

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR- ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابــــــــــــة

Faculté : science de l'ingénierat
Département : Génie Civil
Domaine : Science et Technologie
Filière : Génie Civil
Spécialité : Structure

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Stage d'Expertise, Diagnostic, des tuyaux d'adduction en
eau en Béton Précontraint, Dimensionnement et
Recommandations à EPE-HYDRO CANAL/SPA**

Présenté par : *DJEGHABA Imene - NEDJAR Roumaissa*

Encadrant : *Dr. Kebaili Bachir*

Université de ANNABA

Jury de Soutenance :

Hacene Chaouech Yousria	M.A.A	Université de Annaba	Président
Kebaili Bachir	M.C	Université de Annaba	Encadrant
Menadi Souad	M.C	Université de Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Nous tenons tout d'abords à rendre grâce à dieu de nous avoir donné autant de courage, de patience et de volonté afin de mener à bien notre projet.

Nos sincère remerciements vont naturellement à notre encadreur **Dr. KEBAILI Bachir**, qui avec ses conseils, sa disponibilité et sa patience et le partage de ses compétences nous avons su finir ce travail.

Nous tenons également à remercier **Mr. Khemmal Ammar** directeur de l'entreprise **EPE-HYDRO CANAL/SPA** de nous avoir ouvert ses portes et de nous avoir accueillie au sein de son équipe, mais aussi de nous avoir donner l'opportunité de travailler d'aussi près d'une telle entreprise de fabrication, nous tenons à remercier **Mlle.LABADLIA Randa** d'avoir été toujours à dispositions et de nous avoir assister tout au long de notre période de stage.

A l'ensemble de l'équipe de réalisations pour leurs aides et leurs assistances durant ces deux

A nos amis Douha, Mouna, Anfel Chaima, Lydia, Anfel, Rayen, Iskander, Badreddine, pour leurs soutiens et leurs amitiés inestimable.

Dédicace

Je voudrais dédier ce mémoire à mes chers parents, pour leurs soutiens et leurs amour inconditionnel tout au long de mes études, leurs patiences et leurs bienveillances m'ont été d'une aide précieuse, ces quelques mots ne peuvent exprimer mon immense gratitude envers eux.

Je voudrais dédier aussi ce mémoire à mes grands-parents **K. HARBI** et a **T. DJEGHABA** mais aussi aux défunts **A. DJEGHABA** et **H. HARBI**, qui m'ont inculqué depuis mon tout jeune âge l'importance du travail, de la droiture mais aussi de l'amour et de la générosité envers autrui.

Un remerciement particulier va à **Mr. DJEGHABA Kamel** en tant que professeur au sein du département de GENIE CIVIL mais aussi en tant que père, il a su m'orienter tout au long de mes études, et pour cela je lui serai éternellement reconnaissante sans ses conseils et sa bienveillance je ne serai pas là aujourd'hui.

DJEGHABA Imene

Dédicace

Je voudrais dédier ce mémoire à mes chers parents, J'aimerais exprimer tout mon amour et tout l'honneur que j'ai de vous avoir dans ma vie, je tiens également à exprimer ma gratitude envers tous les sacrifices que vous avez et que vous faites afin d'assurer à moi et à mes sœurs une éducation exemplaires.

Merci de m'avoir inculqué une telle passion pour l'apprentissage et la connaissance, sans vous je ne connaîtrais pas la voie du succès. Votre persévérance, discipline et honnêteté seront toujours les valeurs avec lesquelles je travaillerai tout au long de ma carrière.

Je remercie mes sœurs Abir, Maram, Yara ines, pour leurs paroles encourageantes mais aussi d'être toujours là pour moi quand j'en ai besoin.

NEDJAR Roumaïssa

Résumé

La précontrainte est un mode de construction relativement nouveau, sa maîtrise nécessite un respect quasi parfait des normes exigées.

Le travail proposé dans le cadre de ce mémoire consiste à un diagnostic et une expertise des tuyaux d'adduction en eau en béton précontraint suite à des problèmes de fissurations apparus lors du processus de fabrication de ces derniers. Après observation et suivis du processus de fabrication tenant compte des fiches techniques fournies par l'entreprise, une première partie englobant l'analyse individuelle des différents aspects a été menée, allant de la précontrainte à la fissuration puis à la connaissance du mode opératoire de fabrication des tuyaux concernés. Vient ensuite une deuxième partie traitant du problème en question, effectuée en analysant les différentes étapes (formulation du béton, précontrainte et mise en tension, centrifugation et étuvage) dans le but de situer l'origine du problème. Enfin une conclusion et une proposition de solutions est établies regroupant toutes les recommandations auxquelles nous avons abouti, afin de répondre aux problèmes pour lesquels **EPE-HYDRO CANAL/SPA** nous a sollicitée.

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Introduction

Partie 01

Chapitre 01 :

Entreprise de fabrication

1	Présentation et Domaine d'activité de l'entreprise de réalisation :	1
1.1	Composition de la société :	1
1.1.1.	Hydro-Canal Ouest :	1
1.1.2.	Hydro-Canal centre :	1
1.1.3.	Hydro-Canal Est :	1
2	Unité d'El-Hadjar :	1
2.1	Gamme De Produits :	2
2.2	Contrôle de qualité.....	5
2.3	Réalisation :	7

Chapitre 02 :

Introduction aux éléments du problème

1	Introduction :	9
2	La précontrainte :	9
2.1	Précontrainte par post-tension :	10
2.2	Précontrainte par pré-tension :	11
3	Les fissures :	12
3.1	Types de fissures :	12
3.2	Traitement thermique (Etuvage) :	13
4	Tuyaux d'adduction frettes béton a emboîtement EB/FB.....	14
4.1	Procédé de fabrication :	15

4.1.1.	Préparation des armatures :.....	16
4.1.2.	Moulage du tuyau :	17
4.1.3.	Centrifugation du tuyau :	18
4.1.4.	Étuvage :.....	21
4.1.5.	Démoulage du tuyau :	21
4.1.6.	Meulages :	22
4.1.7.	Humidification du primaire :	23
4.1.8.	Frettage précontraint :	23
4.1.9.	Essais sur produits :	24
4.1.10.	Revêtement :	25
4.1.11.	Séchage.....	26
5	Pose en chantier	26
6	Essais de conformité :	30

Partie 02

Chapitre 01 :

Diagnostic et Expertise

1	Introduction au problème :	33
2	Formulation du béton :	35
3	Précontraintes et Mise en tension :	36
4	Centrifugation :.....	37
5	Étuvage :.....	39
	Introduction :.....	41

Chapitre 02 :

Solutions et Recommandations

1	Formulation du béton :	41
1.1	Les matériaux :	41

1.1.1	Rapport C/E :	42
1.1.2	Évaluation de la quantité de ciment et d'eau :	42
1.1.3	L'Analyse granulométrique des granulats :	43
1.1.4	Estimation du coefficient de compacité :	45
1.1.5	Les quantités finales des deux formulations :	46
1.2	Les essais destructifs :	47
1.3	Recommandations :	48
2	Précontrainte et mise en tension.....	48
2.1	Précontraintes longitudinal :	48
2.1.1	Méthodes de calcul :	49
2.1.1.1	Etape de calculs :	49
2.1.1.2	Pertes de précontraintes :	50
2.1.1.2.1	Pertes instantanées :	51
2.1.1.2.2	Pertes différés :	52
2.1.1.2.3	Vérifications :	53
2.1.2	Organigramme de procédure de calculs :	54
2.1.3	Verifications ;	60
2.2	Précontrainte transversal :	61
2.2.1	Méthode de calculs :	61
2.2.1.1	Étapes de calculs :	61
2.2.1.2	Pertes de précontraintes :	63
2.2.1.2.1	Pertes instantané :	64
2.2.1.2.2	Pertes Différés :	64
2.2.2	Organigramme de procédure de calculs :	66
2.2.3	Vérification :	71
2.2.4	Comparaison des résultats :	74
2.3	Recommandations :	74
3	Centrifugation :.....	74
3.1	Recommandations :	74
4	Etuvage :.....	75
4.1	Recommandations :	75

Conclusion Générale

Liste des Figures

Figure 1-Logo de l'entreprise	1
Figure 2-logo de L'unit d'El-Hadjar	2
Figure 3-Tuyaux C.A.O.....	2
Figure 4-Tuyaux C.A.P.....	3
Figure 5- Tuyaux EB/FB.....	3
Figure 6-Tuyaux âme en tôle.....	4
Figure 7-coude.....	4
Figure 8-Laboratoire et Control	5
Figure 9-interieur du laboratoire	5
Figure 10- différente machine (Machine d'écrasement - essai Los Angeles).....	6
Figure 11-etuve et plan de travail.....	6
Figure 12-plan de travail	7
Figure 13-précontrainte par post-tension.....	10
Figure 14-Precontrainte par pré-tension.....	11
Figure 15-schemas representatif d'un retrait	12
Figure 16-resultats d'un traitement thermique a température trop élevées.....	14
Figure 17-Tuyaux EB/FB.....	15
Figure 18-ligne d'adduction en eau.....	15
Figure 19-Filetage des génératrices.....	16
Figure 20-spécification d'armatures	16
Figure 21-schéma de coffrage pour tuyaux.....	17
Figure 22-insertion de la cage d'armature minimale	18
Figure 23-Coquille supérieure du moule.....	18
Figure 24-Equipement de centrifugation.....	19
Figure 25-La centrifugeuse	20
Figure 26-Tuyaux en phase de centrifugation.....	20
Figure 27-Etuvage des tuyaux.....	21
Figure 28-chaudiere d'étuvage.....	21
Figure 29-extraction du tuyau hors du moule.....	22
Figure 30-Bassin d'immersion	23
Figure 31-Equipement de frettage.....	24
Figure 32-Application de la précontrainte radiale.....	24
Figure 33-Banc d'essai hydrostatique	25

Figure 34-purge après essai hydrostatique	25
Figure 35-Equipement de revêtement	26
Figure 36-produit après revêtement	26
Figure 37-Stockage des tuyaux au site de la pose	27
Figure 38-Stockage des tuyaux près de la tranché	28
Figure 39-Tranché de la pose	28
Figure 40-Emboitement de deux tuyaux	29
Figure 41-comblement de tuyaux.....	29
Figure 42-certificat de conformité et son mode opératoire	30
Figure 43-expertise faites sur un produit EB/FB	31
Figure 44-les fissures remarqués.....	33
Figure 45-fissures transversal.....	34
Figure 46-essai résultant a une non-conformité d'un produit.....	34
Figure 47-materiaux a disposition.....	35
Figure 48-équipements de mise en tension longitudinal.....	36
Figure 49-un tuyau EB/FB en fin de frettage.....	37
Figure 50-les 2 cadrant Vitesse de chargement et Vitesse de centrifugation	38
Figure 51-l'eau en excès après un arrosage du tuyau	38
Figure 53-chaudière à vapeur	39
Figure 52-chaudière à 150°C de température.....	39
Figure 54-étuvage d'un tuyau	39
Figure 55-Abaque pour l'estimation de la quantité de ciment.....	43
Figure 56-Echantillons de chaque type de granulats.....	44
Figure 57-série de tamis Sable Figure 58-série de tamis Gravier.....	44
Figure 59-courbe granulométrique des différents granulats.....	45
Figure 60-Valeur du coefficient de compacité	46
Figure 61-quantité finale des constituants de la première formulation.....	46
Figure 62--quantité finale des constituants de la deuxième formulation	47
Figure 63- Eprouvette a fraction 3/8.....	47
Figure 64-Eprouvette a fraction 3/8 - 8/15	48
Figure 65-organigramme des pertes de précontraintes par prétension.....	51
Figure 79-verification de la flexion.....	60
Figure 66-organigramme de calculs	55
Figure 67-valeurs des limites de rupture et élastique fournis par le fournisseur des armatures	56

Figure 68-détermination de la tension initial.....	56
Figure 69-determination de la force de précontrainte	56
Figure 70-estimation de la contrainte après pertes.....	56
Figure 71-détermination de la contrainte de traction	56
Figure 72-determination de la quantité et du nombre d'armature.....	56
Figure 73-organigramme de calcul des pertes de précontrainte par prétension	57
Figure 74-organigramme de calculs des pertes longitudinal instantanées.....	58
Figure 75-calculs sur Excel des pertes longitudinales instantanées.....	58
Figure 76 -organigramme de calculs des pertes longitudinales différées.....	59
Figure 77-calculs sur Excel des pertes longitudinales différées	59
Figure 78-organigramme des pertes de précontrainte par post-tension.....	63
Figure 80-vérification a 7jours au banc d'essai	71
Figure 81-verification a T=infinité et a lors de la mise en tension.....	72
Figure 82-vérification de la limitation de traction	72
Figure 83-vérification du cisaillement	73
Figure 84-organigramme de calculs de précontrainte par post-tension.....	66
Figure 851-calcul de la tension a l'origine	67
Figure 860- les informations nécessaires regroupant les caractéristiques géométriques des tuyaux de diffèrent diamètre	67
Figure 87-determination de la pression, de la précontrainte après pertes puis calcul de la quantité et du nombres d'armatures nécessaires	67
Figure 88-calcul de la contrainte de compression	67
Figure 89-organigramme de calcul des pertes de précontrainte par post-tension	68
Figure 90-résultats du calcul fait sur Excel.....	69
Figure 91-organigramme de pertes de précontrainte instantanées.....	69
Figure 92-organigramme de pertes de précontrainte différées	70
Figure 93-résultats du calcul fait sur Excel.....	70
Figure 94-informations concernant l'étape primaire.....	74

Liste Des Tableaux

Tableau 1-Tableau des caractéristique du meulage fait au primaire	22
Tableau 2- Coefficient Granulaire <i>KDG</i>	42
Tableau 3-Evaluation de l'ouvrabilité par référence a l'affaissement au cône.....	43
Tableau 4-corrrection en pourcentage d'eau en fonction du <i>Dmax</i>	43
Tableau 5-informations concernant l'étape de frettage.....	74
Tableau 6-comparaison faites entre la fiche technique et le résultats du calculs	74

Introduction

Les réseaux et voiries sont d'une importance majeure, l'approvisionnement en eau et assainissement des déchets constituent une tâche importante lors de la création de nouvelles zones d'urbanisations. Ces réseaux se forment d'une succession de tuyaux et tubes allant de la source vers l'utilisateur en ce qui concerne les réseaux d'adductions, et de l'utilisateur vers le point de traitement en ce qui concerne l'assainissement. Leurs rôles stratégiques leur exigent une durée de vie élevée et une fiabilité par rapport au risque de rupture qui est important. Par conséquent, leur fabrication doit être d'un niveau de performance pouvant répondre aux exigences citées précédemment.

Historiquement, l'approvisionnement et la gestion de l'assainissement représentent un grand challenge et cela depuis des millénaires. Cependant, mal configurés et utilisant des moyens non sanitaires, ils impliquent des risques de ruptures du réseau ou des risques de propagation de maladies diverses. L'homme a depuis, essayé de trouver des solutions en utilisant des matériaux plus vigoureux, en s'installant d'abord le plus possible des sources d'eau en réduisant le trajet de ces derniers. Mais plus la communauté s'intensifiait, plus la nécessité de créer des réseaux de distribution en eau sur de longues distances sûres et fiables vers l'utilisateur apparaissait comme essentielle. Cependant, cette exigence nécessitait forcément que des moyens plus sophistiqués soient bien mis en œuvre. En effet, alimenter des points de plus en plus éloignés et avec une capacité de plus en plus importante oblige à disposer de moyens de transport (canalisation, tube, tuyau) correctement dimensionnés et supportant de grandes pressions. Actuellement, ce genre de tubes, notamment ceux en béton précontraint, est largement utilisé et leur dimensionnement bien maîtrisé, car ils sont fabriqués selon des normes qui ont été établies après plusieurs évolutions et améliorations. Ils répondent ainsi parfaitement aux exigences demandées à la condition de se conformer aux exigences des normes établies.

Le travail présenté dans ce mémoire clôture notre cycle de formation de Master 2 effectué au sein du département de génie civil, faculté des sciences de l'ingénierie de l'université de **BADJI MOKHTAR ANNABA**. Il a été effectué dans le cadre d'un stage de fin d'études effectué au sein de l'entreprise du groupe d'étude et de réalisation hydraulique **EPE-HYDRO CANAL/SPA**. Il s'agit d'un travail d'expertise et de diagnostic sur des problèmes de fissurations apparaissant sur des tuyaux en béton précontraint d'adduction en eau lors du processus de production. Essentiellement, il s'agit d'investiguer et tenter de trouver l'origine de ces complications et par conséquent arriver à améliorer l'état et la qualité de la production.

Ainsi, s'attaquer à un sujet concernant finalement une expertise représente pour nous un challenge et cela par rapport à notre formation. Nous avons donc accepté de relever le défi et nous nous sommes lancés dans ce travail en commençant par effectuer un stage au sein de l'entreprise **EPE-HYDRO CANAL/SPA**, fabricant de ce genre d'éléments de structures. Il s'agissait de comprendre tout le processus dans la chaîne de production et suivre précisément toutes les étapes de fabrication des tubes et cela allant du choix des matériaux, en passant par le processus de fabrication du béton, de la précontrainte arrivant jusqu'au produit fini en bout de chaîne. Il s'agit ensuite d'en déduire éventuellement les carences ou manquements qui ont induit les problèmes cités plus haut et de proposer enfin des solutions et recommandations afin d'y remédier.

Ce stage a été l'occasion pour nous de nous approfondir sur un mode de construction intéressant et relativement nouveaux qui est la précontrainte, mais aussi une opportunité immense de pouvoir assister et de travailler d'aussi près à la production d'un aussi important maillon de la chaîne de fabrication des tubes utilisés en voiries hydrauliques

Pour mener à bien cette tâche d'expertise, notre mémoire sera organisé comme suit :

➤ **Partie 01**

Chapitre 1 : Entreprise de fabrication

Chapitre 2 : Introduction aux éléments du problème

➤ **Partie 02**

Chapitre 1 : Diagnostic et Expertise

Chapitre 2 : Solutions et Recommandations

PARTIE : 01

CHAPITRE 1 : ENTREPRISE DE FABRICATION

1 Présentation et Domaine d'activité de l'entreprise de réalisation :

La société TRANS-CANAL est une société par action issue de la restructuration d'HYDRO-CANAL, elle dispose d'une infrastructure et d'un savoir-faire dans un domaine particulier qui fait d'elle un maillon indispensable dans la chaîne de développement Hydro-Agricole, elle est appelée à jouer un rôle de plus en plus important à la faveur du large investissement des infrastructures hydrauliques et agricoles en matière d'adduction et d'assainissement d'une part et la fabrication de support électrique en béton d'autre part.



Figure 1-Logo de l'entreprise

1.1 Composition de la société :

Elle compte un effectif de 2500 Agents et se compose de 03 Filiales

1.1.1. Hydro-Canal Ouest :

L'Unité 01 située à Oued R'Hiou wilaya de Relizane, L'Unité 02 située à Oued R'Hiou wilaya e Relizane, L'Unité de Souani Wilaya de Tlemcen, L'Unité de Chaabat El Leham Wilaya de Tlemcen

1.1.2. Hydro-Canal centre :

Qui compte L'Unité de Khemis EL khechna wilaya de Boumerdès, L'Unité de Oued el Fodda wilaya de Chlef, L'Unité El Alia, wilaya d'Alger

1.1.3. Hydro-Canal Est :

Qui compte L'Unité de Hamma Bouziane, L'Unité d'El Hadjar, wilaya de Annaba, l'Unité de Ouargla, L'Unité projet d M'Sila

La filiale concernée sera celle d'HYDRO-CANAL/EST et plus exactement l'unité d'EL-HADJAR.

2 Unité d'El-Hadjar :

Cette unité a pour activité principale la production et la commercialisation des buses en béton armé et précontraint dans une large gamme dimensionnelle, destinées aux travaux d'assainissements et d'adduction d'eau potable ainsi que diverses pièces dites spéciales et accessoires conçues sur plan et à la commande du client.



مجمع دراسات وإنجازات الري
GRUPE ÉTUDES & REALISATIONS HYDRAULIQUES –GERHYD - SPA –
EPE HYDRO-CANAL / SPA
 S.P.A au Capital Social de 400.000.000 DA

☒ Zone Industrielle Pont Bouchet Lot 39 N°02 BP N°45 El-Hadjar w Annaba
 ☎ (038) 42.08.10 - ☎ (038) 42.08.12
 Email : hydrocanal.elhadjar@gmail.com

Unité El-Hadjar



Figure 2-logo de L'unit d'El-Hadjar

2.1 Gamme De Produits :

Une large gamme de produits est fabriquée dans des modèles divers et avec un large éventuel dimensionnel.

- Tuyaux Centrifugés Armés Ordinaires dit communément C.A.O



Figure 3-Tuyaux C.A.O

- Tuyaux Centrifuges Armes Précontraints C.A.P



Figure 4-Tuyaux C.A.P

- Tuyaux D'adduction fretté béton a emboîtement EB/FB



Figure 5- Tuyaux EB/FB

- Pièces spéciales, tuyaux âme tôle



Figure 6-Tuyaux âme en tôle

- Pièces spéciaux coudes etc....



Figure 7-coude

Les tuyaux peuvent être fabriqué avec du ciment CRS résistant aux sulfates, généralement utilisé pour les ouvrages en béton exposés à des conditions sévères dues à l'attaque des sulfates des sols ou de l'eau souterraine tels que :

- Les travaux maritimes
- Les travaux hydrauliques

- Les barrages et les digues de soutènement collinaire

2.2 Contrôle de qualité

L'entreprise dispose d'un laboratoire de contrôle équipé, son rôle est de veiller :

- Au respect des normes du processus de fabrication
- A l'analyse des matériaux entrant dans la composition de béton des tuyaux.
- Suivi de la production, réception des tuyaux livrés aux clients



Figure 8-Laboratoire et Control



Figure 9-interieur du laboratoire



Figure 10- différente machine (Machine d'écrasement - essai Los Angeles)



Figure 11- etuve et plan de travail



Figure 12-plan de travail

2.3 **Réalisation :**

L'unité HYDRO CANAL/EST EL HADJAR, présente une capacité de production de l'ordre de 33035ml /an tous diamètres et types confondus.

Parmi les principales réalisations de l'unité on peut citer :

- **En Adduction :**

L'unité El-Hadjar a participé dans la réalisation de plusieurs projets d'hydraulique en adduction d'eau potable et irrigation dans différents wilaya à savoir :

- BOUNAMOUSA (ANNABA)
- SAF SAF (W. Skikda)
- MEXA (W. El- Taref)
- A E P (W.Guelma)
- A E P (W. Jijel)

- **En Assainissement (Tuyaux C.A.O et C.A.P) :**

L'unité El-Hadjar a également participé dans la réalisation de plusieurs projets d'hydraulique dans l'assainissement des villes de l'est et du sud du pays

EN SECTEUR INDUSTRIEL :

- Travaux de SONELGAZ.
- Travaux de SONATRACH
- Travaux de FERTIAL
- Et autre secteur privés

CHAPITRE 02 : Introduction aux éléments du problème

1 Introduction :

Le but de notre projet est focalisé sur l'amélioration du processus de fabrication des tubes en béton précontraint. Ces derniers sont utilisés en VRD plus précisément pour des tuyaux d'adduction en eau potable. Leurs précontraintes est en pré-tension (longitudinalement) et en post-tension (transversalement).



Le principal problème est la fissuration apparaissant dans les produits, nous allons donc introduire chaque élément du problème séparément afin d'avoir une idée sur la façon de résoudre ces complications, on commencera par définir la précontrainte et son mode de fonctionnement, puis on introduira les fissures et le comportement du béton vis-à-vis de ce phénomène.

En dernier, afin de connaître les différentes étapes de réalisation on citera étape par étape l'évolution d'une production d'un produit EB/FB (Emboitement Béton/Fretté Béton).

2 La précontrainte :

La nécessité de la précontrainte est dictée par la recherche et la fabrication de tubes pouvant transporter l'eau sur une très grande distance et pouvant supporter de grande pression. Son étude et sa mise au point nécessite une technique bien définie. Cette technique a subi depuis sa création plusieurs évolutions. Son utilisation pour les tubes date de 1942 après l'invention du béton précontraint en 1920. L'élaboration de normes de calculs approuvés par LE AWWA (American Water Works Association) qui a été depuis révisé jusqu'à la dernière version publiée en 2007, des changements ont été apportés dans le but d'avoir le produit le plus performant et le moins onéreux possible.

De nos jours et avec l'avancement technologique un processus de fabrication et une utilisation de matériaux bien plus étudié a été établie aboutissant à un produit plus performant.

La précontrainte est une méthode de construction des ouvrages qui est relativement nouvelle, découverte par Freyssinet en 1920 (breveté en 1928) qui la définit :

« Précontraindre une construction, c'est la soumettre, avant application des charges à des forces additionnelles déterminant des contraintes telles que leur composition avec celles provenant des charges données en tous points des résultantes inférieures aux contraintes limites que la matière peut supporter indéfiniment sans altération. »

Une longue réflexion le conduit à approfondir une idée simple : il faut préparer le béton à faire face sans dommages à son avenir qui sera d'être soumis à des charges et donc à des tractions dangereuses pour son intégrité (fissures, puis rupture).

Plusieurs modes de mise en compression du béton peuvent être envisagés, La mise en tension des câbles peut intervenir avant le bétonnage de la poutre (pré-tension) ou après (post-tension).

2.1 Précontrainte par post-tension :

La post-tension consiste à soumettre le béton à des forces de compression avec des armatures, comme des barres ou des câbles en acier installés à l'intérieur de l'élément, mais seulement après la prise du béton et que celui-ci ait séché et acquis sa consistance solide et sa résistance finale.

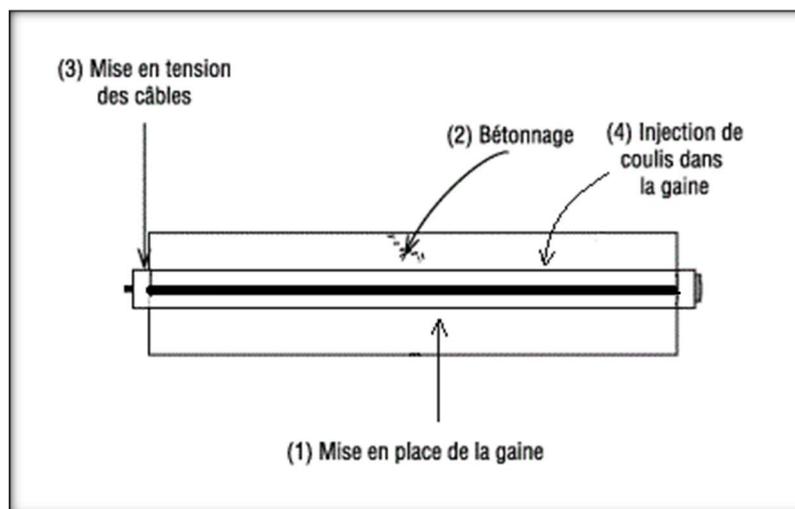


Figure 13-précontrainte par post-tension

Etape de réalisation :

- La mise en place des gaines
- Le bétonnage
- La mise en tension des câbles de précontraintes
- L'injection de coulis de ciment dans les gaines (qui assure à la fois la protection des armatures contre la corrosion mais aussi l'adhérence entre la gaine et l'armature)

La mise en tension des câbles peut être réalisée en les tendant des 2 cotés (actif-actif), ou bien d'un seul côté à l'aide d'un massif d'ancrage (actif-passif) (voir Figure.14)

2.2 Précontrainte par pré-tension :

La pré-tension, nécessite de mettre sous tension les câbles internes avant coulage du béton, ainsi les câbles seront tendus puis s'effectuera le bétonnage directement et sans gaines sur les armatures, ces dernières seront relâchées après durcissement du béton.

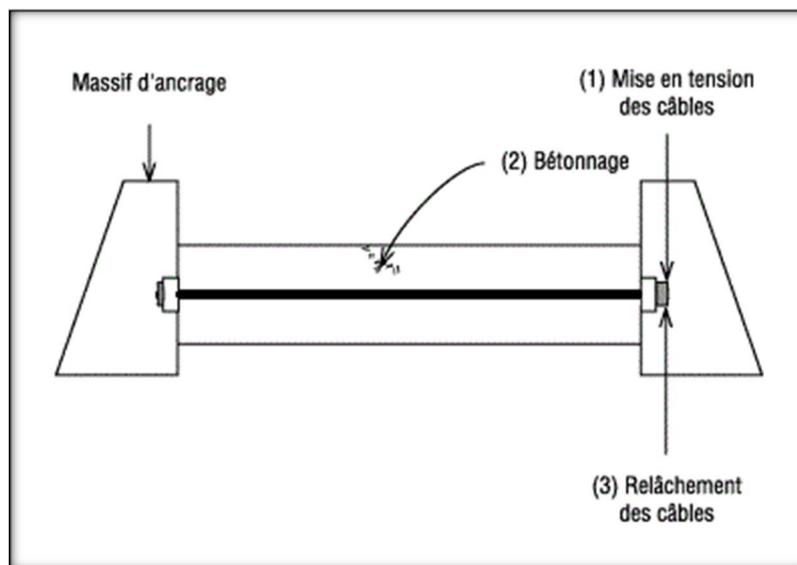


Figure 14-Précontrainte par pré-tension

Etape de réalisation :

- La mise en tension des câbles précontraint
- Le bétonnage
- Le relâchement des armatures précontrainte après durcissement du béton voire Figure.15

Cette précontrainte peut être partielle, dans ce cas on pourra autoriser des contraintes de traction mais limitées, et une précontrainte totale qui conduira à l'élimination totale des contraintes de traction.

Trois classe de vérification auxquelles correspondent des contraintes limites dans les matériaux sont considérées par les règles BPEL.91 article 6.1.22 :

- **Classe 1** : En situation d'exploitation, aucune contrainte de traction n'est admise sur l'ensemble de la section. En situation d'exécution, les contraintes de traction sont partout bornées à **0,7 ftj**.
- **Classe 2** : En classe II, le calcul des contraintes normales est toujours effectué sur la section non fissurée. Il doit être vérifié que les contraintes de traction du béton sont limitées aux valeurs suivantes :
 - En situation d'exploitation, sous l'effet des combinaisons rares : **ftj** dans la section d'enrobage ; **1,5 ftj** ailleurs.
 - En situation d'exploitation, sous l'effet des combinaisons fréquentes : **0** dans la section d'enrobage.
 - En situation d'exécution : **0,7 ftj** dans la section d'enrobage et **1,5 ftj** ailleurs

- **Classe 3** : En classe III, les contraintes normales sont calculées uniquement sur la section fissurée. Il y a lieu de vérifier que :
 - En situation d'exploitation, sous l'effet des combinaisons rares, aussi bien qu'en situation d'exécution, les aciers passifs quelle que soit leur position respectent les règles définies par l'article A.4.5,33 du BAEL pour le cas où la fissuration est considérée comme préjudiciable , sauf en ce qui concerne les prescriptions relatives aux armatures de peau, auxquelles se substituent celles de l'article 6.1,31 et 6.1,32 ; les surtensions dans les aciers de précontrainte ne dépassent pas **0,1 fprg** dans le cas de la post-tension et la plus petite des deux valeurs **0,1 fprg** et **150 ηp MPa** dans le cas de la prétension.
 - En situation d'exploitation, sous l'effet des combinaisons fréquentes, les surtensions dans les aciers de précontrainte sont limitées à 100 MPa et les tensions dans les aciers passifs à 0,35 fe
 - En situation d'exploitation, sous l'effet de la combinaison quasi permanente, la section d'enrobage demeure entièrement comprimée

La classe qui sera prise en compte dans les chapitres suivant sera la Classe 2 ou les contraintes de traction seront limités.

3 Les fissures :

Le béton est notamment connu pour sa fragilité et sa mauvaise résistance à la traction, cette fragilité s'exprime par l'apparition quasi obligatoire de fissures. La plupart des fissures sont dues à des phénomènes physique (retrait, dilatation) ou bien peuvent être engendrer par différentes sollicitations, il faudra donc distinguer les fissures superficielles des fissures engendrées par la présence d'effort de traction, cependant il est tout à fait possible de limiter ces fissurations en connaissant bien les causes de celles-ci.

3.1 Types de fissures :

De nombreuse réactions physico-chimique peuvent être la cause de fissuration on cite :

- Le Retrait : il existe de différents types de retrait et a divers stades de la vie du béton, mais tous mènent au même résultats qui est la réduction du volume du béton par réaction chimique, on nomme le retrait endogène ici les molécules avant réaction chimique occupe en effet un volume plus élevé que les molécules après réactions.

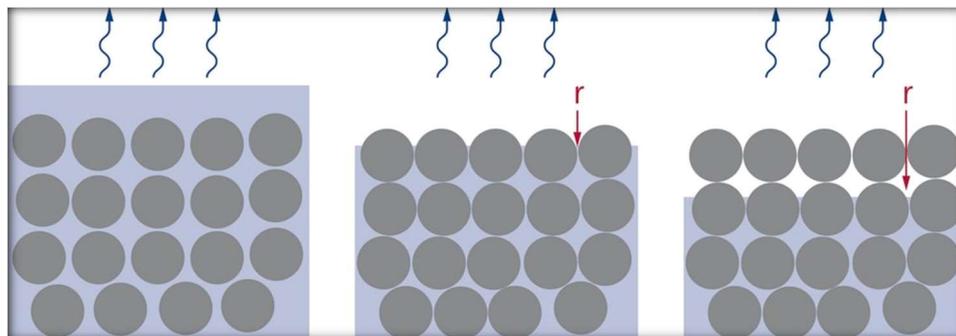


Figure 15-schemas representatif d'un retrait

- Dessiccation (retrait plastique) : La dessiccation est un retrait du béton causé par l'évaporation continue de l'eau, ce retrait peut apparaître à court ou à long terme. Il est plus important en surface et se développe dans le béton au cours de son durcissement, l'évaporation d'eau résulte de l'augmentation de la température interne du béton (sous l'effet des réactions chimiques qui se produisent lors de la prise, ou aussi d'une cure à températures trop élevée (voir 3.2 traitement Thermique)

Ce type de retrait tel que tout retrait, généralement provoque des fissurations qui peuvent être importantes dans le béton, or une dessiccation à court terme peut mener à des fissurations apparaissant au jeune âge sur la surface du béton.

Une dessiccation à court terme provoque ce qu'on appelle un retrait plastique, c'est-à-dire qu'il sera dû à un départ rapide de l'eau à la surface du béton avant qu'il ne durcisse alors qu'il est encore à l'état plastique et donc déformable, ce retrait a lieu pendant la prise.

Ce type de retrait est conduit par la vitesse de séchage. Son ordre de grandeur est de **1mm/m** dans des conditions courantes et peut atteindre plusieurs mm/m lorsque les conditions sont défavorables.

➤ **Les facteurs favorisant le retrait plastique sont :**

- Une température élevée.
- Une humidité basse.
- Du vent (ou des courants d'air en intérieur).
- Un excès d'eau dans le béton.
- Un temps de prise long (ciment lent ou béton trop retardé).

3.2 Traitement thermique (Etuvaage) :

Un traitement thermique consiste à assujettir le béton, par un procédé quelconque, à des températures différentes de la température ambiante. Il a pour objet principal de conférer au béton des performances mécaniques élevées à court terme en quelques heures.

Le traitement thermique que subissent les produits qu'ils soient EB/FB ou autre, a pour principe d'exposer le tuyau à une vapeur à températures contrôlées qui variera de 0 à 80°C progressivement durant 4h, Au-delà de ces quatre heures il est important d'apporter au produit une atmosphère similaire à un sauna ou l'eau évaporé devra rester dans l'atmosphère afin d'éviter non seulement un changement brusque de température mais aussi de créer une perte excessive d'eau et éventuellement un retrait du béton.

Cette étape est particulièrement importante, tel que mentionné tout changement de températures, l'exposition à l'air libre, la vitesse du vent et l'humidité va influencer directement sur la résistance du béton en fin de processus.

Des règlements de différents pays se sont mis d'accord sur le fait que la température à ne pas dépasser lors d'un traitement thermique du béton est de 80°C, Dépasser cette valeur engendrera une évaporation d'eau immodéré qui provoquera éventuellement une dessiccation (retrait plastique) du béton, le fait de garder une température constante a pour but de garantir l'acquisition des propriétés mécanique du béton et minimiser ses microfissures.



Figure 16-resultats d'un traitement thermique a température trop élevées

- Les conditions de mise en œuvre : lorsque la quantité d'eau dépasse les limites requises, le béton devient sujet non seulement a des fissurations mais aussi à une diminution de résistance

4 Tuyaux d'adduction frettes béton a emboîtement EB/FB

Le tuyau EB/FB est un tuyau fretté sur corps en béton, il est précontraint longitudinalement et transversalement par des fils d'aciers a haut résistance, et est utilisés généralement en réseaux d'adduction, Ces types de réseaux ont pour but de transporte l'eau depuis la source de captage jusqu'au réservoir de stockage, Deux types d'adduction sont définis :

- Adduction gravitaire : écoulement à la faveur d'une dénivelée.
- Adduction par refoulement : écoulement à la faveur d'un apport d'énergie externe (pompe).

Le tuyau SOCEA ou CASA GRANDE, qui sont les 2 moules avec lesquelles l'entreprise travaille, est constitué d'un cylindre en béton précontraint longitudinalement et transversalement, à des taux tels que sous les différents efforts extérieurs et intérieurs le béton ne soit jamais tendu. Les emboîtements mâle et femelle présentent des surfaces parfaitement polies destinées à recevoir une bague de caoutchouc à lèvres formant joint autoclave, l'étanchéité est ainsi assurée par la pression intérieure elle-même.

Le produit est constitué de :

- Un fut primaire en béton centrifugé, précontraint longitudinalement.

- Un frettage en acier à haut résistance enroulé sous tension contrôlée autour du tube primaire auquel il confère la précontrainte transversale.
- Un revêtement extérieur en béton vibré a haute fréquence destinée à soustraire les spires de précontrainte à l'influence des agents extérieurs.



Figure 17-Tuyaux EB/FB



Figure 18-ligne d'adduction en eau

4.1 Procédé de fabrication :

Au cours de sa fabrication, le tuyau est établi selon la norme européenne EN 642 et la norme NFP 16 345-2 relative aux « tuyaux pressions en béton précontraint, avec ou sans âme en tôle, y compris joints et pièces spéciales et prescriptions particulières relative au fil de précontrainte pour tuyaux ».

Le tuyau est soumis aux opérations suivantes :

4.1.1. Préparation des armatures :

Les armatures de précontrainte longitudinales sont formées de mono fils dressés et coupés à longueur constante dans une machine de dressage et coupe automatique, le fils en acier dur calibrés sont filetés à leurs deux extrémités par filetage.

Il est important de disposer de la part du fournisseur des armatures d'une fiche technique explicite des aciers utilisés, précisant obligatoirement les caractéristiques mécaniques du produit, essentielle pour la détermination de la valeur de tension des câbles (figure 20)

Des armatures minimal (passives) sont autorisé en cas de présence d'effort de traction.



Figure 19-Filetage des génératrices

DIR.DEVELOPPEMENT	DUR (pour précontrainte du béton), DIAMETRE : 6,00 mm Selon les normes ISO 6934-2, BS 5896 et PR NF EN 10138-2 Réalisé à partir du fil machine de nuance C78D, L.0620 de la norme NF EN 10016-2, ou toute autre nuance équivalente		SPECIFICATION N° CD 6						
SERVICE MTF									
1. DESIGNATION SPECIFIQUE DU PRODUIT :									
Fil treillé et stabilisé, lisse et/ou cranté en acier dur de diamètre nominal 6,00 mm selon les normes internationales ISO 6934-2 : 07/1991 ; BS 5896 : 1980 et PR NF EN 10138-2 : 01/2001, de nuance C78D ou toute autre nuance équivalente, réalisé à partir du fil machine conforme à la norme européenne NF EN 10016-2 d'Août 1995.									
2. CARACTERISTIQUES CHIMIQUES ET PHYSIQUES DU PRODUIT :									
2.1 COMPOSITION CHIMIQUE :									
ELEMENTS	C	Mn	Si	S	P	Cu	Cr	Ni	Al
min	0,78	0,60	0,15	-	-	-	0,20	-	-
max	0,82	0,80	0,30	0,025	0,025	0,10	0,25	0,10	0,05
2.2 DIMENSIONS :									
2.2.1 DIAMETRE NOMINAL : 6,00 mm									
2.2.2 TOLERANCE DIMENSIONNELLE SUR LE DIAMETRE NOMINAL : ± 0,05 mm									
2.2.3 Crantage : crantage sur trois génératrices avec profondeur de a : 0,15 ± 0,05 mm Longueur min. l : 5 mm, Pas min. e : 8 mm									
3. CARACTERISTIQUES MECANIQUES :									
Resistance à la rupture (N/mm ²)	Limite d'élasticité à 0,1% (N/mm ²)	Allongement mini. (sur 200 mm) en %	Nombre minimal de Plisges alternés	Relaxation max. après 1000 heures sous charges ci-dessous en %					
Classe Rm				à 60% à 70% à 80%					
1670 1670 mini. 1390 mini.		3,5	4 pour le fil lisse	1,0 2,5 4,5					
1770 1770 à 2010 1470 à 1730			3 pour le fil cranté						
3.1 Torsions alternées selon EN 642/1994 : ≥ 3 cycles.									
3.2 Couverture maximale selon BS 5896 et ISO 6934-2 : < à 25 mm.									
4. ETAT DE LIVRAISON :									
4.1 ETAT DE SURFACE : lisse, brillant, fil enroulé sans coudes ni ondulations de façon que les spires puissent se rouler facilement sans chevauchement ni croisement, dépourvu de toutes matières nuisibles à son utilisation.									
5. CONDITIONNEMENT :									
Le fil est conditionné en couronnes de 750 à 850 Kg environ, de diamètres intérieurs de 1500 à 1800 mm.									
Chaque couronne est solidement ligaturée en six (06) points d'attache par du feuillard métallique avec chape 19 mm									
5. IDENTIFICATION :									
Chaque couronne portera une étiquette métallique correspondante portant les indications suivantes :									
5.1 le diamètre nominal du fil									
5.2 la date de fabrication									
5.3 le client									
5.4 le N° de coulée									
5.5 la nuance									
5.6 le poids									
Un certificat de conformité par livraison sera délivré au client.									
Visa du Service MTF/DDE M. REDOUANE	Visa du Chef Laboratoire/DDE M ^{me} AMINE	Emet : M. REDOUANE	Visa :						
Visa du Service Fabrication/ACR M. BENSEKHAR	Visa du Service Contrôle Qualité/DDE M. AICHOUR	Date : 24.11.2014	Doc. remplace : N°302 du 14.03.2014						
Code document : PRO 07									

Figure 20-spécification d'armatures

4.1.2. Moulage du tuyau :

Le moulage du tuyau se fait suivant les étapes suivantes :

- Vérification et emplacement des (Boulons de serrage, Boulons de précontraint)
- Nettoyage de la surface intérieure du coffrage avec les brosses
- Vérification et emplacement des joints de rive
- Réparation de l'huile sur la surface intérieure du moule
- Emplacement de la cage à l'intérieure du moule
- Emplacement et serrage des fils précontraints dans les flasques du côté femelle du moule
- Le bloc déjà préparé à l'étape précédente ci-dessus sera inséré a intérieure du moule
- Emplacement et serrage des fils précontraints dans les flasques du côté male du moule
- Assemblage et serrage des deux coquilles du moule
- Emplacement des deux cerces (à bouts mâle et femelle) pour les moulés ayant des cerces de renforcement
- Mise en tension des fils précontraint.
- Nettoyage de poste de travail

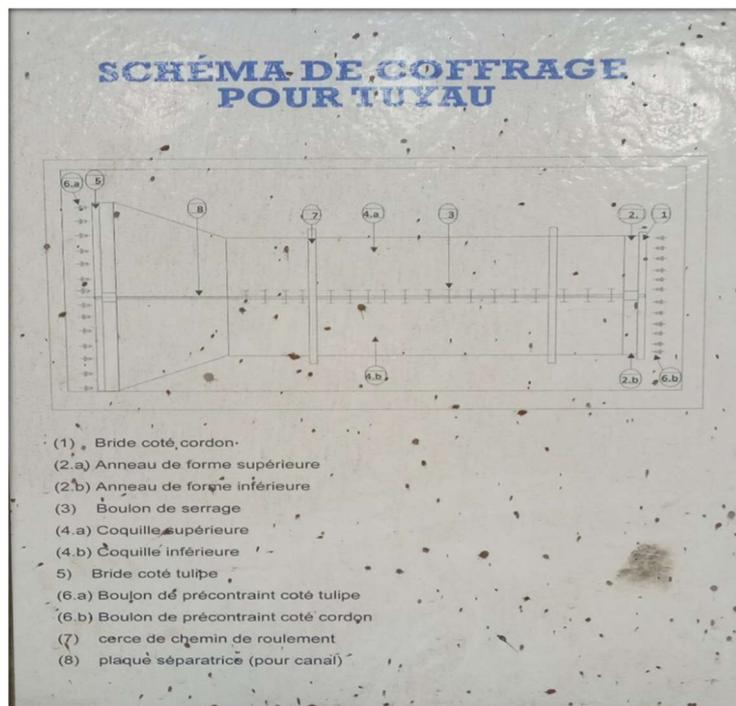


Figure 21-schéma de coffrage pour tuyaux



Figure 22-insertion de la cage d'armature minimale



Figure 23-Coquille supérieure du moule

4.1.3. Centrifugation du tuyau :

Les étapes de centrifugation sont :

- Emplacement du moule préparé sur la machine de centrifugation avec affichage du diamètre du moule.
- Remplissage du moule du côté femelle en béton avec une vitesse de charge et compactage à l'aide des vibreurs actionnés successivement.

- Après remplissage totale du moule en béton, passage à la vitesse de centrifugation afin d'effectuer l'essorage
- Finition de l'intérieure du moule à l'aide de la barre et le balai de lissage Après remplissage totale en béton, passage à la vitesse de centrifugation afin d'effectuer l'essorage
- Enlèvement du moule de la centrifugeuse.
- Soumettre le moule à une période de repos de 10 à 15 min
- Nettoyage totale de la centrifugeuse



Figure 24-Equipement de centrifugation



Figure 25-La centrifugeuse



Figure 26-Tuyaux en phase de centrifugation

4.1.4. Étuvage :

Après centrifugation c'est-à-dire après 3 à 4 heures de repos, le fut primaire dans son moule est étuvé à la vapeur pendant 3 heures, à la température de 70°/80° qui sera effectué par palier.



Figure 27-Etuvage des tuyaux



Figure 28-chaudiere d'étuvage

4.1.5. Démoulage du tuyau :

Cette étape se fait en préchauffant préalablement le tuyau afin de faciliter le décoffrage :

- Enlever les boulons de la bride coté male n°1 et coté femelle n°5

- Enlever les 2 anneaux de forme n°2
- Dévisser les boulons de serrage des 2 coquilles n°3
- Séparer les 2 coquilles n°4
- Soulever le tuyau de la coquille inférieure n°4b (étape relative au produit tuyau)
- Dévisser les boulons de précontraint n°6 de façon diamétralement opposée
- Enlever la bride cotée male n°1 et la bride coté femelle n°5
- Nettoyage de moule



Figure 29-extraction du tuyau hors du moule

4.1.6. Meulages :

La surface intérieure de l'emboîtement femelle est alors rectifiée à l'aide d'une meule manuelle (s'il y a lieu de corriger) par meulage en vue de réaliser une surface parfaite d'appui de la bague caoutchouc du joint.

- Le meulage concerne les tuyaux centrifugés sur moule SOCEA (joint à lèvres).
- Les tuyaux centrifugés sur moule CASAGRANDE ne sont pas concernés par le meulage, ils nécessitent un joint torique
- Caractéristique du meulage primaire :

Tuyau	tolerance du meulage	coté femelle(mm)	largeur de la plage du joint male (mm)
500	612 ± 0,72 / 0	71	54
600	720 ± 0,82 / 0	78	62
900	1047 ± 1.0 / 0	93	59
1000	1154 ± 1,1 / 0	99	65
1250	1426 ± 1,3 / 0	99	65
1500	1696 ± 1,4 / 0	108	85

Tableau 1-Tableau des caractéristique du meulage fait au primaire

4.1.7. **Humidification du primaire :**

Le fut primaire est ensuite immergé dans un bassin d'immersion pendant 48 heures pour assurer la continuité de la réaction chimique du béton jusqu'à atteinte d'une résistance suffisante, il est ensuite repris dans la phase de frettage.



Figure 30-Bassin d'immersion

4.1.8. **Frettage précontraint :**

- Le tuyau est monté à cet effet sur un tour à pas variable se déplaçant d'un mouvement de translation réglable devant le dispositif de la distribution du fil. Celui-ci en acier dur.
- Il est durant cette opération, soumis à une contrainte de traction voisine de la limite élastique du métal, Le mode de distribution et d'enroulement du fil étant tel qu'aucun effort de flexion n'en puisse résulter pour le tuyau.
- Le fil, préalablement fixé à une extrémité du tuyau sera arrêté à l'autre extrémité sur une plaquette de métal spéciale.



Figure 31-Equipement de frettage



Figure 32-Application de la précontrainte radiale

4.1.9. **Essais sur produits :**

Après frettage, le règlement établi que tous les tuyaux doivent être soumis à l'essai hydraulique avant ou après revêtement. La pression d'essai (la pression en usine est supérieure à la pression d'utilisation) est maintenue pendant au moins 3 min durant lesquelles il ne doit y avoir ni fuite ni fissure. L'humidité qui peut apparaître à la surface du tuyau sans formation de gouttelettes ne doit pas être considérée comme une fuite. Les tuyaux qui sont défectueux peuvent être soumis à un nouvel essai si le fabricant le souhaite.

Lorsque les tuyaux ont été soumis à l'essai hydraulique avant revêtement, un tuyau sur 250 doit être soumis à l'essai après revêtement. Si ce tuyau se révèle défectueux, deux autres tuyaux du

lot de 250 doivent être alors soumis à l'essai après revêtement. Si les deux tuyaux satisfont à l'essai, le lot est accepté. Si l'un ou les deux tuyaux sont défectueux, le lot entier est rebuté ou bien chaque tuyau du lot concerné doit être soumis à l'essai hydrostatique après revêtement et est accepté ou non individuellement. « L'article 4.2.3 de la norme européenne NF EN 642 »



Figure 33-Banc d'essai hydrostatique



Figure 34-purge après essai hydrostatique

4.1.10. **Revêtement :**

Les tuyaux ayant passés le test hydrostatique avec succès sont ensuite montés horizontalement sur une machine motrice destinée à les animer d'un lent mouvement de rotation et sont encore, en cette position, revêtue d'une couche d'épaisseur uniforme de béton de haute qualité, gâché très sec et vibré à très haute fréquence dans une goulotte distributrice située à proximité immédiate de la paroi du tuyau à revêtir. Cette étape permet la protection des aciers cranté utilisés pour le frettage de la corrosion.



Figure 35-Equipement de revêtement



Figure 36-produit après revêtement

4.1.11. Séchage

Après l'opération de revêtement le tuyau terminé sera immergé pendant 10 heures, assurant ainsi un mûrissement parfait du béton, après cette opération le produit est stocké, après vérifications et inspection finale, il sera expédié sur les lieux de pose.

5 Pose en chantier

Après la livraison du produit au site de pose certaines étapes sont suivies :

- A la réception du produit un contrôle est nécessaire pour détecter toutes sorte de défauts apparents.
- Déchargement des tuyaux en utilisant des outils de levage adéquats pour de la manutention sur site.

- Stockage des tuyaux le long du tracé prédéfini pour la pose.
- Préparation du sol, en exécutant des tranchant adéquat aux diamètres et a la profondeur voulus.
- Utilisation de lubrifiant recommandé par le fabricant
- Pose du tuyau suivant l'axe de canalisation
- Assemblage des tuyaux par emboitement, le côté mâle dans le côté femelle du tuyau précédant. Le tuyau est suspendu par des chaînes ou des élingues et déposé dans le fond de la tranchée, dès que l'embout mâle est positionné à hauteur du côté femelle, le tuyau est inséré par traction d'une grue et un remblayage est fait au fur et à mesure.



Figure 37-Stockage des tuyaux au site de la pose



Figure 38-Stockage des tuyaux près de la tranché



Figure 39-Tranché de la pose



Figure 40-Emboitement de deux tuyaux



Figure 41-comblement de tuyaux

6 Essais de conformité :

Des essais de conformité sont établis via un laboratoire externe, ils ont pour but de vérifier la conformité des caractéristiques géométriques mais aussi mécaniques par rapport des fiches techniques fournis des tuyaux avec les normes réglementaires prescrites, et cela par le biais d'une visite sur site.

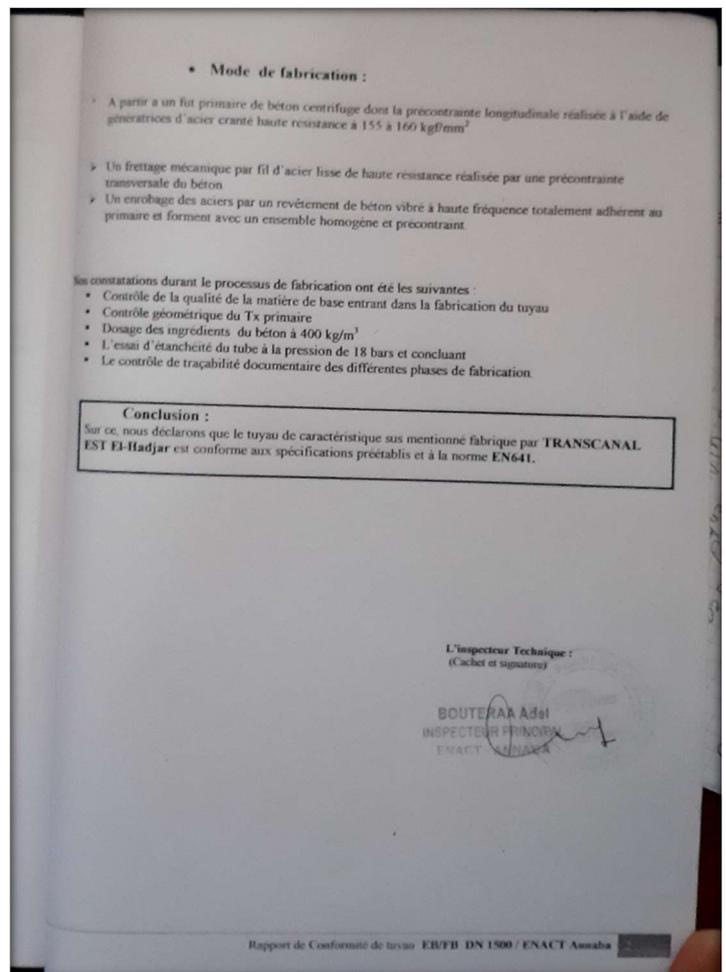
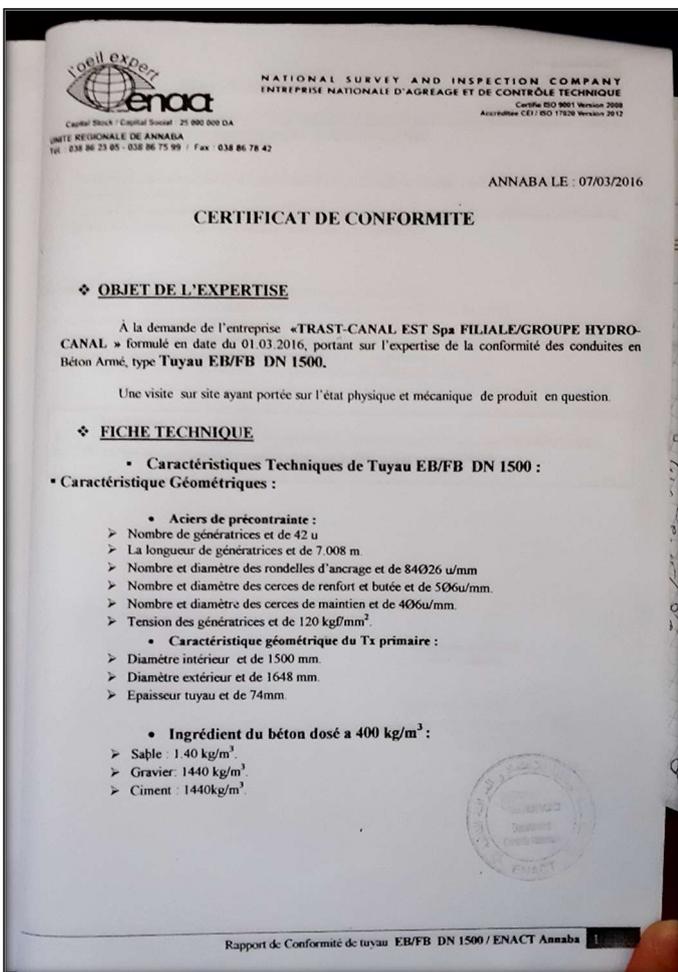


Figure 42-certificat de conformité et son mode opératoire

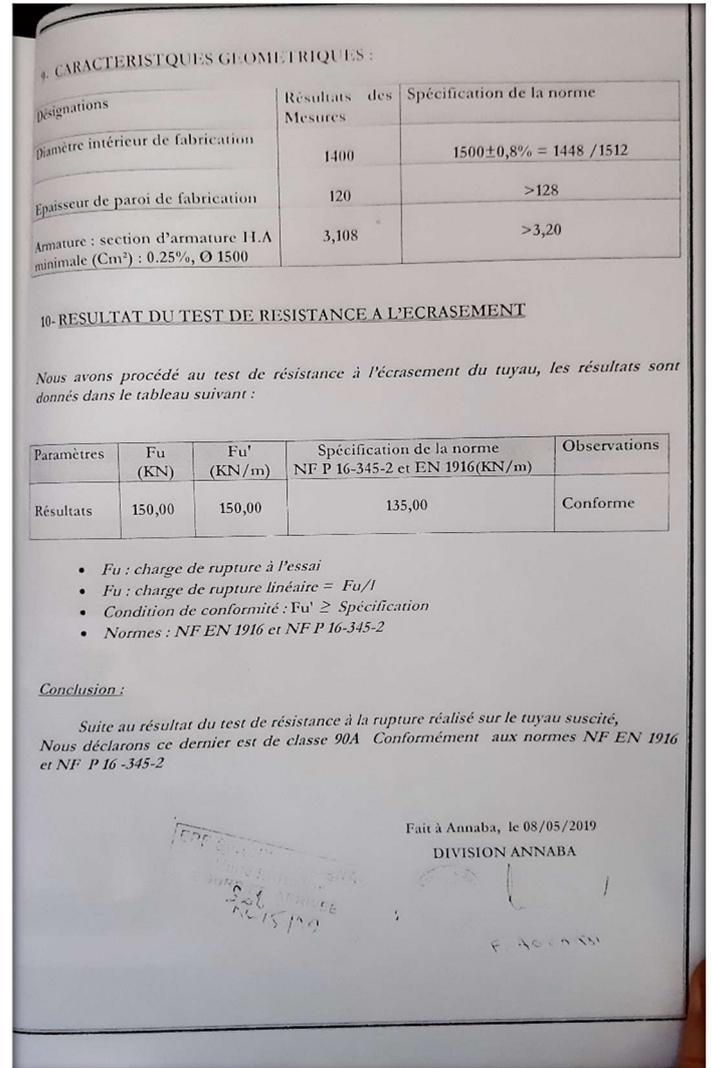
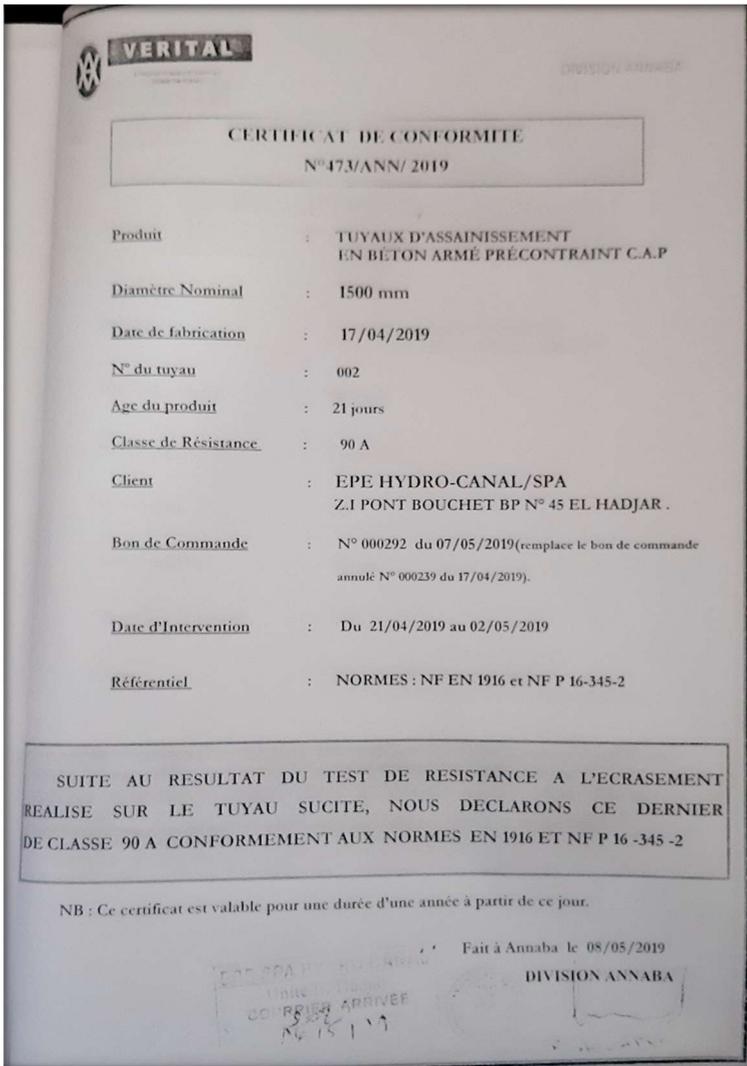


Figure 43-expertise faites sur un produit EB/FB

PARTIE 2
CHAPITRE 1 : Diagnostic et Expertise

1 Introduction au problème :

Le problème justifiant notre projet et notre présence en sein d'HYDRO-CANAL, concerne un problème auquel est confronté l'entreprise dans le process de fabrication d'un tuyau EB/FB présentant des fissures inhabituelles.

Ceci est inquiétant car concernant ce type de tuyau, et comme leur nom l'indique, ce sont des produits en béton précontraint, or la classe dans laquelle est affilié cet élément ne tolère pas un tel comportement.

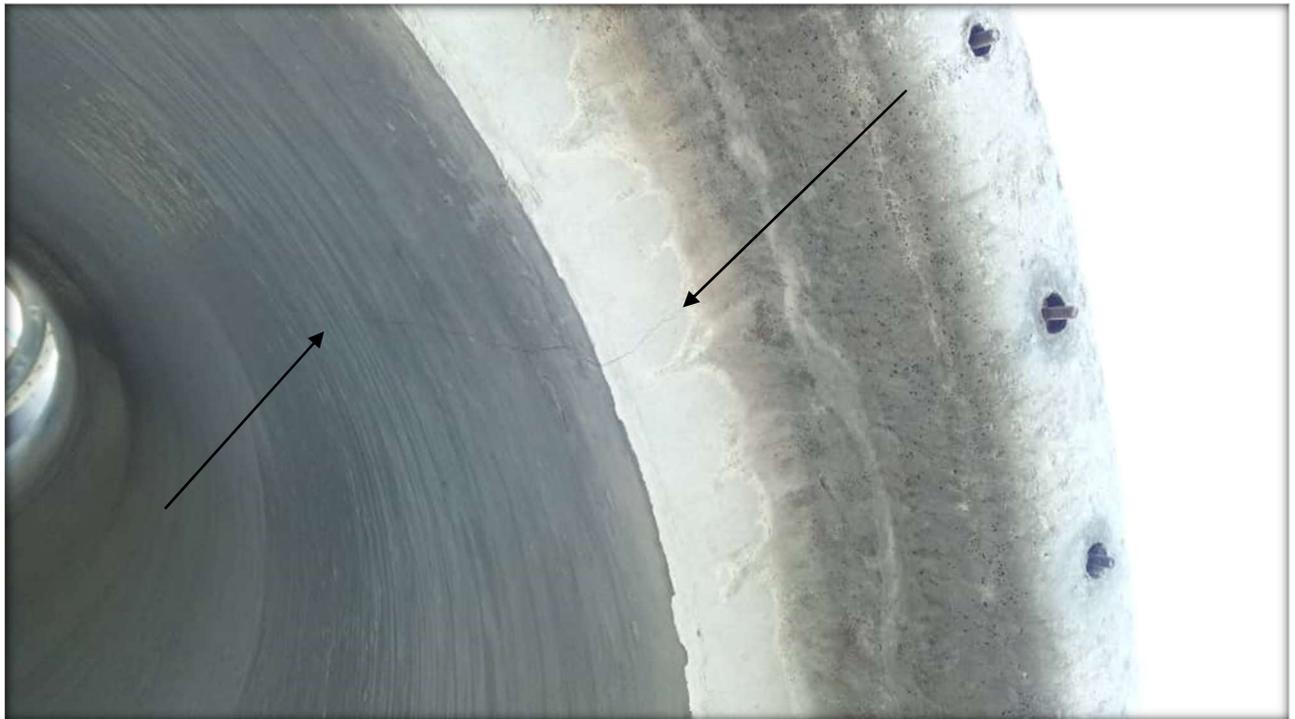


Figure 44-les fissures remarqués

Des fissures longitudinales (puis éventuellement radial) ont été remarqués sur les tuyaux après démoulages du primaire (et après mise en tension transversal), des observations et prises de notes sur les différentes étapes de fabrication ont été effectués, dès lors un plan de travail a été élaboré afin de discerner l'origine du problème.

Des essais de conformité ont été réalisés sur plusieurs échantillons de produits, hormis les fissures apparus les caractéristiques géométriques et mécaniques des tuyaux n'étaient pas conforme aux règlements ce qui nous a amenés à proposer de revoir toutes les procédures de production allant de la formulation du béton au calculs de précontrainte.



Figure 45-fissures transversal

VERITAL DIVISION ANNABA

BULLETIN D'ANALYSE
N°475/ANN/2019

Produit : TUYAUX D'ASSAINISSEMENT EN BETON ARME PRECONTRAIT C.A.P

Diamètre Nominal : 1250 mm

Date de fabrication : 07/02/2016

N° du tuyau : 002

Age du produit : + 28 jours

Client : EPE HYDRO-CANAL/SPA Z.I PONT BOUCHET BP N° 45 EL HADJAR

Bon de Commande : N° 000292 du 07/05/2019 (remplace le bon de commande annuel N° 000239 du 17/04/2019).

Date d'intervention : Du 21/04/2019 au 02/05/2019

Référentiel : NORMES : NF EN 1916 et NF P 16-345-2

EPE SPA HYDRO CANAL
Unité El-Hadjar
COURRIER ARRIVÉE
N° 4615/19

7- CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES :

Désignations	Résultats des Mesures	Spécification de la norme
Diamètre intérieur de fabrication	860	$900 \pm 1,4\% = 887,4 / 912,6$
Epaisseur de paroi de fabrication	78,00 *	>82
Armature : section d'armature H.A minimale (Cm ²) : 0,25%, Ø 900	2,54	>2,05

8- RESULTAT DU TEST DE RESISTANCE A L'ECRASEMENT

Nous avons procédé au test de résistance à l'écrasement du tuyau, les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

Paramètres	Fu (KN)	Fu' (KN/m)	Spécification de la norme NF P 16-345-2 et EN 1916(KN/m)	Observations
Résultats	90,00	60,00	81,00	Non Conforme

- Fu : charge de rupture à l'essai
- Fu' : charge de rupture linéaire = Fu/l
- Condition de conformité : Fu' ≥ Spécification
- Normes : NF EN 1916 et NF P 16-345-2

Conclusion :

Suite au contrôle dimensionnel résultat du test de résistance à la rupture réalisé sur le tuyau suscit, Nous déclarons que ce dernier est non conforme à la norme NF EN 1916 et NFP 16 -345-2.

Fait à Annaba, le 08/05/2019
DIVISION ANNABA

EPE SPA HYDRO CANAL
Unité El-Hadjar
COURRIER ARRIVÉE
N° 4618/19

F. AOUAM

Figure 46-essai résultant a une non-conformité d'un produit

Après les premières visites au sein de l'entreprise et visite de tout le site de la chaîne de production, et après avoir constaté de visu le problème posé, nous avons proposé une démarche consistant à aborder ce projet en reprenant tous les aspects entrant dans la fabrication du produit. Cela va du choix du matériau, de la mise au point de la formulation, de la précontrainte, de la mise en tension, de la centrifugation et enfin de l'étuvage. Passant ainsi toutes les étapes inscrites dans la fiche technique du processus de fabrication pour arriver finalement au produit fini, de sorte à essayer de déceler le manquement ou défaillance qui a conduit au problème posé de la fissuration.

Les causes probables pouvant suscités ce type de problèmes sont :

- Une mauvaise formulation du béton
- Une précontrainte mise forfaitairement, non suffisante et non contrôlés avec changement des diamètres d'armatures aléatoires
- Un non-respect du process de fabrication avec une non-connaissance des modes de fonctionnement des machines
- Un temps de maturation non respecté
- Une température dépassant celle règlementé

Les différentes étapes projetées seront détaillées dans ce qui suit en passant par un rappel des normes :

2 Formulation du béton :

La première étape du diagnostic a été de reprendre la formulation du béton utilisé pour ces tuyaux, les observations suivantes ont été faites :

- Une seule formulation tout diamètre confondu est utilisée, avec une utilisation aléatoire des fractions des graviers utilisés mais aussi une non-conformité de certaine fraction.
- Différents types de sable ont été utilisés aléatoirement dans différentes formulations de béton.



Figure 47-matériaux a disposition

3 Précontraintes et Mise en tension :

En deuxième lieu de notre démarche, vient la vérification des fiches techniques des tuyaux EB/FB que suit la production. Un calcul total a été fait suivant les 2 règlements spécifique aux tuyaux précontraint NF EN 642 « Tuyaux pression en béton précontraint, avec ou sans âme en tôle, y compris joints et pièces spéciales et prescriptions particulière relatives au fil de précontraintes pour tuyaux » et le règlement indien dérivé de ce dernier IS784 :2001 « Prestressed concrete pipes including specials-specification » et au règlement BPEL91.

Le diagnostic qui a été fait nous a conduit aux observation suivantes :

- Une mise en précontraintes indéterminés et non contrôlés, qu'elle soit à l'étape primaire en pré-tension ou secondaire en post-tension.
- Une non-connaissance du mode de fonctionnement des machines, et de ce fait une tension inconnus est injectée aux produits.
- Une absence d'outils pouvant aidé à la vérification des valeurs de précontraintes tel qu'un manomètre.



Figure 48-équipements de mise en tension longitudinal



Figure 49-un tuyau EB/FB en fin de frettage

4 Centrifugation :

Après la mise en tension des génératrices, vient l'étape de centrifugation à l'aide d'une centrifugeuse, Cette machine fait tourner le moule de sorte que le béton soit soumis à la force centrifuge et réparti vers les parois du moule de sorte qu'il soit suffisamment compactée à l'épaisseur spécifiée sur toute la longueur du tuyau afin évacuer l'air et l'excès d'eau dans le béton.

Un suivie d'un tuyau a été fait afin de vérifier si le mode opératoire a été respecté ou non, nous avons constaté que :

- Les temps de chargement et de centrifugation ont été moyennement respecté sachant qu'il y avait 2 à 5min de temps négliger entre les 2 phases.
- Le serrage du moules (le moules se constitue de 2 partie, supérieur et inférieur jointent par boulons) prescrit par le mode opératoire n'est pas effectué.
- Un arrosage non contrôlé et non nécessaire a été remarqué en fin de centrifugation.

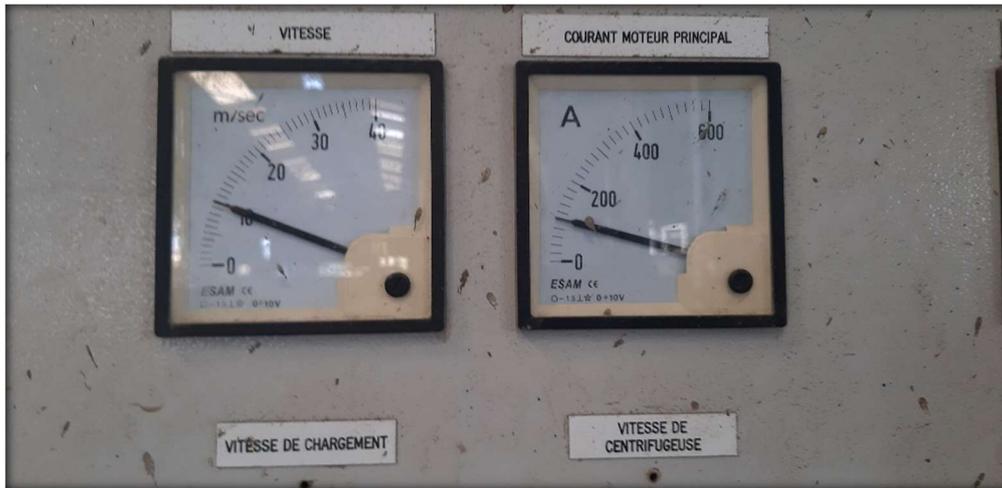


Figure 50-les 2 cadrant Vitesse de chargement et Vitesse de centrifugation



Figure 51-l'eau en excès après un arrosage du tuyau

5 Étuvage :

Après la centrifugation le tuyau est mis en repos pendant 3 à 4h afin que le béton ait le temps de faire ces premières prises, vient l'étuvage a l'aide d'une chaudière à vapeur. L'étuvage était le plus révélateurs de problèmes les points suivants étaient ont remarqués :

- Une température très élevée a été affichée dans les thermomètres de la chaudière, une température qui était de l'ordre de 150°C.
- Un temps d'étuvage relativement respecté.
- A la fin du processus du traitement thermique le produit toujours dans son moule est exposé à l'air libre.
- Une couleur blanchâtre a été remarquée sur la surface des tuyaux, plus tard cette couleur a été révélatrice d'un retrait plastique.
- Des essais destructifs ont été réalisés sur des éprouvettes soumises à l'étuvage, les valeurs faibles obtenues ont confirmé l'absence de surveillance lors du traitement thermique.



Figure 52-chaudière à vapeur



Figure 53-chaudière à 150°C de température



Figure 54-étuvage d'un tuyau

CHAPITRE 2 : Solutions et Recommandations

Introduction :

Après établissement du diagnostic, une série de solutions et de recommandations a été établie dans le but de remédier aux problèmes posés.

1 Formulation du béton :

Suite au diagnostic fait précédemment, deux formulations ont été effectués avec les matériaux mis à dispositions :

1.1 Les matériaux :

Les caractéristiques visées pour le béton ordinaire dans l'objectif de réalisation de tuyaux en béton précontraint sont :

- Résistances caractéristique en compression sur cylindre a 28jours $f_{c28}=35\text{MPa}$ (béton de classe 35/45)
- Consistance recherché pour la mise en œuvre : béton ferme vibré a haute fréquence

Les caractéristiques des matériaux à disposition sont :

- **Le Ciment :**

Le ciment utilisé est de type CPJ **CEM II/A 42, 5 NA 442 (du fournisseur)** et de densité $\rho = 3,1\text{g/cm}^3$ Composition : (les classe commercial sont définies dans la norme NF-EN-197-1)

- 80% à 94% de clinker (K).
- Complément à 100% composé d'un ou plusieurs constituants, tel que pouzzolane (Z), calcaire (L), etc.
- Sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise
- La classe vraie d'un ciment correspond à la moyenne des résistances obtenues sur un mortier de référence composé à partir du ciment à caractériser (formulation et essais respectant la norme NF-EN-196-1)

- **Sable :**

Le sable utilisé est de qualité bonne a courante et est de 2 types, le premier est un sable de dune et le deuxième* est un sable de rivière, de masse volumique respective de $\rho_{sDune} = 2,5\text{g/cm}^3$ et $\rho_{sRiv} = 2,77\text{g/cm}^3$

Les courbes granulométriques des sables seront représentés dans la Figure.51

- **Gravier :**

le gravier utilisés pour la première formulation est de 3/8 et pour la deuxième il s'agira d'un mélange de 3/8 et du 8/15 , leur masse volumique est de $\rho_G = 2,6\text{g/cm}^3$

La méthode de formulation proposé passe par trois phase :

- L'obtention du rapport C/E à partir de la résistance et donc la qualité de la pâte visée
- La détermination de la quantité de pate C+E et la compacité du squelette granulaire maximum découlant de l'ouvrabilité souhaités
- Le bilan des quantités de chacun des constituants

Les étapes de formulation suivront celle de la formulation d'un béton ordinaire établie suivant DREUX-GORISSE

1.1.1 Rapport C/E :

Tout d'abord il faudra déterminer le dosage ciment par rapport au dosage d'eau et cela en fonction de la résistance voulu :

$$\frac{C}{E} = \frac{F_{C_{28}}}{K_{DG} * F_{CE}} + 0,5 \quad \dots\dots(1)$$

F_{28} : résistance en compression 28jours en MPa

F_{CE} : c'est la classe vraie du ciment a 28 jours

K_{DG} : c'est le coefficient granulaire voir Tableau.2

a

Qualité des granulats	Granulats fins ($D_{max} < 16\text{mm}$)	Granulats moyens ($25 < D_{max} < 40\text{mm}$)	Gros granulats ($D_{max} > 63\text{mm}$)
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,55	0,60
Passable	0,35	0,40	0,45

Tableau 2- Coefficient Granulaire K_{DG}

D_{max} : diamètre max des granulats

Le rapport E/C ne doit pas dépasser les 0,5 suivant le règlement NF EN 642

1.1.2 Évaluation de la quantité de ciment et d'eau :

L'abaque dans la Figure.53 permet d'estimer la quantité de ciment nécessaire en fonction du rapport C/E estimé précédemment et de l'ouvrabilité désirée à l'aide du Tableau.3

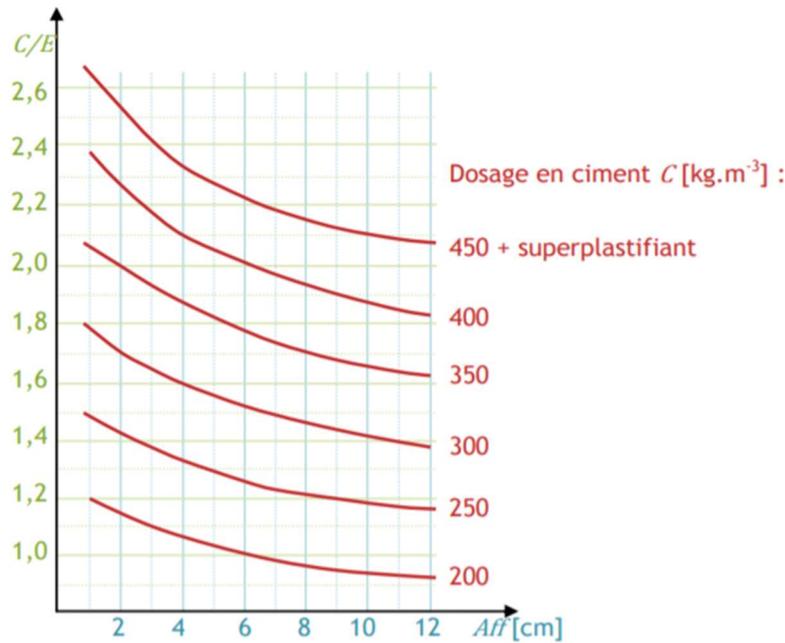


Figure 55-Abaque pour l'estimation de la quantité de ciment

Plasticité	Serrage	Affaissement [cm]	Dénomination NF-EN 206/CN
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	S1
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	S1 / S2
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	S2
Béton mou	Piquage	10 à 13	S3
Béton liquide	Léger piquage	≥ 14	S3 / S4 / S5

Tableau 3-Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône

La quantité de ciment obtenu est C et on en estime après la quantité d'eau, cette première quantité va être corrigé en fonction de la taille du plus gros granulat utilisé suivant le Tableau.4

Dimension maximale des plus gros granulats D_{max} [mm]	5	10	16	25	40	63	100
Correction sur le dosage en eau E [%]	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

Tableau 4-corrrection en pourcentage d'eau en fonction du D_{max}

1.1.3 L'Analyse granulométrique des granulats :

Nous avons procédé à l'analyse granulométrique suivant une série de tamis :

Pour le sable : 4 -- 3,15-- 2,5-- 1,25—1-- 0,63-- 0,315-- 0,25-- 0,08

Pour le gravier 3/8 : 16--12,5—10—8--6,3—5—2--1,25

Pour le gravier 8/15 : 10—8--6,3—5—2--1,25



Figure 56-Echantillons de chaque type de granulats



Figure 57-série de tamis Sable



Figure 58-série de tamis Gravier

Après entrée des données sur Excel les courbes de l'analyse granulométrique ont été réalisées, les résultats obtenus ont été représentés sur des courbes (figure.53) :

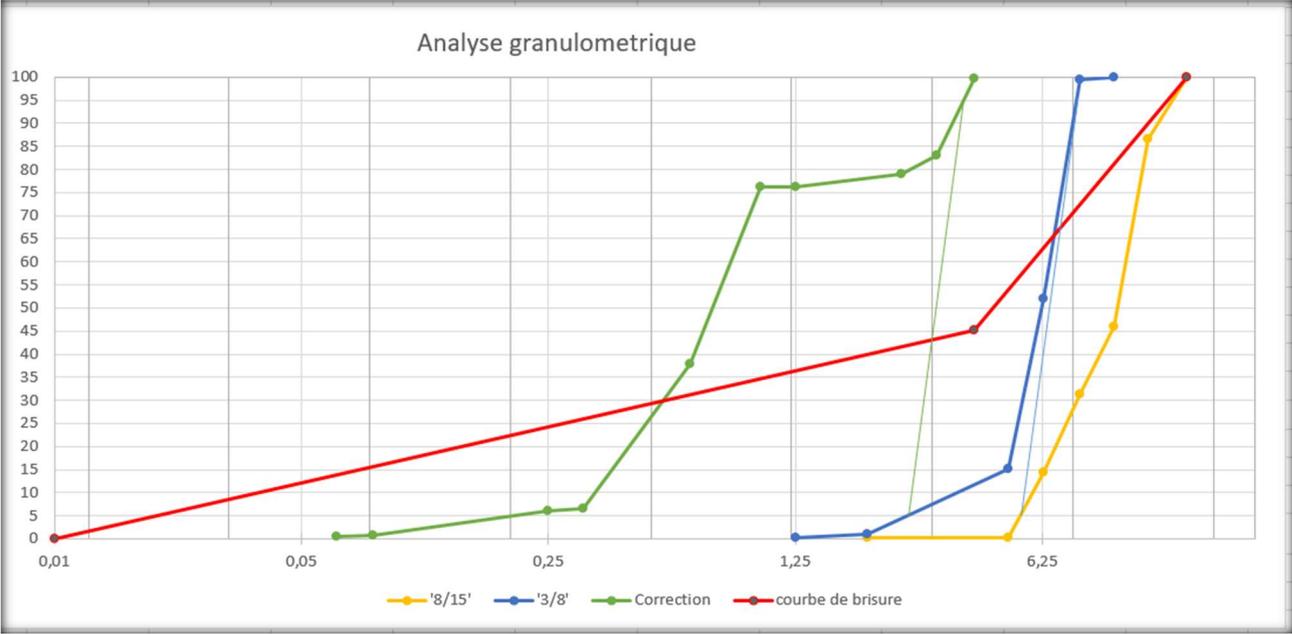


Figure 59-courbe granulométrique des différents granulats

Ainsi, les quantités alors des granulats est tirées en s'aidant de la courbe de brisure et des deux segment (orange et bleu)

Des modifications ont été apporté au deux sable, un sable optimal a été déduis des 2 courbes de ces deux matériaux ce qui nous a conduit à utiliser 40% de sable de dune et 60% de sable de rivière.

1.1.4 Estimation du coefficient de compacité :

Le coefficient de compacité est le rapport entre le volume solide et le volume totale du béton.

$$\gamma_c = \frac{V_s}{V} \dots(2)$$

Vs : la somme du volume du ciment et le volume des granulats

Consistance	serrage	Coefficient de compacité γ						
		$D_{max}=5$	$D_{max}=10$	$D_{max}=12,5$	$D_{max}=20$	$D_{max}=31,5$	$D_{max}=50$	$D_{max}=80$
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,780	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Figure 60-Valeur du coefficient de compacité

1.1.5 Les quantités finales des deux formulations :

Formulation 01 : cette formulation est constituée seulement d'un gravier 3/8, elle est destinée aux tuyaux d'épaisseur ne dépassant pas les 0,33 fois l'épaisseur des tuyaux 600-700-800. (NF-EN642 article 2)

Une deuxième correction a été faite sur le dosage en eau dans les 2 formulations puisqu'il a été remarqué que le sable de rivière était de nature humide et après la détermination de la teneur en eau de ce dernier qui a été estimée à 5% une correction a été apportée autant qu'à la quantité d'eau qu'à la quantité de sable.

Les quantités finales				
Ciment	400	Kg/m ³		
Sable	803	Kg/m ³	843,7	Kg/m ³
Gravier 3/8	960	Kg/m ³		
Eau	220	Kg/m ³	179,5	Kg/m ³

Figure 61-quantité finale des constituants de la première formulation

Formulation 02 : cette formulation est constituée des 2 fractions de gravier 3/8 et 8/15 et est destinée au diamètre plus grand (900-1000-1250-1500).

Les quantités finales				
Ciment	400	Kg/m3		
Sable	816	Kg/m3	826,9	Kg/m3
Gravier 3/8	381	Kg/m3		
Eau	220	Kg/m3	208,9	Kg/m3
Gravier 8/15	634	kg/m3		

Figure 62--quantité finale des constituants de la deuxième formulation

1.2 Les essais destructifs :

Des éprouvettes cylindriques ont été réalisés selon ces deux formulations, puis des essais destructifs ont été fait, les résultats obtenus sont pour une résistance visée a 28 jours de 35Mpa :

	7 jours	14 jours
Eprouvette 3/8	16	16,5
Eprouvette 3/8 – 8/15	17,5	22,5

Il est a noté qu'il a été impossible d'un point de vu temps de réaliser les écrasements a 28jours seuls les résistances a 7 et 14 jours ont été effectués.



Figure 63- Eprouvette a fraction 3/8



Figure 64-Eprouvette a fraction 3/8 - 8/15

1.3 Recommandations :

- Les valeurs obtenus suite aux essais destructifs et d'autres essais fait antérieurement ont montré que l'utilisation seul du graviers 3/8 était insuffisantes, il faudra donc passer à un diamètre supérieur en ce qui concerne les tuyaux de diamètre 600-700-800mm.
- L'article 2 de la norme NF NE642 stipule que la taille du diamètre maximal des granulats ne doit pas dépassée les 0,33 fois l'épaisseur de parois du tuyau or il s'est avéré que le béton utilisé pour tous les tuyaux contenait la fraction de 8/15, son utilisation est conforme seulement pour les diamètres supérieurs à 900mm.
- Les matériaux à disposition de l'entreprise doivent être revus, et une reformulation de béton doit être effectué à nouveau.
- Une utilisation d'un plastifiant est conseillée afin de réduire l'utilisation d'eau mais aussi amélioré la résistance mécanique recherchée.

2 Précontrainte et mise en tension

2.1 Précontraintes longitudinal :

Pour les tuyaux sans âme en tôles, le primaire doit être précontraint longitudinalement sur toute sa longueur, y compris l'about femelle avec des fils a haute limite élastique, crantés ou munis d'ancrages définitifs, noyés dans le béton au niveau des extrémités, la précontrainte longitudinale doit être suffisante pour éviter que des efforts de tension excessifs ne se développent dans le primaires à la suite de la précontraintes circonférentielle et des efforts de flexion résultant du travail en poutre pendant le transport et la manutention.

Les génératrices doivent être tendus à la tension de calcul prévue prenant en comptes toutes les pertes.

Article 3.5.1 de la normes NF EN-642

Nous passons en revue dans ce qui suit l'aspect définition, calcul et règlement, concernant l'utilisation de la précontrainte dans le cas des tuyaux pression en béton précontraint

2.1.1 Méthodes de calcul :

2.1.1.1 Etape de calculs :

Lors de la mise en tension de génératrices, il faut faire très attention afin d'éviter tout danger de rupture violente.

Cette mise en tension s'exécute à l'aide de vérin hydraulique soumis à des vérifications régulières.

Afin d'améliorer l'utilisation d'armatures actives et de rester dans la sécurité par rapport à la rupture des aciers, Les règles BPEL91 fixe la tension à l'origine en général pour la pré-tension et la post tension a :

$$\sigma_{p0} \leq \min(0.8 * f_{prg} ; 0.9 * f_{peg}) \dots (1)$$

Avec :

σ_{p0} : tension a l'origine

f_{prg} : contrainte limite de rupture

f_{peg} : contrainte limite élastique

Le principe est que l'équilibre soit respectée au sein de l'élément suivant l'inégalité suivantes sachant que le tuyau sera considéré comme une poutre isostatique :

- En premier lieu il y aura lieu de déterminer σ_t qui est la contrainte de traction dus a la manutention :

$$\sigma_t + \sigma_p \geq 0 \dots (2)$$

Avec :

$$\begin{cases} \sigma_t = \frac{F_t}{B} = \frac{Mv}{I} \\ \sigma_p = \frac{F_p}{A_p} \end{cases} \dots (3)$$

σ_t : contrainte de traction dus à la flexion de manutention

$I = \frac{\pi*(D^4-d^4)}{64}$: L'inertie de l'éléments

$v = D/2$: Fibre la plus tendus

$M = \frac{P*L^2}{8}$: moment isostatique d'une poutre

P : le poids du tuyau
 L : longueur totales du tuyau
 D et d : diamètre extérieure et intérieure

σ_p : contrainte de compression appelée aussi la tension de précontrainte des câbles

- σ_p sera déterminée tel que suit :

Un taux de pertes est adopté et σ_p sera estimé selon l'équation suivante :

$$\sigma_p = \% \text{ de pertes} * \sigma_{p0} \quad \dots (4)$$

- En troisième lieu on détermine la force de précontrainte F_p :

Tel que mentionner dans l'équation (2) une inégalité doit être respecté on peut la détailler :

$$F_t + F_p \geq 0 \quad \dots \rightarrow F_t = F_p \quad \dots (5)$$

Avec :

F_t : est la force de traction engendré par la manutention

F_p : la force de précontraintes

- En dernier lieu la quantité d'armature et le nombre de génératrices est calculée :

$$A_p = \frac{\sigma_t * B}{\sigma_p} \quad \dots (6)$$

Avec :

B : la section de béton

$$\text{Nbr de génératrices} = \frac{A_p}{\text{section d'une barre}} \quad \dots (7)$$

2.1.1.2 Pertes de précontraintes :

Les forces de précontrainte sont variables le long des armatures et dans le temps. Elles sont évaluées à partir de la valeur probable de la tension à l'origine, notée σ_{p0} , c'est-à-dire de la tension prévue dans le projet à la sortie des organes de mise en tension, côté béton, au moment de cette mise en tension.

De façon générale, on désigne sous le nom de pertes de précontrainte les écarts entre la tension à l'origine et la tension qui s'exerce en un point donné d'une armature, à un instant donné.

Article 3.1 BPEL.91

Nous détaillerons dans l'organigramme suivant les différentes pertes prise en comptes dans la précontrainte par pré-tension

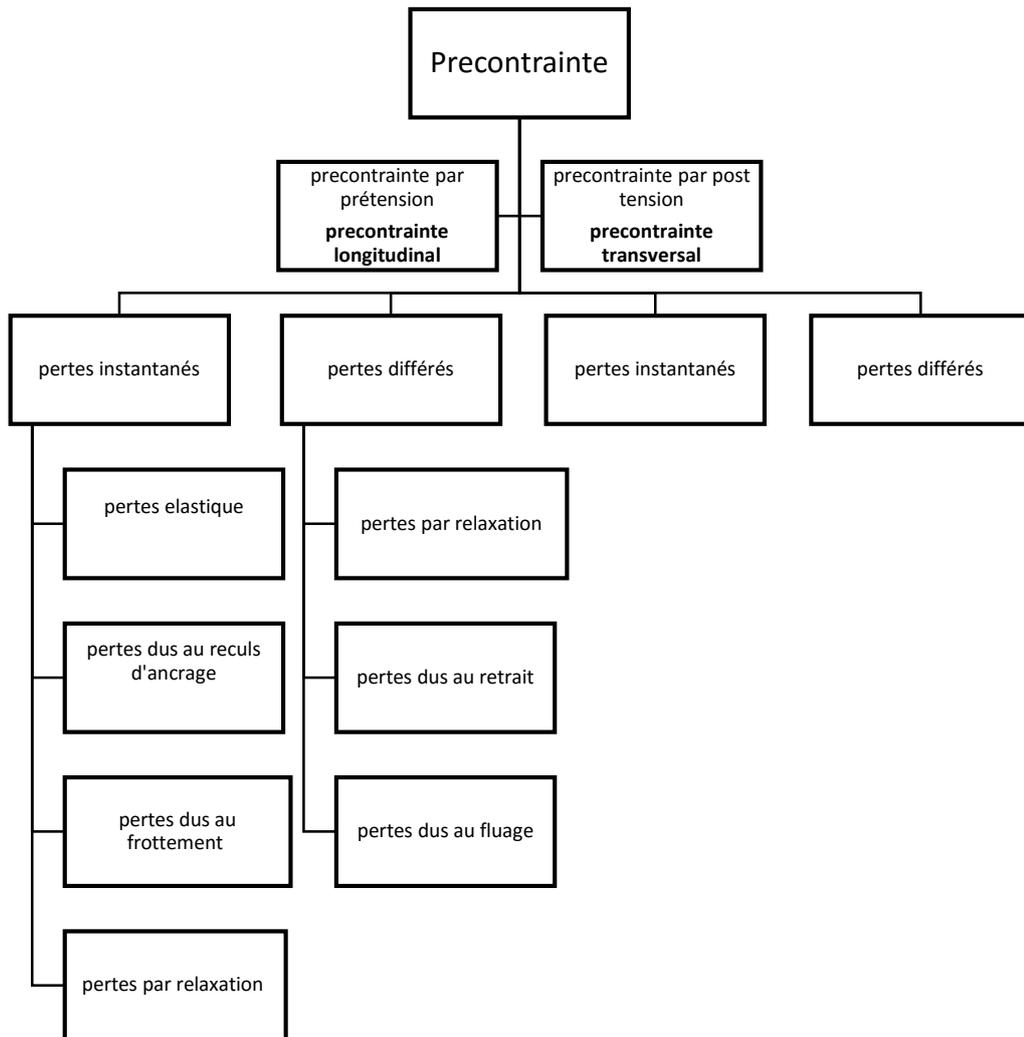


Figure 65-organigramme des pertes de précontraintes par prétension

2.1.1.2.1 Pertes instantanées :

Les pertes instantanées appelées aussi pertes a court termes, apparaissent lors du relâchement des armatures précontraintes.

➤ Pertes élastiques :

La perte élastique est dus aux déformations du béton due à l'action des armatures lors de leur relâchement.

$$\Delta\sigma_{pel} = E_p * \varepsilon_{el} \quad \dots (7)$$

Avec :

E_p : module d'élasticité de l'acier

ε_{el} : déformation élastique

➤ **Pertes dus au recul d'ancrage :**

Lors du blocage de l'ancrage après la mise en tension des génératrices, un certain recul est nécessaire pour le blocage définitif. Ce recul va causer une perte de tension nommée la perte de recule d'ancrage.

$$\Delta\sigma_{recul} = E_p * \Delta\varepsilon_{recul} \quad \dots (8)$$

E_p : module d'élasticité de l'acier

$\Delta\varepsilon_{recul}$: valeur du glissement d'ancrage

➤ **Pertes dus au frottement :**

Sachant que l'allure des câbles dans le cas des tuyaux est droite le frottement peut être négligé ou pris parasite à un pourcentage quasi-nul qui peut être estimé lors de l'estimation du taux de pertes :

(Dans notre cas le pourcentage est de 0,01%)

$$\Delta\sigma_{fr} = \%de\ frottement * \sigma_{p0} \quad \dots (9)$$

σ_{p0} : tension initial de précontrainte (avant perte)

➤ **Pertes par relaxation :**

On peut définir la relaxation comme étant le relâchement de tension dans les armatures de précontrainte, ce phénomène dépend généralement de la température, du temps et de la contrainte dans les aciers.

(Un pourcentage de pertes est pris)

$$\Delta\sigma_{Rel} = \%de\ relaxation * \sigma_{p0} \quad \dots (10)$$

σ_{p0} : tension initial de précontrainte (avant perte)

2.1.1.2.2 Pertes différés :

Les pertes différées sont les pertes qui apparaissent dans le temps après plusieurs mois, années, Il est nécessaire de les connaître afin d'éviter toutes détérioration de l'élément.

• **Pertes dus au fluages :**

Le fluage est défini comme étant l'augmentation de la déformation du béton sous chargement permanents ce phénomène implique une chute de tension dans les génératrices.

$$\Delta\sigma_{pfl} = E_p * 2\varepsilon_i \quad \dots (11)$$

ε_i : déformation instantané du béton

E_p : module d'élasticité de l'acier

- **Pertes dus au retrait :**

Le retrait tel que le fluage est un phénomène commun dans le béton il apparait lors du durcissement de celui-ci et est calculé :

$$\Delta\sigma_r = E_p * \varepsilon_r \quad \dots (12)$$

ε_r : déformation du au retrait

- **Pertes dus à la relaxation :**

La relaxation peut être définie comme étant le relâchement de tension dans les armatures de précontrainte à longueur constante.

$$\Delta\sigma_p = 6e - 2 * \rho_{1000h} (\mu - \mu_0) * \sigma_{pi} \quad \dots (13)$$

- ρ_{1000h} : désignes la relaxation max après 1000h sous charge
- σ_{pi} : contrainte après pertes instantanées
- $\mu = \frac{\sigma_{pi}}{F_{prg}}$: rapport entres la contrainte après pertes instantané et la contraintes limites de ruptures

μ_0 étant un coefficient pris égal à :

- 0,43 pour les armatures à très basse relaxation(TBR).
- 0,30 pour les armatures à relaxation normale (RN).
- 0,35 pour les autres armatures.

2.1.1.2.3 Vérifications :

Juste après étuvage le tuyau doit être vérifiée, la vérification est faite afin que la valeur de la tension après pertes instantané ne nuit pas au béton C'est à dire :

$$\sigma_t < \sigma_p$$

On a :

$$F_t \leq F_p$$

$$\sigma_b * B \leq \sigma_p * A_p$$

$$\sigma_b = \frac{\sigma_p * A_p}{B} \geq \sigma_p \quad \dots (14)$$

2.1.2 Organigramme de procédure de calculs :

Nous proposons dans ce qui suit de présenter le développement d'une procédure automatisé menée sur l'application Microsoft-Excel, permettant de mener tous les calcul et vérifications appliqués au cas de notre tuyau concernant la précontrainte longitudinale (puis transversal). Cette Automatisation du Calcul et vérifications permet de déterminer la quantité et le nombre d'armatures nécessaires, mais aussi les valeurs des pertes à court et à long terme

L'organigramme présenté a été programmé sur des feuilles Excel. Des captures d'écran présentent les différentes étapes automatisant ce calcul :²

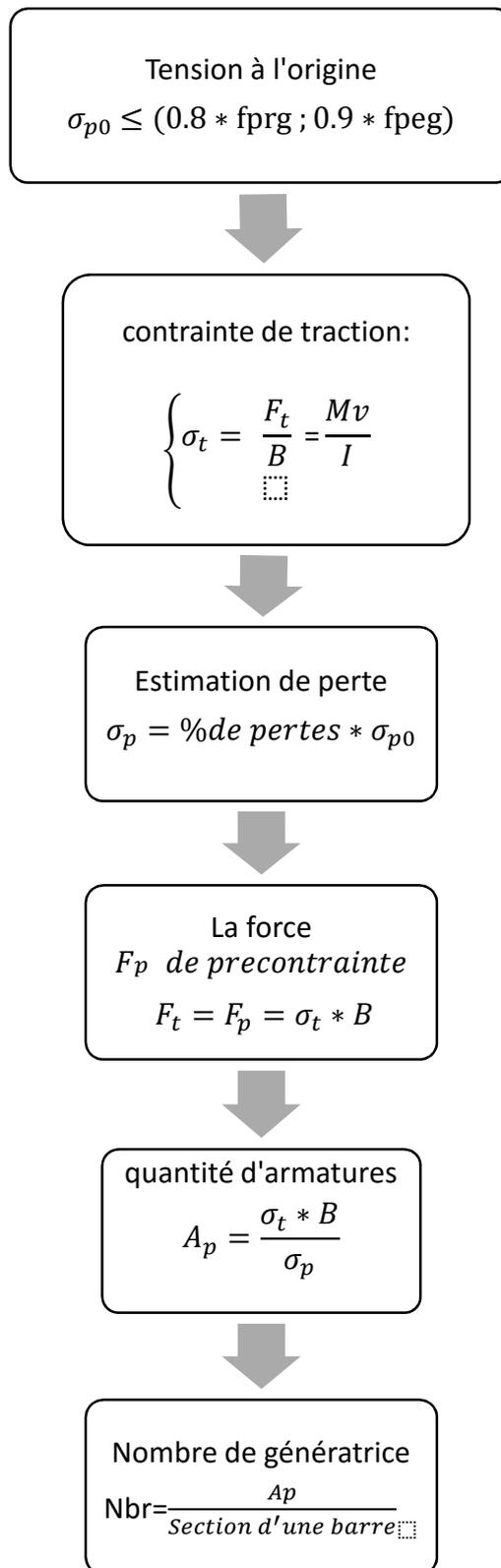


Figure 66-organigramme de calculs

	Mpa	
f_{prg}	1670	limite de rupture
f_{peg}	1390	limite élastique

Figure 67-valeurs des limites de rupture et élastique fournis par le fournisseur des armatures

		on prend min des 2 valeurs	
$0,8 * f_{prg}$	1336	1251	
$0,9 * f_{peg}$	1251		
		on adopte	1200 Mpa

Figure 68-détermination de la tension initial

		KN	en m-lineaire	
P(Kg)	4800	48	6,857142857	
d(m)	0,7	0,2401		
D(m)	0,78	0,37015056		
L(m)	7			
M	42	KNm		
I	0,006380606	m4		
v	0,39	m	σ_t	2,567 MN/m ²

Figure 71-détermination de la contrainte de traction

perte totale 30%	
$\sigma_p = 0,7 * \sigma_{p0}$ en Mpa	840

Figure 70-estimation de la contrainte après pertes

$F_t = \sigma_t * B$ en MN	0,238601602
F_p en kN	238,6016023

Figure 69-determination de la force de précontrainte

Ap	284,0495	mm²
-----------	-----------------	-----------------------

section d'une barre mm		12,56637061
nombre de barre		23

Figure 72-determination de la quantité et du nombre d'armature

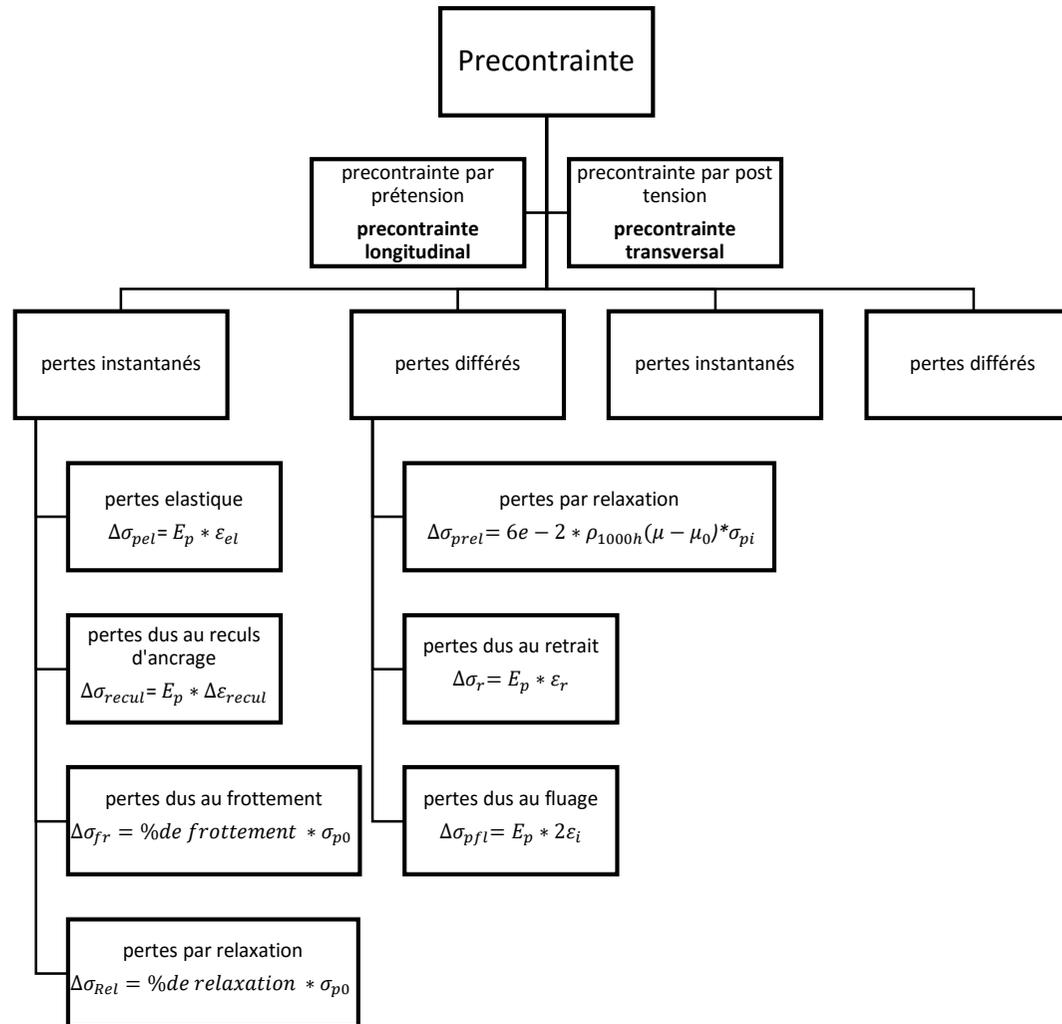
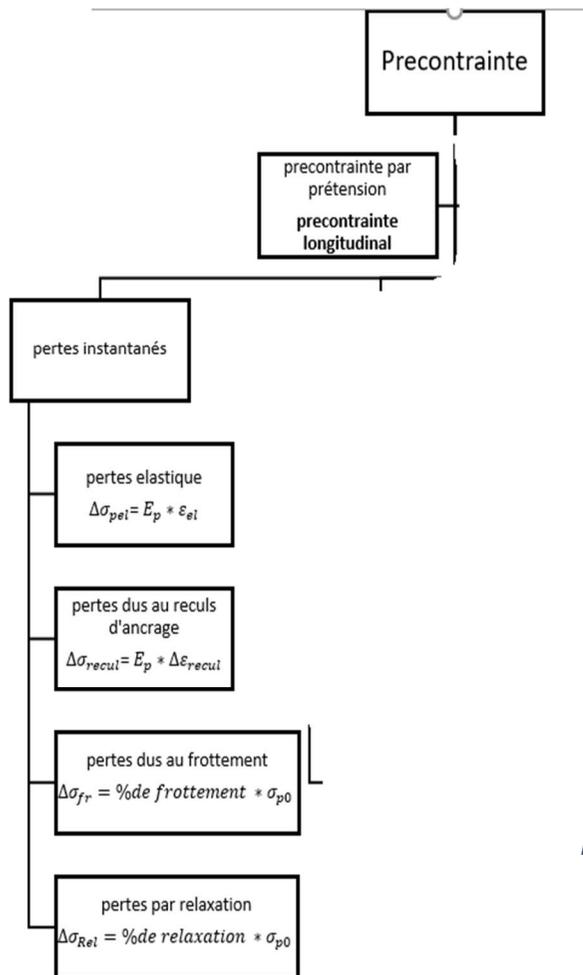


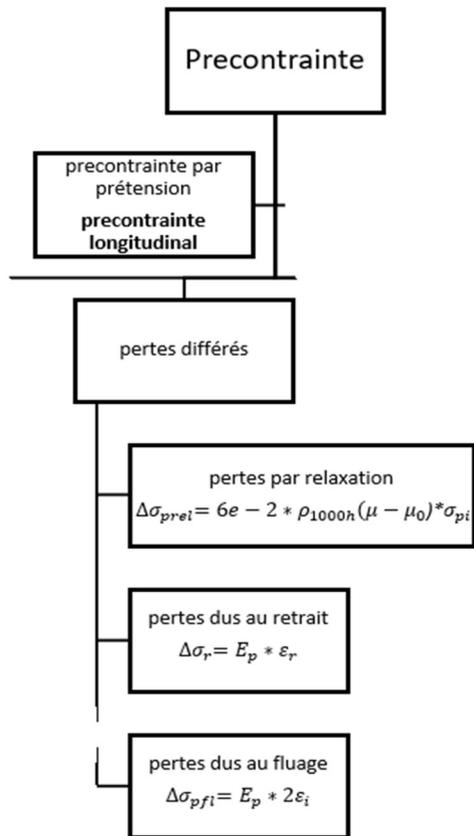
Figure 73-organigramme de calcul des pertes de précontrainte par prétension



		pertes instantanée			
		7,14%	perte de recul d'ancrage	$\Delta\sigma_{recul} = E_p * \Delta\varepsilon_{recul}$	
$\varepsilon_{el} = \varepsilon_i = \frac{\sigma_i}{E_i}$	g	3	mm		
	$\Delta\varepsilon_{recul}$	0,000428571			
	E_p	2,00E+05			
				$\Delta\sigma_{recul}$	85,714
		5%	perte élastique	$\Delta\sigma_{pel} = E_p * \varepsilon_{el}$	
	fij	35			
	E_p	2,00E+05			
	E_i	35981,72941			
	ε_i	7,1346E-05			
				$\Delta\sigma_{pel}$	14,3
		0,01%	perte de frottement	$\Delta\sigma_{fr} = 0,01\% * \sigma_{p0}$	
				$\Delta\sigma_{fr}$	0,12
		2,85%	perte dus a la relaxation instantané	$\Delta\sigma_{rel} = 2,85\% * \sigma_{p0}$	
				$\Delta\sigma_{rel}$	---

Figure 75-calculs sur Excel des pertes longitudinales instantanées

Figure 74-organigramme de calculs des pertes longitudinal instantanées



			perte différés	
			perte dus au fluage	$\Delta\sigma_{pfl} = E_p * 2\varepsilon_i$
			$\Delta\sigma_p$	28,53842194 Mpa
			perte dus au retrait	$\Delta\sigma_r = E_p * \varepsilon_r$
	ε_r	0,0003	$\Delta\sigma_r$	60 Mpa
			perte dus a la relaxation	$\Delta\sigma_{prel} = 6e - 2 * \rho_{1000h}(\mu - \mu_0) * \sigma_{pi}$
			$\sigma_{pi} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{pi}$	
	σ_{pi}	840		
	μ	0,502994012		
	ρ_{1000h}	2,5		
	μ_0	0,3		
			$\Delta\sigma_p$	25,57724551 Mpa

Figure 77-calculs sur Excel des pertes longitudinales différées

Figure 76 -organigramme de calculs des pertes longitudinales différées

2.1.3 Verifications :

A l'état primaire ou bien secondaire le tuyau devra être comprimé les vérifications suivantes seront faites :

➤ A l'état primaire :

verification			
	FT (N)	FP (N)	
	0,239	0,239	
			la contrainte de traction est inferieur a celle de compression
l'instant du relachement apres etuvage	σ_b	3,257	MPA
	σ_t	2,567	MN-m2

Figure 78-verification de la flexion

2.2 Précontrainte transversal :

L'effort induit dans le primaire en béton pendant la précontrainte ne doit pas excéder les 55% de la résistance à la compression du béton dans le tuyau, au moment où s'applique cette précontrainte.

La méthode et le matériel utilisé pour la mise en place du fil de précontrainte doivent permettre l'enroulement hélicoïdale du fil autour du primaire au pas et sous la tension prévue ainsi que l'affichage, le réglage et l'enregistrement de la tension.

La tension moyenne doit être au moins égale à la tension prévue. Les fluctuations normales de tension ne doivent pas varier par rapport à la moyenne de plus de 10% de même que pas plus de 5% des spires ne doivent avoir de fluctuation instantanées dépassant l'écart autorisé de 10%.

Article 3.5.2 NF EN 642

2.2.1 Méthode de calculs :

2.2.1.1 Étapes de calculs :

Le principe est le même que celui de la précontrainte longitudinal la tension initial σ_{p0} est déterminé à partir du règlement : Article 3.2 du BPEL.91

$$\sigma_{p0} \leq \min(0.8 * f_{prg} ; 0.9 * f_{peg})$$

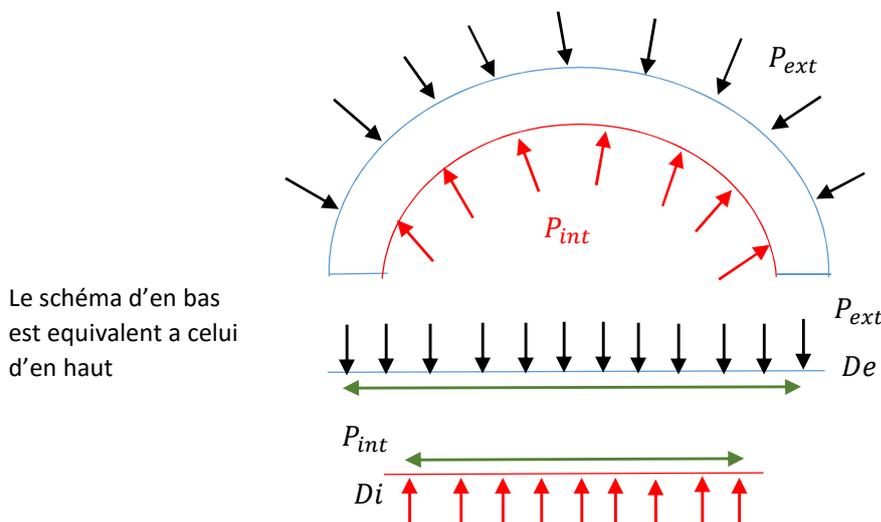
Avec :

f_{prg} : contrainte limite de rupture

f_{peg} : contrainte limite élastique

Ces deux termes sont obtenus via la fiche technique que fournit le fournisseur dès la livraison des bobines d'acier, il est nécessaire d'effectuer des vérifications lors de cette réception et cela conformément au réglementation régis par l'article A.1 de la norme EN NF-642.

Le principe est simple, il faut que l'équilibre soit respecté au sein de l'élément, ainsi et a la fin le tuyau doit être comprimé sous l'effet de la précontrainte radial et tendu sous l'effet de la pression interne. Cette précontrainte radial sera estimé à un taux de perte fixé préalablement.



Il faut donc que :

$$P_{int} + P_{ext} \geq 0$$

Avec :

P_{int} : pression interne

P_{ext} : pression externe

C'est-à-dire que $P_{int} \leq P_{ext}$ doit être respectée afin que le tuyau reste comprimé, les étapes de calculs se font comme suit :

- La pression induite par l'eau :

$$p_{eau} = p_{int} * D_i \quad \dots (3)$$

- La précontrainte appliquée sera : $P_{precon} = \frac{P_{eau} * D_i}{D_e} \quad \dots (4)$

- De cette valeur on déterminera la quantité d'acier nécessaire A_p :

$$A_p = \frac{P_{precon}}{f_{si}} \quad \dots (5)$$

- Après la détermination de la quantité d'acier totale on déduit le nombre de brins nécessaires :

$$nbr \ de \ brins = \frac{A_p}{section \ d'une \ barre} \quad \dots (6)$$

On en déduit donc le nombre de cerces est de :

$$nbr \ de \ cerces = \frac{nbr \ de \ brins}{2} \quad \dots (7)$$

- L'espacement est déterminé sur 1 mètre de longueur :

$$esp = \frac{1000}{nbr \ de \ cerces} \quad \dots (8)$$

Cette espacement est limité par le règlement avec une marge allant de 6 à 50 mm pour un espacement Min et Max (article 8.4.5 du règlement indien IS 784 :2001 dérivé de la normes NF EN 642). Ces deux valeurs ont été établies afin d'éviter l'apparition de fissures causés par un effort tranchant lors de la mise en place des armatures transversale.

L'effort tranchant à ne pas dépasser par le béton est déterminé suivant l'article A.5.2.2 du BAEL.91 :

$$\tau_u \leq 0,07 \frac{f_{cj}}{\gamma_b} \dots (9)$$

f_{cj} : résistance à la compression a 28jours

γ_b : coefficient de securité béton

- En dernier vient la détermination de la contrainte de compression appliquée au béton :

$$\sigma_b = \frac{A_{pm} * \sigma_{p0}}{ep}$$

Avec

A_{pm} : la quantité d'acier/mm

σ_{p0} : la tension initiale de précontrainte

ep : l'espacement entre cerces

2.2.1.2 Pertes de précontraintes :

Tel que mentionné précédemment les pertes sont les écarts de valeurs entre la tension a l'origine et la tension après mise en tension

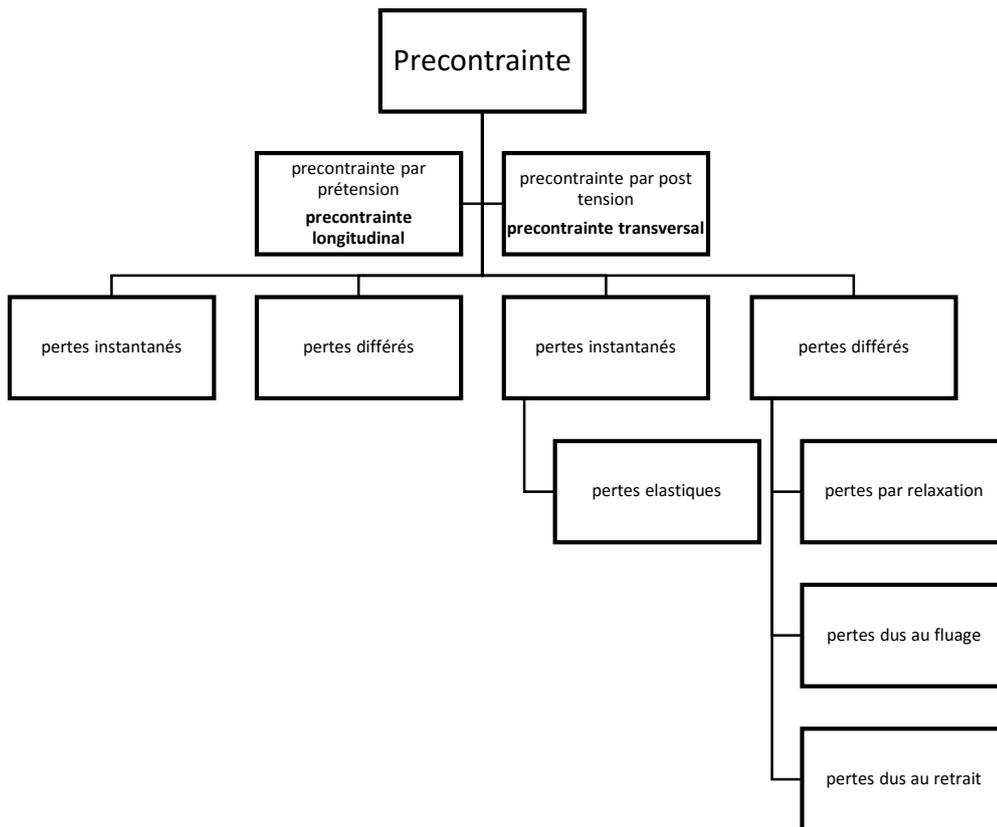


Figure 79-organigramme des pertes de précontrainte par post-tension

2.2.1.2.1 Pertes instantané :

Contrairement au armatures longitudinal qui sont appliquée par pré-tension on se retrouve en post tension dans l'étape de production secondaire et cela en raison de l'introduction des armatures est faites après bétonnage, Les pertes instantanées appelées aussi pertes a court termes apparaissent dès leur application.

Les pertes prises en comptes dans notre cas sont seulement les pertes élastiques puisque les câbles ne seront pas soumis à des efforts de frottements ni à des pertes de reculs d'ancrages puisqu'il n'y a pas d'ancrage.

➤ Pertes élastiques :

La perte élastique est dus aux déformations du béton et due à l'action des armatures lors de leur relâchement. :

$$\Delta\sigma_{EL} = \frac{E_p}{E_b} * \sigma_b \dots(10)$$

Avec :

E_p : module d'élasticité de l'acier

E_b : module d'élasticité du béton

σ_b : contrainte du béton appliqué en tout point de la barre d'acier

2.2.1.2.2 Pertes Différés :

Les pertes diffères sont les pertes qui apparaissent à long termes elles dépendent :

➤ Pertes dus à la relaxation des aciers :

A long termes les aciers vont se relâcher ce qui causera des pertes de tension, c'est un phénomène qui est en fonction du temps de la température et de la tension dans les aciers, elle est donnée par :

$$\Delta\sigma_p = 6e - 2 * \rho_{1000h}(\mu - \mu_0)*\sigma_{pi} \dots(11)$$

- ρ_{1000h} : désignes la relaxation max après 1000h sous charge
- σ_{pi} : contrainte après pertes instantanées
- $\mu = \frac{\sigma_{pi}}{F_{prg}}$: rapport entres la contrainte après pertes instantané et la contraintes limites de ruptures

μ_0 étant un coefficient pris égal à :

- 0,43 pour les armatures à très basse relaxation(TBR).
- 0,30 pour les armatures à relaxation normale (RN).
- 0,35 pour les autres armatures.

➤ **Pertes dus au fluage :**

L'effet du fluage est un phénomène connu, lorsqu'une pièce est soumise à un chargement permanent, qui dans notre cas arrive à partir de la mise en précontrainte, subissant des variations dans le temps elle est définie comme :

$$\Delta\sigma_{pfl} = E_p * \varepsilon_f \dots (12)$$

Avec :

E_p : module d'élasticité de l'acier

ε_f : déformation du au fluage du béton

➤ **Pertes dus au retrait :**

Le retrait est le raccourcissement du béton lors de son durcissement, il peut avoir plusieurs origines mais les deux principaux sont le retrait endogène qui est un retrait chimique et le retrait de dessiccation (voir Partia01 Chap02.3)

$$\Delta\sigma_r = E_p * \varepsilon_r \dots (13)$$

E_p : module d'élasticité de l'acier

ε_i : déformation instantané du béton

2.2.2 Organigramme de procédure de calculs :

Comme cela a été mentionner à l'état primaire, une automatisation du calcul et de la vérification a été faites via Excel, des captures d'écran présentent les différentes étapes automatisant ce calcul :

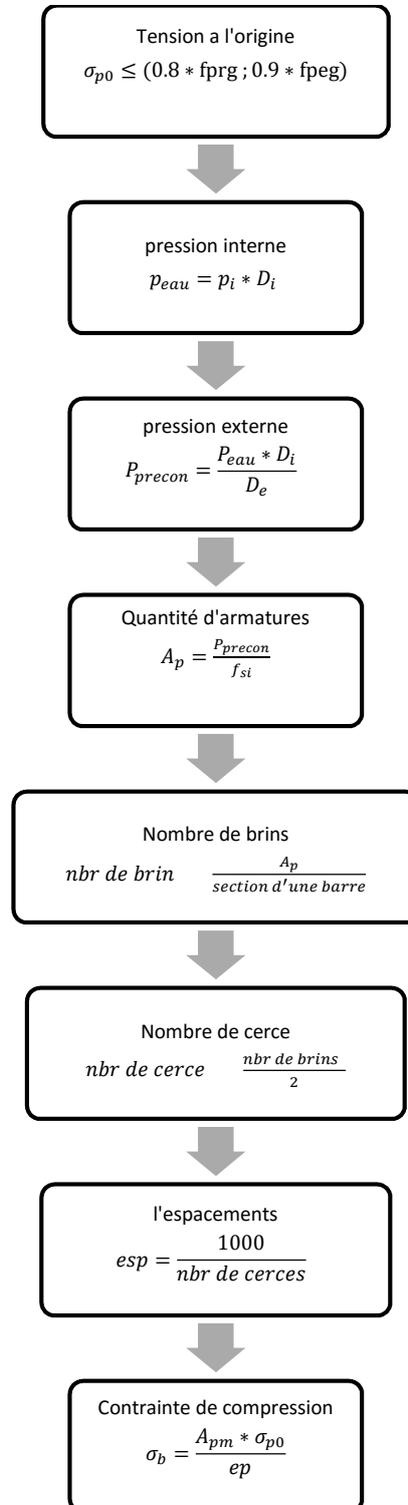


Figure 80-organigramme de calculs de précontrainte par post-tension

Pi (pression interne) en	Diametre nominal-	Diametre nominal-	Diametre-epaisseur
6	1500-1648	1500-1500	1500-74
8	1250-1378	1250-1210	1250-82
10	1000-1108	1000-1000	1000-54
12	900-1000	900-900	900-50
14	800-892	800-800	800-46
16	700-780	700-700	700-40
18	600-680	600-600	600-40
20			
pression	Diametre externe De	Diametre interne Di	Epaisseur
1 Mpa	0,78 m	0,7 m	40 mm

Figure 820- les informations nécessaires regroupant les caractéristiques géométriques des tuyaux de différent diamètre

tension a l'origine	
0,8*fprg	1336
0,9*fpeg	1251
on prend min des 2 valeurs	
1251	
on adopte	1200 Mpa

Figure 811-calcul de la tension a l'origine

Peau	700	KN
Pprecon	628,2051282	KN
Ap	698,005698	mm2
brins	56	
nbr de cerce	28	
espacement	36	mm
choix	35	mm

Figure 83-determination de la pression, de la précontrainte après pertes puis calcul de la quantité et du nombres d'armatures nécessaires

σ_b	10,8	$\sigma_b = \frac{A_{pm} * \sigma_{p0}}{ep}$
------------	------	--

Figure 84-calcul de la contrainte de compression

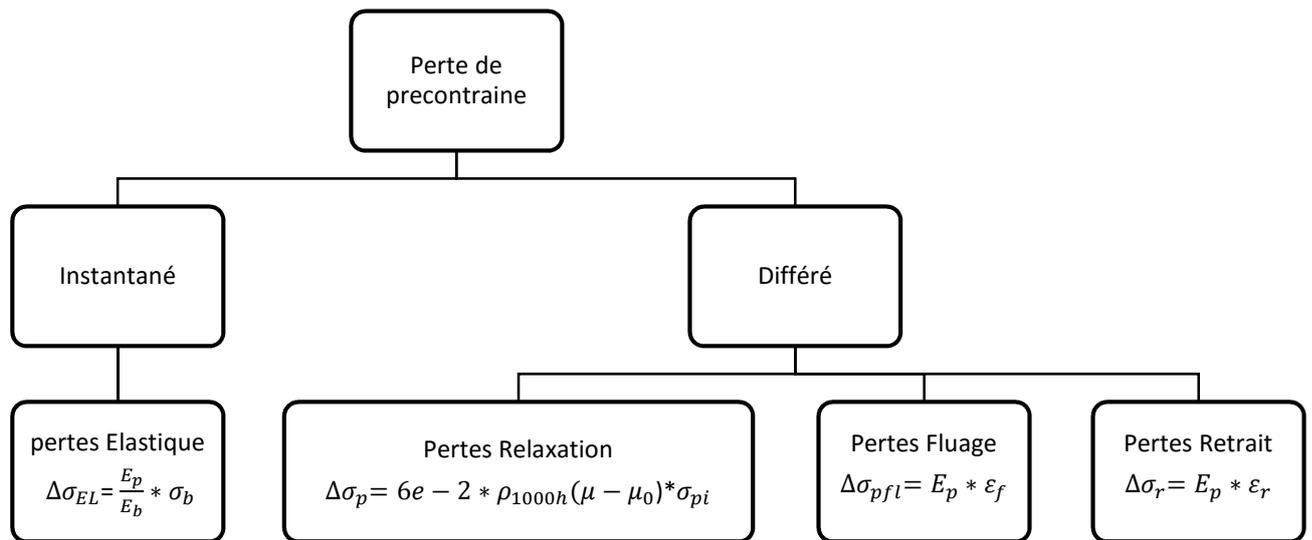
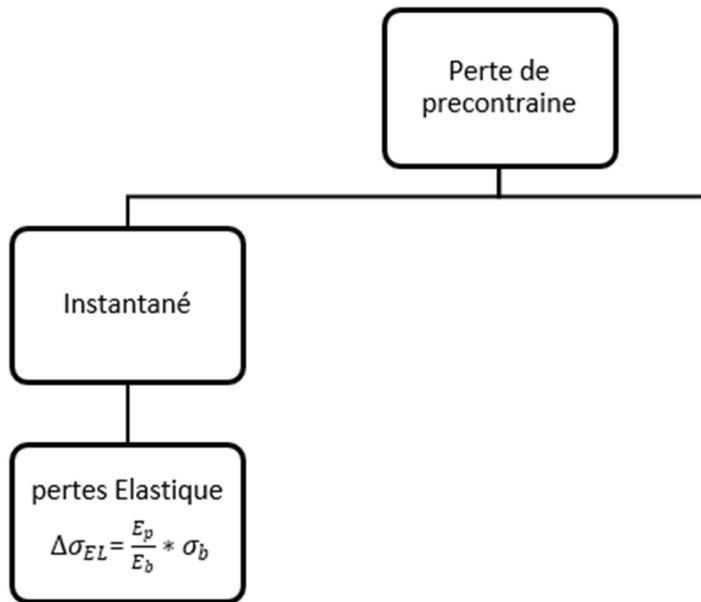


Figure 85-organigramme de calcul des pertes de précontrainte par post-tension



Pertes elastique	
Eb	35982
Ep	200000
n equivalent	5,6
σ_b	10,8

$\Delta\sigma_{EL} = \frac{E_p}{E_b} * \sigma_b$	
$\Delta\sigma_{EL}$	59,9 Mpa

Figure 86-résultats du calcul fait sur Excel

Figure 87-organigramme de pertes de précontrainte instantanées

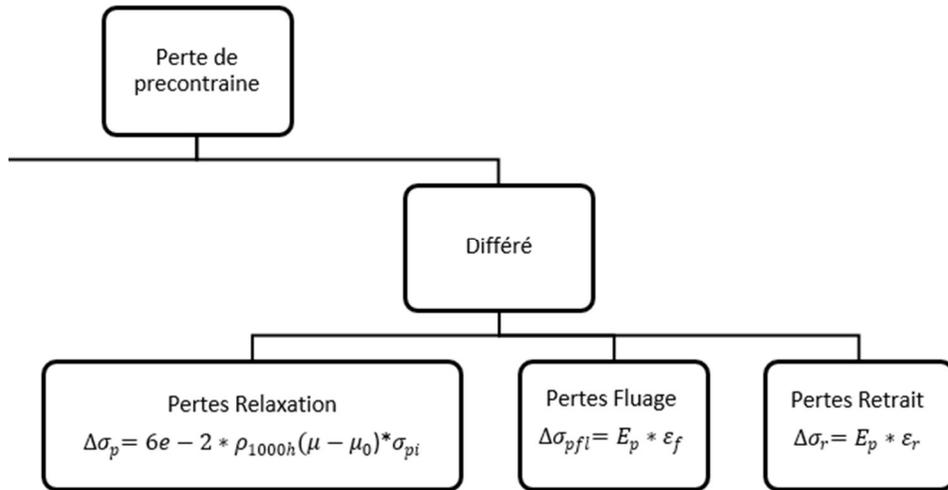


Figure 88-organigramme de pertes de précontrainte différées

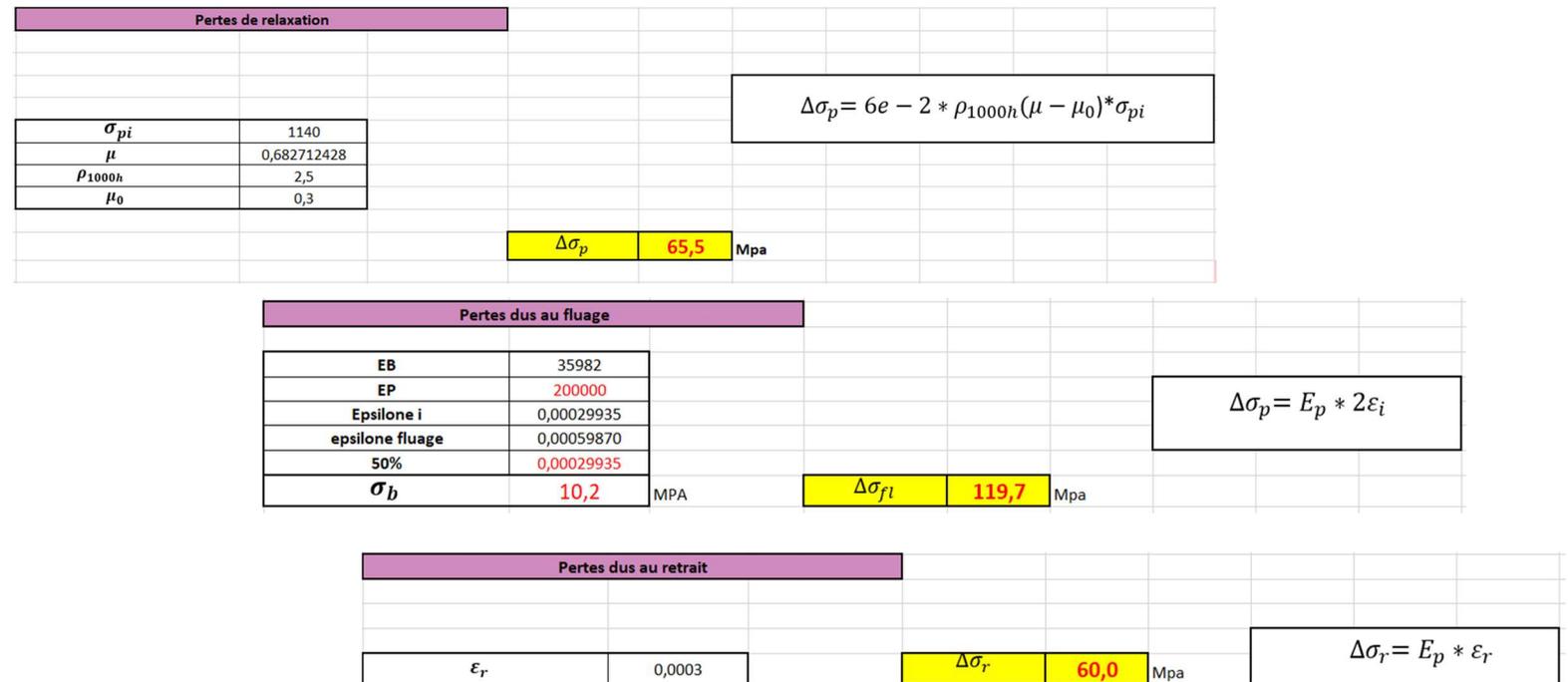


Figure 89-résultats du calcul fait sur Excel

	verification				il faut que le tuyau soit soumis a un effort de compression		
temps t= a l'infinie	$\Delta\sigma_{pjr} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{pi} - \Delta\sigma_{pdiff}$	$\Delta\sigma_{pjr}$	894,9	Mpa	ext 698,0516325	int 700	des fissures peuvent apparaitre verifier la traction
temps t= a la mise en tension	$\Delta\sigma_{pjr} = \sigma_{p0} - \Delta\sigma_{pi}$	$\Delta\sigma_{pjr}$	1140,1	Mpa	889,3012087	700	l'equilibre est respecté

Figure 91-verification a T=infinie et a lors de la mise en tension

Ftj	2,7	mpa	valeur a ne pas dépasser	
effort de traction present	0,03896735	mpa	4,05	Mpa
		limite de traction respectée		

Figure 92-vérification de la limitation de traction

Il faudra aussi vérifier le cisaillement qui sera créé lors de la mise en place des armatures transversale :

$F_{barre} = \sigma_{p0} * A_{pbarre}$ $F_r = F_{barre} * D_e$			cisaillement	
la section du beton	46472	mm ²	$\tau = \frac{F_r}{B}$ $\tau_{adm} = 0,07 * \frac{F_{cj}}{\gamma_b}$	
l'effort dans une barre Fbarre	15,08	kN		
l'effort repartie Fr	11,76	kN.m		
Fcj	35	Mpa		
			τ	0,253
			τ_{adm}	1,63
			condition	
			beton resistant	

Figure 93-vérification du cisaillement

2.2.4 Comparaison des résultats :

Les seules valeurs qu'on pourra comparer sont la tension, le nombre de génératrices à l'étape primaire, le nombre de spires à l'étape de frettage.

Nombre de génératrice (U)	22
Longueur de génératrice (M)	7.16
Nombre de rondelle d'encrage (U)	44
diamètre de rondelle d'encrage (mm)	20
Nombre de cerce de maintien (U)	6
diamètre de cerce de maintien (mm)	6
Tension de génératrice (kgf/mm ²)	120

Figure 94-informations concernant l'étape primaire

Pression (Bars)	Ø du fil	Nbr de spire/ml
10	4	34

Tableau 5-informations concernant l'étape de frettage

	Fiche technique	calculée
Tension a l'origine	1200 Mpa	1200 Mpa
Nombres de génératrices	22	23
Tension a l'origine	1200 Mpa	1200 Mpa
Nombre de spires	34	28

Tableau 6-comparaison faites entre la fiche technique et le résultats du calculs

On peut remarquer que les valeurs déterminées par notre calculs coïncide avec les valeurs de la fiche technique a l'exception des nombres de spires qui sont au nombre de 34/ml au lieu de 28.

2.3 Recommandations :

- Les fiches techniques à disposition de l'usine sont conformes aux normes règlementaire normes NF EN 642/IS784 :2001 et du règlement BPEL91
- Des armatures passives peuvent être ajouté afin de reprendre les efforts de traction présent.
- Il faudra revoir le mode de mise en tension des câbles précontraint que ce soit en pré-tension ou en post-tension
- Un control technique stricte et régulier doit être fait Un manomètre doit être à disposition afin que les tension (en pré-tension) soit vérifiée

3 Centrifugation :

3.1 Recommandations :

Après vérification des fiches technique vient l'étape de centrifugation, notre diagnostic nous a conduit aux recommandations suivante :

- Le temps de centrifugation a été relativement respecté, les deux vitesses de chargement et de centrifugation sont conformes au mode opératoire, mais un

control technique doit être fait afin d'éviter toutes manœuvre non conforme a ce dernier.

- L'ajout d'eau en fin de production peut être une cause majeure de dégradation du produit, le respect des quantités d'eau doit strictement être surveiller.
- Le temps de prise avant étuvage doit être respecté.
- Le lissage et le balayage de toutes excès doit être effectué afin d'assurer l'obtention d'un produit bien finis

4 Etuvage :

4.1 Recommandations :

- Une surveillance et un contrôle doit se faire continuellement lors de l'étuvage, la température doit être réguler à la température règlementaire.
- Même si le temps a été globalement respecté il est nécessaire qu'une surveillance soit faite régulièrement.
- Une exposition au condition climatique c'est-à-dire quand le cache d'étuvage est enlevé, rend l'air libre facile d'entrer, ce qui est très nocif pour le béton l'exposé a ce dernier peut engendrer une variation de température de la face interne du tuyau vers la face externe (face extérieur) qui est la face en contacte du moule toujours chaud et aura une température bien plus élevé que celle exposée à l'air libre (partie intérieur) ce qui causera une décoloration du béton virant vers la couleur blanchâtre observé.
- Il est strictement déconseillé d'exposer les produits après étuvage a l'air libre, il est nécessaire de réalisé des chambre d'étuvage fermé ou bien de protéger les produits à l'aide d'une bâche protectrice, il faudra dans tous les cas éviter toutes pertes d'eau excessive
- L'ajout d'adjuvant réducteur d'eau peut être favorable à la diminution des fissures, tel que son nom l'indique il permettra la diminution de la quantités d'eau puis viendra augmenter la résistance mécanique en augmentant la compacité, et permettra aussi » l'amélioration de l'ouvrabilité

Conclusion Générale

En conclusion nous exprimons ces analyses et recommandations à l'entreprise HYDRO-CANAL dans le but d'améliorer la qualité et l'état de la fabrication.

En effet lors du processus de fabrication, qui devrait suivre un cahier de charges convenu et réglementé, il s'est avéré que des problèmes sont apparus en cours de processus de fabrication des tuyaux se manifestant par des fissurations longitudinales et transversales sur ces derniers. Notre travail a duré environ deux mois en entreprise et trois mois en université, période au-delà de laquelle nous avons abouti, et cela en tenant compte des normes réglementaires prescrites pour ce type de produit, à des conclusions proposant de revoir les points suivants :

- Les matériaux à disposition, notamment les granulats utilisés tels que le 3/8 et le 8/15 doivent être augmentés vers des diamètres plus adéquats (entre un diamètre max de 8 à 10 mm en ce qui concerne le 3/8.)
- L'utilisation d'un plastifiant est conseillée afin de réduire la consommation en eau et aussi améliorer la résistance mécanique recherchée.
- L'évaluation de la tension à l'origine et de ses pertes doit être surveillée à l'aide d'un manomètre
- L'étape de centrifugation doit être dépourvu de tout ajout d'eau en fin de centrifugation, et un lissage devra être effectué dans le but de l'obtention d'un produit à l'aspect recherché. Le temps de repos entre la centrifugation et l'étuvage doit être obligatoirement de 3 à 4 heures afin d'assurer la prise nécessaire du béton.
- Il est obligatoire de réguler la température à laquelle l'étuvage est réalisé, c'est-à-dire à 80°C prescrite par le règlement. Le non-respect de la température lors du traitement thermique influent conséquemment sur l'état et la résistance du produit en fin d'étuvage.
- Les produits après étuvage doivent être conservés dans un bain de maturation.

Lors de ce stage nous avons appris à faire face aux différents problèmes rencontrés au sein d'une entreprise de réalisation, de pouvoir faire un suivi du processus de fabrication, de rechercher les failles par une analyse approfondie afin de déceler l'origine des ennuis auxquels l'entreprise était confrontée.