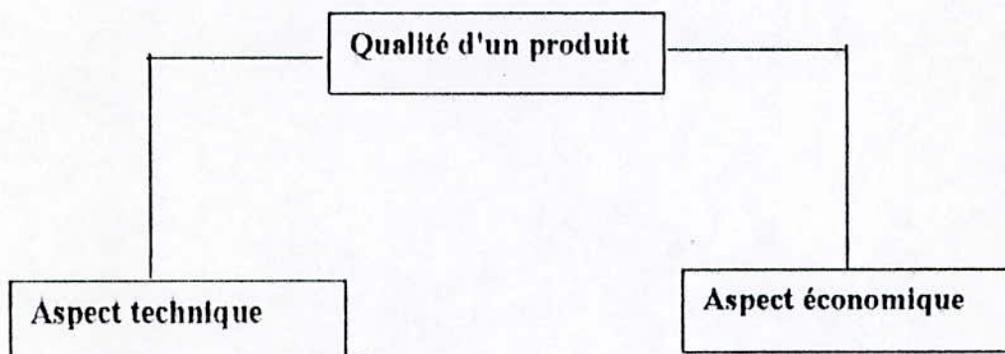
#### 1- LA QUALITE :

##### 1-1- définition de la qualité [ AFNOR ] :

La qualité d'un produit ou d'un service est son aptitude à satisfaire les besoins des utilisateurs.

##### 1-2- Qualité d'un produit : [5]

La qualité d'un produit comporte deux aspects : - Aspect technique.  
- Aspect économique.



Aspect technique	Aspect économique
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Caractéristique et performance :</b> Dimensions. Composition.</li> <li>• <b>Disponibilité :</b> Délai d'obtention. Respect des délais. temps d'attente.</li> <li>• <b>Fiabilité :</b> Capacité à bien fonctionner dans le temps.</li> <li>• <b>Maintenabilité :</b> Aptitude à être maintenu en bon état avec des temps d'interventions satisfaisants.</li> <li>• <b>Sécurité d'emploi :</b> Sécurité pour les personnes</li> <li>• <b>Maintenance :</b> ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un équipement en état de remplir la fonction prévue.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Coût global de possession :</b> . <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prix d'achat</li> <li>- Coût de réalisation.</li> <li>- Coût d'utilisation.</li> </ul> </li> <li>• <b>Délai :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De fabrication.</li> <li>- De livraison.</li> <li>- De service.</li> </ul> </li> <li>• <b>Coût de non-qualité :</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût des rebuts.</li> <li>- Coût de réparation.</li> <li>- Coût de contrôle.</li> </ul> </li> </ul>

Tableau III 1 : Qualité d'un produit

### 1-3- Caractéristiques de la qualité d'un produit : [ 7 ]

La qualité doit comprendre, en plus de la qualité dans le sens étroit du terme, les notions de qualité, de coût, de service. Le tableau [II-1] fait état des caractéristiques qui participent à la notion de qualité.

Facteurs	Caractéristiques
a- Qualité dans le sens étroit du terme.	Performance, pureté, résistance, poids, tolérance, aspect, durée de vie, taux de non-conformité, taux de réparation, sécurité.
b- Facteur, cout-prix, bénéfice.	Rendement, consommation d'énergie, perte de matière, coût de fabrication, prix de revient, prix de vente.
c- Facteur qualité	Production, perte par changement de procédé, définition de la tolérance, quantité consommée.
d- Suivi des productions expédiées	Période de garantie, service après-vente, facilité à se procurer des pièces de rechange, réparabilité, notice d'utilisation, procédure de vérification, insatisfaction et besoins des consommateurs.

Tableau II-1 : caractéristiques de la qualité

### **1-4-Audit qualité [5] :**

Examen méthodique et indépendant dans le but de déterminer si les activités et résultats relatifs à la qualité satisferont les dispositions et si celles-ci sont mises en œuvre de façon efficace et apte à atteindre les objectifs.

### **1-5-Assurance de la qualité [NFx50-120] :**

Ensemble des actions préétablies et systématiques nécessaires pour donner la confiance appropriée au produit ou service qui doivent satisfaire les exigences relatives à la qualité.

- ♦ "Donner confiance" constitue un objectif et implique une motivation qui concerne les diverses activités développées au sein de l'entreprise.
- ♦ "Approprié" signifie que l'ensemble des actions préétablies est adapté à la fonction et à l'usage prévu du produit ou du service.

### **1-6-Le cercle de qualité [7]:**

#### **a- Définition de cercle de la qualité :**

Un cercle de qualité est composé d'un petit nombre d'opérateurs volontaires travaillant dans un même secteur. Ils se réunissent régulièrement pour chercher à l'aide des techniques d'analyses simples et spécifiques, la solution de problèmes qu'ils choisissent d'examiner. Ils mettent en œuvre la solution à l'aide des différents acteurs concernés.

## b- Les outils de cercle de qualité [5] :

## ♦ Analyse de paréto :

Cet outil permet de donner des priorités. Il est également un indicateur de l'amélioration d'une technique (cas d'une comparaison).

Sa méthodologie consiste à classer les types de rebuts par ordre décroissants. Puis, établir un graphique faisant correspondre les pourcentages de type de rebuts.

## ♦ Diagramme cause/effet ou diagramme d'ISHIKAWA :

Dans la surveillance du processus, le premier signal d'alarme est l'appréciation de rebuts (effet). Afin d'éviter de nouveaux désagréments de ce type, il est nécessaire de remonter aux véritables causes.

Le cercle de qualité étant constitué, il est essentiel de noter toutes les idées sur les causes possibles de la non-qualité.

- Dispersion sur la matière.
- Dispersion sur le matériel (machine + outillage).
- Main d'œuvre changeant.
- Variation de l'environnement ou milieu.
- Changement de procédé (méthode).
- Changement de période de maintenance d'équipement.

Et enfin constitué le diagramme cause/effet, qui se représente par

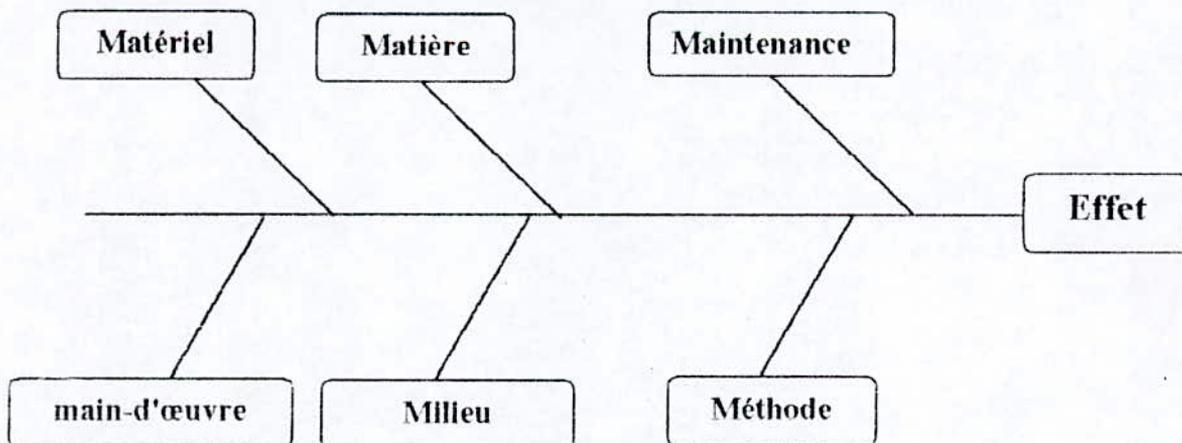


Figure I-2 : Diagramme d'ISHIKAWA simplifié

2- Le contrôle :

2-1- Définition du contrôle [ NFx 50-109 ] :

Vérification de la conformité à des données pré-établies, suivie d'un jugement.

• Contrôle de fabrication :

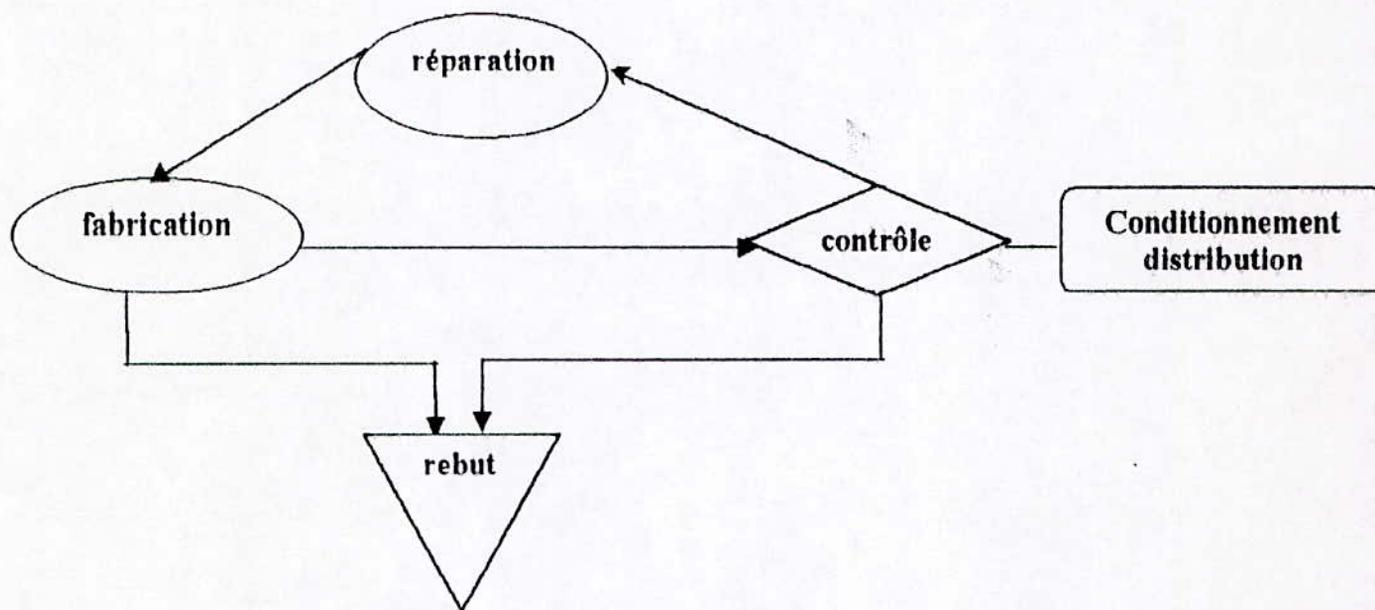


Figure [II-3] : Contrôle de la fabrication

Avant leur conditionnement ou leur distribution, les produits fabriqués doivent passer par les étapes de la figures [II-3].

## 2-2- Classification des contrôles :

Diverses classifications sont possibles suivant la situation dans le cycle de fabrication, leur nature, les méthodes utilisées, ...

### a- Niveau de contrôle :

- Contrôle réception de matières, des achats, des matériels....
- Contrôle en cours de fabrication :
  - En auto-contrôle : par les opérateurs de fabrication.
  - Intermédiaire : par les contrôleurs ou l'encadrement.
- Contrôle final :
  - Par des contrôleurs de l'entreprise.
  - En présence du client.
  - Par des organismes extérieurs.

### b- Type de contrôle :

- Quantitatifs.
- Qualitatifs :
  - Sensitif (généralement visuel ).
  - Au laboratoire (interne ou externe ).
  - Au gabarit (sur montage de fabrication, d'essai de contrôle, ...).
  - Aux instruments de mesures (dimensions, état de surface, ...).

**c- Méthodes de contrôle :**

- Unitaire.
- Par prélèvement :
  - Arbitraire.
  - Statistique par lot ou en continue, avec utilisation des méthodes de contrôle statistique, soit par attribut (MILSTD 105D ), soit aux mesures (MILSTD 414 ).

**2-3- Les modes de contrôle :**

**a- Définition de l'auto-contrôle :**

C'est un mode de contrôle selon lequel une personne physique exerce son propre contrôle sur le résultat de son travail et dont les règles sont formellement définies dans les dispositions de la qualité.

• **Condition de l'installation de l'auto-contrôle :**

Avant que l'auto-contrôle puisse être adopté, certains critères doivent être respectés ; Le premier critère est la confiance mutuelle entre responsables et ouvriers les responsables doivent avoir confiance dans la main d'œuvre pour que cette dernière puisse décider de la conformité de la production. D'autre part les ouvriers doivent avoir confiance envers leurs responsables pour être disposés à accepter cette responsabilité.

Le deuxième critère est l'autonomie des ouvriers de telle manière qu'ils possèdent un moyen sûr de régler le processus de fabrication afin de produire un produit conforme aux spécifications. Enfin, il faut que l'auto-contrôle soit techniquement possible, c'est à dire la fabrication doit permettre l'assignation d'une claire responsabilité à la prise de la décision de la part de l'ouvrier.

**b- Le contrôle volant :**

Ce contrôle consiste à effectuer des vérifications périodiques. Le contrôle volant doit nécessairement posséder les mêmes moyens à la disposition de l'opérateur.

Il a pour tâche principale :

- De s'assurer que l'opérateur utilise bien son outillage de contrôle.
- D'attirer l'attention de l'opérateur sur les non conformité décelée en vérification et qui sont estimées bonnes par l'opérateur.
- D'aviser la hiérarchie et le régleur en cas d'une nécessité d'un arrêt de fabrication.
- D'augmenter le taux de vérification pour les opérations complexes et qui possèdent une grande nécessité fonctionnelle.
- De repérer toutes les pièces constatées non-conformes en vérification, il peut détenir à jour un compte journalier sur la situation en fabrication.

**2-4-Le contrôle statistique en cours de fabrication :****2-4-1- Pourquoi le contrôle statistique en cours de fabrication [1] :**

Le contrôle statistique en cours de fabrication est utilisé pour :

- Aider à empêcher la fabrication des pièces défectueuses.
- Aider à l'évolution et au contrôle de la qualité des matières entrant et sortant.
- Aider à effectuer des études de capabilité (savoir si la machine est capable de produire des pièces dans les tolérances).
- Aider à analyser les opérations, en vu de déterminer ou les pièces défectueuses sont produites.

#### 2-4-2- Principe du contrôle statistique en cours de fabrication : [9]

Un contrôle en cours de fabrication consiste à pratiquer un test statistique répété par prélèvements successifs d'échantillons. A chaque prélèvement, on vérifie que les résultats se trouvent dans les limites de confiance, tracées sur un graphe ou feuille de relevé

#### 2-4-3- Notion de variabilité [9] :

Soit un processus de fabrication qui fonctionne normalement.

On propose, des opérations de tournage des pièces cylindriques de 100 mm. Il s'avère qu'il est pratiquement impossible d'usiner des arbres présentant un diamètre de 100 mm.

Donc les diamètres obtenus à la sortie des tours, varient plus ou moins de 100 mm. Ainsi, nous obtiendrons une distribution de moyenne approximativement égale à 100 mm. Soit alors la loi de probabilité de référence de cette distribution, c'est ce que l'on appelle variabilité du processus.

Les facteurs de variation à l'entrée de ce processus sont : la machine, l'humidité, l'opérateur, la matière, la méthode de travail, les instruments de mesure...

En pratique, on rencontre une variabilité normale.

Cette normalité est très importante car les cartes de contrôle reposent essentiellement sur les propriétés de la loi normale.

### 2-4-4- Les cartes de contrôle :

La figure ci-dessous illustre le principe général de la carte de contrôle.

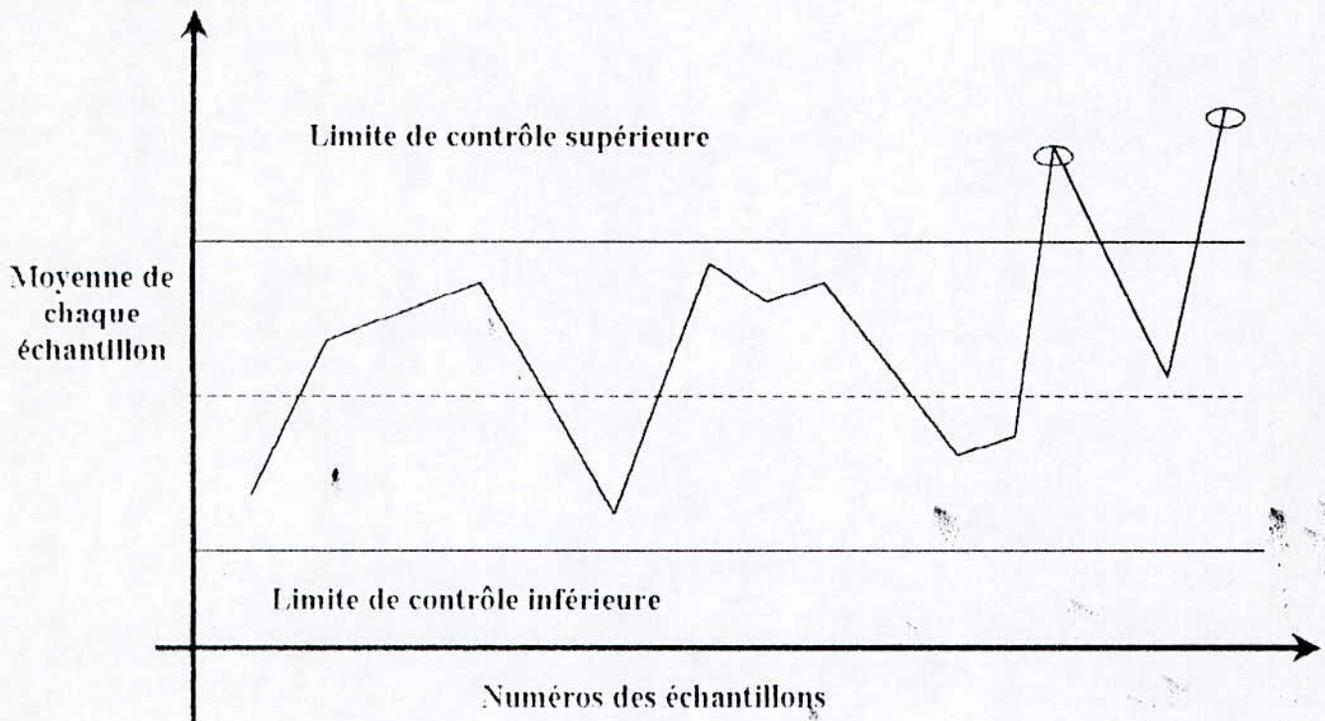


Figure II-4 : La carte de contrôle

La carte de contrôle est un graphique de surveillance qui porte des limites de contrôle (supérieur et inférieur), qui si elles sont dépassées, imposent des actions.

L'établissement de la carte de contrôle, s'effectue lorsque la variable à surveiller en fonction du temps ou du numéro de prélèvement, a une valeur qui dépasse les limites de contrôle, on considère qu'il existe une anomalie.

## a- Les objectifs des cartes de contrôle :

La carte de contrôle a pour objectifs de :

- Contribuer à la bonne marche du processus de fabrication, en contribuant à déterminer les caractéristiques.
- Prendre les mesures qui conviennent lorsque les cartes estimées indiquent que les caractéristiques spécifiques ne sont pas respectées.
- Intervenir quand la carte indique un dérèglement dans la fabrication.

## b- La mise en œuvre des cartes de contrôle :

Dans la mise en œuvre des cartes de contrôle on distingue deux stades :

Première stade :

Vérification que la machine est sous contrôle c'est à dire que la variabilité est satisfaisante.

Deuxième stade :

Utilisation des limites de contrôles pour le contrôle proprement dit.

Dans le premier stade on prélève K échantillons de n pièces pour déterminer les limites de contrôle.

$$\left\{ \begin{array}{l} K = 20 \text{ à } 25 \\ n = 5 \end{array} \right.$$

## 2-4-5- Type de carte de contrôle :

### 2-4-5-1- La loi normale ou gaussienne [2] :

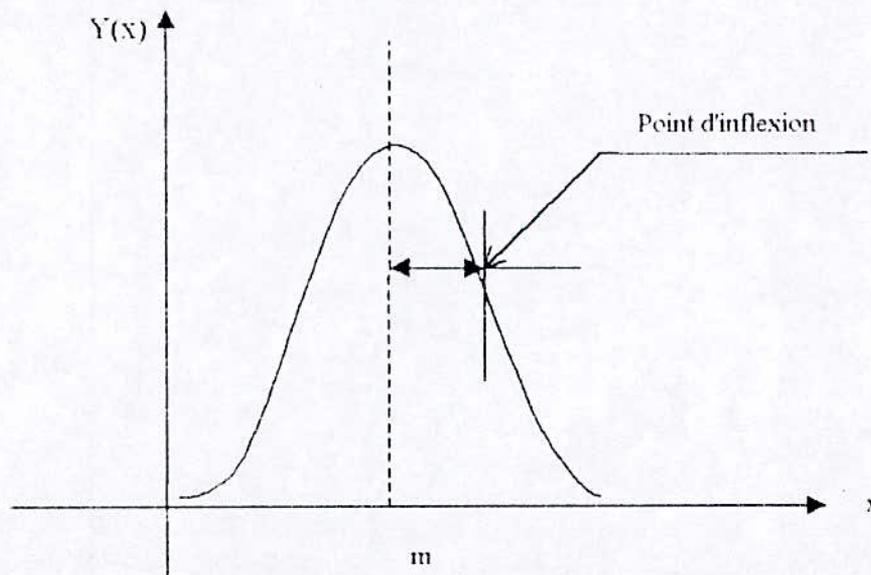
#### Existence :

La loi de distribution, dite normale ou de Laplace Gauss, est la loi qui régit les variations de nombreux paramètres physiques. Elle est applicable lorsque les dispersions de la variable sont dues à l'influence de nombreux paramètres indépendants les uns des autres et dont les effets s'additionnent (Théorème DE BOREL).

Les variables peuvent avoir des distributions normales. Mais aussi quelconques.

#### ● Fonction de distribution d'une loi normale :

$$Y(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-m}{\sigma}\right)^2}$$



Avec :

$$e = 2,178$$

$x$  = valeur de la variable.

$m$  : Moyenne des valeurs de la variable.

$\sigma$  = sigma = écart-type(paramètre de dispersion).

- **Fonction de distribution de la loi normale centrée-réduite :**

Pour des raisons de simplification, on utilise généralement les propriétés de la loi normale réduite.

Cette loi normale est telle que son origine se situe sur la moyenne et que l'unité de la variable est égale à  $\sigma$ . Cette unité s'appelle  $u$ .

Donc  $m = 0$  et  $\sigma = 1$ , avec  $u_i = \frac{X_i - m}{\sigma}$

La fonction d'une loi normale réduite est :

$$Y = f(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{u^2}{2}}$$

#### 2-4-5-2- Carte de contrôle par mesure :

- Carte de contrôle de  $\bar{X}$  et R :

En ce qui concerne le choix des caractéristiques de tendance centrale et de dispersion des échantillons, la première idée qui vient à l'esprit est évidemment de retenir  $m$  et  $\sigma$ . Mais à partir du moment où le contrôle de fabrication se situe nécessairement en atelier, et où il doit, pour être d'emploi commode, se présenter comme une routine à la portée d'un personnel peu qualifié, il paraît difficile d'utiliser  $\sigma$ , son calcul étant bien compliqué. Heureusement, pour des petits échantillons l'étendue  $R$  peut s'utiliser comme mesure satisfaisante de la dispersion.

Pour la construction des cartes de contrôle de  $\bar{X}$  et  $\bar{R}$ , le principe est le suivant : on prélève  $K$  échantillons de taille 4.5 ou 6 chacun. on calcule la moyenne des moyennes de ces échantillons

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k}$$

Et la moyenne des étendues :

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{R}_i}{k}$$

Puis on calcule les limites de contrôle :

- Pour la carte de  $\bar{X}$

- La ligne centrale est :  $\bar{\bar{X}}$ .
- La limite inférieure :  $\bar{\bar{X}} - A_2 R$
- La limite supérieure :  $\bar{\bar{X}} + A_2 R$

- pour la carte de :  $\bar{R}$

- la limite centrale est  $\bar{\bar{R}}$
- La limite inférieure :  $D_3 \cdot \bar{\bar{R}}$
- La limite supérieure :  $D_4 \cdot \bar{\bar{R}}$

**Remarque :**

Si parmi les échantillons qui ont servi au calcul des limites de contrôle initiales, il y a des poids en dehors des limites, on les élimine et on recalcule les limites. On dit qu'on met le processus sous contrôle.

## **CHAPITRE IV**

### **LE CONTROLE DE LA QUALITE DANS L'UNITE BETON**

## CHAPITRE IV

### Le contrôle de la qualité dans l'unité

#### 1- Source d'information :

Les méthodes retenues pour l'acquisition de l'information sont :

- La consultation de différents documents utilisés dans l'UB.
- L'interview.
- L'analyse.

Pour ce faire, on a fait appel à différents services à savoir :

- Le laboratoire de contrôle de la qualité.
- Service technique.
- Division maintenance.
- Service de la production de la ligne FB.

#### 2- Concept qualité dans l'unité :

La qualité de tuyau est définie selon sa résistance à la pression d'épreuve en usine ( $P_u$ ). En outre, le tuyau doit satisfaire les conditions d'utilisation des clients.

Le contrôle de qualité comprend les vérifications portant sur les matériaux constitutifs, les méthodes d'exécution et les tuyaux produits.

On distingue :

- Le contrôle de production.
- Le contrôle de conformité.
- Le contrôle de la qualité des tuyaux.

### **2-1- contrôle de production :**

Est l'ensemble d'actions et de décisions prises pendant la production de manière à maîtriser l'exécution et s'assurer que les spécifications sont satisfaites.

### **2-2- contrôle de conformité :**

Les normes définissent éventuellement les opérations de contrôle de conformité des matériaux et composants, qui doivent permettre de porter un jugement de :

- conformité : qui entraîne l'acceptation.
- non-conformité : qui peut conduire soit au rejet soit de décider d'approfondir le contrôle.

Le contrôle de conformité peut prendre en considération tout essai effectué à la réception ou en cours de production, pour permettre de vérifier la conformité du produit avec les spécifications.

### **2-3- Contrôle de la qualité des tuyaux :**

Les tuyaux sont contrôlés à travers des essais hydrauliques, afin de vérifier la résistance de tuyau à la pression d'épreuve en usine( $P_u$ ), en tenant compte de la pression de service( $P_c$ ).

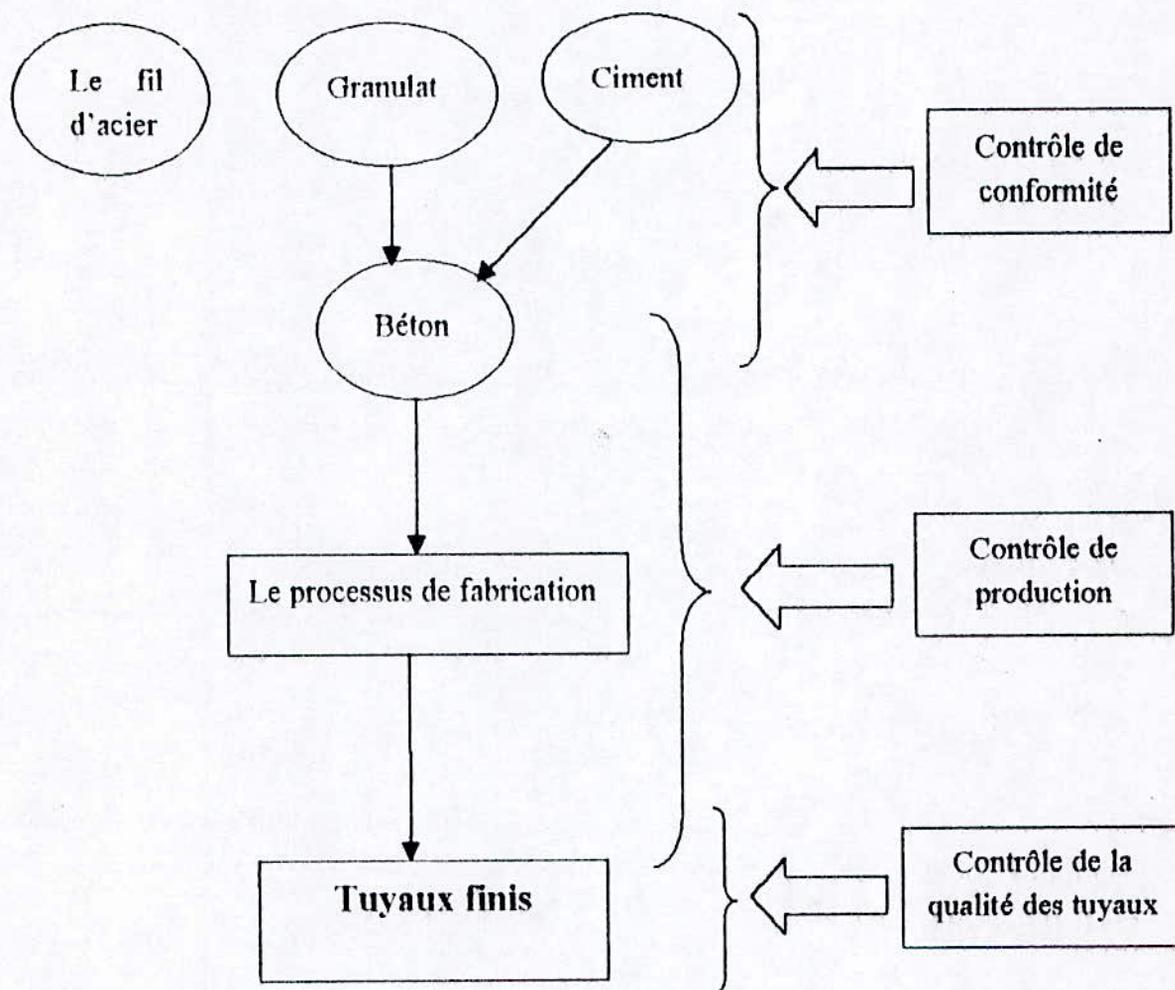


Figure III-1 : Les points de contrôle sur Schéma fonctionnel

### 3- Présentation de laboratoire de contrôle de qualité :

#### 3-1- L'effectif de laboratoire :

Le mode de travail est de huit heures dans une journée de 24h, le laboratoire emploie un effectif de 5 personnes dont :

- 1 responsable de laboratoire.
- 2 laborantins.
- 1 aide laborantin.
- 1 manœuvre.

#### 3-2- Les matériaux et composants contrôlés :

Dans le laboratoire, les matériaux et le béton qui rentrent dans la production des tuyaux, subissent des essais de contrôle qui portent sur leur conformité aux spécifications.

on a :

- Essais sur les matériaux :
  - ◆ Granulat.
  - ◆ Ciment.
  - ◆ Fil d'acier.
- Essais sur le béton.
  - ◆ Béton frais.
  - ◆ Béton durci.

### 3-3- L'outil de contrôle :

Les moyens de contrôle dont dispose le laboratoire sont :

outil disponible	domaine d'utilisation	nombre d'outil
- appareil vicat	- essais de ciment	1
- tamis	- essais d'agrégat	31
- moules (des éprouvettes cylindriques)	- échantillon de béton	30
- balance électrique	- mesure de poids	1
- balance mécanique	- mesure de poids	1
- étuve	- pour chauffer les agrégats	1
- presse à béton	- essai de compression	1
- cône d'abrades	- essai de consistance de béton	1
- machine de traction	- essai de traction de fil	1
- appareil de pliage	- essai de pliage de fil d'acier	1
- pied à coulisse	- mesure des démentions	1
- appareil pour mesure de force	- mesure la force de tire de fil de précontraint	3
- Malaxeur	- mélange de mortier (ciment + sable )	1

Tableau IV-1 : L'outil de contrôle

### 3-4- Les types de contrôle effectués par le laboratoire :

Trois types de contrôle systématique sont effectués par le laboratoire.

- Contrôle de conformité : contrôle de la qualité des matériaux et composants (granulat, ciment, fil d'acier, béton).
- Contrôle de production : contrôle intermédiaire qui consiste à vérifier les spécifications, les moyens et les conditions de production
- Contrôle de la qualité des tuyaux : résistance de tuyau à la pression hydraulique en usine Pu

### 3-5- Les normes utilisés par le laboratoire :

Les normes utilisées par le laboratoire de l'UB sont :

- AFNOR : normes françaises.
- DIN : normes allemandes.
- ASTM et AWWA : normes américaines.
- BS : normes anglaises.

## 4-Les plans de contrôle actuels :

### 4-1-contrôle de conformité des matériaux :

Selon le programme établi, il est prévu d'effectuer des essais physiques et mécaniques sur des matériaux et composants suivants :

- Granulat.
- Ciment.
- Fil d'acier.
- Béton.

#### 4-1-1- Les essais de granulat :

Pour la production des tuyaux précontraints la matière première utilisée est le granulat concassé non-lavé provenant de carrière KADDARA .

Le granulat est décomposé en trois groupes : 0-4, 4-8, et 8-16 mm conformément aux normes.

Le béton du primaire utilise le granulat à trois composantes. Le béton secondaire utilise celui de deux composantes ( 0-8, 4-8 mm ).

Des essais physiques et mécaniques portant sur :

- La granulométrie de la composante du granulat dans le but de déterminer la courbe optimale. Les essais sont réalisés par la méthode de tamisage à travers des tamis de :  
0.5-1,2 – 4 - 8 et 16mm.
- La quantité des particules, passage à travers le tamis 0.09mm.
- L'humidité des fractions particulières

Des essais pour la détermination :

- Du poids spécifique (% des impuretés ).
- De l'absorption de l'eau.
- De l'équivalent de sable.

Sont également effectués

Les conditions de la qualité des granulats selon AFNOR ( Tableau IV-5).

#### 4-1-2- les essais de ciment

Les essais sur le ciment sont effectués une fois par mois.

Le prélèvement des échantillons pour les essais est de 4 à 5kg d'une masse de 250t provenant d'un même fournisseur.

Dans le laboratoire de l'unité les essais physiques et mécaniques effectués sont :

- La consistance standard.
- Période de la prise.
- Détermination de la constance du volume.
- Tamisage de contrôle par le tamis de diamètre 0.09mm.

Jusqu'à présent l'unité béton a utilisée le ciment CPA325 produit par l'usine de MEFTAII.

Les conditions de la qualité du ciment sont normalisées (tableau IV-4).

#### 4-1-3-Les essais de fil d'acier :

Le fil d'acier se présente en rouleau., à partir de celui ci, on prend 5 échantillons de fil de longueur 500mm et 5 échantillons de 250mm sont prélevés.

Les essais de contrôle portent sur les caractéristiques géométriques et mécaniques suivantes :

- Les efforts de traction.
- Les limites de plasticité.
- Rapport entre les limites de plasticité et les efforts de traction.
- Allongement.
- Pliage alternatif.
- Contraction.
- Module d'élasticité

#### 4-1-4- Contrôle de conformité du béton :

Les essais de contrôle de la qualité du béton sont effectués à l'état ou il est disponible juste avant l'emploi, en vue de vérifier les propriétés du mélange.

Selon le programme on effectue les essais sur le béton frais et le béton durci.

##### 4-1-4-1- Béton frais :

Les essais sur le béton frais sont effectués pour déterminer :

- La température du béton frais.
- La consistance du béton à l'aide de mesure de l'étendue.
- La consistance du béton à l'aide de mesure d'affaissement.
- Le poids apparent.
- La quantités des pores.

##### 4-1-4-2- Béton durci :

Les essais de résistance à la compression du béton durci sont réalisés systématiquement, pour l'acceptation de béton à composition prescrite

Le contrôle est effectué sur des échantillons de béton pris à l'aide des éprouvettes cylindriques.

En principe, il est nécessaire de prendre 4 à 6 échantillons de chaque poste de travail, tant que pour le primaire que pour le secondaire.

Le nombre des prélèvements dépend de la masse du béton installé pendant 24 h (Tableau VI-2).

Volume total du béton	Un prélèvement au moins toutes :
< 2000m <sup>3</sup>	150m <sup>3</sup>
2000 à 10000m <sup>3</sup>	300m <sup>3</sup>
> 10000m <sup>3</sup>	450m <sup>3</sup>

**Tableau IV-2 : Prélèvement du béton**

Après 7 jours de repos on examine 1/3 des échantillons prélevés et après 28 jours les 2/3 restant.

La résistance du béton à la compression doit avoir des valeurs qui ne dépassent pas les spécifications déterminées comme suit :

nombre des jours	résistance ( N/mm <sup>2</sup> )
7	21
28	31.5

**Tableau IV-3 : Les valeurs de la résistance de béton**

La moyenne des essais de la résistance de compression doit être ou plus égale a la dureté prescrite (tableauIV-3 ).

## 4-2- Contrôle de production :

### 4-2-1- Essais hydrauliques des âmes tôles :

Après la fabrication dans l'atelier « A » des âmes tôles sous forme de tube, on exécute les essais hydrauliques, conformément aux normes AWWA.

On introduit l'eau sous pression de 2.5 bars, dans l'âme tôle où il y a des fuites d'eau il faut souder les endroits indiqués, après la réparation il est nécessaire de refaire l'essai une autre fois.

### 4-2-2- Contrôle visuel (inspection) :

Le but de ce contrôle est de vérifier qu'il est possible de réaliser un ouvrage satisfaisant avec les méthodes, le matériel et les matériaux prévus.

Il comporte les vérifications suivantes :

- La convenance du matériel (état de machine, état de moule, état du noyau, ..) .
- Vérification du coulage, du décoffrage, et de l'étuvage.
- La conformité des mesures à un mode opératoire :
  - contrôle de frettage (la force de tire , pas de spire )
  - contrôle de consistance de béton.

## 4-3-Contrôle de la qualité des tuyaux :

La qualité de tuyau est contrôlée depuis le bétonnage primaire après 28 jours, à l'aide des essais hydrauliques sur le banc d'essai. Le tuyau sera soumis à une pression  $P_u$  (pression pour l'essai en usine ), plus grandes que la pression de service  $P_c$  (pression caractéristiques du tuyau demandé par le client).

Le tuyau est de bonne qualité s'il ne présente aucune fuite d'eau à la pression hydraulique  $P_u$  si non il subit un autre essai (au maximum trois essais).

Lors du contrôle sous pression il est nécessaire de vérifier :

- Etanchéité des joints.
- Etanchéité des tuyaux.
- Présence des fissures sur les tuyaux.

D'après les recommandations de bureau d'étude «LEDIT » [14], la fissure admise ne doit pas dépasser la largeur 0.25mm.

#### 4-3-1-Tuyau FB :

Tous les tuyaux frettés sont systématiquement essayés à une pression d'épreuve en usine :

$$P_u = (P_c + 2) \cdot 1,2$$

1 et 1.2 : des coefficients de sécurité.

La pression est graduellement augmentée à raison de 1 bar /mn.

La pression d'essai devra se maintenir durant 3 mn.

#### 4-3-2-tuyau FTI :

Le contrôle visuel permet de détecter les tuyaux qui présentent des anomalies est effectué au préalable. Ces tuyaux passent au banc d'essai comme suit :

Trois tuyaux sont liés et essayés à la fois à une pression d'épreuve en usine :

$$P_u = 1,2 P_c$$

Les tuyaux doivent subir au minimum 10h sous la pression  $P_u$ .

## 5- Etude des plans de contrôle utilisés :

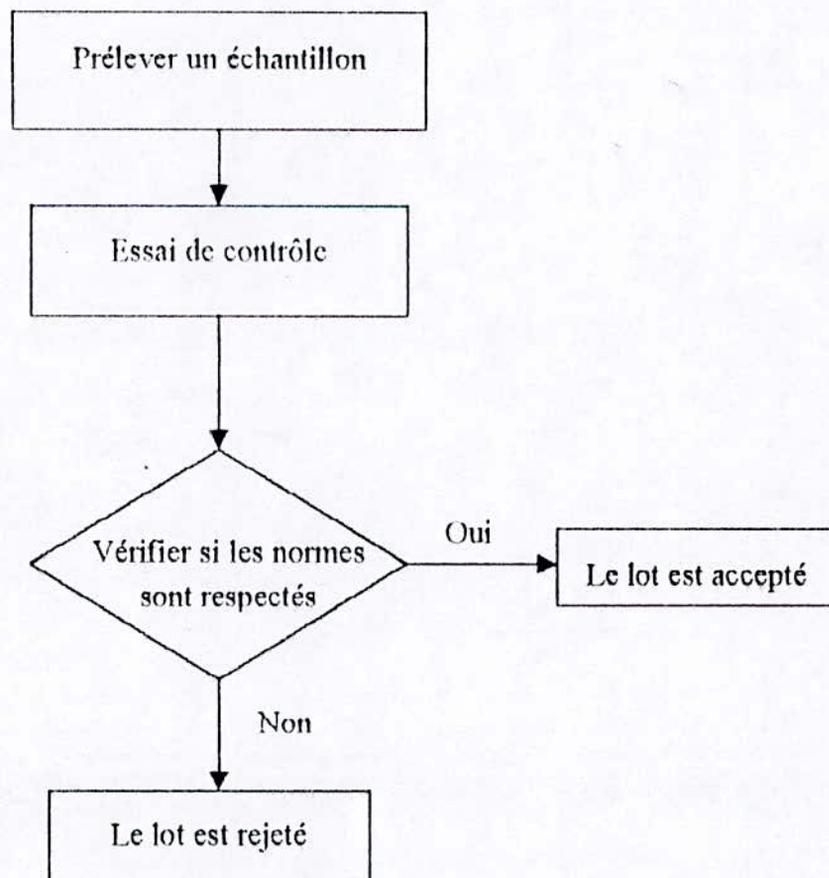
### 5-1- Contrôle de conformité :

Ce contrôle permet de vérifier la qualité des matières premières réceptionnées (granulat, ciment, fil d'acier). Par des essais effectués au laboratoire on peut juger la conformité ou non-conformité avec les normes prescrites (IV-5-1-2).

Le deuxième contrôle de conformité sera sur la qualité du béton, pour vérifier la résistance de compression de béton, et la propriété du mélange.

Sur la base des échantillons prélevés, on décide d'accepter ou rejeter le béton

#### 5-1-1 Organigramme de contrôle de conformité :



**5-1-2- Les principales normes d'essai des matériaux :****1-Ciment :**

Les essais du ciment sont définis selon le norme NF P 15 300.

Essais de :	N° de norme :
Consistance standard	NF P 15 414
Période de la prise	NF P 15 431
Constance de volume	BS 12-28 / ASTM C188-72
Tamissage par le tamis de diamètre 0.09mm	ASTM C 184-74 / DIN 1164/4

**Tableau IV-4 : Les normes relatifs au essais ciment**

**2-Granulat :**

préparation d'un échantillon pour essai est normalisé selon NF P 18 553

Essai de :	N° de norme :
Granulométrie de la composante	NF P 18 560
Analyse granulométric	NF P 18 566
Quantité des particules	NF P 18 554
Absorption de l'eau	NF P 18 301
Equivalent de sable	NF P 08 301

**Tableau IV-5 : Les normes relatifs au essais de granulat**

**3-Béton :**

Les essais relatifs au béton sont définies selon NF P 18 102

Type de béton	Essai de :	N° de norme :
Béton frais	Consistance de béton( mesure d'affaissement )	P 18 451
Béton durci	Résistance à la compression	P 18 406
	Résistance à la traction par flexion	P 18 407

Tableau IV-6 : Les normes relatifs au essais de béton

**5-1-3- Les critères d'acceptation du béton :**

La qualité du béton est jugée d'après les normes (tableau IV-6).

Les critères d'acceptation I et II :

$$I - X \geq F_{cc} + 1.2 \sigma$$

$$II - X_{min} \geq F_{cc} - 4$$

On a :

$n$  : nombre des résultats des essais dans une partie.

(un échantillon de  $n$  éprouvettes )

$X_n$  : moyenne arithmétique de  $n$  résultats des essais de la résistance à la compression.

$F_{cc}$  : résistance à la compression de béton caractéristique.

( ou résistance normalisée ).

$\sigma$  : l'écart type déterminé d'un grand nombre suffisant (  $n \geq 30$  ) des essais.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_n - x_i)^2}{n-1}}$$

$X_{\min}$  : le plus petit du n résultats des essais.

$X_i$  : résultat i de l'essai à la résistance de compression.

#### 5-1-3-1- Contrôle de l'uniformité de béton :

Le coefficient de variation est calculer comme suit : 
$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}_n} 100 \text{ (\%)}$$

Il détermine l'uniformité de la fabrication du béton.

D'après le jugement de l'uniformité par rapport au coefficient de variation la qualité de béton est donné dans le tableau suivant :

coefficient de variation V	classification du l'uniformité de la fabrication du béton
au-dessous de 10 %	très bon
10 à 15 %	bien
15 à 20 %	acceptable
dépassant 20 %	faible

Tableau IV-7 : Classification de l'uniformité du béton

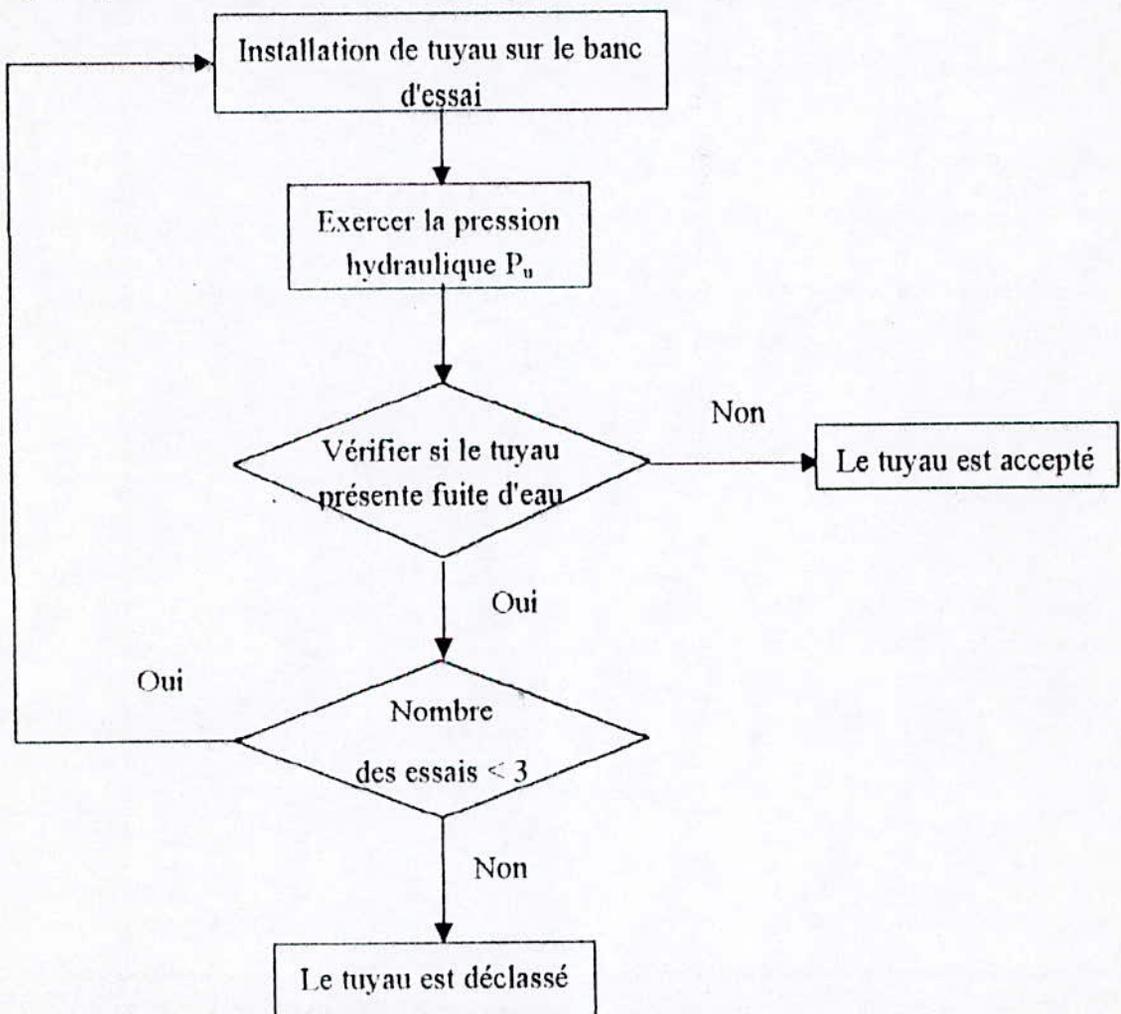
## 5-2-Contrôle de la qualité des tuyaux :

Le contrôle de la qualité des tuyaux à travers des essais hydrostatique à la pression en usine  $P_u$  qui est déterminée en fonction de la pression de service  $P_c$  .

- pour le tuyau FB :  $P_u = (P_c + 2) \cdot 1,2$
- pour le tuyau FTI :  $P_u = 1,2 P_c$

Le contrôle permet de vérifier si le tuyau présente des fuites d'eau. Les tuyaux présentant des fuites seront réparés et mis au banc d'essai une deuxième fois, si les fuites sont toujours présentes après deuxième et troisième essai, les tuyaux seront déclassés.

### 5-2-1- Organigramme de contrôle de la qualité des tuyaux :



## 6- Etude des défauts dans les tuyaux FB:

Une fois qu'un tuyau est contrôlé au banc d'essai, il est soit :

- accepté : C'est-à-dire qu'il est conforme au plan de contrôle .
- rejeté : Dans ce cas il est déclassé .

Le nombre des tuyaux FB fabriqués durant l'année 1997 pour des différents diamètres et pressions est présentée dans le tableau (IV-8).

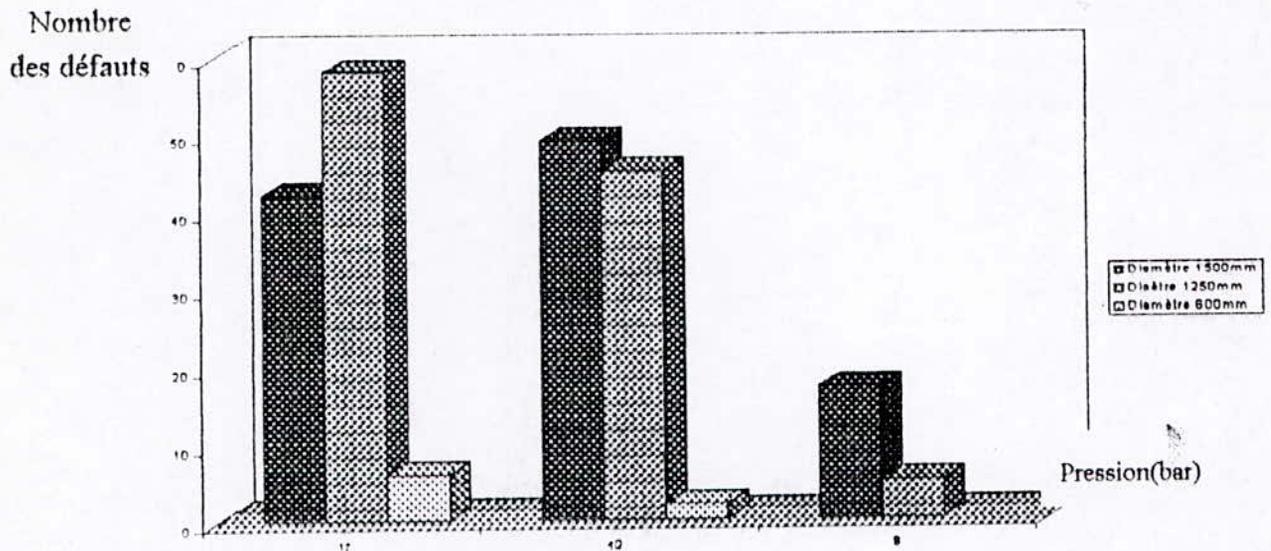
		Diamètre de tuyau mm		
		1500	1250	600
Pc (bar)	12	59	140	35
	10	78	71	3
	8	25	9	-

Tableau IV-8 : Nombre des tuyaux fabriqués pour 1997

Le nombre des tuyaux présentant des défauts de fuites d'eau selon la fabrication de la même année est présenté dans le tableau (IV-9).

		Diamètre de tuyau mm		
		1500	1250	600
Pc (bar)	12	42	58	6
	10	49	45	2
	8	17	5	-

Tableau IV-9 : Nombre des défauts constatés pour l'année 1997



Histogramme IV-1 : Les nombres des défauts des tuyaux  
FB pour 1997

### 6-1-L'origine des défauts dans le tuyau FB :

Les fuites d'eau constatées dans le tuyau FB, lorsqu'il est soumis à la pression hydraulique, se produisent au niveau de trois parties du tuyau :

- Mâle ( M ) : Partie extrême du tuyau.
- Corps ( C ) : Milieu du tuyau.
- Femelle ( F ) : L'autre partie extrême du tuyau.

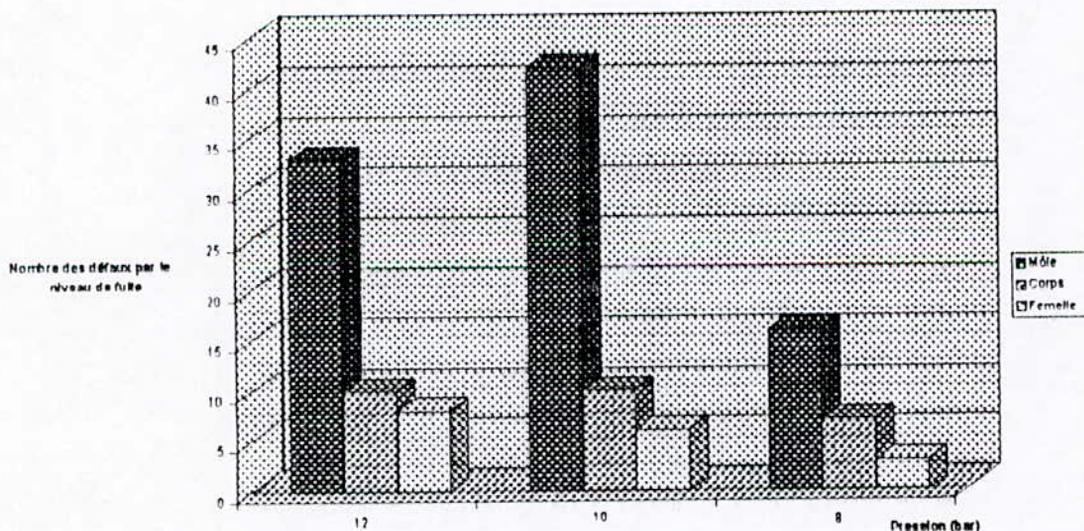
Nous présentons dans le tableau (IV-10) la répartition de nombre des fuites constatées dans les différentes parties de tuyau cités ci-dessus :

Numéro de pression	Pc (bar)	Diamètre des tuyaux (mm)								
		1500			1250			600		
		M	C	F	M	C	F	M	C	F
1	12	33	10	8	46	16	4	3	2	1
2	10	42	10	6	33	15	3	1	1	0
3	8	16	7	3	5	3	0	-	-	-

Tableau IV -10 : Nombre des défauts d'après le niveau de fuites d'eau

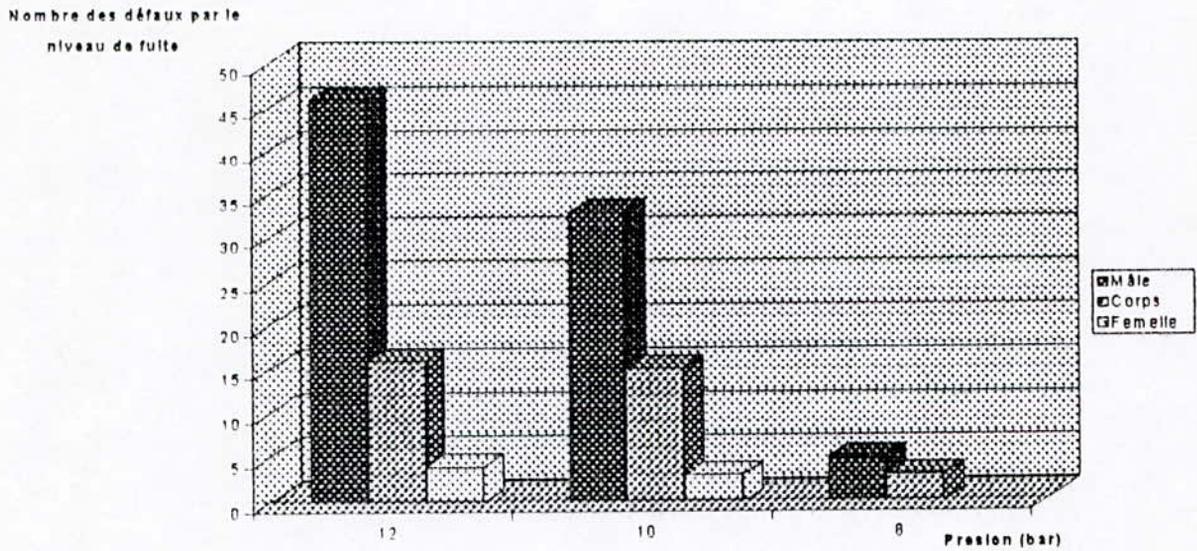
Sur la base des données le tableau (IV-9), nous traçons les histogrammes pour chaque diamètre des tuyaux.

- Pour les tuyaux de diamètre 1500mm :



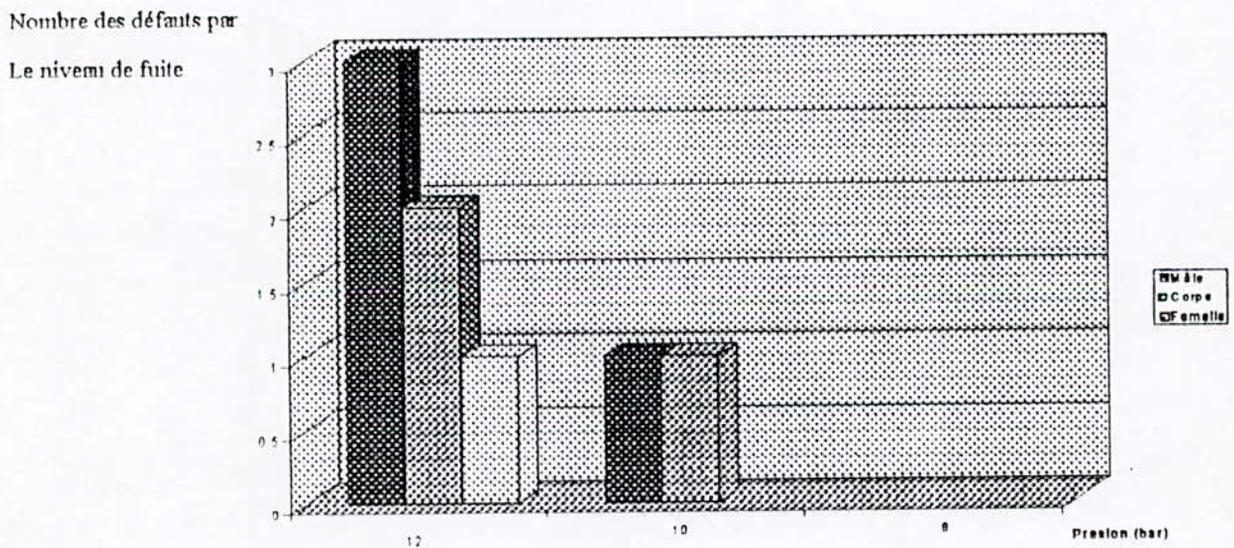
Histogramme IV-2 : Les nombres des défaut de tuyau 1500mm d'après le niveau de fuite

- Pour les tuyaux de diamètre 1250mm :



Histogramme IV-3 : Les nombres des défauts des tuyau de diamètre 1250mm d'après le niveau de fuite

- Pour les tuyaux de diamètre 600mm :

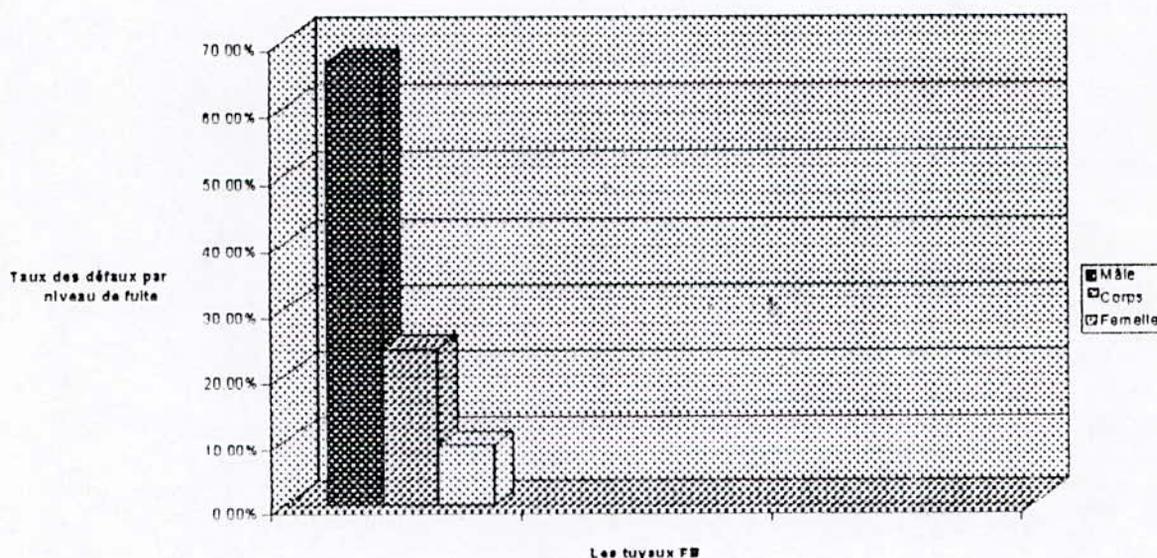


Histogramme IV-4 : Les nombres des défauts d'après le niveau de fuite pour les tuyaux de D. 600mm

Le tableau (IV-11) représente le taux des défauts constatés dans les différentes sections des tuyaux :

Le niveau de fuite d'eau	Le taux des défauts
Mâle (M)	66.79
Corps (C)	23.88
Femelle (F)	9.32

Tableau IV-11 : Le taux des défaut d'après le niveau de fuite d'eau



Histogramme IV-5 : Le pourcentage des défauts d'après le niveau de fuite

## 7- Conclusion :

L'histogramme (IV-5) montre clairement que plus de 66% des fuites se situent au niveau du mâle.

Nous allons donc, dans ce qui suit nous s'intéresser à l'étude des causes des fuites au niveau de l'extrémité mâle (M) des tuyaux FB.

## **CHAPITRE V**

### **ANALYSE DES CAUSES DU DEFAUT DES TUYAUX FB**

## CHAPITRE V

### ANALYSE DES CAUSES DU DÉFAUT DES TUYAUX FB

D'après l'étude des défauts dans les tuyaux FB (chapitre IV), on a constaté que la partie la plus sensible est la partie mâle de tuyau (tableau IV-5).

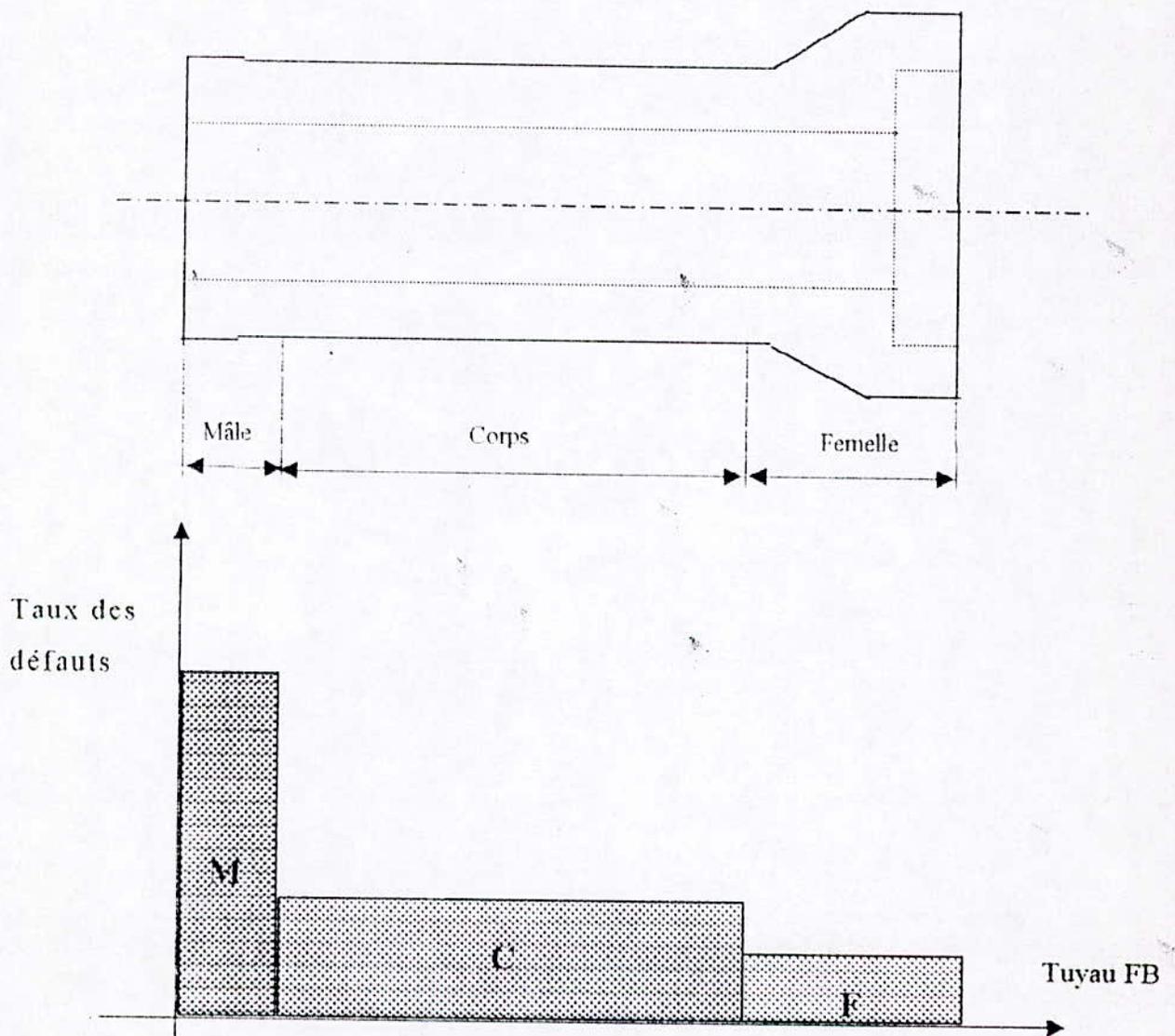


Figure V-1 : Taux des défauts sur les tuyaux FB

## 1-Explication de l'anomalie :

Dans les tuyaux en béton précontraint, on peut définir la pression critique qui est la pression qui provoque la formation des fissures de passage dans le tuyau : on a une perte d'eau et une chute de pression instantanée.

Cette perte d'eau peut être observée au niveau de trois parties de tuyau :

- Mâle.
- Corps.
- Femelle.

## 2-Explication du phénomène des fissures :

Les phénomènes qui apparaissent lors de l'essai hydrostatique de tuyau sont les suivants :

- A- A la pression critique l'effort unitaire du fil se maintient entre deux valeurs admissibles qui sont généralement inférieures aux tensions initiales du fil au moment du frettage. Cette chute de tension engendre des fissures sur le béton.
- B- En enlevant la pression, les fissures se referment et le tuyau reprend son imperméabilité primitive.
- C- Au moment d'une nouvelle mise en charge, la valeur de la pression critique diminue et ce d'autant que fait défaut la résistance de béton à la traction, résistance qui a déjà été vaincue lors de la première mise en charge.

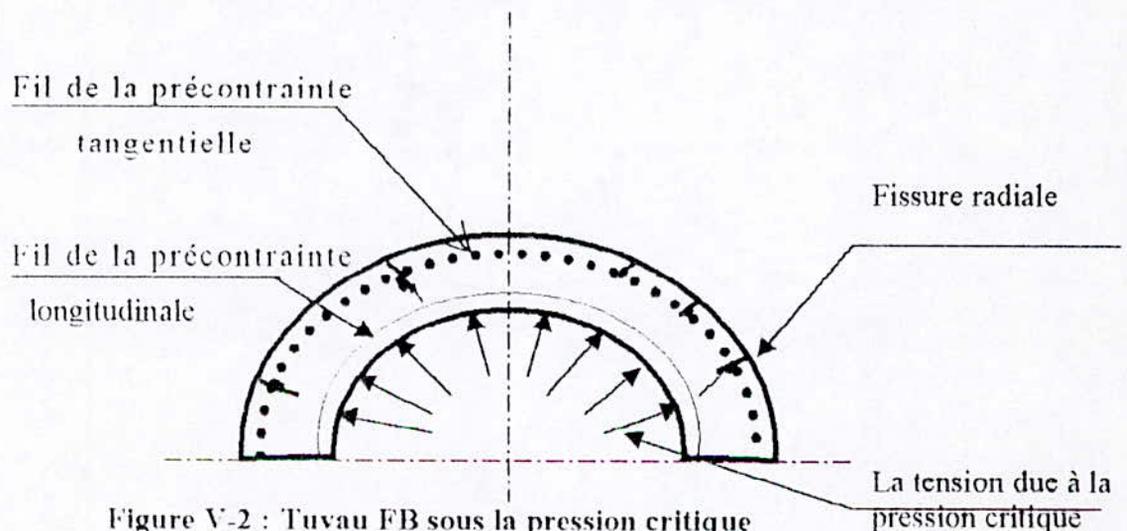


Figure V-2 : Tuyau FB sous la pression critique

### 3- Analyse des causes de défauts :

Pour déterminer les causes de défauts, on a procédé à la collecte du plus grand nombre possible d'informations, et des données enregistrées auprès des services suivants :

- Le laboratoire de contrôle de la qualité.
- Le service de la production de la ligne FB.
- Le département maintenance.
- Le service personnel.

Afin de pouvoir détailler (étudier) les causes de dispersion, nous allons présenter le diagramme d'ISHIKAWA.

Dans ce diagramme il faut relever toutes les causes concevables et les mettre en relation de cause effet.

#### 3-1- Diagramme d'ISHIKAWA :

Il faut constamment se poser la question :

Pourquoi la dispersion apparaît-elle ?

Cela permet d'énumérer toutes les causes de dispersion.

Les principales causes affectant la mauvaise qualité appartiennent aux catégories suivantes :

- Matériel.
- outillage
- Main d'œuvre (opérateur).
- Matériaux.
- Méthode.
- Mesures.
- Milieu.

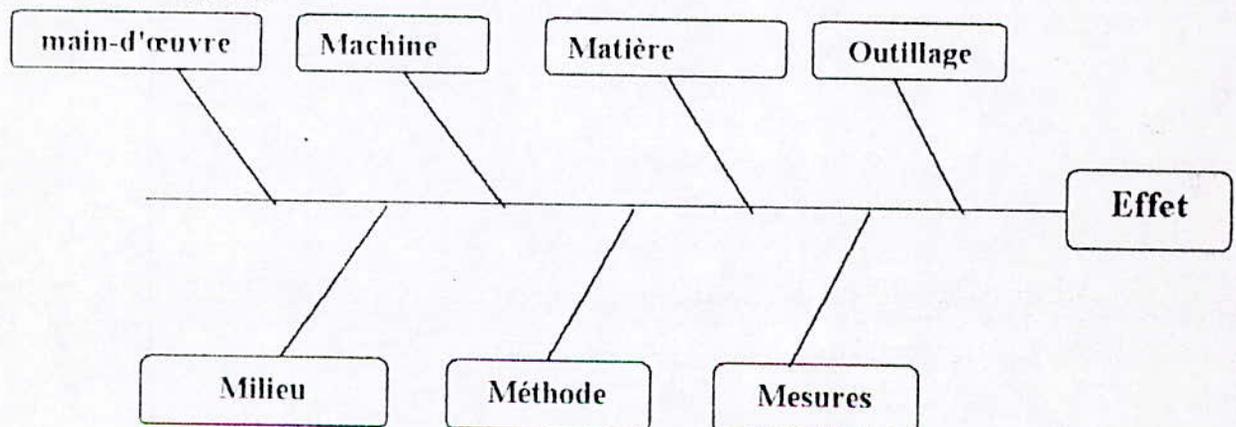


Figure V-3 : Diagramme d'Ishikawa

Chaque cause étant ainsi placée sur le diagramme, nous allons énumérer les sous causes possibles :

- **Machine :**

- mauvais réglage
- non précise.
- Capacité : . Etranglement.
- Entretien (maintenance) -
  - aléatoire : - manque de formation du personnel
    - manque de motivation du personnel.
  - manque ou inexistence des pièces de rechange
  - Préventive(périodique) : - longue période.
  - Non suivi : inexistence de carte de contrôle de la machine.

- **Outillage :**

- Non disponible.
- Affûté.
- Usé.

- **Main d'œuvre :**

- formation : - recyclage.
  - qualification.
  - spécification.
- information : - motivation + sensibilité.
  - affichage + publicité.
  - responsabilité : - conscience
    - auto-contrôle.
- routine : - habitude + monotonie.
  - impulsivité.

- **Matière :**

- Contrôle de réception.
- Manutention.
- Stockage : - à l'humidité

- à l'air libre.

- Conformité : - non-respect des spécifications.
- Traitement de matière : - insuffisance des essais.

- milieu :

- Hygiène.
- Sécurité collective.
- Perturbation (mauvaise organisation des postes de travail).
- Température ambiante.
- Eclairage.

- Mesures :

- Qualification des contrôleurs.
- Stockage des moyens de contrôle.
- Fréquence de contrôle.
- Précision des moyens de contrôle.

- méthode :

- Système de production en série : modification.
- Méthodes inadaptées :
  - montage.
  - décoffrage.
  - conception.
- inexistence de service de méthode.

#### 4- Plan d'action :

Le diagramme d'ISHIKAWA établi précédemment, nous permet d'aller aux sources des causes contribuent directement ou indirectement à la création de la mauvaise qualité.

Toutefois, certaines causes influant d'une manière directe sur la non-conformité des produits, ces derniers peuvent appartenir aux catégories suivantes :

- La matière.
- Les machines.
- La main d'œuvre.

##### 4-1-La matière :

Plusieurs facteurs peuvent provoquer la non-conformité des produits tels que :

- Traitement.
- Insuffisance des essais à cause de manque des moyens.
- Le non-respect des normes.

Afin de vérifier les conformités aux spécifications, la matière fournie de l'extérieur doit subir un contrôle de réception.

Le tableau suivant donne des essais effectués durant l'année 1997 par rapport aux nombres prévus :

Essai	Nombre prévu	Nombre réalisé	Ecart
fil d'acier	12	9	-3

**Tableau V-1 : Nombre des essais de fil d'acier**

On remarque l'écart entre le nombre prévu et nombre réalisé pour les essais de fil d'acier qui entre dans la fabrication de la précontrainte longitudinale et transversale, Ces deux phases de fabrication sont très importantes pour la production des tuyaux FB.

#### 4-2 Main d'œuvre :

L'attitude des employés est importante dans la production de la qualité.

En effet, la régularité dans le travail et la conscience professionnelle entraînent les employés à utiliser les machines et la matière d'une manière efficace.

Ainsi, la formation et la spécialisation des travailleurs sont des paramètres qui jouent un rôle important dans la bonne marche du processus de fabrication.

La ligne de production FB. comprend 45 effectifs, et connaît un manque important d'ouvriers.

Le nombre des effectifs prévus et réalisé dans la ligne FB est reparti selon le poste de travail dans le tableau suivant :

Poste de travail	Nombre prévu	Nombre réalisé	Ecart
- Responsable de la ligne FB.	1	1	0
- Adjoint.	1	1	0
- Contrôleurs.	5	0	-5
- Préparation de béton	5	4	-1
- Centrifugation	3	3	0
- Etuvage	4	3	-1
- Décoffrage	12	8	-4
- Tamponnement et remplissage des trous de la précontrainte longitudinale.	4	3	-1
- Préparation des moules	6	5	-1
- Mis en fonction du fil longitudinal	2	2	0
- Frettage	6	4	-2
- Essai hydrostatique	8	5	-3
- Revêtement	8	6	-2
<b>Totaux</b>	<b>65</b>	<b>45</b>	<b>-20</b>

Tableau V-2 : Effectifs de la ligne de production FB

D'après le tableau (V-2) présentant, le nombre d'effectifs prévus et réalisés, nous tenons à faire les remarques suivantes :

- 1- La ligne de production connaît un manque d'opérateurs spécialisés, ces derniers contribuent d'une manière importante à la fabrication.
- 2- Un manque des manœuvres qui s'occupent de l'apport des outils et des matières, leur absence perturbe l'opérateur et l'oblige à faire en parallèle à son travail, celui de manœuvre.
- 3- En parallèle avec son travail l'opérateur s'occupe aussi du contrôle au niveau de son poste ( à cause du manque des contrôleurs).

D'autre part, il est absolument nécessaire d'avoir la coopération du personnel de fabrication et du contrôle, pour que le produit obtenu réponde aux exigences de conformité préétablies. Parfois la fabrication travaille isolement du contrôle, et le jugement de la conformité est laissé à l'appréciation de l'opérateur.

#### 4-3- Les machines :

Un réglage incorrect peut provoquer une importante erreur de production.

D'autres paramètres cités, précédemment (diagramme d'ISHIKAWA) provoquent la mauvaise qualité des tuyaux, tel que :

- Mauvais nettoyage au poste de préparation des moules avant de procéder à l'opération de formation de tube primaire.
- Montage inapproprié des joints aux deux extrémités du moule.
- Les machine de frettage est mal réglée au niveau du pas de spires et la force de tire (ces deux dérèglements ne sont pas déclarés au service de maintenance ).
- Mauvaise vibration de béton au poste de centrifugation et revêtement des tuyaux (la vibration a comme rôle de compacité le béton).

Afin de juger l'état des machines, le tableau suivant donne leur situation en fonction de :

- La fiabilité des machines calculée pour les temps moyens de bon fonctionnement.
- Le nombre des pannes.

Les données figurées sur le tableau (V-3) sont relatives à l'année 1997 :

Désignation	MTBF(h)	R (MTBF)	Nombre des pannes Pour l'année 1997
- Grue 30T	48.637	0.306	168
- Machine de prétention	347.04	0.337	25
- Centrale à béton	102.237	0.335	80
- Alimentateur en béton	140.82	0.317	54
- Centrifugation	57.711	0.318	121
- Chariot porte tuyau	317.75	0.307	32
- Bobineuse	269.815	0.316	27
- Machine à fretter	151.714	0.330	49
- Banc d'essai	158.438	0.2278	48
- Machine de revêtement	307.333	0.317	27
- chaudière	181.947	0.315	38

Tableau V-3 : La fiabilité et le nombre des pannes des machines

Le tableau (V-3) montre le niveau de fiabilité des machines de la ligne de production FB (< 0.5), et le nombre élevé des pannes.

Ainsi nous insistons sur :

- 1- la mise en place des cartes de contrôle pour s'assurer du réglage des machines
- 2- l'entretien périodique des machines en tenant compte de temps moyen de bon fonctionnement (MTBF) de chaque machine.
- 3 Inspection régulière des machines.

### 5- L'étude de la machine à fretter :

La précontrainte tangentielle confère au tuyau sa résistance à la pression hydrostatique. Pour cela l'opération de frettage doit être réalisée de façon à assurer une distribution uniforme de la précontrainte tangentielle sur toute la longueur du tuyau.

Il est donc nécessaire de déterminer et contrôler avec précision la force de tire et les pas de spire, ces derniers sont déterminés en fonction de la pression de service  $P_c$  et du diamètre de tuyau  $D$  (Tableau V-4).

Diamètre mm	Pression de service $P_c$ (bar)			
	8	10	12	16
600	50	44	38	30
700	47	38	33	25
800	40	34	29	22
930	34	29	25	20
1000	31	27	23	18
1250	24	22	18	-
1500	21	19	-	-

Tableau V-4 : Les pas de spire

Les tuyaux qui passent par le banc d'essai qui présentent généralement des fuites d'eau, après réparation, subissent une deuxième opération de frettage. Cette opération a pour but de refermer les fissures de tuyau.

Pour la production de l'année 1997, le nombre des tuyaux refrettés est indiqué sur le tableau (V-5).

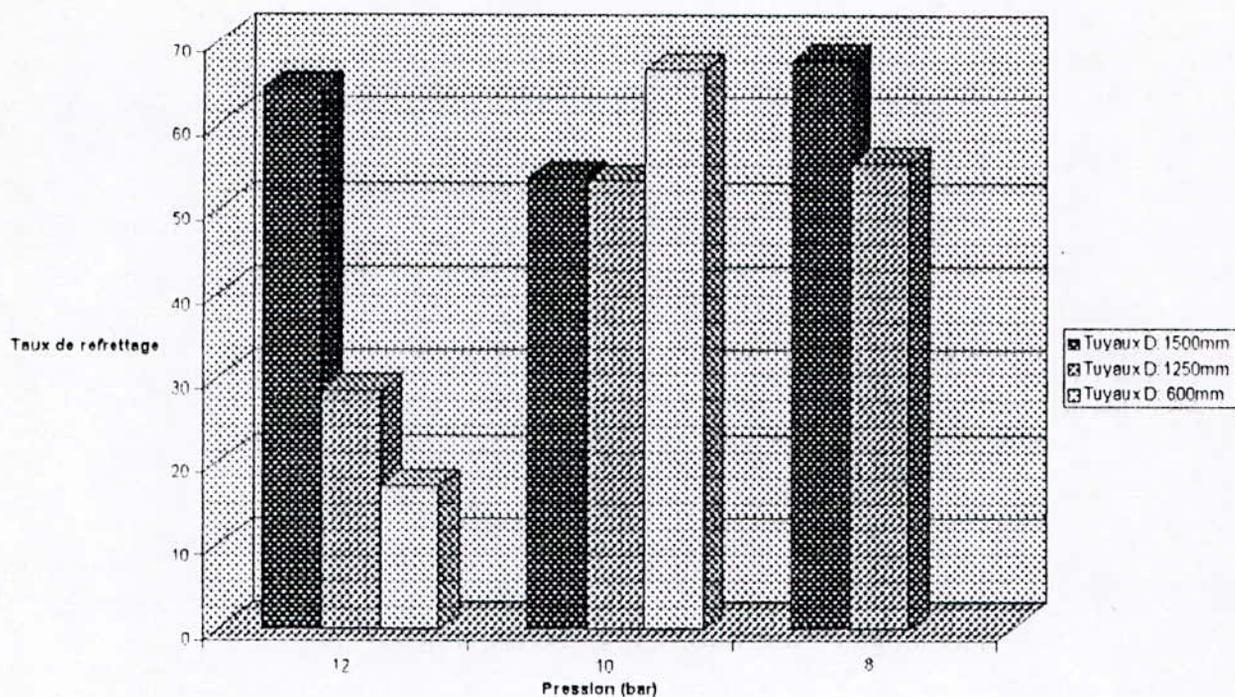
		Diamètre de tuyau (mm)		
		1500	1250	600
Pc (bar)	12	38	40	6
	10	42	38	2
	8	17	3	-

Tableau V-5 : Les tuyaux refrettés

Pourcentage des tuyaux refrettés pour les différents diamètres et pressions de service.

		Diamètre de tuyau (mm)		
		1500	1250	600
Pc (bar)	12	64.040%	28.57%	17.14%
	10	53.84%	53.52%	66.66%
	8	68%	55.55%	-

Tableau V-6 : Pourcentage des tuyaux refrettés



Histogramme V-1 : Les tuyaux refrettés

Le pourcentage total des tuyaux refrettés par apport à la production de toute l'année 1997 est : 44.28%

L'ensemble de ces tuyaux résulte d'un défaut de frettage qui est causé par le dérèglement de la machine à fretter au niveau des pas de spire et la force de tire de frettage.

Nous allons donc procéder à l'élaboration des cartes de contrôle pour les pas de spire et la force de tire.

6- Utilisation des cartes de contrôle :

6-1- La mise en œuvre de la carte de contrôle pour les pas de spire :

Pour avoir une grande précision pour les cartes de contrôle, nous avons prélevé :

- Un nombre d'échantillon :  $K = 14$  ( tuyau de diamètre 1250 mm,  $P_c=12$  bar ).
- Un nombre d'observation :  $n = 10$

Ces prélèvements ont été effectués de manière à ce que les observations soient distribuées sur toute la longueur de tuyau.

L'outil de mesure de pas de spire de  $18\text{mm} \pm 2\text{mm}$  est un pied à coulisse.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{X}$	R
K												
1	19	19.2	19.3	21.3	21	20	18.5	17.3	20	19.2	19.48	4
2	19	18.5	18	19.8	18.1	17.8	18.2	18	17.6	18.4	18.34	2.2
3	19.7	19.1	19.4	19.2	19.8	18.5	20	19.5	19.9	19.4	19.45	1.5
4	21.3	17.5	16.4	17.6	18.2	17	18.8	19.6	19	19.5	18.39	4.9
5	18	18.2	17.8	17	17.5	17	15.8	18.8	22.7	22	19.19	6.9
6	20.7	20.5	20.4	20.6	22.6	23	18	18.9	17.8	17.3	19.98	5.7
7	23.7	23.8	22.8	23.1	22.7	22	21.5	21.2	19	17.5	21.73	6.3
8	20	19.3	20.2	18.5	19.1	21.1	20	19.5	18.3	18	19.4	3.1
9	23.2	20.4	22.2	24.1	23.9	23.2	22	21	21.3	20.3	22.17	3.8
10	21.3	20.6	19.2	21.5	19.7	22	19.1	19	18.5	18	19.89	4
11	18	18.5	17.6	17.7	18.2	22.9	17.7	21.8	21.5	20.5	19.44	5.3
12	18.3	19.9	21.3	19	19.6	21.7	19	17.5	19.5	18	19.38	4.7
13	18.5	18.2	18.9	17.7	20.6	20.2	19.6	19.2	16.5	19.3	18.87	4.1
14	18.1	18.3	18.8	18.1	15.4	18.4	16.8	18	18.7	18.2	17.88	3.4
Poste de travail : machine à freter											$\bar{X}$	$\bar{R}$
Date : 20/06/1998												

Tableau V-7 : Les données de mesure de pas de spire

On a :  $\bar{X} = 19.54$

$\bar{R} = 4.278$

Les limites de carte de contrôle de  $\bar{X}$  :

$$\begin{cases} L_{CS} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 20.796 \\ L_{CI} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 18.222 \end{cases}$$

Les limites de carte de contrôle de R :

$$\begin{cases} L_S = D_4 \bar{R} = 7.602 \\ L_I = D_3 \bar{R} = 0.954 \end{cases}$$

Les valeurs de  $A_2$ ,  $D_4$  et  $D_3$  sont tabulées (annexe A2).

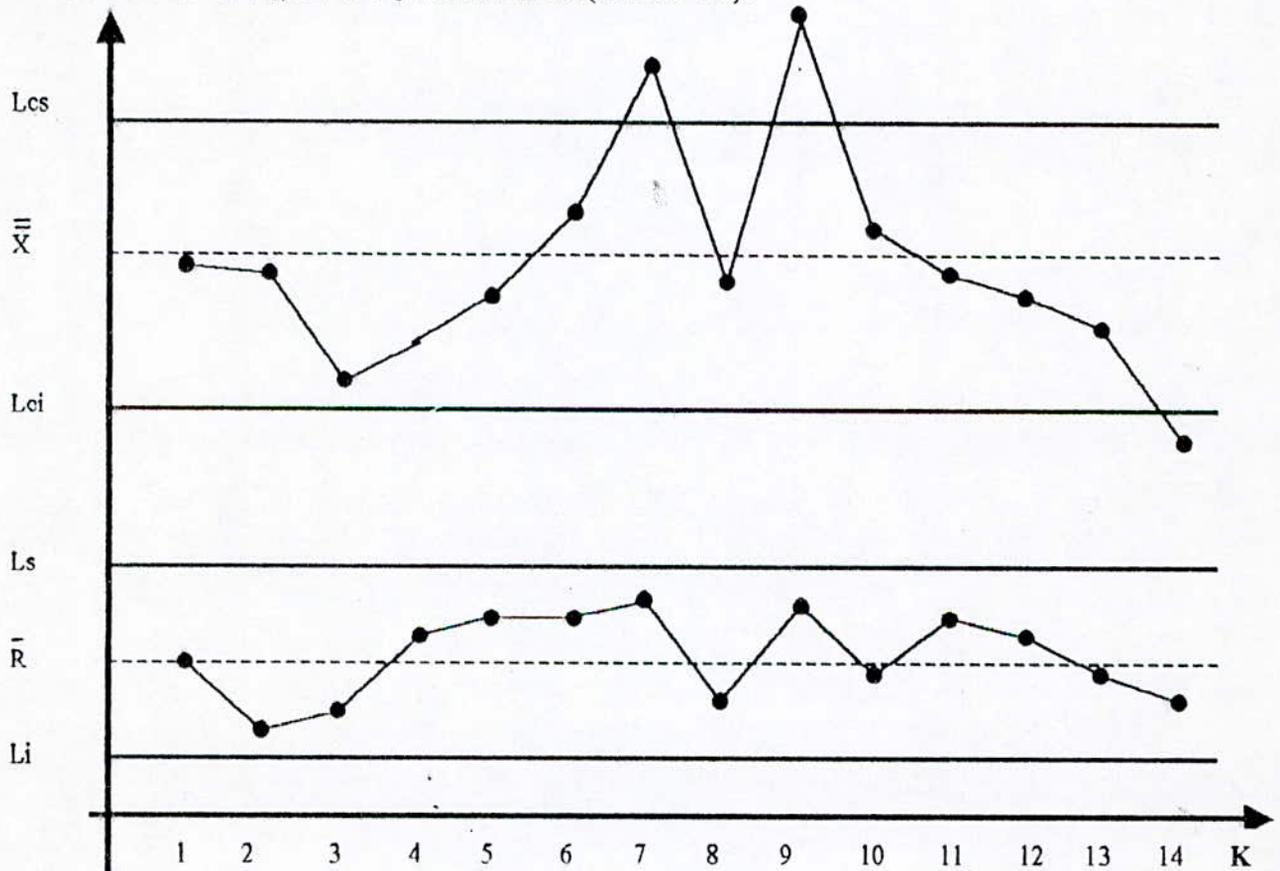


Figure V-3 : Les cartes de contrôle de  $\bar{X}$  et R pour les pas de spire

La carte de contrôle R montre que la dispersion de la machine est sous contrôle, tous les points se trouvent à l'intérieur des limites du contrôle.

Par contre la carte de contrôle de  $\bar{X}$  montre que les points (7, 9 et 14) se situent à l'extérieur des limites de contrôle.

Lors de l'opération de frettage, les extrémités du tuyau (mâle et femelle) sont fixées par des roues métalliques enroulées par un caoutchouc se trouvant aux extrémités de la machine à fretter. Ces roues ont pour rôle de fixer le tuyau et de se déplacer au fur et à mesure que l'enroulement par le fil de frettage se réalise sur la longueur de tube primaire.

L'apparition de ces points aberrants s'explique par le fait que les roues fixatrices (se trouvant sans l'enroulement en caoutchouc), n'ont pas été installées, ce qui cause le dérèglement des pas de spires.

Pour les points qui se trouvent à l'intérieur des limites de contrôle, les roues fixatrices ont été installées, malgré le risque engendré, qui se présente à travers des forces de friction, de ces roues métalliques (sans caoutchouc) sur le tuyau.

Etant donné que les causes de dérèglement ont été identifiées on va éliminer les points : 7, 9 et 14.

Les nouvelles limites de contrôle seront donc :

$$\text{On a : } \bar{X} = 19.255$$

$$\bar{R} = 4.218$$

Les limites de carte de contrôle de X :

$$\begin{cases} L_{CS} = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 20.554 \\ L_{CI} = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 19.955 \end{cases}$$

Les limites de carte de contrôle de R :

$$\begin{cases} L_S = D_4 \bar{R} = 7.495 \\ L_I = D_3 \bar{R} = 0.940 \end{cases}$$

$$\text{On a : } \sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = 1.37$$

Donc les limites de tolérance sont :

$$\begin{cases} T_s = \bar{X} + 3\sigma = 23.366 \\ T_i = \bar{X} - 3\sigma = 15.143 \end{cases}$$

Les limites de spécifications :

$$\begin{cases} Ss=20 \\ Si=16 \end{cases}$$

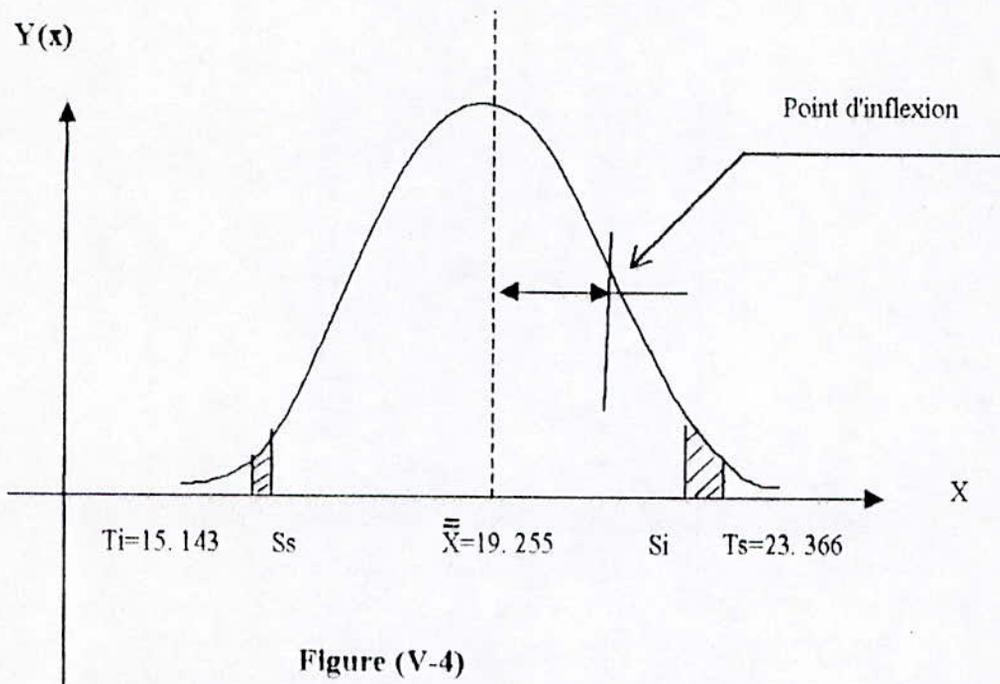


Figure (V-4)

Pourcentage des pas de spire non-conformes :

$$P = 1 - P(16 \leq \bar{X} \leq 20)$$

$$P = 0.3035$$

Donc on a : 30.35% des pas de spire non-conformes.

Malgré que la machine est sous contrôle elle produit un taux de 30.35% des pas de spire non conforme. Causées principalement par les roues fixatrices, ce dérèglement n'est pas déclaré au niveau de service maintenance.

D'autres causes peuvent produire des pas de spire non conformes :

- La carte électronique installée dans la machine à fretter qui a comme rôle de programmer les pas de spire, elle est souvent réparée à l'usine avec des composantes électroniques qui ne correspondent pas à celle de la carte originale.

6-2- La mise en œuvre de la carte de contrôle pour la force de tire :

Pour mettre en œuvre la carte de contrôle de la force de tire, nous avons prélevé :

Le nombre des échantillons :  $K=14$  ;

Le nombre des observations :  $n=10$ .

Les prélèvements ont été effectués en cours de l'enroulement de fil de frettage.

Les données obtenues pour les mesures de la force de tire :  $24 \pm 0.5$  KN se figurant sur le tableau (V-7).

$\begin{matrix} n \\ k \end{matrix}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{X}_i$	$R_i$
1	24.51	24.3	24.2	24.3	24.33	24.46	24.44	24.2	24.53	24.63	24.49	1.33
2	24.96	24	24.37	24.45	24.1	24.77	24.11	23.91	24.4	24.15	24.48	1.05
3	24.72	23.8	24.83	24.12	24.55	24.7	24.12	23.89	24.41	24.35	24.36	1.03
4	25.21	25	24.51	24.1	24.92	24.7	24.03	24.13	23.96	24.15	24.47	1.23
5	24.8	24.76	25.34	24.33	24.12	24.68	24.16	24	24.61	24.5	24.53	1.34
6	25.21	24.71	24.45	24.83	24.07	24.39	24.11	24.35	24.12	24.36	24.46	1.14
7	24.92	25	25.3	24.15	25.3	24.35	25.51	24.53	24.6	24.45	24.81	1.36
8	24.45	24.71	24.82	24.3	24.27	24.63	24.25	24.4	24.55	24.26	24.46	1.05
9	24.82	24.33	24.92	24.28	24.71	25.22	24.4	24.24	24.55	24.26	24.46	1.22
10	24	23.98	24.73	24.93	25.25	24.86	24.40	24.03	24.06	24.2	24.49	1.27
11	24.04	24.10	24.13	23.98	23.55	23.62	23.96	23.75	24.18	24.39	23.96	0.84
12	24.85	24.97	24.9	24.58	24.81	24.66	24.63	24.32	24.44	24	24.66	0.97
13	24.11	24.27	24.3	24.56	23.95	24.65	24.34	24.31	24.36	24.19	24.31	0.7
14	24.67	24.36	24.5	24.47	24.61	24.41	24.29	24.7	24.54	24.58	24.54	0.41
Poste de travail : machine à fretter											$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{R}}$
Date : 20/06/1998												

Tableau V-7 : Les données de mesure de la force de tire

On a :  $\bar{\bar{X}} = 24.47$

$\bar{\bar{R}} = 1.07$

Les limites de carte de contrôle de  $\bar{X}$  :

$$\begin{cases} L_{cs} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 24.79 \\ L_{ci} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 24.14 \end{cases}$$

Les limites de carte de contrôle de R :

$$\begin{cases} L_s = D_4 \bar{R} = 1.90 \\ L_i = D_3 \bar{R} = 0.23 \end{cases}$$

Les valeurs de  $A_2$ ,  $D_4$  et  $D_3$  sont tabulées (annexe A2)

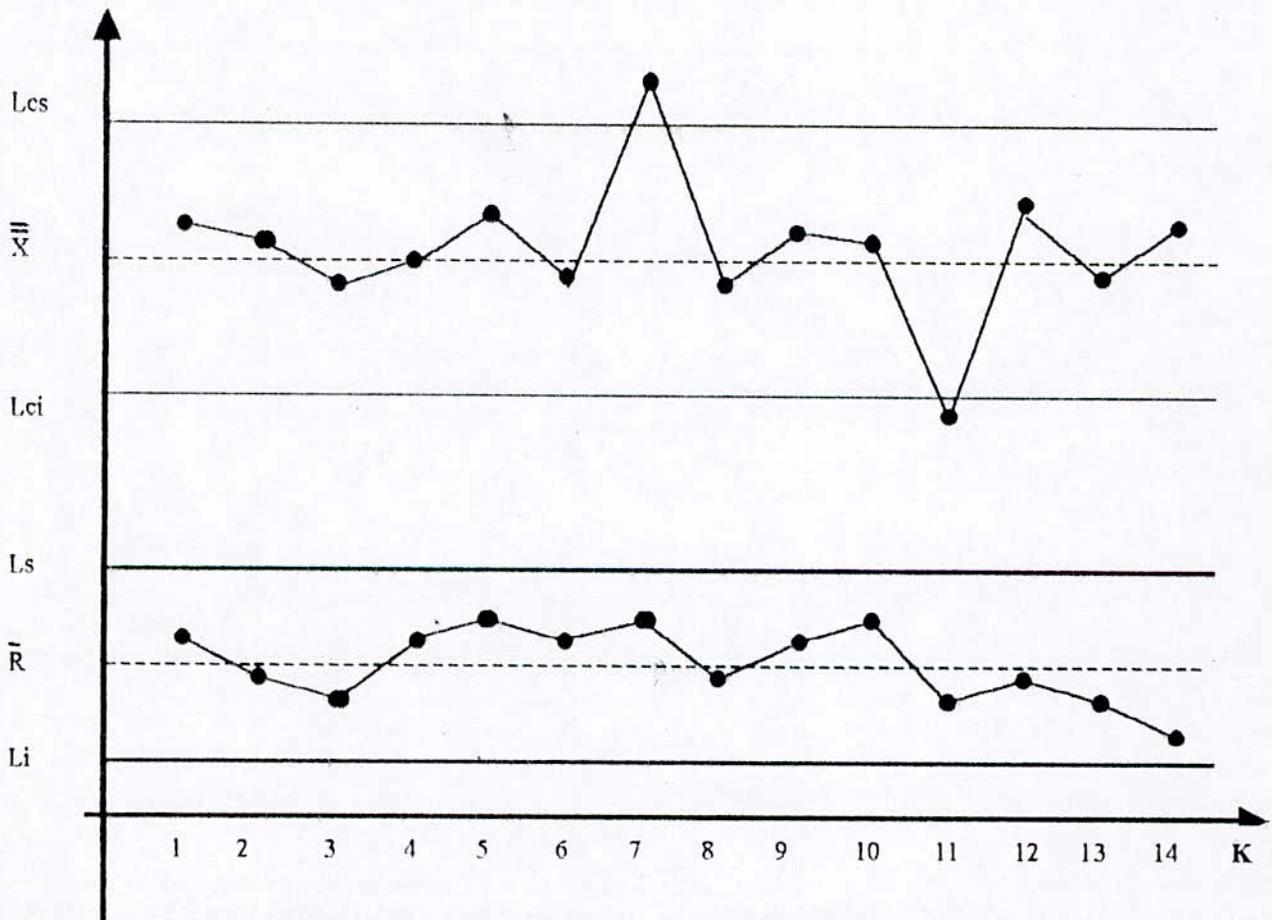


Figure V-5 : Les cartes de contrôle de  $\bar{X}$  et R pour la force de tire

La carte de contrôle de R montre que la dispersion de la machine est sous contrôle.

La carte de contrôle de  $\bar{X}$  montre que deux points(7 et 11) se trouvent à l'extérieur des limites de contrôle.

La cause essentielle de l'apparition de ces deux points à l'extrémité des limites est :

- Dérèglement de la machine à frotter au niveau du moteur frein, qui a comme rôle de garantir la constante de la force de tire.

On peut expliquer ce dérèglement par les fuites d'huile de moteur frein durant toute l'opération de frottage.

Ce pendant il faut remarquer que les dispositifs mécaniques comme le moteur frein de la machine à frotter, présentent certains inconvénients :

Après le début de l'opération de frottage, le moteur frein ne peut atteindre le niveau de la force de tire déterminée, qu'après un certain temps de l'enroulement de fil.

Cet inconvénient relatif à ces dispositifs mécaniques engendre la difficulté à contrôler la force de tire.

Etant donné que les causes de dérèglement sont connues, on va éliminer les points (7 et 11), Pour mettre la machine sous contrôle

Les nouvelles limites de contrôle seront donc :

$$\text{On a : } \bar{\bar{X}} = 24.48$$

$$\bar{R} = 1.06$$

Les limites de carte de contrôle de  $\bar{X}$  :

$$\begin{cases} L_{CS} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 24.8 \\ L_{CI} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 24.15 \end{cases}$$

Les limites de carte de contrôle de R :

$$\begin{cases} L_S = D_4 \bar{R} = 1.88 \\ L_I = D_3 \bar{R} = 0.23 \end{cases}$$

On a :  $\sigma = \bar{R} / d_2 = 0.344$

Donc les limites de tolérance sont :

$$\begin{cases} Ts = \bar{X} + 3\sigma = 25.51 \\ Ti = \bar{X} - 3\sigma = 23.44 \end{cases}$$

Les limites de spécifications :

$$\begin{cases} Ss = 25 \\ Si = 24 \end{cases}$$

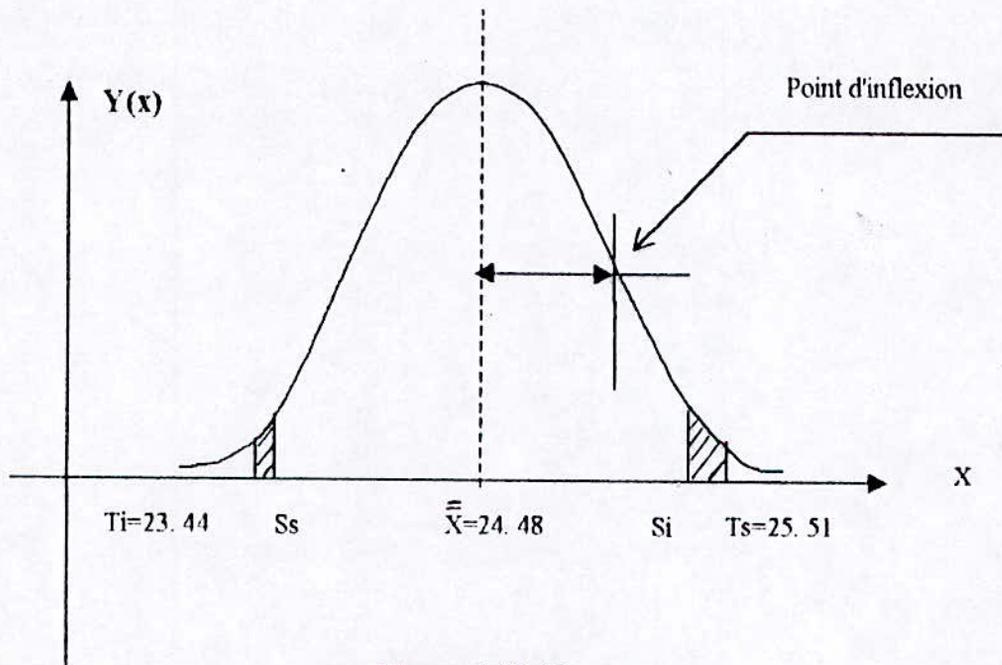


Figure ( V-6 )

Pourcentage des pas de spire non-conformes:

$$P = 1 - P(24 \leq \bar{X} \leq 25)$$

$$P = 0.1482$$

Donc on a : 14.82% des pas de spire non-conformes.

Après l'élimination des points aberrants, la machine produit 14.82% des forces de tire non conformes aux spécifications (figure V -5), cette anomalie est causée essentiellement par le moteur frein, le dérèglement de ce dernier provoque la variation de la force de tire.

D'autres causes peuvent engendrer le dérèglement :

- La mauvaise fixation de fil de frettage sur l'extrémité du tuyau (mâle) ;
- La perte de tension de fil de frettage provoqué par l'arrêt de la machine en cours de l'enroulement.
- La mauvaise réparation des cartes électroniques relatives au moteur frein.

## 7- Conclusion :

Nous avons opté dans ce chapitre pour une approche de résolution qui se base au départ sur une analyse des causes de défauts : pour cela, nous avons relevé toutes les causes concevables pour les mettre en relation de cause à effet dans le diagramme d'ISHIKAWA.

Nous avons déterminé par la suite les causes les plus importantes qui influent d'une manière directe sur la non-conformité des produits.

Ces causes peuvent appartenir aux catégories suivantes :

- La matière.
- Les machines.
- La main d'œuvre.

L'étude de chaque catégorie nous a permis de tirer les remarques suivantes :

- Manque des essais pour le contrôle de la qualité de la matière première surtout pour le fil d'acier qui est utilisé pour la fabrication de la précontrainte transversale et tangentielle.
- La ligne de production FB connaît un manque dans la main d'œuvre et surtout des contrôleurs, ces derniers contribuent d'une manière directe à la qualité de production des tuyaux.
- Les machines au niveau de la ligne FB connaissent un nombre très élevé de pannes qui est expliqué par un manque de suivi et une maintenance inappropriée.

Parmi les machines de la ligne FB nous trouvons la machine à fretter, pour la réalisation de la précontrainte tangentielle ; cette dernière a un rôle important dans la résistance de tuyau à la pression hydraulique lors des essais en usine.

L'étude de la machine à fretter nous a permis de trouver que 44.28% (Tableau V-6) de l'ensemble des tuyaux résulte d'un défaut de frettage qui est causé par le dérèglement de la machine à fretter au niveau des pas de spire et la force de tire de frettage.

Pour remédier à ce problème, nous avons proposé un suivi par des cartes de contrôle pour la réalisation des pas de spire et la force de tire.

La mise en œuvre des cartes de contrôle nous a conduit à montrer que la machine à fretter produit 30.35%(Figure V-5) des pas de spire et 14.82%(Figure V-6) de force de tire non-conformes aux spécifications.

Une comparaison entre le taux des produits non-conformes pour les pas de spire 30.35%, et la force de tire 14.82% avec le taux des tuyaux refrettés 44.28%, nous a permis de tirer les causes essentielles de cette anomalie qu'on a pu identifier à travers notre étude à la réalisation de la précontrainte tangentielle par la machine à fretter, et par suite l'influence de cette dernière sur la qualité des tuyaux.

## **CONCLUSION GENERALE**

## Conclusion générale

L'étude du tuyau FB, a été effectuée à deux niveaux :

- Le premier étant l'étude de l'existant à travers les plans utilisés. L'établissement des taux de défauts d'après le niveau d'apparition des fuites d'eau sur le tuyau, nous a conduit à l'étude de la partie extrémité mâle du tuyau.
- Pour le deuxième niveau une étude approfondie des causes de cette anomalie, nous a permis de suivre les procédés de fabrication des tuyaux, leur contrôle et les moyens utilisés.

Nous avons déterminé par la suite les causes les plus importantes qui influent d'une manière directe sur la non-conformité des produits.

Ces causes peuvent appartenir aux catégories suivantes :

- La matière.
- Les machines.
- La main d'œuvre.

L'étude de chaque catégorie nous a permis de tirer les remarques suivantes :

- Manque des essais pour le contrôle de la qualité de la matière première surtout pour le fil d'acier qui est utilisé pour la fabrication de la précontrainte transversale et tangentielle.
- La ligne de production FB connaît un manque dans la main d'œuvre et surtout des contrôleurs, ces derniers contribuent d'une manière directe à la qualité de production des tuyaux.
- Les machines au niveau de la ligne FB connaissent un nombre très élevé de pannes qui est expliqué par un manque de suivi et une maintenance inappropriée.

D'après l'analyse des causes, nous avons pu mettre l'accent sur le défaut précédemment cité : il s'agit du dérèglement de la machine à fretter.

Nous avons donc procédé à l'élaboration des cartes de contrôle pour le pas de spire et la force de tire de fil de frettage.

La mise en œuvre des cartes de contrôle nous a permis d'identifier les causes de dérèglement de la machine à fretter, ils se situent au niveau des roues fixatrices et du moteur frein.

Pour remédier à ces problèmes, nous émettons les suggestions suivantes :

- Renouvellement des roues fixatrices et du moteur frein ainsi que des cartes électroniques correspondantes.
- Inspection régulière du moteur frein avant et en cours de frettage.
- Mise en place des cartes de contrôle pour les pas de spire et la force de tire.

**BIBLIOGRAPHIE**

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Le contrôle statistique de fabrication.  
Cavé. René  
Ed. Dunod, 1970
- [2] Introduction to statistical quality control.  
Douglas C. Montgomery  
Ed. John Willy, 1985
- [3] Le contrôle technique de qualité.  
M. Teillac  
Ed. EEM. 1985
- [4] Tuyaux de grand diamètre en béton armé.  
G. Turazza  
Ed. Dunod, 1962
- [5] Manuel pratique de gestion de la qualité.  
K. Ishihawa AFNOR gestion 1987
- [6] Nouveau guide du béton.  
G. Dreux  
Ed. Eyrolles, 1986
- [7] La gestion de la qualité; outils et application pratique.  
Kaori Ishikawa  
Ed. Dunod, 1985
- [8] Essais et contrôle des bétons.  
F. Gorisse  
Ed. Eyrolles, 1978
- [9] La statistique outil de la qualité.  
P. Souvay  
AFNOR 1986
- [10] Gestion et contrôle de la qualité.  
P. Vandeville  
Edition de l'AFNOR. 1985

- [11] Contrôle de la qualité de béton.  
Edition de l'AFNOR, 1985
- [12] Pratique de béton précontraint.  
G. Dreux  
Ed. Eyrolles, 1986
- [13] Les techniques casagrande pour l'amélioration de la qualité des tuyaux en béton.  
Casagrande, 1987
- [14] Manuel de contrôle de la qualité en laboratoire de l'UB
- [15] Manuel sur : - Les méthode de production.  
- Liste du personnel.  
Service de production FB à l'UB
- [16] Note de calcul des contraintes et des tensions exercées sur le tuyau FB.  
Casagrande, 1987
- [17] PFE « Etude technico-économique des équipements de la ligne FB de l'entreprise  
Hydro-aménagement »  
A. Azzegag, S. Boutaleb, Département de Génie Industriel, ENP1998

## **ANNEXES**

## **Annexe A**

- A<sub>1</sub>** : Tableau de la loi normale.
- A<sub>2</sub>** : Tableau des coefficients pour les limites de contrôle .
- A<sub>3</sub>** : Fiche de relever des cartes de contrôle.

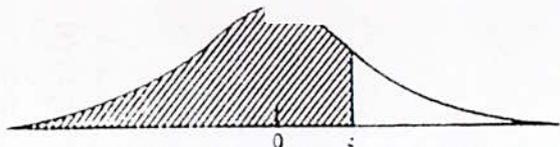
## **Annexe B**

- B<sub>1</sub>** : Fiches-suiweuse des essais hydrauliques.
- B<sub>2</sub>** : Fiche-suiweuse des essais de contrôle de fils d'acier.
- B<sub>3</sub>** : Fiche-suiweuse de contrôle de production de frettage

## **Annexe C**

- C<sub>1</sub>** : Machine à fretter.
- C<sub>2</sub>** : Machine des essais hydrauliques.

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du$$



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	z
0.0	0.50000	0.50399	0.50798	0.51197	0.51595	0.0
0.1	0.53983	0.54379	0.54776	0.55172	0.55567	0.1
0.2	0.57926	0.58317	0.58706	0.59095	0.59483	0.2
0.3	0.61791	0.62172	0.62551	0.62930	0.63307	0.3
0.4	0.65542	0.65910	0.66276	0.66640	0.67003	0.4
0.5	0.69146	0.69497	0.69847	0.70194	0.70540	0.5
0.6	0.72575	0.72907	0.73237	0.73565	0.73891	0.6
0.7	0.75803	0.76115	0.76424	0.76730	0.77035	0.7
0.8	0.78814	0.79103	0.79389	0.79673	0.79954	0.8
0.9	0.81594	0.81859	0.82121	0.82381	0.82639	0.9
1.0	0.84134	0.84375	0.84613	0.84849	0.85083	1.0
1.1	0.86433	0.86650	0.86864	0.87076	0.87285	1.1
1.2	0.88493	0.88686	0.88877	0.89065	0.89251	1.2
1.3	0.90320	0.90490	0.90656	0.90824	0.90988	1.3
1.4	0.91924	0.92073	0.92219	0.92361	0.92506	1.4
1.5	0.93319	0.93448	0.93571	0.93689	0.93822	1.5
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	1.6
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	1.7
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96637	0.96711	1.8
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	1.9
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	2.0
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	2.1
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	2.2
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99010	0.99036	2.3
2.4	0.99148	0.99170	0.99192	0.99215	0.99236	2.4
2.5	0.99379	0.99396	0.99413	0.99430	0.99446	2.5
2.6	0.99554	0.99567	0.99580	0.99593	0.99605	2.6
2.7	0.99653	0.99664	0.99674	0.99683	0.99693	2.7
2.8	0.99744	0.99752	0.99760	0.99767	0.99774	2.8
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99831	0.99836	2.9
3.0	0.99865	0.99869	0.99871	0.99878	0.99882	3.0
3.1	0.99903	0.99906	0.99910	0.99913	0.99916	3.1
3.2	0.99931	0.99934	0.99936	0.99938	0.99940	3.2
3.3	0.99952	0.99953	0.99955	0.99957	0.99958	3.3
3.4	0.99966	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	3.4
3.5	0.99977	0.99978	0.99978	0.99979	0.99980	3.5
3.6	0.99984	0.99985	0.99985	0.99986	0.99986	3.6
3.7	0.99989	0.99990	0.99990	0.99990	0.99991	3.7
3.8	0.99993	0.99993	0.99993	0.99994	0.99994	3.8
3.9	0.99995	0.99995	0.99996	0.99996	0.99996	3.9

(Continued)

$$\Phi(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2} du$$

z	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	z
0.0	0.51994	0.52392	0.52790	0.53188	0.53586	0.0
0.1	0.55962	0.56356	0.56749	0.57142	0.57534	0.1
0.2	0.59871	0.60257	0.60642	0.61026	0.61409	0.2
0.3	0.63683	0.64058	0.64431	0.64803	0.65173	0.3
0.4	0.67364	0.67724	0.68082	0.68438	0.68793	0.4
0.5	0.70884	0.71226	0.71566	0.71904	0.72240	0.5
0.6	0.74215	0.74537	0.74857	0.75175	0.75490	0.6
0.7	0.77337	0.77637	0.77935	0.78230	0.78523	0.7
0.8	0.80234	0.80510	0.80785	0.81057	0.81327	0.8
0.9	0.82894	0.83147	0.83397	0.83646	0.83891	0.9
1.0	0.85314	0.85543	0.85769	0.85993	0.86214	1.0
1.1	0.87493	0.87697	0.87900	0.88100	0.88297	1.1
1.2	0.89435	0.89616	0.89796	0.89973	0.90147	1.2
1.3	0.91149	0.91308	0.91465	0.91621	0.91773	1.3
1.4	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189	1.4
1.5	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408	1.5
1.6	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95448	1.6
1.7	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327	1.7
1.8	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062	1.8
1.9	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670	1.9
2.0	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169	2.0
2.1	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574	2.1
2.2	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899	2.2
2.3	0.99061	0.99086	0.99111	0.99134	0.99158	2.3
2.4	0.99286	0.99305	0.99324	0.99343	0.99361	2.4
2.5	0.99461	0.99477	0.99492	0.99506	0.99520	2.5
2.6	0.99598	0.99609	0.99621	0.99632	0.99643	2.6
2.7	0.99702	0.99711	0.99720	0.99728	0.99736	2.7
2.8	0.99781	0.99788	0.99795	0.99801	0.99807	2.8
2.9	0.99841	0.99846	0.99851	0.99856	0.99861	2.9
3.0	0.99886	0.99889	0.99893	0.99897	0.99900	3.0
3.1	0.99918	0.99921	0.99924	0.99926	0.99929	3.1
3.2	0.99942	0.99944	0.99946	0.99948	0.99950	3.2
3.3	0.99960	0.99961	0.99962	0.99964	0.99965	3.3
3.4	0.99972	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976	3.4
3.5	0.99981	0.99981	0.99982	0.99983	0.99983	3.5
3.6	0.99987	0.99987	0.99988	0.99988	0.99989	3.6
3.7	0.99991	0.99992	0.99992	0.99992	0.99992	3.7
3.8	0.99994	0.99994	0.99995	0.99995	0.99995	3.8
3.9	0.99996	0.99996	0.99996	0.99997	0.99997	3.9

# Annexe A<sub>2</sub>

Factors for Constructing Variables Control Charts

Observations in Sample, <i>n</i>	Chart for Averages			Chart for Standard Deviations						Chart for Ranges						
	Factors for Control Limits			Factors for Central Line			Factors for Control Limits			Factors for Central Line			Factors for Control Limits			
	<i>A</i> <sub>1</sub>	<i>A</i> <sub>2</sub>	<i>A</i> <sub>3</sub>	<i>c</i> <sub>4</sub>	1/ <i>c</i> <sub>4</sub>	<i>B</i> <sub>3</sub>	<i>B</i> <sub>4</sub>	<i>B</i> <sub>5</sub>	<i>B</i> <sub>6</sub>	<i>d</i> <sub>2</sub>	1/ <i>d</i> <sub>2</sub>	<i>d</i> <sub>3</sub>	<i>D</i> <sub>1</sub>	<i>D</i> <sub>2</sub>	<i>D</i> <sub>3</sub>	<i>D</i> <sub>4</sub>
2	2.121	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.686	0	3.267
3	1.732	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	4.358	0	2.574
4	1.500	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	4.698	0	2.282
5	1.342	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	4.918	0	2.114
6	1.225	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	5.078	0	2.004
7	1.134	0.419	1.182	0.9594	1.04230	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.204	5.204	0.076	1.924
8	1.061	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.388	5.306	0.136	1.864
9	1.000	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.547	5.393	0.184	1.816
10	0.949	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.687	5.469	0.223	1.777
11	0.905	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.811	5.535	0.256	1.744
12	0.866	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.922	5.594	0.283	1.717
13	0.832	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	1.025	5.647	0.307	1.693
14	0.802	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	1.118	5.696	0.328	1.672
15	0.775	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	1.203	5.741	0.347	1.653
16	0.750	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	1.282	5.782	0.363	1.637
17	0.728	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	1.356	5.820	0.378	1.622
18	0.707	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	1.424	5.856	0.391	1.608
19	0.688	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	1.487	5.891	0.403	1.597
20	0.671	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	1.549	5.921	0.415	1.585
21	0.655	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	1.605	5.951	0.425	1.575
22	0.640	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	1.659	5.979	0.434	1.566
23	0.626	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	1.710	6.006	0.443	1.557
24	0.612	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	1.759	6.031	0.451	1.548
25	0.600	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	1.806	6.056	0.459	1.541

For  $n > 25$

$$A = \frac{3}{\sqrt{n}}, A_1 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}}, c_4 = \frac{4(n-1)}{4n-3}$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}, B_4 = 1 + \frac{3}{c_4 \sqrt{2(n-1)}}$$

$$B_5 = c_4 - \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}, B_6 = c_4 + \frac{3}{\sqrt{2(n-1)}}$$

# Annexe A<sub>1</sub>

K \ n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$\bar{X}_i$	$R_i$
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
Poste de travail :											$\bar{X}$	$R$
Date :												



ENTREPRISE NATIONALE DES AMÉNAGEMENTS HYDRAULIQUES

" HYDRO-AMÉNAGEMENT "

N° \_\_\_\_\_

USINE DE FABRICATION DE TUYAUX BÉTON

ESSAIS DE CONTRÔLE DES FILS

PRODUCTEUR : \_\_\_\_\_ DIMENSION DE FIL :  $\emptyset$  \_\_\_\_\_ mm DATE : \_\_\_\_\_

CERTIFICAT N° : \_\_\_\_\_ MASE : \_\_\_\_\_

CONTRÔLE VISUEL : \_\_\_\_\_

CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DU FIL :

N° D'ÉCHANTILLON.	DIMENSIONS D'ÉPROUVET. d (mm)	RÉSISTANCE À LA TRACTION $f_t$ (MPa)	LIMITE DE PLASTICITÉ 0,2% $f_{0,2}$ (MPa)	ALLONGEMENT 10 d Ept 1 (%)	ALLONGEMENT 10=100mm Ept 2 (%)	CONTRACTION Z (%)	MODULE D'ÉLASTICITÉ E (MPa)	FLÈCHE AU JOUR DU 100 mm Nombre

D'APRÈS NORME ASTM A 640

LE RESPONSABLE DE LABORATOIRE

DATE : \_\_\_\_\_

HYDRO - AMENAGEMENT

USINE BETON

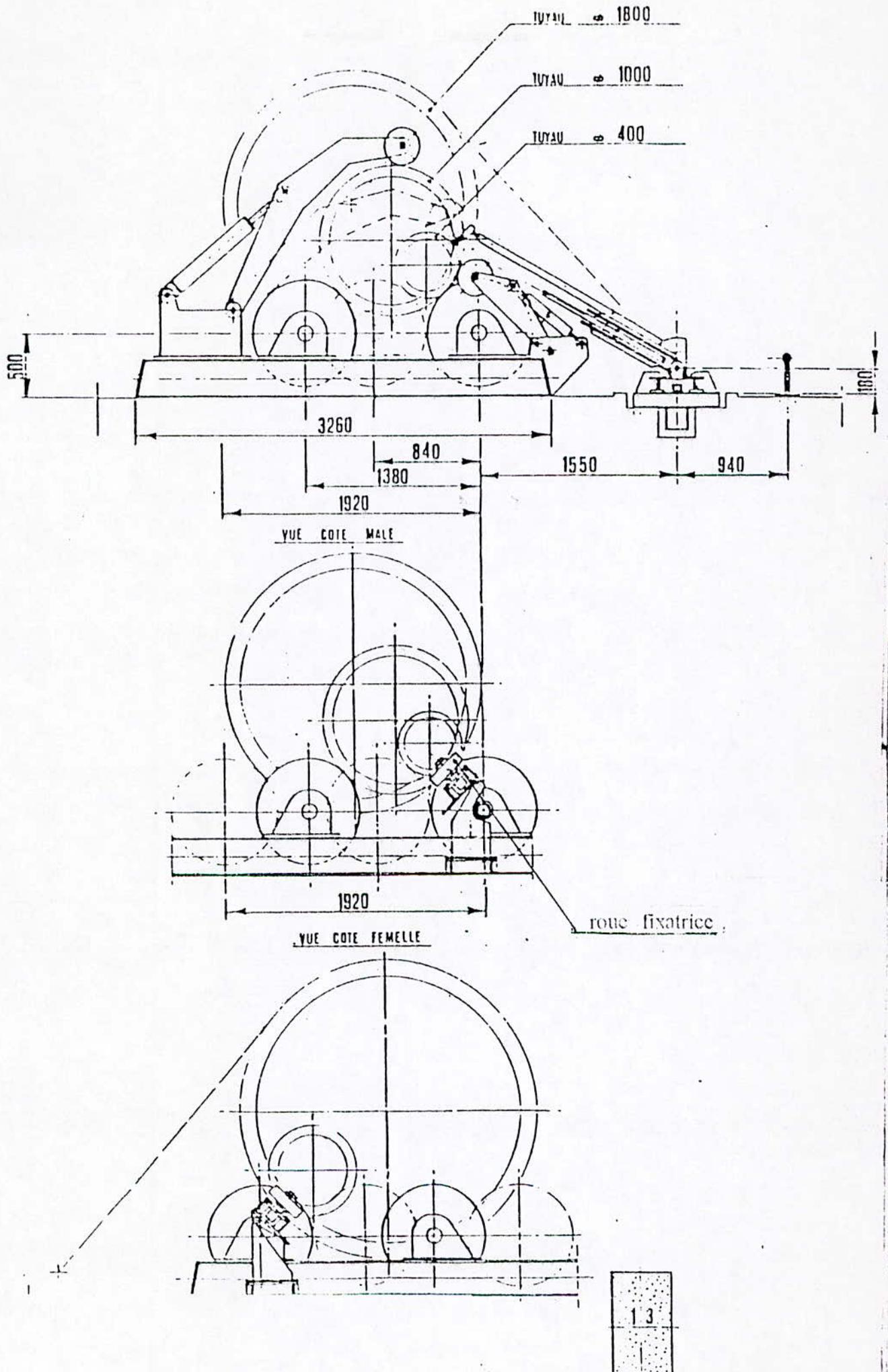
CONTROLE DE PRODUCTION DE FRETTAGE

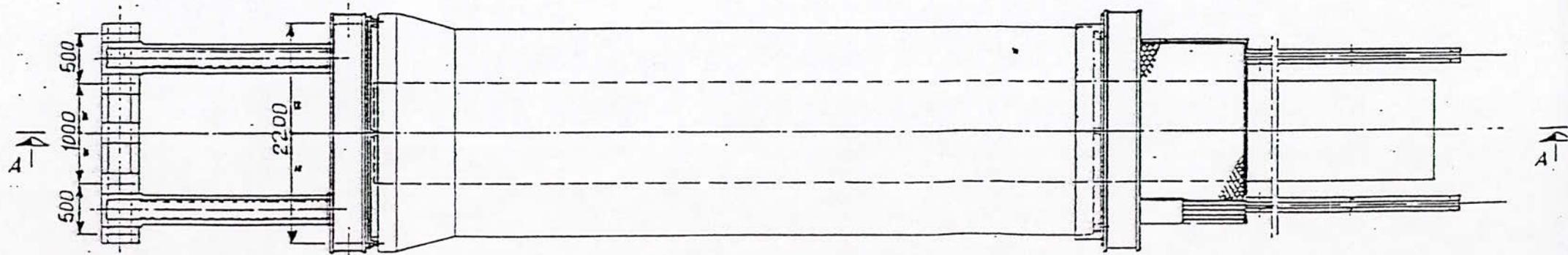
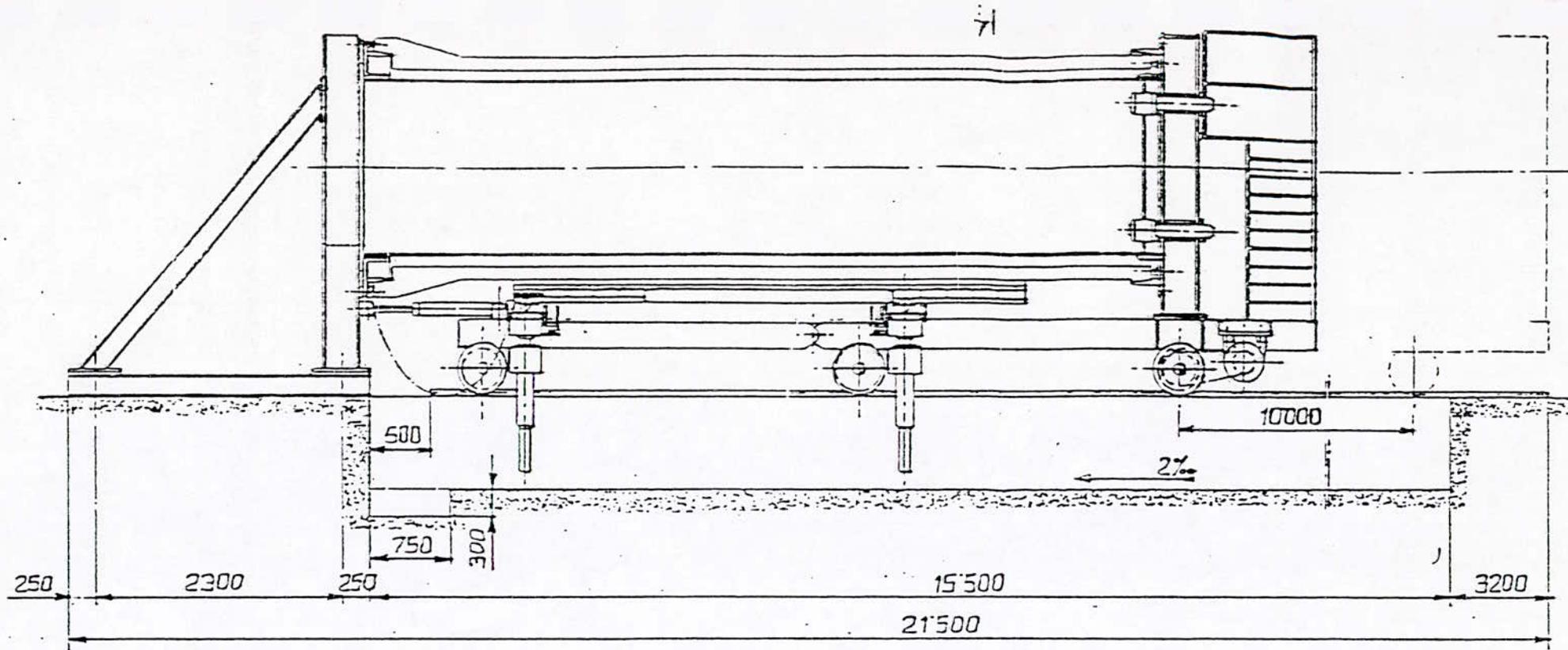
ROUBA LE .....

N° LIGNE	N° TUYAUX	Ø TUYAUX	DATE DE FABRICATION PRIMAIRE	DATE FRETTAGE	ETAT DE LA MACHINE	ETAT DE TUYAUX	NUMERO BOBINE FIL	FORCE DE TIR	PERTE DE TENSION		PAS DE SPIRE	OB.
									OUI	NON		

ANNEXE B3

# Annexe C





Annexe C<sub>2</sub>