REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Dr. YAHIA FARES De Médéa

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département De Génie De La Matière

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme master en Génie Civil

Option : Géotechnique

THEME

Calcul de massifs de butée dans le cas de canalisation en PRV

(Polyester renforcé en fibre de verre)

Dirigé par :

Promoteur Mr. TALLAH Naoui

Co Promoteur Dr. MENAA Lazazi

Etudié par :

Mr. ZENAINI Aek

Mr. MAMMERI Hamza

Promotion: juin 2015

Dédicace

Je dédie ce travail à :

La mémoire de mon père,

Ma mère pour sa patience et ses sacrifices,

Mon frère et mes sœurs,

Celle qui sera ma future épouse,

A tous ceux qui me sont chers.

MAMMERI. H

Dédicace

Je dédie ce travail à :

La mémoire de ma mère,

Mon père,

Mes frères et mes sœurs,

Mon épouse pour sa patience et ses sacrifices,

Tous ceux qui me sont chers.

ZENAINI. A

REMERCIEMENTS

Louange et grâce d'abord à Dieu

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à Dieu et puis Monsieur Tallah NAOUI, Enseignant de mécanique des sols et notre promoteur de projet, qui a su me procurer les enseignements nécessaires. Nous tenons à remercier et qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Nous n'oublions pas Dr : MENAA Lazazi notre Co promoteur qui nous a sauvait le dernier moment malgré ces inquiétudes nos sincères reconnaissances et gratitudes pour lui.

Nous remercions également le président de jury Dr : KHIATINE.M et l'examinateur Dr : KORICHI.A d'avoir accepter d'examiner mon travail.

Nous remercions aussi tous nos professeurs et enseignants depuis le primaire jusqu'à l'université pour leur patience et leurs soutiens

Nous n'oublierons tous ceux qui, de loin ou de près, ont contribué à la réussite de ce projet.

Résumé

Les massifs de butée sont indispensables pour éviter le déboitement des raccords et des accessoires qui sont soumis à pression hydraulique, leur fonction consiste à transférer les charges au sol environnant.

Ce travail à pour but de donner une aperçue sur l'utilisation de tuyauterie en PRV et de calculer les massifs en béton en tenant compte des forces de frottement et de la résistance d'appui de terrain.

Premièrement on a essayé de déterminer un prédimensionnement pour un choix économique des dimensions des massifs en béton en générales. Ces dimensions sont choisies selon les recommandations, les spécifications et les règlements.

Deuxièment on a fait les vérifications nécessaires, la méthode utilisé est celle détaillée dans les « Règles Techniques de Conception et de Calcul des Fondations des Ouvrages de génie civil. Le but de cette partie est d'expliquer les méthodes utilisées pour permettre de calculer et de réaliser un massif dans les conditions optimales de garantie de tenue mécanique, et d'économie.

Mots clés : conduites enterrées, canalisation, PRV, massif, butée, prédimensionnement.

Abstract

Thrust blocks are essential to avoid dislocation of fittings and accessories that are subject to hydraulic pressure, their function is to transfer the load to the surrounding soil.

This work aims to give a spotted on using PRV pipe and calculate concrete blocks taking into account the friction forces and the support of field resistance.

First we tried to determine a preliminary design for economical choice concrete massive dimensions in general. These dimensions are chosen based on recommendations, specifications and regulations.

Secondly we made the necessary verifications; the used method is detailed in the "Design Techniques Rules and Foundations Calculation of Civil Works. The purpose of this part is to explain the methods used to calculate and allow achieving a solid under optimal conditions of mechanical guarantee, and economy.

Keywords: buried pipes, pipeline, PRV, massive, stop, preliminary design.

SOMMAIRE

Résumé 1

SOMMAIRE 3

LISTE DES FIGURE 9

LISTE DES TABLEAUX 12

LISTE DES FIGURE 13

INTRODUCTION GENERALE 14

Chapitre I : *HYDRAULIQUE GENERALE* 17

Introduction 18

I.1. Généralités 18

I.1.1. Le Système d'Unités SI 18

I.1.2. Les Propriétés des Fluides 19

I.1.2.1. Les Densités 19

I.1.2.2. Les Viscosité 19

I.2. Statique des fluides (hydrostatique) 21

I.2.1. Notion de Pression 21

I.2.2. Loi de Pascal 21

I.2.3. Equation Fondamentale de l'Hydrostatique 23

I.2.3.1. Loi de la statique des fluides 24

I.2.3.2. En posant $Z_2 - Z_1 = h$ et $P_2 = P_0$ 24

I.2.3.3. Egalité des pressions sur un même plan horizontal 24

I.2.3.4. Pression effective et Pression absolue 24

I.2.3.5. Charge piézométrique, hauteur piézométrique 25

I.2.3.6. Notion de hauteur du vide 25

I.2.3.7. Signification énergétique de l'équation de la statique des fluides : 25

I.2.4. Dispositifs de mesure de la pression 26

I.2.4.1. Mesure des pressions par les tubes manométriques 27

I.2.5. Forces de Pression des Fluides sur les Surfaces 29

I.2.5.1. Les Forces de Pression exercées par les Fluides sur des Surfaces Planes 29

I.2.5.2. Les Forces de Pression exercées par les Fluides sur des Surfaces Courbes 33

I.3. Dynamique Des Fluides : Hydrodynamique 34

I.3.1. Les Principes de Base 34

I.3.1.1. Principe de Conservation de Masse ou Equation de Continuité 34
I.3.1.2. Equation Générale d'Ecoulement ou Equation de Bernoulli 35
I.3.1.3. Les Régimes d'Ecoulement : Le Nombre de *Reynolds* 37
I.3.2. Les Pertes de Charge 37
I.3.2.1. Les Pertes de Charge Linéaires ou Réparties 37
I.3.2.2. Les Pertes de Charge Locales ou Singulières 42
I.4. Applications Particulières de l'Equation Générale d'Ecoulement 45
I.4.1. Cas d'un Ecoulement à travers un Orifice (Formule de Torricelli) 45
I.4.2. Cas d'un Ecoulement à travers un tube de Venturi 46
I.5. Branchements de Conduites 48
I.5.1. Conduite à Section Constante (Conduite simple) 48
I.5.1.1. Sortie à l'air libre 48
I.5.1.2. Sortie immergée 49
I.5.2. Conduites à Section variable (Conduites multiples) 50
I.5.2.1. Branchement en Série 50
I.5.2.2. Branchement en Parallèle 52
I.5.2.3. Conduite assurant un service de route 54
I.5.2.4. Branchement Mixte (Série et Parallèle) 55
Conclusion 56
Chapitre II : *GENERALITE DE CANALISATION* 57
Introduction 58
II.1. Étymologie et Définition 58
II.2. Notions sur les Canalisations 60
II.2.1. Définition de Canalisation 60
II.2.2. Histoire et usages dans la construction 61
II.2.2.1. Canalisation des eaux 61
II.2.2.2. Puits 64
II.2.2.3. Eaux de pluie, eaux vannes 64
II.2.3. Types de canalisation 64
II.2.4. Matériaux constitutifs d'une canalisation 65
II.2.5. Risques liés aux canalisations 65
II.2.6. Économie du transport par canalisation 65
II.3. Transport Par Canalisation 66

II.3.1. Historique Du Transport Par Canalisation 67
II.3.2. Composants Des Réseaux De Transport Par Canalisation 68
II.3.3. Règlementation Du Transport Par Canalisation 69
II.3.3.1. Les Régimes Juridiques De Transport Par Canalisation 69
II.3.3.2. Le Règlement De Sécurité Multifluide De Transport Par Canalisation 70
II.3.3.3. La Règlementation Sur Les Travaux De Tiers 70
II.3.4. Économie Du Transport Par Canalisation 70
II.3.5. Mise En Place D'un Système De Transport Par Canalisation 71
II.3.6. Exploitation D'un Système De Transport Par Canalisation 71
II.3.7. Sécurité Industrielle Du Transport Par Canalisation 72
II.3.8. Transport Par Canalisation 73
II.3.8.1. Transport Par Oléoducs Et Gazoducs 73
II.3.8.2. Transport D'hydrogène 74
II.3.8.3. Transport D'eau 74
II.3.8.4. Transport De Saumure 74
II.4. La Pose Des Canalisation 75
II.4.1. La Pose En Terre 75
II.4.2. Principe De Pose Des Canalisations 76
II.4.2.1. Pose De Canalisation Dans Un Terrain Ordinaire 76
II.4.2.2. Pose De Canalisation Dans Un Mauvais Terrain 77
II.4.2.3. Pose De Canalisation En Galerie 78
II.4.2.4. Traversée D'une Rivière 78
II.4.3. Les contraintes mécaniques 79
II.4.4. La Tranchée 80
II.4.5. Remblaiements 82
Conclusion 83
Chapitre III : *CANALISATION EN PRV* 84
Introduction 85
III.1. Histoire et l'utilisation 85
III.1.1. Histoire 85
III.1.2. Applications 86
III.1.3. Normes, spécifications, et documents de référence 87
III.1.3.1. Spécifications et classifications produit 87

III.1.3.2. Pratiques recommandées 89
III.1.3.3. Méthodes d'essai normalisées 89
III.1.3.4. Liste des produits, les approbations et des codes de conduites 90
III.1.3.5. Organisation internationale de normalisation 92
III.1.4. Terminologie 94
III.2. Caractéristiques, Matériaux et Propriétés 94
III.2.1. Générale 94
III.2.2. Caractéristiques 94
III.2.2.1. Les avantages 94
III.2.2.2. Dimensions 97
III.2.3. Le Système de matériel 100
III.2.3.1. Les renforts en fibres de verre 101
III.2.3.2. Résines 103
III.2.3.3. Autres éléments 104
III.2.4. Propriétés physiques 105
III.2.4.1. Résistance chimique 105
III.2.4.2. Résistance à la température 106
III.2.4.3. Résistance à l'abrasion 106
III.2.4.4. Retardateurs de flamme 107
III.2.4.5. Résistance aux intempéries 107
III.2.4.6. Résistance à l'attaque biologique 107
III.2.4.7. Tuberculation 108
III.2.5. Propriétés mécaniques 108
III.2.5.1. Gamme de propriétés mécaniques 108
III.2.5.2. Essai de la propriété mécanique 108
III.2.6. Produit fini 110
III.3. Fabrication 111
III.3.1. Introduction 111
III.3.2. Enroulement filamentaire 111
III.3.2.1. Méthode réciproque 113
III.3.2.2. Méthodes continue 113
III.3.2.3. Multiple méthode mandrin 113
III.3.2.4. Anneau et oscillant mandrin méthode 114

III.3.3. Coulée centrifuge 115

Conclusion 116

Chapitre IV : *DIMENSIONNEMENTS DE MASSIF BUTEE* 117

Introduction 118

IV.1. Les Massifs De Butée 118

IV.1.1. Définition 118

IV.1.2. Bétons Composition 119

IV.1.3. Les différents types des massifs 120

IV.1.3.1. Massif de butée latéral à section rectangulaire ou trapézoïdale 120

IV.1.3.2. Longrine sous conduites avec plots intermédiaires 121

IV.1.3.3. Massif de butée inférieur à section rectangulaire 122

IV.1.3.4. Massif de butée en élévation 123

IV.1.3.5. Massif-poids et massif traineau 124

IV.1.3.6. Massif de butée en sol rocheux 124

IV.1.3.7. Butée pour robinet-vanne enterrée 125

IV.1.4. Poussées hydraulique 125

IV.1.4.1. Les 3 pressions de référence 126

IV.1.4.2. Calcul des poussées 126

IV.1.5. Des conditions pour la construction et l'installation 128

IV.2. Dimensionnement des massifs de butées 128

IV.2.1. Pré-dimensionnement des massifs de butée 128

IV.2.1.1. Calcul de Dimensions de massif de butée 129

IV.2.2. Vérifications 133

IV.2.2.1. Démarche générale du calcul de massif 134

IV.2.2.2. Classification des sols 135

IV.2.2.3. Etapes de calcul d'un massif 135

IV.2.3. Application 139

IV.2.3.1. Interprétation des données 139

IV.2.3.2. Calcul des dimensions du massif 138

IV.2.3.3. La vérification de la stabilité de massif aux états limites 141

a) Etat limite ultime de mobilisation de la capacité portante du sol 141

b) Etat limite de service de décompression du sol 145

c) Etat limite ultime de glissement 145

Conclusion **146**

CONCLUSION GENERALE **147**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET REGLEMENTAIRES **148**

LISTE DES FIGURES

Chapitre N° I

Figure N°I.01 : Le prisme triangulaire. **22**
Figure N°I.02 : La variation de pression. **23**
Figure N°I.03 : égalité des pressions. **24**
Figure N°I.04 : calcul de la pression. **24**
Figure N°I.05 : Tube manométrique. **26**
Figure N°I.06 : Le Manomètre mécanique. **26**
Figure N°I.07 : Le Tube manométrique simple (Piézomètre). **27**
Figure N°I.08 : Le Manomètre en U. **27**
Figure N°I.09 : Mesure de la différence de pression par un manomètre en U. **28**
Figure N°I.10 : Schéma descriptif (forces sur une surface plan inclinée. **29**
Figure N°I.11 : Diagramme des pressions d'une surface plane verticale. **32**
Figure N°I.12 : force de pression sur une surface courbe. **33**
Figure N°I.13 : Le contact concave et le contact convexe. **34**
Figure N°I.14 : Tube de courant. **35**
Figure N°I.15 : L'équation de Bernoulli, cas des Fluides Parfaits. **35**
Figure N°I.16 : L'équation de Bernoulli, cas d'un liquide réel. **36**
Figure N°I.17 : Rugosité des Conduites. **38**
Figure N°I.18 : Diagramme de Moody. **40**
Figure N°I.19 : élargissement brusque de la section. **42**
Figure N°I.20 : Sortie vers un réservoir. **43**
Figure N°I.21 : rétrécissement brusque de la section. **43**
Figure N°I.22 : Sortie à partir d'un réservoir. **44**
Figure N°I.23 : Exemple d'un coude. **44**
Figure N°I.24 : Ecoulement à travers un Orifice en charge. **45**
Figure N°I.25 : Débitmètre de Venturi. **46**
Figure N°I.26 : Sortir a l'air libre. **48**
Figure N°I.27 : sortie immergée. **49**
Figure N°I.28 : Branchement en série. **50**
Figure N°I.29 : Branchement en Parallèle. **52**
Figure N°I.30 : Conduite assurant un service de route. **54**
Figure N°I.31 : Branchement Mixte (Série et Parallèle). **55**

Chapitre N° II

Figure N°II.01 : Sections de canalisation enterrée. **60**

Figure N°II.02 : Fistule de plomb, utilisé à l'époque romaine à l'intérieur des thermes… **62**

Figure N°II.03 : Canalisations de la première machine de Marly. XVII^{e} siècle. **62**

Figure N°II.04 : Tube, autrefois, taillé dans du bois pour véhiculer l'eau. **63**

Figure N°II.05 : Oléoduc du Trans-Alaska. **66**

Figure N°II.06 : Poste de coupure en Suisse. **69**

Figure N°II.07 : Plan de Gazoducs de gaz naturel russe vers l'Union européenne en… **71**

Figure N°II.08 : L'aqueduc de Los Angeles à Antelope Valley. **74**

Figure N°II.09 : Pose de conduite dans un terrain ordinaire. **77**

Figure N°II.10 : Pose De Conduite Dans Mauvais Terrain. **77**

Figure N°II.11 : Pose De Canalisation En Galerie. **78**

Figure N°II.12 : Pose De Canalisation En Cas De La Traversée D'une Rivière**.** **79**

Figure N°II.13 : Les Contraintes Qui Reçoivent Par La Conduite. **79**

Figure N°II.14 : Les Différents Efforts Appliqués Sur Le Fût D'un Tuyau Posé… **80**

Figure N°II.15 : Section Transversale Pour Deux Tranchées. **81**

Chapitre N° III

Figure N°III.01 : Domaine d'utilisation des conduites en PRV. **87**

Figure N°III.02 : Conduites en PRV sur chantier. **95**

Figure N°III.03 : Abaque de COLEBROOKE pour les pertes de charges du tuyau PRV. **97**

Figure N°III.04 : Des conduites de diamètres différents emboités**.** **97**

Figure N°III.05 : Longueur standard des conduites en PRV. **98**

Figure N°III.06 : coupe longitudinale sur une jointure. **99**

Figure N°III.07 : Les pièces spéciales. **100**

Figure N°III.08 : Procède de fabrication. **100**

Figure N°III.09 : Constitution de la paroi du tuyau PRV. **105**

Figure N°III.10 : Courbes périphériques typiques pression-déformation. **109**

Figure N°III.11 : Courbes axiale typique pression-déformation. **109**

Figure N°III.12 : Pression Statique vs Cyclique. **110**

Figure N°III.13 : Processus de l'enroulement filamentaire. **111**

Figure N°III.14 : Demande de renforcement de verre imprégné d'un tuyau enroulé en…**112**

Figure N°III.15 : Procédé continu de mandrin avancer. **112**

Figure N°III.16 : Tuyau fini émergeant de cuisson au four. **114**

Figure N°III.17 : Méthode verre préformé de douille de renfort. **114**

Figure N°III.18 : Haché Procédé de renforcement de verre. **115**

Figure N°III.19 : Application de verre, de résine et de sable. **115**

Chapitre N° IV

Figure N°IV.01 : Positionnement Des Massifs Pour Déférents Pièces Spéciales. **118**

Figure N°IV.02 : massif à surface d'appui rectangulaire ou trapézoïdale. **120**

Figure N°IV.03 : un massif pour plusieurs conduits parallèles. **121**

Figure N°IV.04 : massif de butée inférieur. **122**

Figure N°IV.05 : Massif de butée en élévation. **123**

Figure N°IV.06 : Massif-poids et massif-traineau. **124**

Figure N°IV.07 : Massif de butée en sol rocheux. **124**

Figure N°IV.08 : massif pour les vannes et les robinets. **125**

Figure N°IV.09 : Forces de poussée hydraulique apparaissant dans une canalisation. **125**

Figure N°IV.10: Massif de butée d'un coude. **126**

Figure N°IV.11: Les forces agissantes. **129**

Figure N°IV.12 : les forces agissant pour le massif poids. **130**

Figure N°IV.13 : les forces agissantes sur les massifs à surface d'appui. **132**

Figure N°IV.14 : vue de deux cotés d'un massif à surface d'appui. **132**

Figure N°IV.15 : l'épaisseur de la résultante. **137**

Figure N°IV.16 : les modèles de la résultante. **137**

Figure N°IV.17 : un sondage carotté qui détaillé les différentes couches de sol. **139**

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre N° I

Tableau N°I.01 **:** Les unités primaires. **18**

Tableau N°I.02 **:** Les unités SI des différentes caractéristiques de MDF. **18**

Tableau N°I.03 **:** Les valeurs de ν_{eau} en fonction de la température. **21**

Tableau N°I.04 **:** les moments d'inertie de quelques surfaces particulières. **31**

Tableau N°I.05 **:** Coefficient due au rétrécissement brusque. **44**

Chapitre N° II

Tableau N°II.01 **:** Profondeur et couleur de grillage avertisseur. **75**

Tableau N°II.02 **:** distance entre les réseaux concessionnaires. **75**

Chapitre N° III

Tableau N°III.01 **:** Comparaison entre le PRV et le Béton. **96**

Tableau N°III.02 **:** classe de pression standard. **98**

Chapitre N° IV

Tableau N°IV.01 **:** composition de béton. **118**

Tableau N°IV.02 **:** coefficient de frottement f(tan φ) **131**

Tableau N°IV.03 **:** résistance de terrain. **133**

Tableau N°IV.04 **:** critères de classification des sols (d'après fascicule 62). **135**

Tableau N°IV.05 **:** valeurs du facteur de portance K_p. **136**

Tableau N°IV.06 **:** les paramètres du massif ; conduite et terrain. **140**

Tableau N°IV.07 **:** valeurs mesurées avec essai pressiomètre. **144**

Tableau N°IV.08 **:** calcul des pressions limite **« Pl* ».** **144**

LISTE DES INDICES

F	: Poussée exprimée	kN
P_{epr}	: Pression d'essai hydraulique du chantier	bar
PN	: La pression standard.	bar
DN	: Le diamètre nominal	m
α	: L'angle de du coude de la conduite	Degré
k	: Coefficient de la géométrie de l'élément de canalisation concerné	(-)
S	: Surface de la section intérieure du tuyau	m
S	: Grande section	m
s	: Petite section	m
C	: Cohésion	kPa
φ	: L'angle de frottement interne du terrain	Degré
tan (φ)	: Coefficient de frottement entre béton et terrain	(-)
γ_B	: Poids volumique du béton	kN/m^3
γ_R	: Poids volumique du sol	kN/m^3
σ	: Résistance du terrain	kPa
V	: Le volume de béton	m^3
S_b	: Surface d'appui	m^2
S_f	: La surface inferieure du massif	m²
L, L', h et ***l***	: Les dimensions de massif	m
H	: La profondeur de la conduite	m
P	: Poids du massif	kN
W	: Poids des terres	kN
B	: Appui sur la paroi de la tranchée	kN
f	: Frottement sur le sol	kN
M	: Moment de renversement	kN.m
kp	: Le coefficient du pression passive	(-)
q_{ref}'	: Contrainte de référence	kPa
e	: L'excentricité de la résultante	m
q_0'	: La contrainte effective due au poids des terres au niveau du massif	kPa
Pl_e*	: La pression limite nette équivalente	kPa
K_p	: Le facteur de portance lié à l'essai pressiométrique	(-)
A'	: La surface comprimée de la fondation	m²
γ_w	: Poids volumique de l'eau	kN/m^3
γ	: Poids spécifique du sol hors d'eau	kN/m^3
ρ	: La masse volumique	kg/m^3
ν	: Coefficient de Poisson	(-)
D	: Densité Relative	(-)
Q	: Débit volumique	m^3/s
Q_m	: Débit massique	Kg/s
ξrb	: Coefficient due au rétrécissement brusque donné par le tableau suivant	(-)
ξs	: Coefficient qui dépend de la nature de la déformation	(-)
V	: Vitesse d'écoulement	m/s
λ	: Coefficient de frottement	(-)
ν	: Viscosité cinématique du fluide	m²/s
μ	: Viscosité dynamique du fluide	kg/ms
h	: Perte de charge	(-)
Re	: Nombre de Reynolds ''	(-)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau c'est la vie. De l'eau potable qui coule du robinet, des toilettes, des égouts, un assainissement performant: ces équipements si familiers pour les habitants des pays riches font défaut au sud de la planète.

En Amérique du Sud, en Afrique, en Asie, plus d'un milliard d'humains n'ont pas encore accès à une eau saine, et 2,6 milliards à un assainissement de base, soit une personne sur deux dans le monde.

Le manque d'accès à une eau saine et à un dispositif d'assainissement adéquat est une cause majeure de pauvreté et de malnutrition.

L'eau insalubre demeure la première cause de mortalité sur la planète, devant la malnutrition.

Ce sont 8 millions de personnes qui meurent chaque année de maladies liées à la présence d'eaux stagnantes ou polluées, et la moitié sont des enfants de moins de cinq ans.

On peut donc considérer que l'accès à l'eau et l'assainissement sont des « médicaments préventifs'» efficaces dont les gouvernements disposent pour faire baisser le nombre de maladies infectieuses.

Au-delà de l'aspect sanitaire, l'accès à l'eau conditionne le développement social et économique. Selon des estimations du PNUD, les maladies et les pertes de productivité liées au manque d'eau et d'assainissement dans les pays en développement représentent 2% du PIS, et même 5% en Afrique subsaharienne, soit plus que les sommes reçues par la région au titre de l'aide internationale.

L'accès à l'eau permet également le développement de nouvelles activités pour les femmes (maraîchage, artisanat...) qui peuvent accroître les revenus des ménages.

Cela conditionne aussi le niveau d'éducation des populations. La corvée d'eau dont sont chargés les femmes et les enfants nuit à la scolarisation, particulièrement celle des filles, et plus généralement à leur émancipation et à leur autonomie financière.

Quand les services publics d'eau n'existent pas, la population est amenée dans de nombreux cas à acheter l'eau potable à des intermédiaires, porteurs ou propriétaires de camions-citernes.

Mais elle est alors payée au prix fort, sans aucune garantie de qualité. Les ménages les plus pauvres paient souvent leur eau jusqu'à dix fois plus cher que les ménages aisés.

Face à ce constat dramatique, les Nations Unies ont fixé huit Objectifs de Développement du Millénaire (OMO) dont la cible 10 du septième est «de réduire de moitié, d'ici à 2015, la proportion de personnes n'ayant pas durablement accès à l'eau salubre et à des installations sanitaires de base ».

En 2006, le Rapport mondial sur le développement humain du PNUD fait de l'accès à l'eau une condition sine qua non pour faire face aux enjeux mondiaux, lutté contre la pauvreté, la mortalité infantile, la maladie, la déscolarisation... Il demande que la communauté internationale s'engage à « Garantir à chaque personne un accès à au moins 20 litres d'eau saine par jour pour satisfaire à ses besoins élémentaires », ce qui «constitue une exigence minimale pour assurer le respect du droit à l'eau - et devrait être l'objectif minimum des gouvernements». À titre de comparaison, un Français consomme de 100 à 150 litres d'eau potable par jour.

Le défi à relever est donc gigantesque. Les pays en développement doivent réaliser, en quelques années, ce que les pays riches ont mis deux siècles à construire.

Pour exemple, la France des années 1960 n'avait l'eau au robinet que récemment dans les zones rurales et l'assainissement était de base, le traitement des eaux usées avant le rejet dans le milieu naturel se généralisant seulement à partir des années 1980.

Pour atteindre les Objectifs du millénaire, 260 000 personnes supplémentaires devraient être raccordées chaque jour au réseau d'eau potable et 370 000 à l'assainissement.

De surcroît, ces pays font face à une explosion démographique. Si un tiers de la population ciblée vit en milieu rural, les deux tiers habitent les bidonvilles de mégapoles en croissance exponentielle et totalement anarchique.

En 2030, les deux tiers de la population mondiale vivront dans des villes, dont 2 milliards de personnes dans des bidonvilles. Cette population urbaine pauvre sera la principale victime du manque d'eau.

La population mondiale a plus que triplé depuis le début du XXe siècle, et l'utilisation des ressources en eau douce a été multipliée par six. Dans les cinquante prochaines années, on estime que la population mondiale augmentera de 40 à 50 %. La croissance démographique conjuguée à

l'industrialisation et à l'urbanisation pèse considérablement sur les besoins en eau et sur l'état des ressources. Il existe des risques majeurs de pénuries et de pollutions.

Voilà pourquoi nous devons contribuer, ou au moins de l'aide dans la fourniture de l'eau en développant et en facilitant les travaux dans ce domaine (Adduction d'eau). À notre avis les plus grandes difficultés auxquelles sont confrontées ces entreprises sont

- Le côté financier

- Le manque des théories et des règles pour effectuer par les ingénieurs et les personnes en charge des Travaux

Dans ce mémoire, nous nous proposons comme un guide, il est conçu pour aider les installateurs à utiliser avec succès les procédures et les propriétés de manutention et d'installation des tuyaux. Il peut être également une source d'information utile pour les ingénieurs projets, bien qu'il ne soit pas un guide de conception ou un manuel d'ingénierie.

Ce travail est divisé en quatre chapitres. Ce qui suit est un aperçu sur le contenu de chaque chapitre.

- Premièrement une introduction générale concernant le besoin urgent de l'eau dans le mande.
- L'hydraulique et leur importance dans les travaux des conduites enterrées été traitée au premier chapitre.
- Le deuxième chapitre est consacré à la définition et l'historique des conduites, leurs différents types, fonctionnements et leurs méthodes de pose.
- Le troisième chapitre présente une conception des tuyaux en PRV (plastique renforcé en fibre de vers).
- Le quatrième chapitre a été réservé pour le dimensionnement du massif de béton. Les résultats obtenus sont également présentés et vérifiée dans ce chapitre. La méthode est celle détaillée dans les « Règles Techniques de Conception et de Calcul des Fondations des Ouvrages de génie civil ». C.C.T.G. applicable aux marchés publics de travaux - Fascicule 62-Titre V. L'interprétation des résultats fait également appel aux résultats d'essais réalisés en laboratoire et in situ.
- Enfin les conclusions principales tirées de ce travail ont été présentées à la fin de ce mémoire.

Chapitre I

HYDRAULIQUE GENERALE

Introduction

L'hydraulique est incontournable dans le domaine de l'environnement. En effet, elle a une place déterminante dans la compréhension, l'analyse et le diagnostic des réseaux d'adduction d'eau potable, des stations de traitement, des réseaux d'assainissement et des rivières. De plus, le contrôle de ces systèmes nécessite une instrumentation qui oblige le concepteur et l'exploitant à une connaissance poussée du fonctionnement hydraulique de ces ouvrages.

L'eau est donc une préoccupation majeure dans notre civilisation.

I.1. Généralités

I.1.1. Le Système d'Unités SI

En mécanique des fluides, le système d'unités SI (''Système International'') comporte 3 unités primaires à partir desquelles toutes les autres quantités peuvent être décrites.

Tableau N°I.01 : Les unités primaires.

Grandeur de Base	Nom de L'Unité	Symbole	Dimension
Longueur	Mètre	m	L
Masse	Kilogramme	kg	M
Temps	Seconde	s	T

Le tableau suivant résume les unités **SI** des différentes caractéristiques utilisées en mécanique des fluides.

Tableau N°I.02 : Les unités SI des différentes caractéristiques de MDF.

Caractéristique	Unité SI	Dimension
Vitesse	m/s , $m.s^{-1}$	LT^{-1}
Accélération	m/s^2 , $m.s^{-2}$	LT^{-2}
Force	$Kg.m/s^2$, N (Newton) , $kg.m.s^{-2}$	MLT^{-2}
Energie	$Kg.m^2./s^2$, N.m , J (Joule) , $kg.m^2.s^{-2}$	ML^2T^{-2}
Puissance	$Kg.m^2/s^3$, N.m/s , W (Watt) , $kg.m^2.s^{-3}$	ML^2T^{-3}
Pression	$Kg/m/s^2$, N/m^2 , Pa (Pascal) , $kg.m^{-1}.s^{-2}$	$ML^{-1}T^{-2}$
Masse Spécifique	Kg/m^3 , $kg.m^{-3}$	ML^{-3}
Poids Spécifique	$Kg/m^2/s^2$, N/m^3 , $kg.m^{-2}.s^{-2}$	$ML^{-2}T^{-2}$
Viscosité	$Kg/m/s$, $N.s/m^2$, $kg.m^{-1}.s^{-1}$	$ML^{-1}T^{-1}$

I.1.2. Les Propriétés des Fluides

I.1.2.1. Les Densités

La Densité d'une substance est la quantité de matière contenue dans une unité de volume de cette substance.

Elle peut être exprimée de différentes manières :

1) Densité de masse ou '' Masse Volumique '' :

$$\rho = \frac{M}{V}$$

- Unités : kg/m^3
- Dimensions : ML^{-3}

Valeurs Particulières :

- Eau : $\rho_w = 1000\ kg/m^3$
- Mercure : $\rho_{Hg} = 13546\ kg/m^3$

2) Poids Spécifique :

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{Mg}{V} \Rightarrow \gamma = \rho g$$

- Unités : N/m^3
- Dimensions : $ML^{-2}T^{-2}$

Valeurs Particulières :

- Eau : $\gamma_w = 9814\ N/m^3$
- Mercure : $\gamma_{Hg} = 132943\ N/m^3$

3) Densité Relative :

Elle représente la masse spécifique d'une substance exprimée par rapport à celle d'une substance de référence :

L'eau :

$$D = \frac{\rho}{\rho_\omega}$$

- Unité : Adimensionnel (sans unité)

Valeurs Particulières :

- Eau : $D_w = 1$
- Mercure : $D_{Hg} = 13{,}6$

I.1.2.2. Les Viscosités

La viscosité $\boldsymbol{\mu}$ est une propriété d'un fluide due à la cohésion et à l'interaction entre les molécules qui présentent une résistance aux déformations.

Tous les fluides sont visqueux et obéissent à la loi de viscosité établie par Newton :

Avec :

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

- τ : Contrainte de déformation tangentielle
- du/dy : Gradient de vitesse d'écoulement
- μ : Viscosité dynamique

Ils sont donc appelés '' **Fluides Newtoniens** ''

1) La Viscosité Dynamique

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \Rightarrow \mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}} = \frac{Force}{Surface} \Big/ \frac{Vitesse}{Distance} = \frac{ForcexTemps}{Surface} = N.s.m^{-2} = kg.m^{-1}.s^{-1}$$

Remarque : τ est généralement exprimée en Poise (Po) : 10 Po = 1 kg $m^{-1}.s^{-1}$

Valeurs Particulières :

- Eau : $\tau = 1{,}14 \times 10^{-3}$ kg $m^{-1}s^{-1}$
- Mercure : $\tau = 1{,}552$ kg $m^{-1}s^{-1}$

2) La Viscosité Cinématique

Elle représente le rapport entre la viscosité dynamique et la masse spécifique d'un fluide :

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

- Unité : m^2/s
- Dimension : L^2T^{-1}

Remarque : v est généralement exprimée en Stokes (St) : 104 St = 1 $m^2.s^{-1}$

Valeurs Particulières :

- Eau : $v = 1{,}14 \times 10\text{-}6 m^2.s^{-1}$
- Mercure : $v = 1{,}145 \times 10^{-4} m^2.s^{-1}$

La viscosité des fluides dépend en grande partie de sa température. Le tableau suivant donne quelques valeurs des viscosités cinématiques de l'eau en fonction de la température.

Tableau N°I.03 : Les valeurs de ν_{eau} en fonction de la température.

Température , °C	Viscosité cinématique ν , m^2/s (x 10^{-6})
0	1,790
5	1,520
10	1,310
15	1,140
20	1,010
25	0,897
30	0,804
35	0,724
40	0,661
50	0,556
60	0,477
100	0,296

I.2. Statique des fluides (hydrostatique)

I.2.1. Notion de Pression

La pression est définie comme la force exercée par un fluide par unité de surface :

$$P = \frac{F}{S}$$

- Unité : N/m^2 ou $kg.m^{-1}.s^{-2}$
- Dimension : $ML^{-1}T^{-2}$

Remarque : La pression peut aussi s'exprimer en :

- Pascal (Pa) : 1 Pa = 1 N/m^2
- Bar (Bar) : 1 Bar = 105 N/m^2

I.2.2. Loi de Pascal

Considérons un élément d'un fluide ABCDEF (prisme triangulaire) et soient Px, Py et Ps les pressions dans les 3 directions x, y et s.

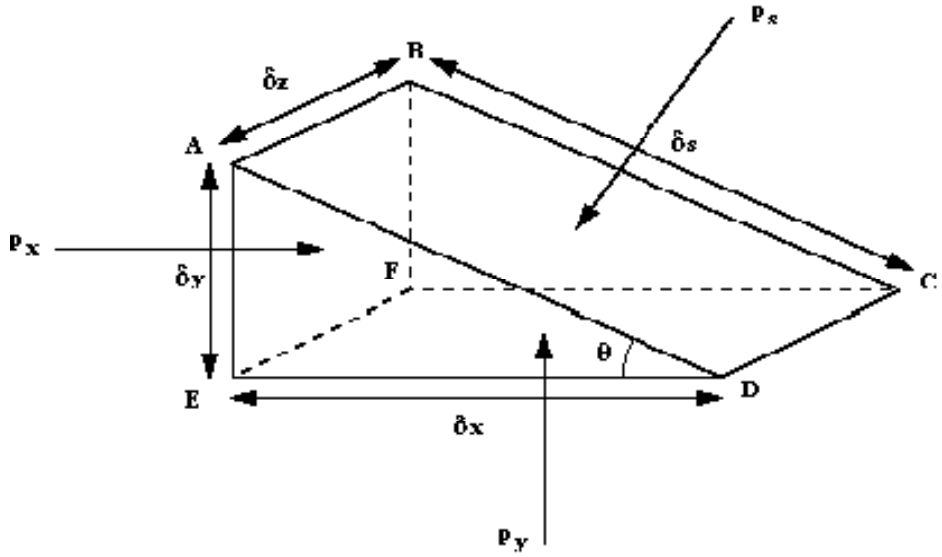


Figure N°I.01 : Le prisme triangulaire.

Etablissons la relation entre Px, Py et Ps :

- Selon la direction x :

- Force due à Px : $Fxx = Px(ABFE) = Px\ dydz$
- Force due à Py : $Fyx = 0$
- Composante due à Ps : $Fsx = -\ Ps(ABCD.sin\theta) = -\ P\ dsdz\ \frac{dy}{ds}$ (car $\sin\theta = \frac{dy}{ds}$)

Donc : $Fsx = -\ Ps\ dydz$

Et puisque le fluide est en équilibre: $Fxx+Fyx+Fsx = 0$

D'où : $Px\ dydz - Ps\ dydz = 0 \Rightarrow Px = Ps$

- Selon la direction y :

- Force due à Py : $Fyy = Py\ (DCFE) = Py\ dxdz$
- Force due à Px : $Fxy = 0$
- Composante due à Ps : $Fsy = -\ Ps\ (ABCD\ cos\theta) = -\ Ps\ dsdz\ \frac{dx}{ds}$ (car $\cos\theta = \frac{dx}{ds}$)

Donc : $Fsy = -\ Ps\ dxdz$

Et puisque le fluide est en équilibre : $Fyy+Fxy+Fsy = 0$

D'où : $Py\ dxdz - Ps\ dxdz = 0 \Rightarrow Py = Ps$

Et finalement : $Px = Py = Pz$

✓ **/Loi de Pascal** : '' La pression d'un fluide en un point est la même dans toutes les directions ''.

I.2.3. Equation Fondamentale de l'Hydrostatique

Soit un élément de fluide de masse spécifique ρ représentant une colonne verticale de section transversale constante A. Considérons 2 sections situées à des distances Z_1 et Z_2 par rapport à un plan de référence OO'.

Soient P_1 et P_2 les pressions dans ces 2 sections.

Exprimons la variation de pression $P_1 - P_2$:

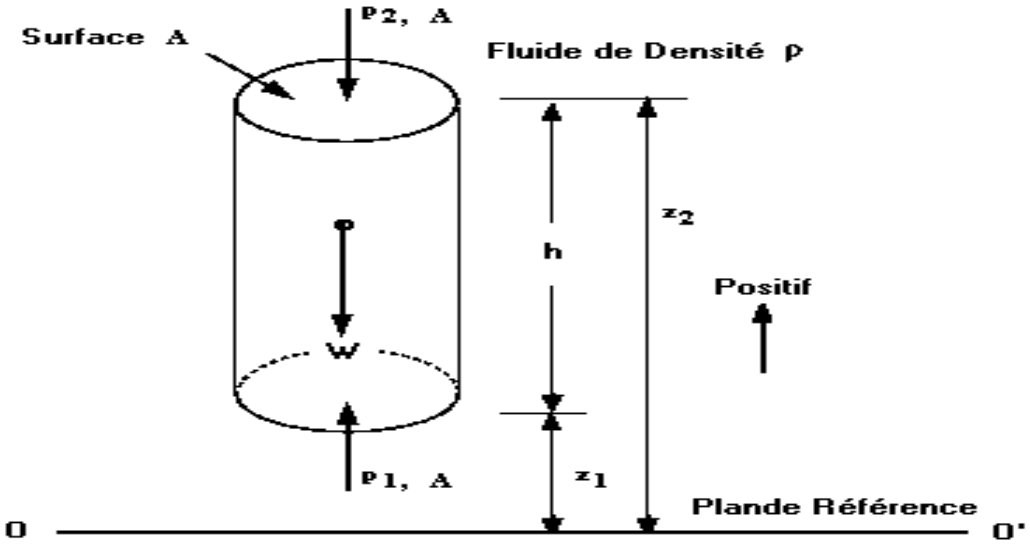


Figure N°I.02 : La variation de pression.

Le fluide étant en équilibre, la somme des forces dans la direction verticale est donc égale à Zéro :

- Force due à P_1 : $F_1 = P_1.A$
- Force due à P_2 : $F_2 = P_2.A$
- Force due au poids de la colonne du liquide : $W = mg = \rho gV = \rho gA\ (Z_2 - Z_1)$

Avec V = Volume de l'élément considéré = $\rho gA\ (Z_2 - Z_1)$

Si l'on considère le sens positif vers le haut, la condition d'équilibre s'écrit donc :

$$F_1 - F_2 - W = 0 \Rightarrow P_1A - P_2A - \rho gA\ (Z_2 - Z_1) = 0$$

Et donc :

$$\boxed{P_1 - P_2 = \rho g\left(Z_2 - Z_1\right)}$$

I.2.3.1. Loi de la statique des fluides

$$P_1 - P_2 = \rho g(Z_2 - Z_1) \Rightarrow P_1 + \rho g Z_1 = P_2 + \rho g Z_2 \Rightarrow \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2$$

Et donc : $Z + P/\rho g = C^{ste}$ (Loi de la statique des fluides)

I.2.3.2. En posant $Z_2 - Z_1 = h$ et $P_2 = P_0$

On aura : $P_1 = P_0 + \rho g h$

Et si P0 = 0 : $P_1 = \rho g h$

- ✓ La pression augmente donc linéairement en fonction de la profondeur

I.2.3.3. Egalité des pressions sur un même plan horizontal :

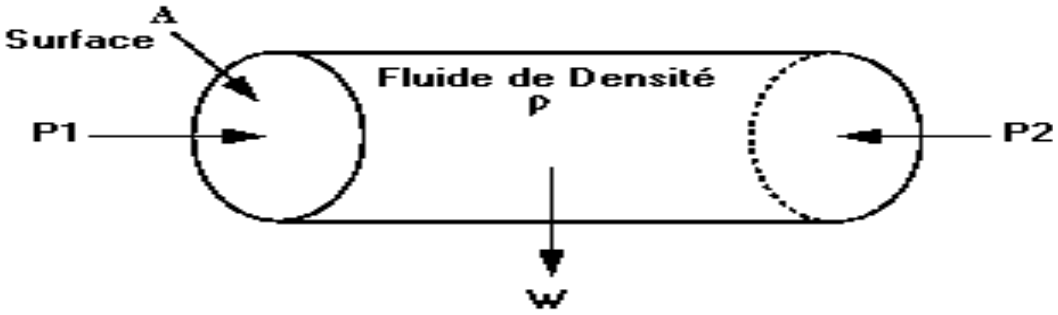


Figure N°I.03 : égalité des pressions.

Si l'on considère la direction horizontale, on aura : $P_1A - P_2A + 0 = 0 \Rightarrow P_1 = P_2$ (car la composante du poids W selon l'horizontale est nulle)

- ✓ Sur un même plan horizontal, toutes les pressions sont égales (Pressions Isobares).

I.2.3.4. Pression effective et Pression absolue :

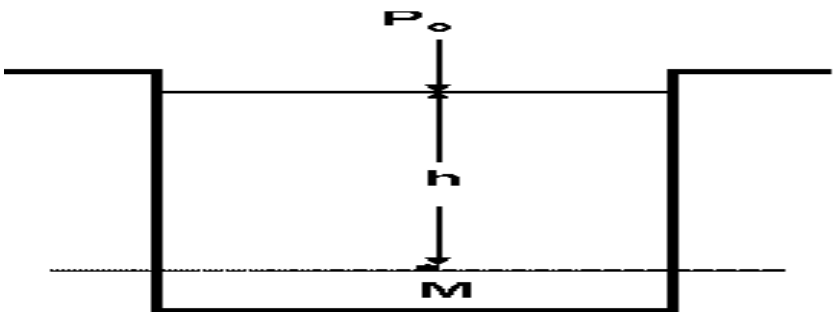


Figure N°I.04 : calcul de la pression.

Au point M, la pression est égale à : $P_M = P_0 + \rho gh$

A la surface libre du fluide, la pression est généralement représentée par la pression atmosphérique P_{atm}, d'où : $P_M = P_{atm} + \rho gh$ (Pression Absolue)

Et si l'on néglige l'influence de la pression atmosphérique ($P_{atm} = 0$) :

$$P_M = \rho gh \qquad \text{(Pression Effective)}$$

I.2.3.5. Charge piézométrique, hauteur piézométrique :

On a vu que : $Z + P / \rho g = C^{ste}$ avec :

Z : Hauteur de position ou côte géométrique.

$P / \rho g$: Hauteur piézométrique.

$Z + P/\rho g$: Hauteur ou charge totale.

I.2.3.6. Notion de hauteur du vide :

Dans certains cas, la pression absolue est inférieure à la pression atmosphérique :

$$P_M = P_{atm} + \rho gh < P_{atm}$$

Il se crée alors une dépression dont la hauteur correspondante, appelée '' Hauteur du Vide '', est égale à : $h_{vide} = (P_{atm} - P_{abs}) / \rho g$

I.2.3.7. Signification énergétique de l'équation de la statique des fluides :

On a vu que : $Z + P / \rho g = C^{ste} = E_p$

Si l'on multiplie les 2 termes de cette équation par le poids élémentaire mg, on aura :

$$mgZ + mg\ P/\rho g = mgE_p$$

Avec :

mgZ : Energie potentielle de position.

mg $P/\rho g$: Energie potentielle de pression.

mgE_p : Energie potentielle totale.

I.2.4. Dispositifs de mesure de la pression

Le dispositif utilisé dépend de l'importance des pressions à mesurer. Il existe 2 types de dispositifs de mesure des pressions :

- Les tubes manométriques: utilisés pour la mesure de pressions relativement faibles (…en laboratoires)

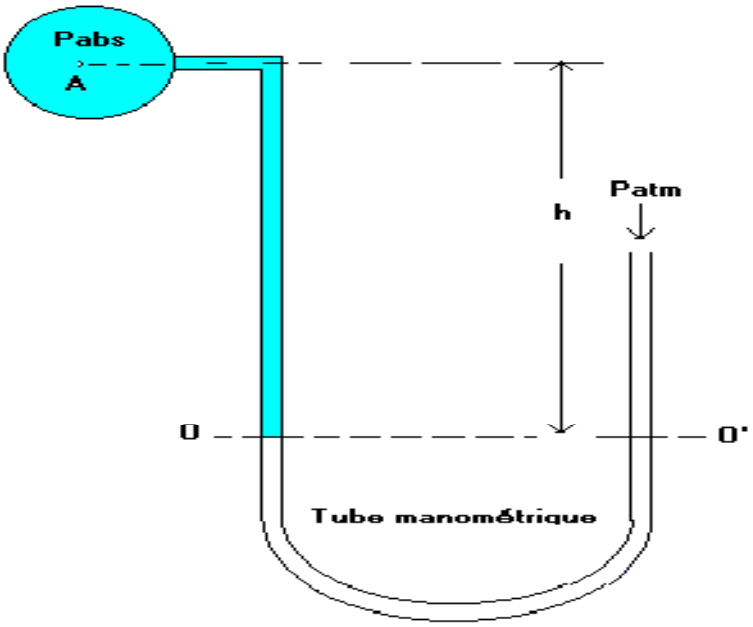


Figure N°I.05 : Tube manométrique.

- Les manomètres mécaniques: utilisés pour la mesure de pressions relativement plus élevées (1 à 2 Kg/cm2)



Figure N°I.06 : Le Manomètre mécanique.

I.2.4.1. Mesure des pressions par les tubes manométriques :

1. Le tube manométrique simple ou piézomètre :

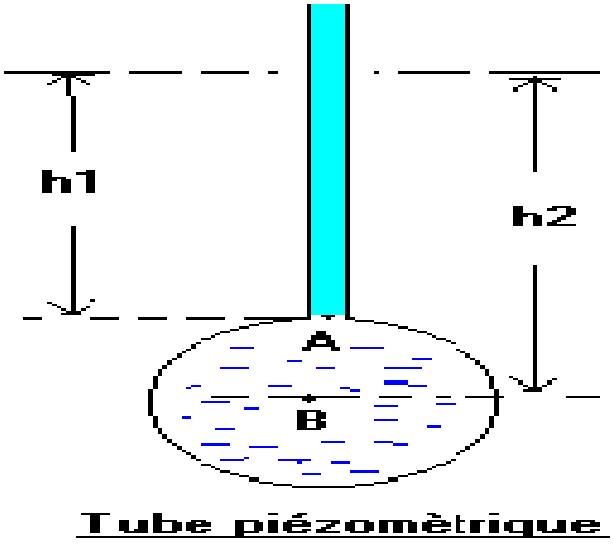


Figure N°I.07 : Le Tube manométrique simple (Piézomètre).

- $P_A = \rho g h_1$
- $P_B = \rho g h_2$

Remarque :

- P_A et P_B sont appelées '' ***Pressions Manométriques*** ''
- h_1 et h_2 sont appelées '' ***Hauteurs Manométriques*** ''

C'est un dispositif utilisé uniquement pour la mesure des pressions des Liquides et non les gaz

2. Le tube manométrique en forme de '' U '' :

Il s'agit d'un dispositif utilisé pour la mesure des pressions dans les liquides et les gaz.

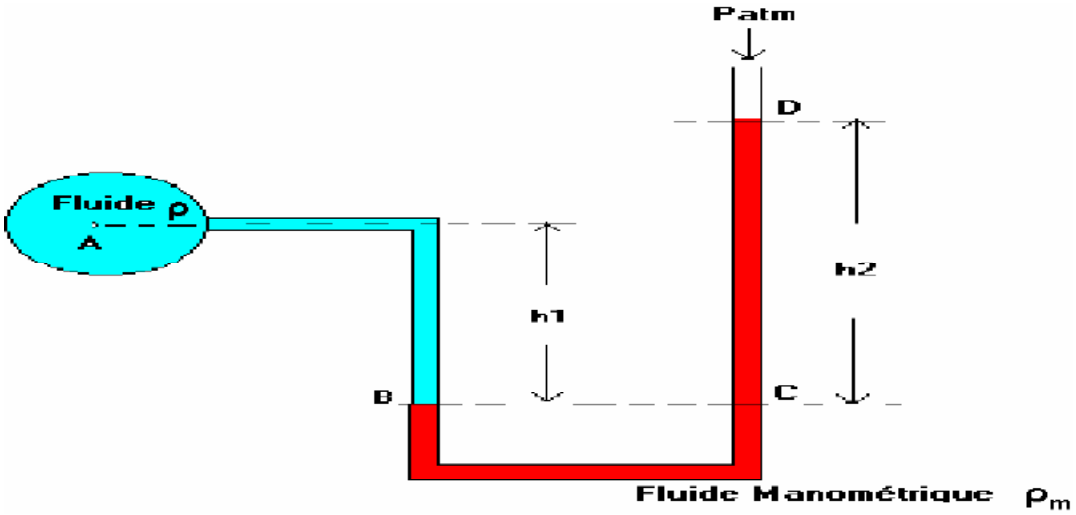


Figure N°I.08 : Le Manomètre en U.

On a : $P_B = P_C$

- Partie Gauche : $P_B = P_A + \rho g h_1$
- Partie Droite : $P_C = P_D + \rho_m g h_2 = P_{atm} + \rho_m g h_2$

Puisque l'on mesure une pression manométrique, on soustrait donc P_{atm} : $P_C = \rho_m g h_2$

Et comme : $P_B = P_C \Rightarrow P_A + \rho g h_1 = \rho_m g h_2 \Rightarrow P_A = \rho_m g h_2 - \rho g h_1$

Si le fluide de densité ρ est un gaz, sa densité est négligeable devant celle du liquide manométrique : $\rho << \rho_m \Rightarrow P_A = \rho_m g h_2$

✓ **Mesure de la différence de pression par un manomètre en U :**

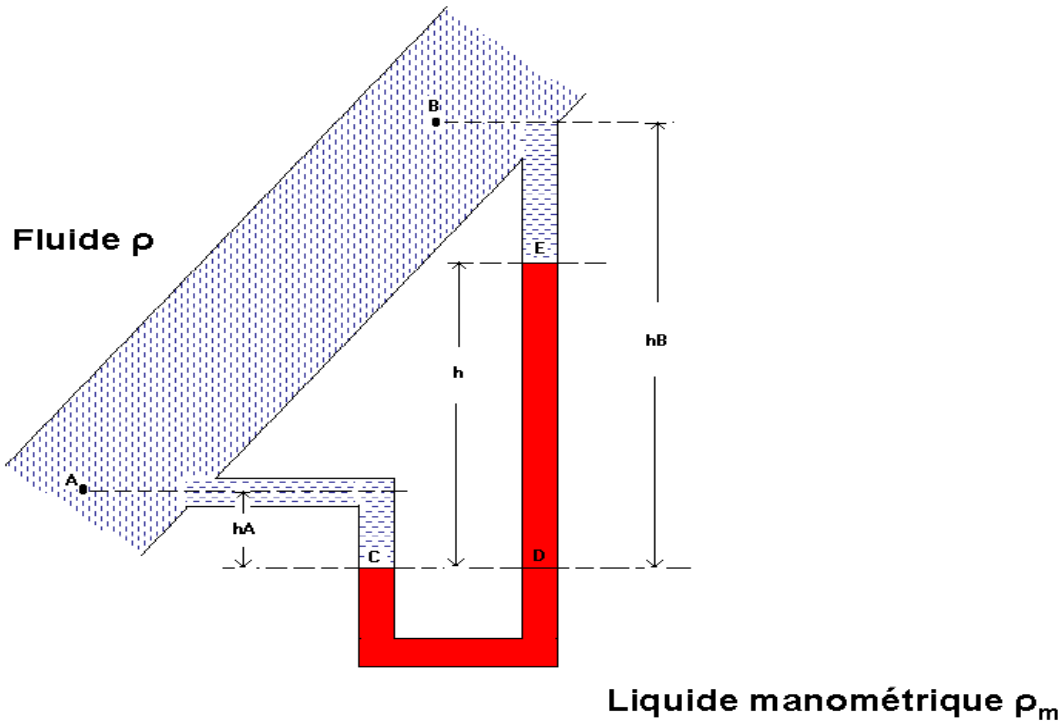


Figure N°I.09 : Mesure de la différence de pression par un manomètre en U.

Problème : Calcul de la différence de pression $P_A - P_B$:

On sait que : $P_C = P_D$

- Branche de Gauche : $P_C = P_A + \rho g h_A$
- Branche de Droite : $P_D = P_B + \rho g (h_B - h) + \rho_m g h$

Et comme :

$$P_C = P_D \Rightarrow P_A + \rho g h_A + P_B + \rho g (h_B - h) + \rho_m g h \Rightarrow P_A - P_B = \rho g (h_B - h) + (\rho_m - \rho) g h$$

Et si le fluide est un gaz : $(\rho_m >> \rho) : P_A - P_B = \rho_m g h$

3. Manomètre à Eau et manomètre à Mercure

Les manomètres à eau sont utilisés pour mesurer des pressions relativement faibles car leur utilisation pour les fortes pressions conduirait à l'élaboration de tubes de dimensions trop exagérées. C'est pour cela, et compte tenu de sa densité élevée, que l'on préfère utiliser du Mercure comme liquide manométrique.

I.2.5. Forces de Pression des Fluides sur les Surfaces

I.2.5.1. Les Forces de Pression exercées par les Fluides sur des Surfaces Planes

I.2.5.1.1. Expression générale de la Force de Pression

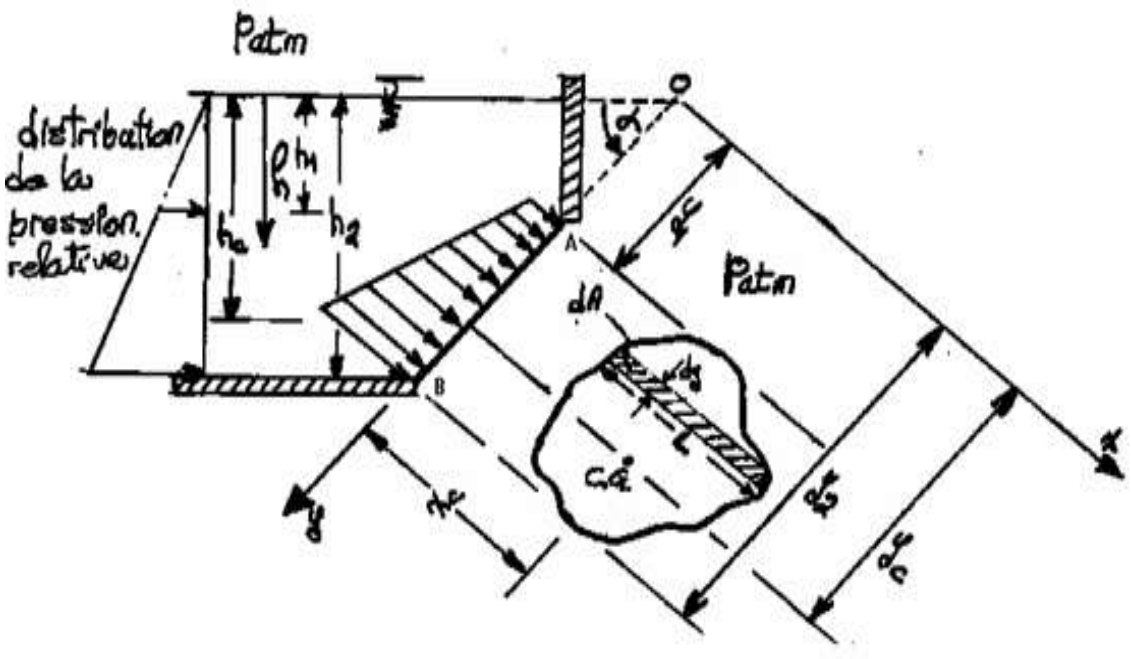


Figure N°I.10 : Schéma descriptif (forces sur une surface plan inclinée.

Soit une surface plane *AB* inclinée d'un angle α par rapport à l'horizontale et immergée dans un fluide de densité massique ρ et *C* son centre de gravité. Etablissons l'expression de la force Résultante *F* des forces exercées par le fluide sur la surface *AB* (voir diagramme des forces exercées) : Considérons pour cela la force élémentaire dF s'exerçant sur une surface élémentaire *dA* :

$$dF = PdA = (P_{atm} + \rho gh)\, dA = P_{atm}\, dA + \rho gh\, dA$$

La force résultante F est égale à l'intégrale de dF sur toute la surface AB :

$$F = \int_A dA = \int_A P_{atm}\, dA + \int_A \rho g h dA$$

Or, $h = y \sin\alpha$ d'ou :

$$F = P_{atm} A + \int_A \rho g y \sin\alpha dA = P_{atm} A + \rho g \sin\alpha \int_A y dA = \int_A y dA$$

Le terme $\int_A ydA = y_C A$ représente le '' Moment Statique '' de la surface AB par rapport à *Ox* :

Avec ***yc*** **:** Ordonnée du centre de gravité de la surface AB.

L'expression de F devient : $F = P_{atm} A + \rho g \sin\alpha\, y_C A$

Et comme $y_C \sin\alpha = h_C$: Profondeur du centre de gravité de la surface AB

$$F = P_{atm} A + \rho g h_C A$$

En général, la pression P_{atm} est négligée et donc l'expression finale de *F* devient :

$$\boxed{F = \rho g h_c A}$$

Remarque : En hydrostatique, $\rho = \rho_w$ (Eau) :

$$\boxed{F = \rho_w g h_c A}$$

I.2.5.1.2. Position du point d'application de la Force de Pression :

Déterminons $\mathbf{h_D}$, la profondeur du point d'application de la force résultante F :

Pour cela, utilisons le principe des moments : $M_0 F = \sum_{AB} M_i$

Avec :

$$M_o F = F y_D \quad \text{et} \quad \sum_{AB} M_i = \int_{AB} ydF = \int_{AB} y.\rho g y \sin\alpha dA = \int_{AB} \rho g y^2 \sin\alpha dA = \rho g \sin\alpha \int_{AB} y^2 dA$$

Le terme $\int_{AB} y^2 dA$ représente le '' Moment d'Inertie '' de la surface AB par rapport à l'axe *Ox* = ***Iox***

On aura donc : $\rho g \sin\alpha\, y_D A = \rho g \sin\alpha\, I_{ox}$

Et donc :

$$\boxed{y_D = \frac{I_{ox}}{y_c A}}$$

Remarque : Utilisation du théorème de Huygens :

Ce théorème nous permet d'écrire que : $I_{ox} = I_{CC} + y_C^2 A$

Avec :

Icc : Moment d'inertie de la surface AB par rapport à un axe passant par son centre de gravité *C*.

Dans ce cas, la formule précédente devient :

$$y_D = y_c + \frac{I_{cc}}{y_c A}$$ ou bien $$h_D = h_c + \frac{I_{oo}}{h_c A'}$$

Avec :

A' : Projection verticale de la surface *AB*

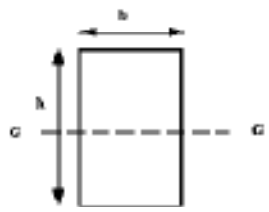
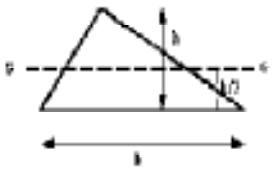
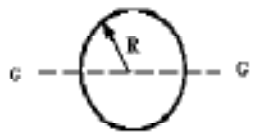
Ioo : Moment d'inertie de la surface *A'* par rapport à l'axe passant par son centre de gravité .

Le point d'application de la résultante F se trouve toujours plus bas que le centre de gravité d'une distance égale à :

$$\frac{I_{oo}}{h_c A'}$$

Le tableau suivant résume les moments d'inertie de quelques surfaces particulières :

Tableau N°I.04 : les moments d'inertie de quelques surfaces particulières

Type	Surface	Moment d'Inertie I_{CC}
Rectangle 	bh	$\frac{bh^3}{12}$
Triangle 	$\frac{bh}{2}$	$\frac{bh^3}{36}$
Cercle 	πR^2	$\frac{\pi R^4}{4}$

❖ **Cas d'une surface verticale – Diagramme des pressions :**

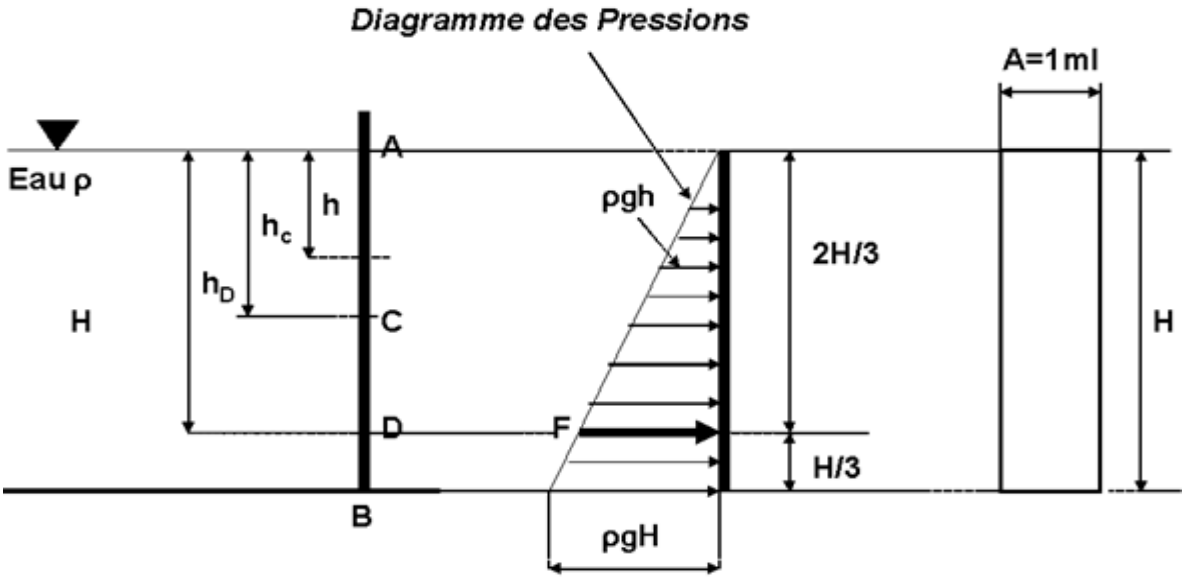


Figure N°I.11 : Diagramme des pressions d'une surface plane verticale.

Soit une plaque *AB* plane verticale retenant une hauteur d'eau *H*. Le schéma représente le diagramme des pressions exercées sur la surface *AB*. Exprimons la résultante *F* des forces de pressions sur la surface *AB* de 2 façons différentes :

a) D'après le diagramme des pressions :

Le diagramme des pressions est représenté par un triangle dont la surface est égale à la résultante des forces de pressions :

$$F = \frac{\rho g H . H}{2} = \frac{1}{2} \rho g H^2$$

Et F passe par le centre de gravité du triangle, d'où :

$$h_D = \frac{2}{3} H$$

b) D'après les formules de l'hydrostatique :

$$F = \rho g h_c A = \rho g \frac{H}{2} H . 1ml = \frac{1}{2} \rho g H^2$$

Et :

$$h_D = h_c + \frac{I_{oo}}{h_c A} = \frac{H}{2} + \frac{1.H^3}{12\frac{H}{2} H.1} = \frac{H}{2} + \frac{H}{6} = \frac{2}{3} H$$

I.2.5.2. Les Forces de Pression exercées par les Fluides sur des Surfaces Courbes

I.2.5.2.1. Expression générale de la Force de Pression

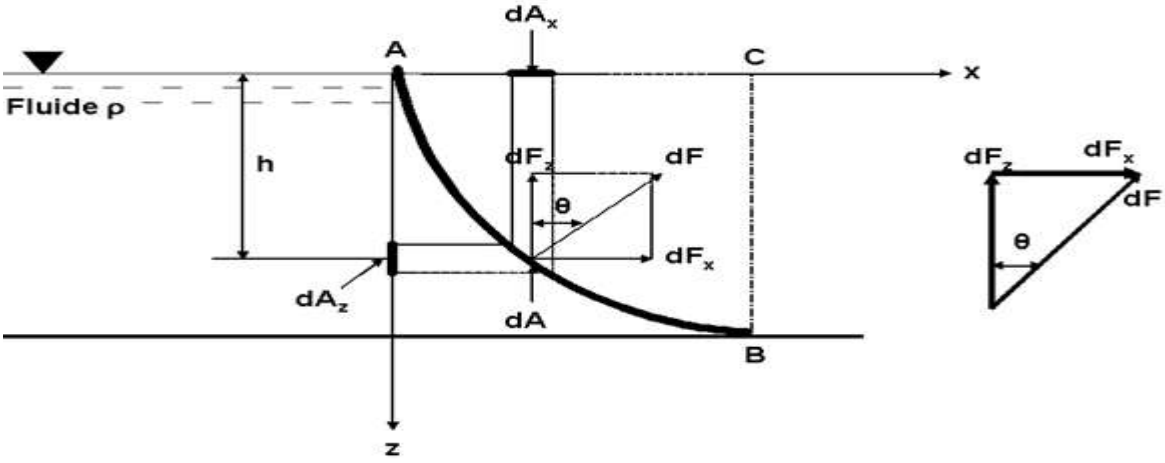


Figure N°I.12 : force de pression sur une surface courbe

Soit une paroi courbe *AB* retenant un fluide de densité massique ρ.

Soit un élément *dA* de la surface *AB* situé à une profondeur *h* et sur lequel s'exerce une force élémentaire *dF* qui se décompose en 2 forces :

- Une force *dFx*, agissant sur la surface *dAz* projection de *dA* sur l'axe *z*.
- Une force *dFz*, agissant sur la surface *dAx* projection de *dA* sur l'axe *x*.

On sait que : $dF = \rho g h\, dA$

D'où : $dF_x = dF \sin\theta = \rho g h\, dA \,.\, \sin\theta = \rho g h\, dA_z$ *car* $dA \sin\theta = dA_z$

$dF_z = dF \cos\theta = \rho g h\, dA \,.\, \cos\theta = \rho g h\, dA_x$ *car* $dF \cos = dA_x$

D'où : $$\int dF_x = F_H = \rho g \int_{Az} h dA_z = \rho g h_c A_z \rightarrow \underline{F_H = \rho g h_c A_z}$$

✓ Le calcul de la composante horizontale F_H est ramené au calcul d'une force de pression sur une surface plane verticale.

De même :

$$\int dF_z = F_v = \rho g \int_{Ax} h dA_x = \rho g \int_{W} dW = \rho g W \rightarrow \underline{F_v = \rho g W}$$

Avec :

W : Volume délimité par :

- La surface courbe *AB*
- La surface libre du fluide
- Les 2 verticales menées des 2 extrémités *A* et *B* de la surface.

✓ Le calcul de la composante horizontale F_V se résume donc au calcul du Poids du fluide représenté par le volume déplacé par la surface AB.

Le calcul des 2 composantes F_H et F_V permet ensuite de déterminer la résultante F par l'expression suivante :

$$F = \sqrt{F_H{}^2 + F_V{}^2}$$

Remarque : Selon que la surface AB en contact avec l'eau est concave ou convexe, on aura :

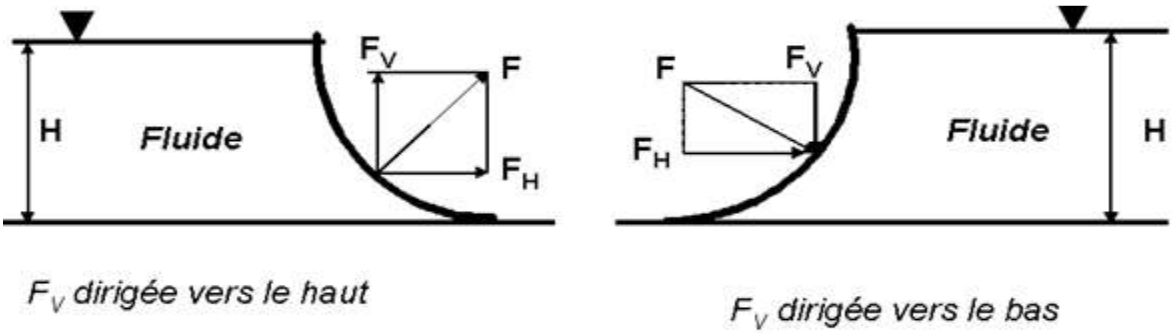


Figure N°I.13 : Le contact concave et le contact convexe.

I.2.5.2.3. Position du point d'application de la Force de Pression :

Le point d'application de la résultante F est obtenu si l'on connaît les composantes F_H et F_V. Dans le cas général, il faudra établir l'équation de la courbe AB et celle du segment représentant la force F (équation d'une droite) en tenant compte que l'angle d'inclinaison de la force résultante F par rapport à l'horizontale est obtenu par la formule suivante :

$$\theta = arctg \frac{F_v}{F_H}$$

I.3. Dynamique Des Fluides : Hydrodynamique

I.3.1. Les Principes de Base

I.3.1.1. Principe de Conservation de Masse ou Equation de Continuité

Le principe de continuité exprime la conservation de masse, ce qui signifie qu'aucun fluide ne peut être créé ni disparaître dans un volume donné :

Notion de débit d'écoulement :

Le débit d'écoulement s'exprime par les relations suivantes :

- $Q = AV$: Débit volumique (volume par unité de temps), Unité SI = **m3/s**
- $Q_m = \rho Q$: Débit massique, Unité SI = **Kg/s**

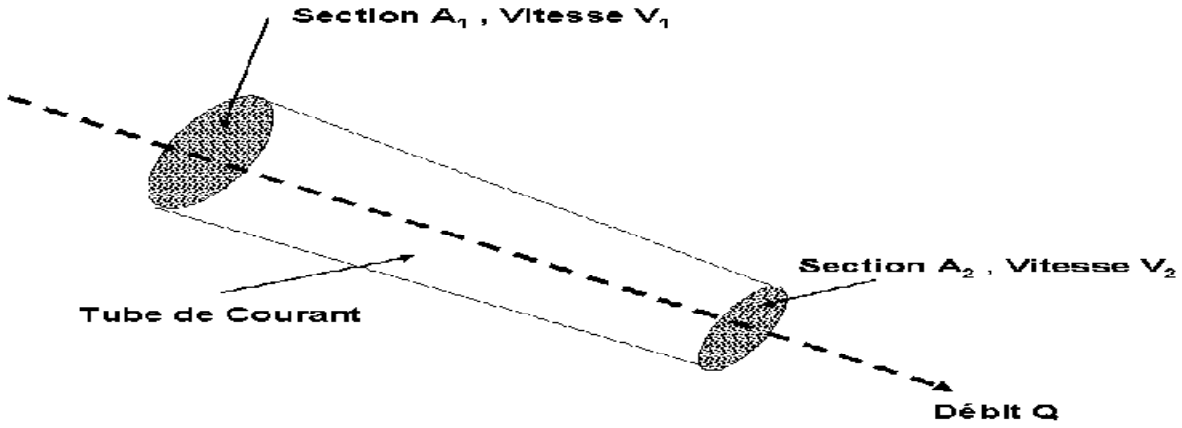


Figure N°I.14 : Tube de courant.

Etant donné que le débit d'écoulement reste constant (mouvement permanent), L'équation de continuité s'écrit donc :

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = C^{ste}$$

I.3.1.2. Equation Générale d'Ecoulement ou Equation de Bernoulli

1. **Cas des Fluides Parfaits (non visqueux)**

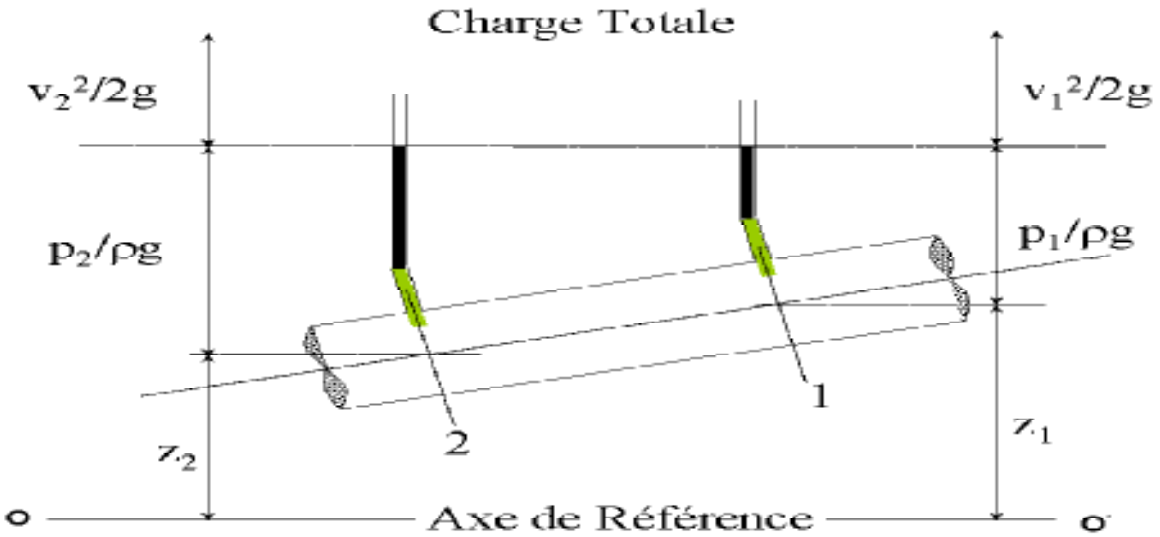


Figure N°I.15 : L'équation de Bernoulli, cas des Fluides Parfaits.

L'équation de Bernoulli exprime que, tout le long d'un filet liquide en mouvement permanent, l'énergie totale par unité de poids du liquide reste constante (*dH/dx = 0*).

D'après le schéma, on peut donc écrire que :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = H = C^{ste}$$

Cette équation s'écrit donc dans le cas général :

$$Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = H = C^{ste}$$

: Equation de Bernoulli pour un Fluide Parfait.

2. Cas des Fluides réels (visqueux)

Contrairement au fluide parfait non visqueux, la charge *H* pour un fluide réel visqueux diminue dans la direction de l'écoulement ($dH/dx < 0$).

Ceci est du à la nature visqueuse *dy* fluide qui dissipe une partie de l'énergie: cette perte d'énergie est appelée ''Perte de charge''.

La représentation graphique en cas de fluide réel est donc montrée par le schéma suivant :

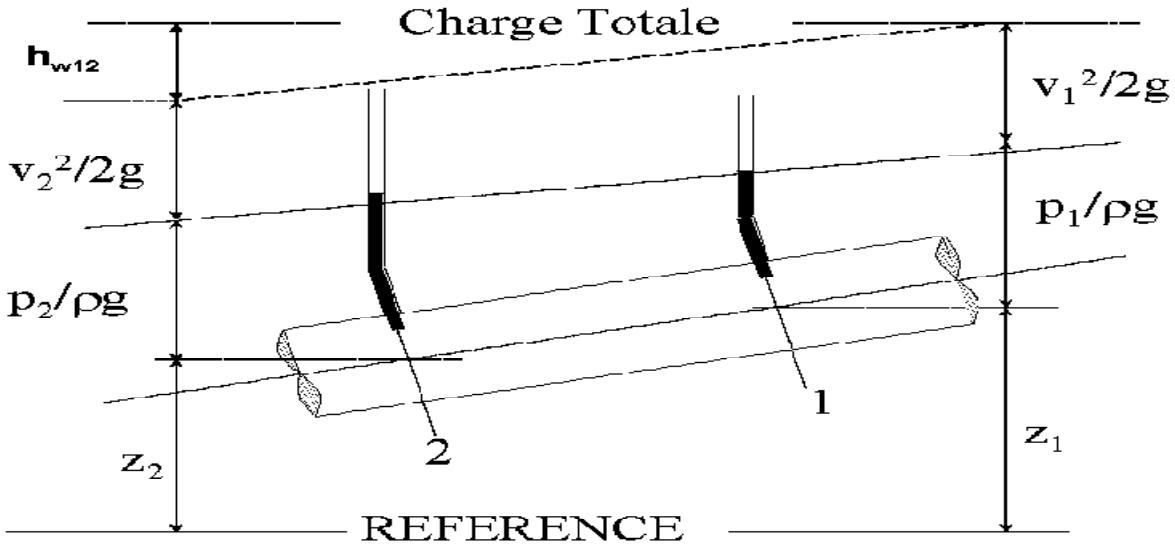


Figure N°I.16 : L'équation de Bernoulli, cas d'un liquide réel.

L'équation de Bernoulli, pour un liquide réel, devient donc (voir schéma) :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w12}$$

: Equation de Bernoulli pour un Fluide Réel.

Avec : h_{w12} : Perte de charge totale entre les sections 1 et 2.

Selon l'origine des pertes de charge, on distingue :

- La perte de charge primaire ou ''répartie'', noté h_r, qui est la conséquence de la viscosité du fluide et de la rugosité des parois de la section d'écoulement.
- La perte de charge secondaire ou '' locale '' ou '' singulière '', noté h_s, qui est la conséquence d'une modification brusque dans la nature physique de la section d'écoulement (élargissement, rétrécissement, changement de direction, etc.…).

La perte de charge totale est donc la somme des 2 pertes de charge répartie et singulière :

$$h_w = h_r + h_s$$

I.3.1.3. Les Régimes d'Ecoulement : Le Nombre de *Reynolds*

Les écoulements sont classés en 2 régimes principaux :

- '' Laminaire '' et '' Turbulent ''
- séparés par une phase transitoire appelée '' régime critique ''

Pour caractériser ces régimes d'écoulement, on introduit un nombre adimensionnel, appelée '' Nombre de Reynolds '', noté *Re* et calculé par la formule :

$$R_e = \frac{VD}{\upsilon} = \frac{\rho VD}{\mu}$$

Avec :

V = Vitesse moyenne d'écoulement = *Q/A*

D = Diamètre de la section d'écoulement (circulaire)

v = Viscosité cinématique du fluide = μ/ρ

μ = viscosité dynamique du fluide

En introduisant l'expression du débit et de la section d'écoulement (circulaire), le nombre de Reynolds s'écrit :

$$R_e = \frac{4Q}{\pi D \upsilon} = \frac{4\rho Q}{\pi D \mu}$$

Les limites du Nombre de Reynolds définissant les différents régimes d'écoulement peuvent être résumés comme suit :

- *Re* ≤2000 : Le régime est '' LAMINAIRE ''
- 2000< *Re* <4000: Le régime est '' CRITIQUE '' ou '' TRANSITOIRE ''
- *Re* ≥4000 : Le régime est '' TURBULENT ''

I.3.2. Les Pertes de Charge

I.3.2.1. Les Pertes de Charge Linéaires ou Réparties

I.3.2.1.1. Notion de Rugosité des Conduites

Contrairement à une surface lisse, une surface rugueuse implique un état de surface dont les irrégularités ont une action directe sur les forces de frottements.

Une surface rugueuse peut être considérée comme étant constituée par une série de protubérances élémentaires caractérisées par une hauteur, notée *k*, et appelée '' Rugosité '' :

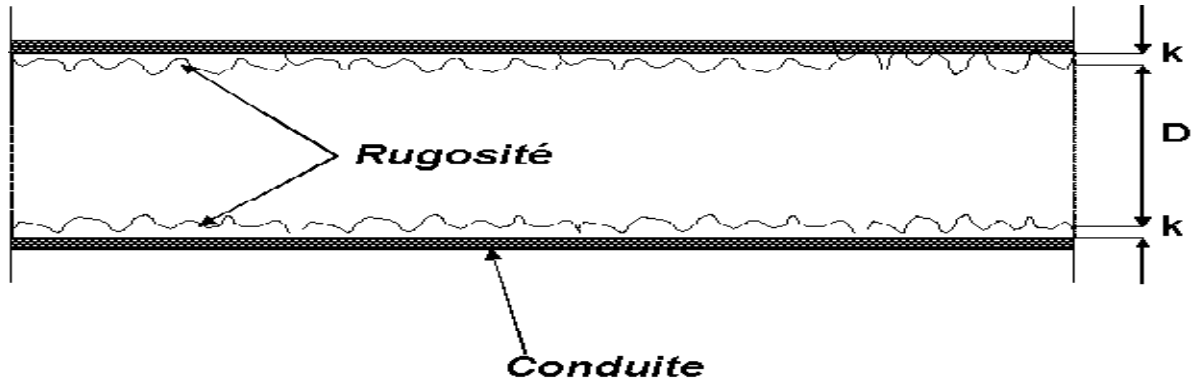


Figure N°I.17 : Rugosité des Conduites.

Afin de comparer la rugosité par rapport au diamètre de la conduite, on introduit le rapport :

$$\varepsilon = \frac{k}{D}$$: **Rugosité Relative**

- Expression de la perte de charge due aux frottements :

La perte de charge linéaire est calculée par la formule de **Darcy – Weisbach (1857)** :

$$h_r = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$: Formule de Darcy – Weisbach (1857)

Avec :

D = Diamètre de la section d'écoulement (m)

L = Longueur de la conduite (m)

V = Vitesse d'écoulement (m/s)

λ = Coefficient de frottement (sans unité)

Plusieurs formules sont proposées pour le calcul de λ et dépendent du régime d'écoulement :

I.3.2.1.2. Perte de charge en régime laminaire : *Re* < 2000

$$\Rightarrow \lambda = \frac{64}{R_e}$$

I.3.2.1.3. Perte de charge en régime turbulent : *Re* > 2000

Plusieurs formules de calcul du coefficient λ sont proposées par différents auteurs

1. Formule de Colebrook – White :

Formule de Colebrook – White , 1938

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2Log\left[\underbrace{\left(\frac{k}{3,71D}\right)}_{\text{Effet de la Rugosité de la conduite}} + \underbrace{\left(\frac{2,51}{R_e\sqrt{\lambda}}\right)}_{\text{Effet de la Viscosité du fluide}}\right]$$

Cette formule montre que λ peut être influencée par :

a) La Rugosité de la conduite à travers le terme *k/D* :

Dans ce cas [$\lambda = f\ (k/D)$], on parlera d'un ''Ecoulement hydrauliquement Rugueux'' et la formule de Colebrook – White devient :

Formule de Colebrook – White , 1938
Régime Hydrauliquement Rugueux

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\,Log\ \underbrace{\left(\frac{3,71\,D}{k}\right)}_{\text{Effet de la Rugosité de la conduite}}$$

b) La Viscosité du fluide à travers le terme Re :

Dans ce cas [$\lambda = f\ (Re)$], on parlera d'un '' Ecoulement hydrauliquement Lisse '' et la formule de Colebrook – White devient :

Formule de Colebrook – White , 1938
Régime Hydrauliquement Lisse

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\,Log\ \underbrace{\left(\frac{R_e\sqrt{\lambda}}{2,51}\right)}_{\text{Effet de la Viscosité du fluide}}$$

c) La Rugosité de la conduite et la Viscosité du fluide en même temps :

Il s'agit dans ce cas d'un régime de transition ou l'on a : $\lambda = f\ (Re\ ; k/D\ )$ ou l'on utilise la formule complète de Colebrook-White pour le calcul de λ .

2. Formule de *Blasius* (1911) :

Cette une formule proposée pour : $Re < 10^5$:

$$\lambda = \frac{0,316}{R_e^{0,25}}$$

3. Diagramme de *Moody* :

Les travaux de Nikuradse sur les pertes de charge dans les conduites ont permis d'élaborer un graphique (Diagramme de Moody) permettant de déterminer le coefficient λ en fonction de Re pour les différents types d'écoulement et des rugosités relatives k/D allant de *1/30* à *1/1014* :

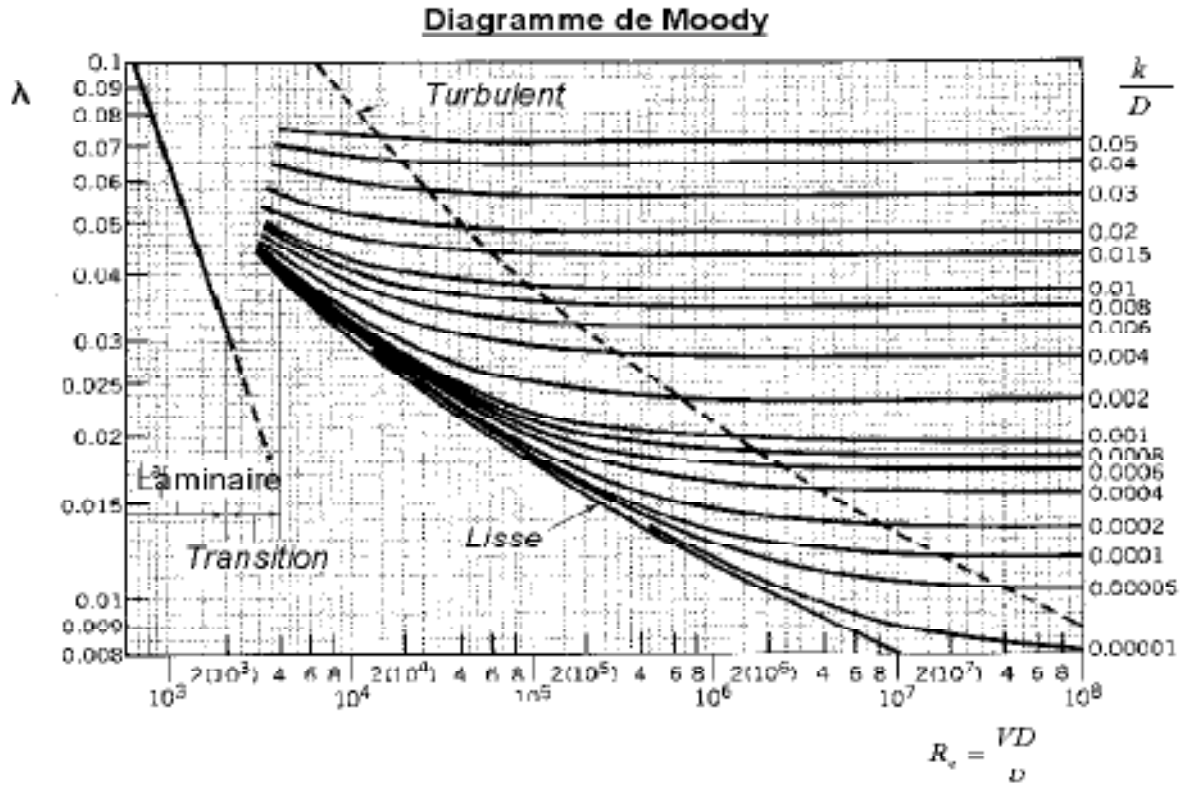


Figure N°I.18 : Diagramme de Moody.

Le diagramme permet d'observer et d'identifier plusieurs régions :

- Zone à Ecoulement Laminaire : $Re < 2000 \Rightarrow \lambda = f(Re)$
- Zone de transition : $2000 < Re < 4000$
- Zone de Turbulence Lisse : $\lambda = f(Re)$
- Zone de Turbulence Transitoire : $\lambda = f(Re ; k/D)$
- Zone de Turbulence Rugueuse : $\lambda = f(k/D)$

4. Formule de *Chézy* :

La formule de Chézy est inspirée de celle de Darcy-weisbach :

$$h_r = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

En introduisant la notion de '' *Rayon hydraulique* '' *R* égal au rapport entre la surface *A* et le périmètre d'écoulement *P* :

$$R = \frac{A}{P} = \frac{\pi D^2}{4\pi D} = \frac{D}{4} \Rightarrow D = 4R$$

La formule de la perte de charge devient :

$$h_r = \lambda \frac{L}{4R} \frac{V^2}{2g} = \frac{\lambda}{8g} \frac{L}{R} V^2$$

et comme $\frac{h_r}{L} = J$: Pente hydraulique

$$J = \frac{\lambda}{8g} \frac{V^2}{R} \Rightarrow V^2 = \frac{8g}{\lambda} RJ \Rightarrow V = \sqrt{RJ} \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$

En posant $C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$: Coefficient de Chézy, on obtient finalement :

$$\boxed{V = C\sqrt{RJ}}$$

Ou bien, en introduisant le Débit *Q* : $\boxed{Q = AC\sqrt{RJ}}$

De plus, Chézy propose la formule empirique suivante pour le calcul de *C* :

$$C = \frac{1}{k} R^{1/6}$$

Avec *: k* = rugosité de la conduite

Ce qui donne :

$$Q = A \frac{1}{k} R^{1/6} R^{1/2} J^{1/2} = \frac{A}{k} R^{2/3} J^{1/2}$$

Et comme $A = \pi D^2/4$ *et* $R = D/4$:

$$Q = \frac{1}{k} \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{D}{4} \right)^{2/3} J^{1/2}$$

$$Q = \frac{\pi}{4^{5/3}} \frac{1}{k} D^{8/3} J^{1/2} = \frac{\pi}{4^{5/3}} \frac{1}{k} D^{8/3} \frac{h_r^{1/2}}{L^{1/2}}$$

En posant

$$K = \frac{\pi}{4^{5/3}} \frac{1}{k} D^{8/3}$$: *Module de Débit* (L/S)

On obtient :

$$Q = K \sqrt{\frac{h_r}{L}}$$ et donc : $$\boxed{h_r = \frac{Q^2}{K^2} L}$$

Remarque :

- Pour tenir compte des pertes singulières, on majore en général h_r de 10 %.
- Pour tenir des variations de vitesse, on introduit le coefficient de vitesse donné par des tables : ***β=f(V).***

Et la formule générale s'écrit donc :

$$\boxed{h_w = 1{,}1 \beta \frac{Q^2}{K^2} L}$$

I.3.2.2. Les Pertes de Charge Locales ou Singulières

I.3.2.2.1. Expression Générale d'une Perte de Charge Singulière

En plus de pertes de charge linéaires, la perte de charge singulière se produit localement au niveau d'une modification brusque de la nature physique de la section d'écoulement. Elle se calcule par la formule générale suivante :

$$\boxed{h_s = \zeta_s \frac{V^2}{2g}}$$

Avec : **ξs** = Coefficient qui dépend de la nature de la déformation

1. **Cas d'un élargissement brusque de la section d'écoulement :**

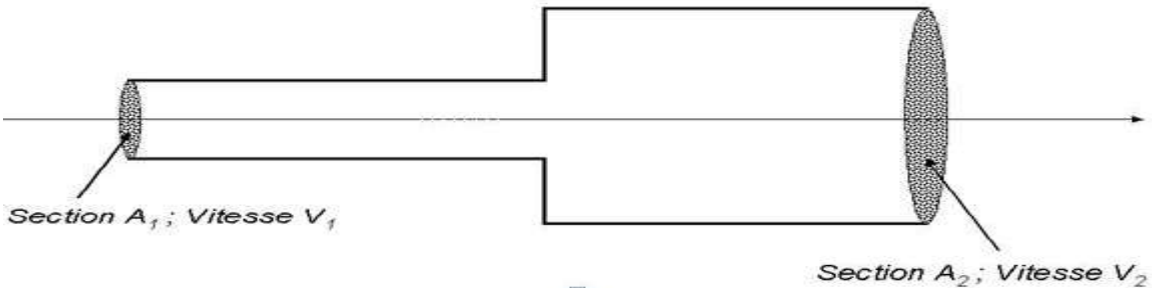


Figure N°I.19 : élargissement brusque de la section.

Dans ce cas :

$$\zeta_{seb} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \Rightarrow h_{seb} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g}$$

Remarque : Cas particulier d'une sortie vers un réservoir :

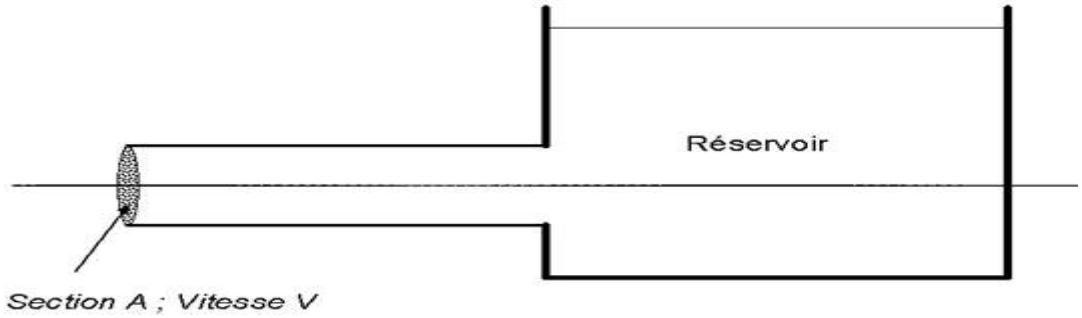


Figure N°I.20 : Sortie vers un réservoir.

Dans ce cas, le terme $\mathbf{A_1 / A_2}$ tend vers zéro du fait que la section du réservoir est très grande devant celle de la conduite, et la formule précédente devient :

$$\zeta_{sor} = 1 \Rightarrow h_{sor} = \frac{V^2}{2g}$$

2. Cas d'un rétrécissement brusque de la section d'écoulement :

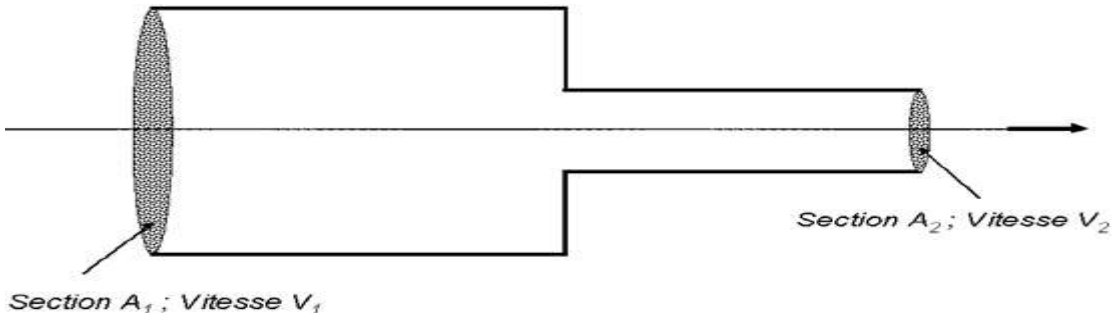


Figure N°I.21 : rétrécissement brusque de la section.

La formule de calcul s'écrit :

$$h_{srb} = \zeta rb \frac{V^2}{2g}$$

Avec : **ξrb** = Coefficient due au rétrécissement brusque donné par le tableau suivant :

Tableau N°I.05 : Coefficient due au rétrécissement brusque.

A_1/A_2	0,1	0,5	0,7
ξ_{rb}	0,41	0,24	0,14

Remarque : Cas particulier d'une sortie à partir d'un réservoir :

Rétrécissement brusque de la section
Cas d'une sortie '' Réservoir – Conduite ''

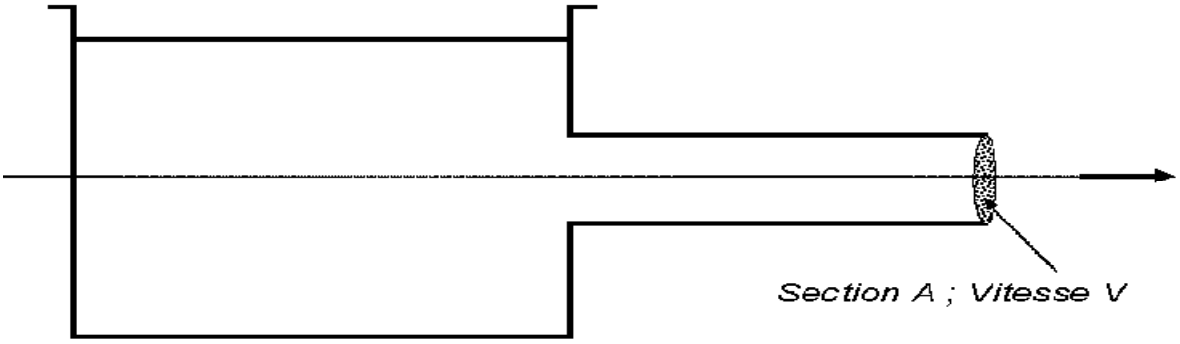


Figure N°I.22 : Sortie à partir d'un réservoir.

Formule de calcul :

$$h_{sen} = \zeta en \frac{V^2}{2g} \quad \text{Avec : } \xi_{en} = 0,5$$

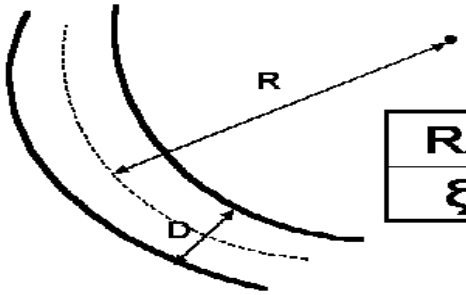
3. Autres pertes de charge singulières :

D'autres types de pertes de charge peuvent avoir lieu dans les conduites :

- Coudes
- Vannes
- Crépine, etc.

Exemple : Cas d'un coude :

Cas d'un Coude



R/D	2	4	6
ξc	0,4	0,3	0,3

Figure N°I.23 : Exemple d'un coude.

I.4. Applications Particulières de l'Equation Générale d'Ecoulement

I.4.1. Cas d'un Ecoulement à travers un Orifice (Formule de Torricelli)

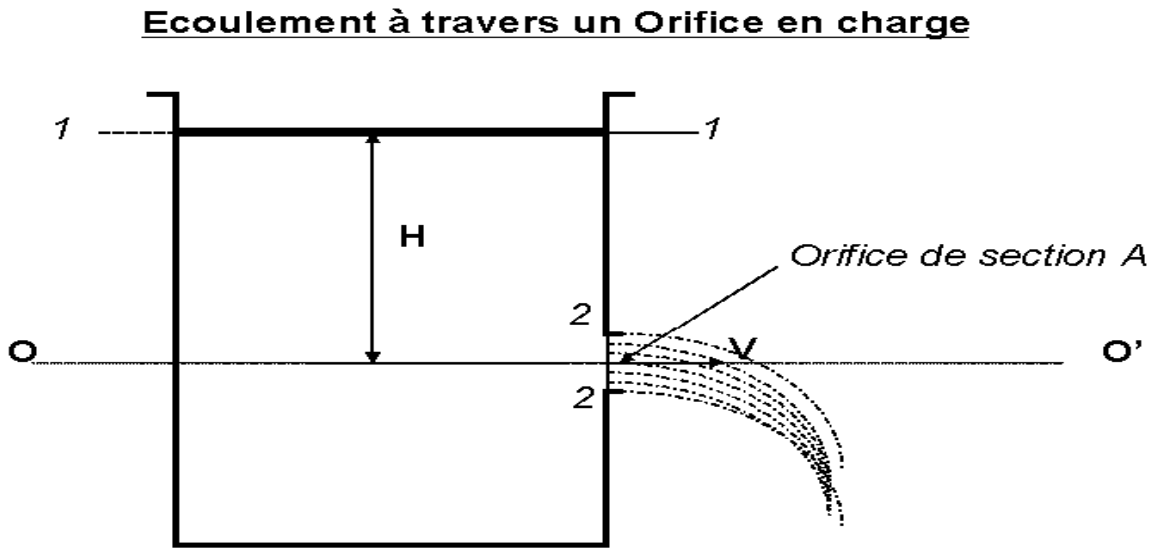


Figure N°I.24 : Ecoulement à travers un Orifice en charge.

Application de l'équation de Bernoulli entre les sections 1-1 et 2-2 par rapport à l'axe de référence O-O' :

Section 1-1 :

- $Z1 = H$
- $P1 = Patm$
- $V1 = 0$

Section 2-2 :

- $Z2 = 0$
- $P2 = Patm$
- $V2 = V$

On aura donc :

$$H + \frac{P_{atm}}{\rho g} + 0 = 0 + \frac{P_{atm}}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + h_w$$

Si nous négligeons les pertes de charge : $h_w = 0$, l'équation devient :

$$H = \frac{V^2}{2g}$$

Donc $\boxed{V = \sqrt{2gH}}$: Formule de **Torricelli**

Si nous passons au débit d'écoulement à travers l'orifice :

$Q = A'V$

Avec A' = Section contractée de l'écoulement

$$\rightarrow Q = A'\sqrt{2gH}$$

Avec : $m \approx 0{,}597$ ou formule empirique :

$$m = 0{,}592 + \frac{4{,}5}{\sqrt{R_e}}$$

I.4.2. Cas d'un Ecoulement à travers un tube de Venturi

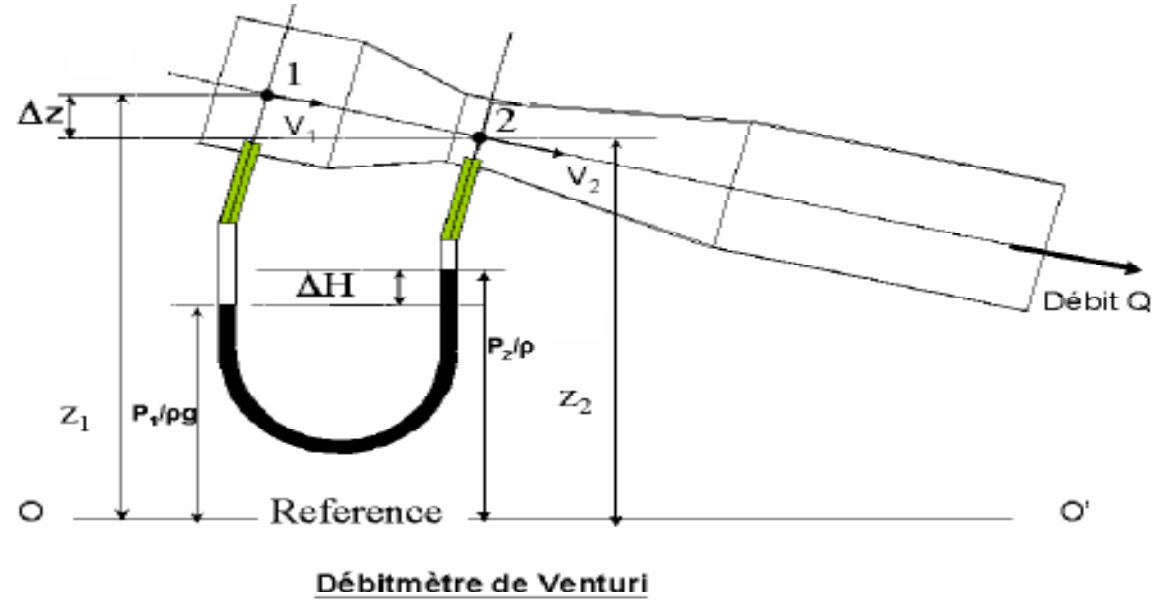


Figure N°I.25 : Débitmètre de Venturi.

Le débitmètre de Venturi est un appareil qui utilise l'équation de Bernoulli pour mesurer le débit dans les conduites, et ce à l'aide d'une simple mesure des pressions P1 et P2 Par rapport à OO', l'équation de Bernoulli appliquée entre les sections 1 et 2 donne :

Section 1 :

- *Z1*
- *P1*
- *V1*

Section 2 :

- *Z2*
- *P2*
- *V2*

On aura donc :

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} + h_w$$

Si nous négligeons les pertes de charge *:* $h_w = 0$ *:*

$$\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} = Z_1 - Z_2 + \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} = \Delta Z + \Delta H$$

Comme l'équation de continuité nous permet d'écrire que :

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 \Rightarrow V_1 = \frac{A_2}{A_1} V_2$$

Donc :

$$\frac{V_2^2}{2g} - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = \Delta Z + \Delta H \Rightarrow \frac{V_2^2}{2g}\left(1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\right) = \Delta Z + \Delta H$$

Et finalement :

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g(\Delta H + \Delta Z)}$$

Et comme $Q = A2V2$:

$$\boxed{Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g(\Delta H + \Delta Z)}}$$

Remarque : Dans la plupart des cas, le débitmètre de Venturi est placé horizontalement ce qui fait que $Z_1 = Z_2$ et donc : $\Delta Z = 0$ et la formule précédente se simplifie :

$$\boxed{Q = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \sqrt{2g\Delta H}}$$

Et si on introduisait les diamètres d1 et d2 des 2 sections : $\boldsymbol{A = \frac{\pi d^2}{4}}$

$$Q = \frac{\pi d_2^{\,2}}{4\sqrt{1-\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4}}\sqrt{2g\Delta H}$$

I.5. Branchements de Conduites

I.5.1. Conduite à Section Constante (Conduite simple)

I.5.1.1. Sortie à l'air libre

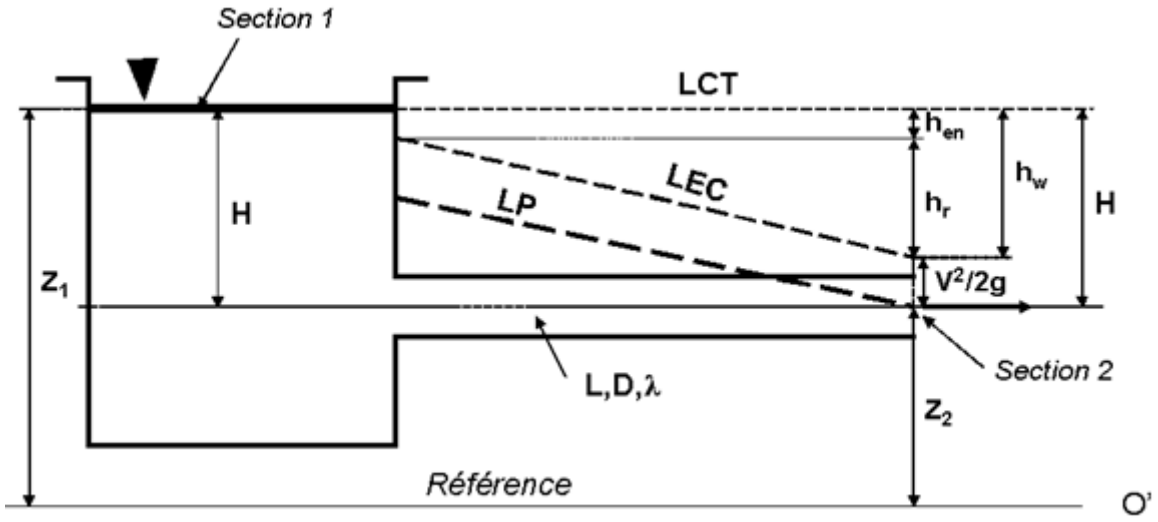


Figure N°I.26 : Sortir a l'air libre.

- LCT : Ligne de Charge Totale
- LEC : Ligne d'Energie Cinétique
- LP : Ligne Piézométrique

On se propose d'établir l'expression du débit d'écoulement du système :

Application de l'équation de Bernoulli entre les sections 1 et 2 par rapport à OO' :

Section 1 :

- *Z1*
- $P1 = P_{atm}$
- $V1 = 0$ (niveau constant)

Section 2 :

- *Z2*
- $P2 = P_{atm}$
- $V2 = V$

$$Z_1 + \frac{P_{atm}}{\rho g} + 0 = Z_2 + \frac{P_{atm}}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + h_w \Rightarrow Z_1 - Z_2 = H = \frac{V^2}{2g} + h_w$$

$$H = \frac{V^2}{2g} + h_w = \frac{V^2}{2g} + \lambda \frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} + \zeta_{en}\frac{V^2}{2g} = \left(1 + \lambda \frac{L}{D} + \zeta_{en}\right)\frac{V^2}{2g}$$

et donc :

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{L}{D} + \zeta_{en}}}\sqrt{2gH}$$

Et comme le débit : ***Q = AV =V (π D²/4)***

$$Q = \frac{\pi D^2}{4\sqrt{1 + \lambda \frac{L}{D} + \zeta_{en}}}\sqrt{2gH}$$

I.5.1.2. Sortie immergée

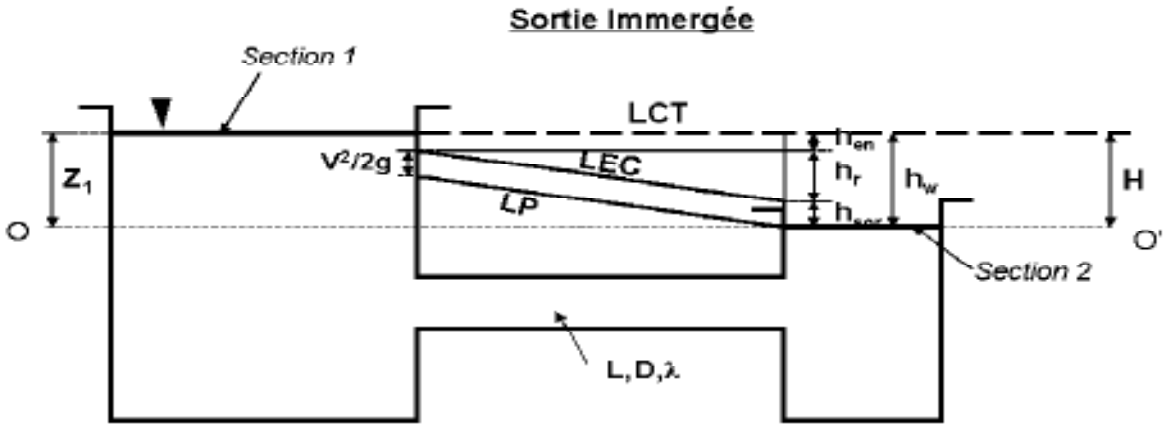


Figure N°I.27 : sortie immergée.

On se propose d'établir l'expression du débit d'écoulement du système :

Application de l'équation de Bernoulli entre les sections 1 et 2 par rapport à OO' :

Section 1 :

- *Z1 = H*
- $P1 = P_{atm}$
- *V1 = 0* (niveau constant)

Section 2 :

- $Z2 = 0$
- $P2 = P_{atm}$
- $V2 = 0$ (niveau constant)

$$H + \frac{P_{atm}}{\rho g} + 0 = 0 + \frac{P_{atm}}{\rho g} + h_w \Rightarrow H = h_w$$

$$H = h_w = \lambda \frac{L}{D}\frac{V^2}{2g} + \zeta_{en}\frac{V^2}{2g} + \zeta_{sor}\frac{V^2}{2g} = \left(\lambda \frac{L}{D} + \zeta_{en} + \zeta_{sor}\right)\frac{V^2}{2g}$$

Et donc :

$$V = \frac{1}{\sqrt{\lambda \frac{L}{D} + \zeta_{en} + \zeta_{sor}}}\sqrt{2gH}$$

Et comme le débit ***: Q = AV = V (π D²/4)***

$$Q = \frac{\pi D^2}{4\sqrt{\lambda \frac{L}{D} + \zeta_{en} + \zeta_{sor}}}\sqrt{2gH}$$

I.5.2. Conduites à Section variable (Conduites multiples)

I.5.2.1. Branchement en Série

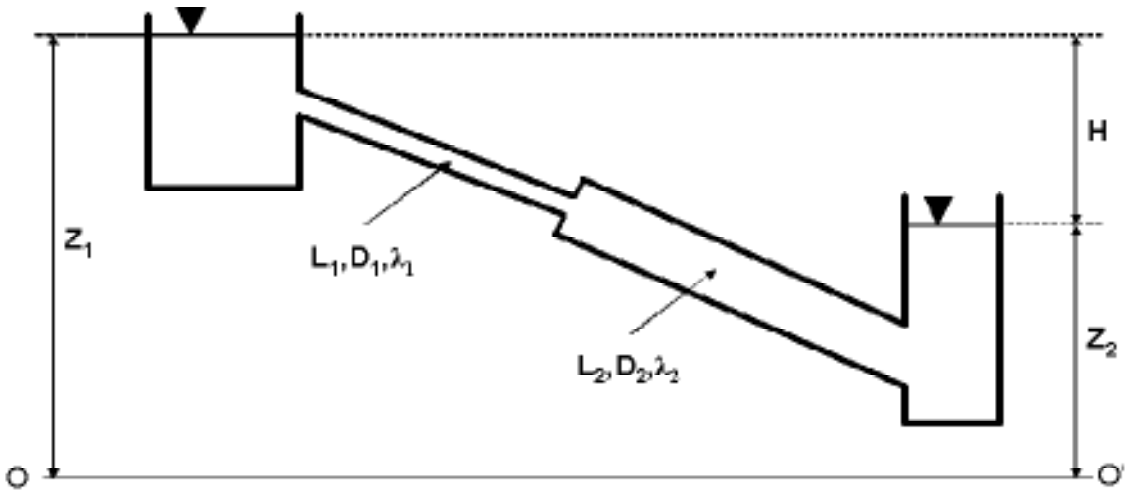


Figure N°I.28 : Branchement en série.

Equation de Bernoulli entre les sections 1 et 2 par rapport à OO' :

Section 1 :

- *Z1*
- $P1 = P_{atm}$
- *V1 = 0* (niveau constant)

Section 2 :

- *Z2*
- $P2 = P_{atm}$
- *V2 = 0* (niveau constant)

$$Z_1 + \frac{P_{atm}}{\rho g} + 0 = Z_2 + \frac{P_{atm}}{\rho g} + 0 + h_w \Rightarrow Z_1 - Z_2 = H = h_w$$

$$H = h_w = h_{r1} + h_{r2} + h_{en} + h_{eb} + h_{sor} =$$

$$\lambda_1 \frac{L_1}{D_1}\frac{V_1^2}{2g} + \lambda_2 \frac{L_2}{D_2}\frac{V_2^2}{2g} + \zeta_{en}\frac{V_1^2}{2g} + \zeta_{eb}\frac{V_1^2}{2g} + \zeta_{sor}\frac{V_2^2}{2g}$$

Or,

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \Rightarrow V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1$$

$$H = \lambda_1 \frac{L_1}{D_1}\frac{V_1^2}{2g} + \lambda_2 \frac{L_2}{D_2}\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g} + \zeta_{en}\frac{V_1^2}{2g} + \zeta_{eb}\frac{V_1^2}{2g} + \zeta_{sor}\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g}$$

$$H = \left(\lambda_1 \frac{L_1}{D_1} + \lambda_2 \frac{L_2}{D_2}\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 + \zeta_{en} + \zeta_{eb} + \zeta_{sor}\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2\right)\frac{V_1^2}{2g}$$

Et donc :

$$V_1 = \frac{1}{\left(\lambda_1 \frac{L_1}{D_1} + \lambda_2 \frac{L_2}{D_2}\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 + \zeta_{en} + \zeta_{eb} + \zeta_{sor}\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2\right)} \sqrt{2gH}$$

Et le débit correspondant :

$$Q = \frac{\pi D_1^2}{4\left(\lambda_1 \frac{L_1}{D_1} + \lambda_2 \frac{L_2}{D_2}\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 + \zeta_{en} + \zeta_{eb} + \zeta_{sor}\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2\right)} \sqrt{2gH}$$

Remarque : Simplification des Calculs : Utilisation de la formule de Chézy :

On a vu que la formule de Chézy s'écrit :

$$h_w = 1,1\ \beta\ \frac{Q^2}{K^2} L$$

Appliquée au système du schéma précédent, elle donne (en considérant β = 1,0 et en négligeant les pertes singulières) :

$$H = h_w = \frac{Q_1^2}{K_1^2} L_1 + \frac{Q_2^2}{K_2^2} L_2$$

Et comme $Q_1 = Q_2 = Q$:

$$H = Q^2 \left(\frac{L_1}{K_1^2} + \frac{L_2}{K_2^2} \right)$$ et donc : $$\boxed{Q = \frac{\sqrt{H}}{\sqrt{\frac{L_1}{K_1^2} + \frac{L_2}{K_2^2}}}}$$

- ✓ Cas de **n** conduites placées en série :
  - ➢ Les pertes de charge s'ajoutent : $h_w = h_{r1} + h_{r2} + \dots h_{rn}$
  - ➢ Les débits sont égaux : $Q = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$

Et la formule générale de calcul s'écrit :

$$\boxed{Q = \frac{\sqrt{H}}{\sqrt{\sum_1^n \frac{L_i}{K_i^2}}}}$$

I.5.2.2.Branchement en Parallèle

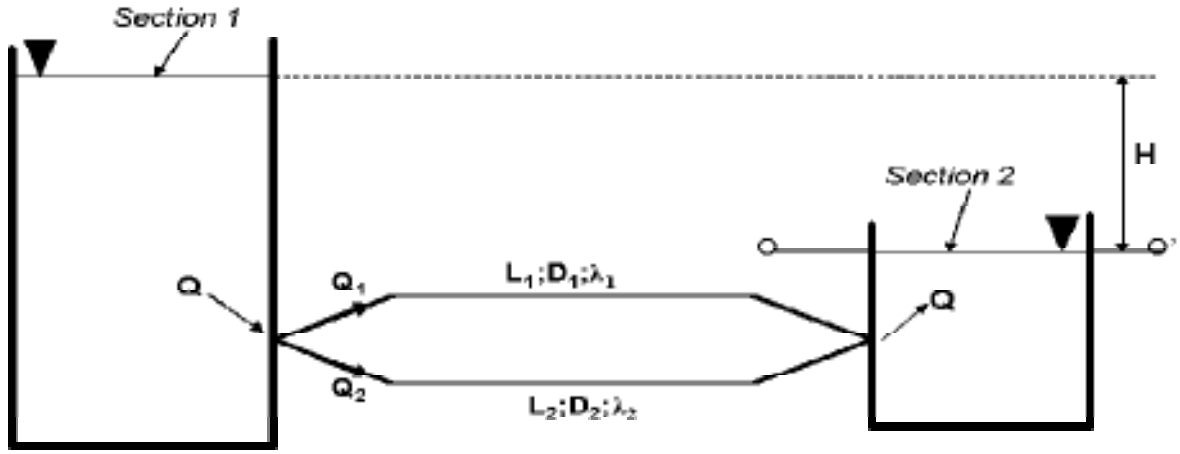


Figure N°I.29 : Branchement en Parallèle.

Equation de Bernoulli entre les sections 1 et 2 par rapport à OO' :

Section 1 :

- $Z1 = H$
- $P1 = P_{atm}$
- $V1 = 0$ (niveau constant)

Section 2 :

- $Z2 = 0$
- $P2 = P_{atm}$
- $V2 = 0$ (niveau constant)

Dans ce cas, on a vu que l'équation de Bernoulli donne : $H = h_w$

Dans le cas d'un branchement en parallèle :

- Les pertes de charges sont égales : $\boldsymbol{h_{r1} = h_{r2} = h_w}$
- Les débits s'ajoutent : $\boldsymbol{Q = Q1 + Q2}$

Or, la formule de Chézy nous permet d'écrire que :

$$h_{r1} = \frac{Q_1^2}{K_1^2} L_1 \Rightarrow Q_1 = K_1 \sqrt{\frac{h_{r1}}{L_1}}$$

Et

$$h_{r2} = \frac{Q_2^2}{K_2^2} L_2 \Rightarrow Q_2 = K_2 \sqrt{\frac{h_{r2}}{L_2}}$$

D'où :

$$Q = Q_1 + Q_2 = K_1 \sqrt{\frac{h_{r1}}{L_1}} + K_2 \sqrt{\frac{h_{r2}}{L_2}}$$

Et comme : $h_{r1} = h_{r2} = h_w = H$ (Equation de Bernoulli) :

$$\boxed{Q = \left(\frac{K_1}{\sqrt{L_1}} + \frac{K_2}{\sqrt{L_2}} \right) \sqrt{H}}$$

Et d'une manière générale :

$$\boxed{Q = \sqrt{H} \sum_1^n \frac{K_i}{\sqrt{L_i}}}$$

I.5.2.3. Conduite assurant un service de route

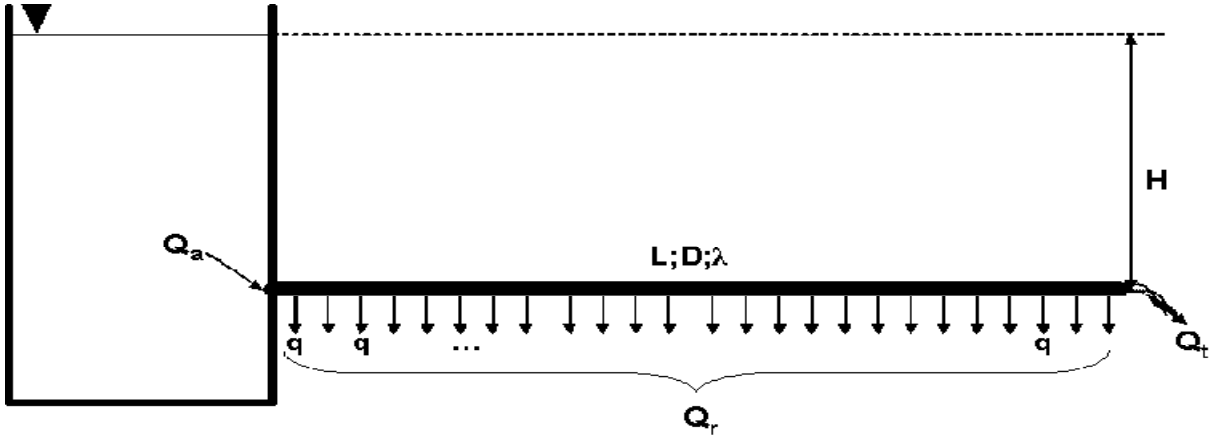


Figure N°I.30 : Conduite assurant un service de route.

Q_r **:** Débit de route = qL

Q_t **:** Débit de transit a la sortie de la conduite

Q_a **:** Débit d'alimentation = $Q_r + Q_t$

Le schéma représente une conduite de longueur L servant à la fois à Transiter un débit et distribuant uniformément tout le long un débit de Route q ($m^3/s/m$).

Ce système peut être assimilé au cas d'une conduite équivalente de même Longueur et dans laquelle passera un Débit calculé par la formule :

$$Q = Q_t + 0{,}55\,Q_r$$

Et la perte de charge correspondante est calculée en fonction de ce débit Q par la formule :

$$h_w = \frac{Q^2}{K^2} L = \frac{(Q_t + 0{,}55 Q_r)^2}{K^2} L$$

Remarque : Cas d'un débit d'alimentation complètement consommé en service de route : Dans ce cas, cela veut dire qu'il n'y aura pas de débit de transit en fin de conduite et donc

$Q_t = 0$ et par conséquent la formule précédente devient :

$$h_w = \frac{(0{,}55\ Q_r)^2}{K^2} L$$

I.5.2.4. Branchement Mixte (Série et Parallèle)

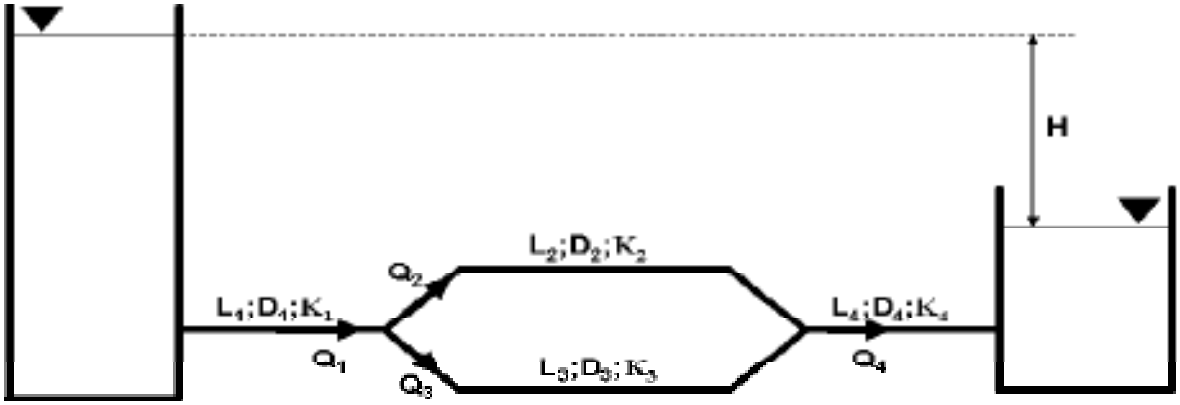


Figure N°I.31 : Branchement Mixte (Série et Parallèle).

$Q_1 = Q_2 + Q_3 = Q_4$

$h_{r2} = h_{r3}$ (conduite en parallèle)

$h_w = h_{r1} + h_{r2} + h_{r4}$

Pour ce système on peut écrire les équations suivantes :

$H = h_w$ (Equation de Bernoulli)

$Q = Q_1 = Q_2 + Q_3 = Q_4$

$h_{r2} = h_{r3}$ (Conduites en parallèle)

Exprimons les pertes de charge à l'aide de la formule de Chézy :

$$h_{r1} = \frac{Q_1^2}{K_1^2} L_1 \quad ; \quad h_{r2} = \frac{Q_2^2}{K_2^2} L_2 \quad ; \quad h_{r3} = \frac{Q_3^2}{K_3^2} L_3 \quad ; \quad h_{r4} = \frac{Q_4^2}{K_4^2} L_4$$

Comme on a : $Q = Q_1 = Q_4$

$$\Rightarrow h_{r1} = \frac{Q^2}{K_1^2} L_1 \quad \text{et} \quad h_{r4} = \frac{Q^2}{K_4^2} L_4$$

Et comme : $Q = Q_2 + Q_3$:

$$Q = K_2 \sqrt{\frac{h_{r2}}{L_2}} + K_3 \sqrt{\frac{h_{r3}}{L_3}} = \sqrt{h_{r2}} \left(\frac{K_2}{\sqrt{L_2}} + \frac{K_3}{\sqrt{L_3}} \right)$$

Ce qui donne :

$$h_{r2} = \frac{Q^2}{\left(\frac{K_2}{\sqrt{L_2}} + \frac{K_3}{\sqrt{L_3}} \right)^2}$$

Et finalement, puisque : $H = h_w = h_{r1} + h_{r2} + h_{r4}$:

$$H=\frac{Q^2}{K_1^2}L_1+\frac{Q^2}{\left(\frac{K_2}{\sqrt{L_2}}+\frac{K_3}{\sqrt{L_3}}\right)^2}+\frac{Q^2}{K_4^2}L_4=Q^2\left(\frac{L_1}{K_1^2}+\frac{L_4}{K_4^2}+\frac{1}{\left(\frac{K_2}{\sqrt{L_2}}+\frac{K_3}{\sqrt{L_3}}\right)^2}\right)$$

Et donc :

$$Q=\frac{\sqrt{H}}{\sqrt{\left(\frac{L_1}{K_1^{\,2}}+\frac{L_4}{K_4^{\,2}}+\frac{1}{\left(\frac{K_2}{\sqrt{L_2}}+\frac{K_3}{\sqrt{L_3}}\right)^2}\right)}}$$

Conclusion

De tout cela il résulte qu'il est nécessaire de calculer les conduites pour qu'elles résistent à ces phénomènes : surpressions et dépressions. En particulier, elles devront résister à l'écrasement dû à la pression atmosphérique dans le cas où les dépressions seraient suffisantes pour créer la cavitation.

Chapitre II

GENERALITE DE CANALISATION

Introduction

Depuis que l'homme s'est installé sur les berges des cours d'eau, il a toujours essayé de les domestiquer. Il a entreprit différents aménagements plus ou moins agressif, qui ont comme tout aménagement d'un cours d'eau des conséquences hydromorphologiques.

L'homme s'est servi des cours d'eau pour la ressource en eau de boisson dans un premier temps et comme source d'alimentation. Puis sont arrivés les premiers ouvrages via les lavoirs, mais aussi les premiers petits aménagements pour faciliter le déversement des ordures. Les premiers moulins sont arrivés au moyen-âge avec les premiers travaux sur le lit même des cours d'eau. Représentant également une des premières voies de communication, l'homme les a façonnés au mieux pour simplifier la navigation. C'est au XIXe siècle que les canalisations de cours d'eau sont apparues, coupant les méandres et stabilisant les berges par des pierres puis la technique des palplanches s'est imposée.

II.1.Étymologie et Définition

Le tube ou le tuyau se trouve présent à l'état naturel : les tiges des végétaux souples dans certains cas, rigides comme c'est le cas pour le bambou ; Le rachis des plumes d'oiseaux, c'est-à-dire l'axe des plumes, creux à sa base, fut aussi appelé « tube »; Le réseau souple des veine, viscères des organismes animaux. L'homme n'a donc pas eu a cherché très loin pour trouver son inspiration pour le développement à donner à son industrie.

Les tuyaux sont organisés en systèmes pour canaliser les eaux, ou autres liquides, les gaz combustibles, ou autres gaz. Ils prennent alors le nom de tuyauterie ou de canalisation, constitués de tubes ou tuyaux mis bout à bout. Canalisation renferme le verbe « canaliser », l'action de rassembler pour transporter. Tuyauterie et canalisation englobent les tuyaux ainsi que les accessoires nécessaires à la réalisation de l'opération repris sous le terme de robinetterie.

Le terme anglais « pipeline » à souvent remplacer canalisation pour le transport des gaz et liquides à très grande échelle (mais aussi les termes acqueduc, oléoduc, saumoduc, oxyduc, hydrogénoduc).

Le tuyau prend aussi le nom de « gaine » (gaine technique, gaine de ventilation) lorsqu'il sert à conduire et protéger des composants électriques ou lorsqu'il est utilisé dans une installation de ventilation.

Lorsqu'il est placé verticalement, pour conduire des gaz ou des liquides on parle de « colonne » : dans les sciences, « colonne de distillation », le système permettant de décomposer la matière, « colonne montante » pour les installations d'eau et de gaz dans les immeubles d'appartement. Pour évacuer les eaux-vannes on parle de tuyau de décharge ou même de décharge.

Quand il prend la forme d'un solénoïde, on parle de serpentin, en chimie ou dans les chaudières du chauffage central.

Dans la marine du début du XX^{e} siècle, les échappements de fumée des machines s'évacuaient par des conduits protégés par de hautes enveloppes cylindriques verticales, appelées « tuyaux ». Ainsi les torpilleurs français de 1 500 tonnes construits entre 1926 et 1931, classes Bourrasque et l'Adroit étaient communément appelés « les 3 tuyaux ». Les tuyaux ont par la suite été remplacés par des cheminées plus larges et plus courtes.

Dans certaines circonstances le tuyau prend le nom de tube ou Buse, etc.

Le façonnage des tuyaux dans leur usage domestique sont en premier le domaine de la fontainerie et plus spécifiquement du domaine du plombier, ouvrier spécialisé dans le façonnage du plomb. (Utilisé comme cheminée, celui du fumiste). Avec le développement des gaz manufacturés, les réseaux de canalisation ne sont plus du domaine exclusif de l'approvisionnement en eau.

Le terme anglais pipeline (de l'anglais) est également couramment utilisé.

Tuyau et tube sont des termes synonymes. Ils désignent l'un et l'autre le même cylindre creux qui sert à donner passage aux gaz et autres fluides. Ce qui les distingue au XIX^{e} siècle, c'est que « Tuyau » se dit « des cylindres préparés par la nature pour l'économie animale ou par l'art, pour le service de la société » et que « Tube » ne se dit que de ceux dont on se sert pour faire des « observations et des expériences en physique en astronomie en anatomie ».

« Ainsi l'on appelle tuyaux les tiges cylindriques des plumes des oiseaux, celles du blé du chanvre et des autres plantes qui ont la tige creuse, les canaux cylindriques de fer, de plomb, de bois, de terre cuite ou d'autre matière que l'on emploie à la conduite des eaux, des immondices, de la fumée, etc. Ceux d'étain ou de fer blanc qui servent à la construction des orgues, des serinettes, etc. Mais on appelle tubes les tuyaux dont on construit les thermomètres, les

baromètres et autres qui servent aux expériences sur l'air et les autres fluides ceux des lunettes à longue vue des télescopes, etc...»

Tube qui renvoie à la perfection de la forme, est un terme de science; Tuyau est de l'usage ordinaire. Le physicien et l'astronome se servent de tubes, nous employons différentes sortes de tuyaux pour conduire les liquides. Le géomètre et le physicien considèrent les propriétés du tube, nous considérons la futilité du tuyau. Le tube est en général un corps d'une telle figure. Le tuyau est plutôt un ouvrage propre pour tel usage.

Dans l'industrie et la construction, la désignation "tube" est souvent réservée de nos jours au cylindre en acier et celle de tuyau au cylindre fabriqué à partir d'autres matériaux (fonte, béton, polyéthylène, PVC, grès, fibre de verre, etc.). Toutefois cette règle souffre quelques exceptions : en électricité les gaines électriques contenant les câbles électriques sont aussi appelées « tubes». Le terme gainage ou tubage, désigne l'action de placer des tubes et est réservé à la pose d'un conduit de cheminée dans une cheminée existante mais dont l'efficacité n'est plus garantie, ou bien, la pose de gaines électriques dans les murs.

II.2.Notions sur les Canalisations

II.2.1.Définition de Canalisation

Une canalisation ou un tuyau est un élément de section circulaire destiné à l'écoulement d'un fluide, liquide, ou gaz ou d'un solide pulvérulent, au transport de l'énergie de pression (air comprimé, vapeur, huile hydromécanique, …), à l'échange de l'énergie au travers de la paroi (échangeur thermique, radiateur). Il peut être rigide ou souple (flexible). La paroi du tuyau sépare l'intérieur de l'extérieur et permet ces fonctions.



Figure N°II.01 : Sections de canalisation enterrée.

Un canal est une machine hydraulique aménagée par l'Homme dont le concepteur doit assurer la permanence d'une alimentation en eau suffisante à sa fonction (voie navigable, voie d'alimentation en eau, irrigation…) au milieu d'un environnement plus ou moins difficile. L'Homme modifie alors les caractéristiques géométriques et hydrauliques d'un cours d'eau, par curages, creusements, rectifications, élargissement, bétonnage des berges et du fond, récalibrage, etc.…

Lorsqu'il s'agit d'un tuyau, le diamètre nominal d'une canalisation peut aller de trente millimètres environ (un pouce un quart) pour des fluides spéciaux jusqu'à plus de trois mètres vingt (soixante-huit pouces) pour les adductions d'eau.

Lorsqu'une canalisation a un très petit diamètre (moins de trente millimètres environ), on parle plutôt de tuyauterie.

II.2.2.Histoire et usages dans la construction

II.2.2.1.Canalisation des eaux

Il est possible qu'à une époque préhistorique on utilisa des troncs d'arbres creux pour véhiculer l'eau, l'usage en a perduré jusqu'en 1788 pour amener la saumure de Salins-les-Bains jusqu'à la Saline royale d'Arc-et-Senans via un saumoduc (double canalisation en sapin de 21 km).

Dans l'Égypte antique on utilisait des tuyaux de cuivre pour transporter l'eau potable : un exemplaire, retiré du temple du roi Sa-Hu-Re ad Abusir et remontant à 2750 avant. J.-C. environ, est conservé au Musée national de Berlin. Un tuyau a été obtenu en agrafant une fine feuille de cuivre, afin d'obtenir un diamètre de 75 mm; l'implantation (environ 100 m de longueur) était constituée d'une série de ces tubes.

À l'époque romaine, les tuyaux de plomb (fistule latin) étaient couramment utilisés pour amener l'eau dans les cités et à l'intérieur même des maisons. Les fistules sont fabriquées à partir d'une plaque de plomb rectangulaire roulée en forme ovoïde et refermée par un cordon de soudure longitudinale. Les Romains utilisaient également des tubes en terre cuite emboîtés les uns dans les autres et scellés au mortier, pour certaines conduites d'eau chaude ou de vapeur.



Figure N°II.02 : Fistule de plomb, utilisé à l'époque romaine à l'intérieur des thermes de Bath-Angleterre

On a retrouvé sur plusieurs sites archéologiques, des amphores dont le fond a été troué, emboîtées les unes dans les autres, détournées à des fins de canalisation.

Une des premières grandes constructions de tuyau est le système de canalisation attenante à la machine de Marly, construite entre 1681 et 1682, un gigantesque dispositif de pompage des eaux de la Seine, construit sous le règne de Louis XIV à Bougival.



Figure N°II.03 : Canalisations de la première machine de Marly. XVII^{e} siècle.

Fin XVIII^{e} siècle, en termes de fontainerie, un tuyau est une conduite en fer fondu, en cuivre, en plomb, en terre cuite ou en bois, dont on se sert pour faire passer l'eau d'un lieu à un autre.

- Les tuyaux en fonte sont de différents diamètres et ont environ trois pieds de longueur, avec trois ou quatre oreilles percées à chaque extrémité par lesquelles on joint ces tuyaux au moyen d'autant de vis et leurs écrous, en mettant du cuir entre chaque jointure.

- Les tuyaux en terre sont aussi de différents diamètres et de la même longueur que ceux de fonte; ils s'emboîtent à l'extrémité les uns dans les autres, et on garnit leur jonction de mastic fait avec de la poix, de la filasse et de l'étoupe, et quelquefois on les enveloppe d'une chape de mortier de chaux et ciment.

- Les tuyaux en bois sont d'aulne ou d'orme aussi de différents diamètres, que l'on perce avec des tarières - on les emboîte les uns dans les autres comme ceux de terre.

- Les tuyaux de plomb sont de deux sortes; les uns soudés, et les autres moulés. Un « tuyau physique » est un tuyau formé d'une bande de plomb qu'on rabote et dresse à la varlope sur les deux côtés de son épaisseurs, dont on abat les deux arêtes en chanfrein, ce qui forme, la bande étant roulée, une rainure que l'on remplit d'étain ou soudure - le nom de ce tuyau lui vient de la précision qu'il faut mettre à sa fabrication. Un tuyau soudé en long -, tuyau qui est fait avec du plomb en table, roulé, et dont la soudure, étendue sur le joint, forme une côte.

- On fait aussi de cuivre rouge en planche, et de Potain ou cuivre jaune fondu.



Figure N°II.04 : Tube, autrefois, taillé dans du bois pour véhiculer l'eau

Un tuyau d'aspiration est le tuyau qui est placé entre le corps d'une pompe et le fond du puits, et dans lequel l'eau monte au moyen de l'air aspiré par le jeu du piston.

II.2.2.2.Puits

Sur le Site archéologique des Fontaines Salées, des tuyaux en bois datant du Néolithique, servent de cuvelages en bois au puits d'exploitation servant à obtenir le sel par évaporation. La datation au carbone 14 et par la dendrochronologie des fûts qui sont encore visibles de nos jours, a permis de montrer que le site a été occupé depuis 2238 avant J.-C..

II.2.2.3.Eaux de pluie, eaux vannes

Fin XVIII^{e} siècle, le tuyau de descente, tuyau qui porte les eaux d'un chéneau ou d'une cuvette jusque sur le pavé (la rue), ou qui permet d'évacuer les excréments du « siège de commodités » jusqu'à la fosse d'aisance. Dans ce dernier cas il prend aussi le nom de « poterie » ou chausse d'aisance. Celle-ci est constituée de boisseaux de poterie, vase de terre cuite sans fond de huit à neuf pouces de diamètre et un pied de long qui s'emboitent les uns sur les autres. On dit qu'un tuyau de descente d'une chausse d'aisance est « engorgé » lorsque bouché par quelque sédiment ou quelques ordures.

Au XX^{e} siècle les tuyaux de descente ou « descentes d'eau pluviale » sont en zinc, en cuivre ou en alliage de ces métaux (Zn-Cu-Ti), en PVC, etc. Les dauphins sont souvent en fonte. Les descentes des eaux vannes se font en PVC. Les canalisations d'égout se font en béton, béton armé, fibrociment, grès vernissé, PVC ou polyéthylène. Les tuyaux de drainage sont en béton poreux, fibrociment, grès vernissé, PVC ou en polyéthylène

II.2.3.Types de canalisation

Le type et le nom d'une canalisation dépendent des caractéristiques physiques et des conditions d'acheminement du produit à déplacer.

- Pour le gaz naturel, on parle de gazoduc ;
- Pour le pétrole, on parle d'oléoduc ;
- Pour l'eau industrielle ou alimentaire, on parle de canal, d'aqueduc - dans lesquels l'écoulement se fait à l'air libre - de conduite, de conduite hydraulique ou d'émissaire - constitué de tuyaux.
- Pour les eaux d'égouttage on parle d'égout.
- Pour l'eau salée, on utilise le terme de saumoduc ;
- Pour l'oxygène, on utilise le terme d'oxygénoduc ou d'oxyduc ;
- Pour l'hydrogène, on utilise le terme d'hydrogénoduc.

De manière générale, le suffixe d'origine latine "ductus", dérivé de "ducere" qui veut dire "conduire", permet ainsi de construire le nom français d'une canalisation spécialisée pour l'acheminement d'un type de produit particulier.

II.2.4.Matériaux constitutifs d'une canalisation

Les matériaux constitutifs d'une canalisation dépendent de la nature et de l'état des produits qu'elle doit acheminer.

- Les oléoducs et gazoducs sont le plus souvent construits à partir de tubes d'acier soudés bout à bout, revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol ;
- Les saumoducs ainsi que les oléoducs et les gazoducs de transport à haute pression sont construits avec des tubes d'acier soudés bout à bout et revêtus ;
- Les gazoducs de distribution de gaz moyenne pression sont généralement en polyéthylène haute densité (PEHD) ;
- Les canalisations d'eau, jadis maçonnées ou en fonte grise à graphite lamellaire, sont aujourd'hui en fonte grise à graphite sphéroïdal (également appelée fonte ductile), en polychlorure de vinyle, en polyéthylène haute densité (PEHD), mais également en béton armé ou en acier ;
- Les canalisations d'évacuation des eaux usées sont en polychlorure de vinyle, en polyéthylène ou en grès cérame
- Les canalisations de produits alimentaires sont souvent en acier inoxydable ;
- Les conduites en PRV.

II.2.5.Risques liés aux canalisations

Les risques majeurs de défaillance des pipelines sont liés aux agressions (volontaires ou involontaires) de tiers et à la corrosion interne ou externe. La corrosion externe est maintenant freinée par des dispositifs de protection cathodique.

II.2.6.Économie du transport par canalisation

Au contraire de leur investissement initial ; l'utilisation des canalisations est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres formes de transport concurrentes, au moins sur de petites et moyennes distances.

Certaines canalisations de gros diamètre et ou de grande longueur s'avèrent coûteux et parfois difficiles à mettre en œuvre selon les caractéristiques des terrains traversés. C'est le cas des ouvrages subaquatiques, des ouvrages enterrés au passage des fleuves, des ouvrages aériens sur du pergélisol qui fond, en zone de risque sismique ou politiquement instable).

Pour l'exemple de la France, les canalisations d'eau potable - **hors branchement** - **représentent 800 à 850 000 km** (*évaluations IFEN et ADF* en 2002). 10 % ont plus de 50 ans, 44 % ont plus de 30 ans. Les canalisations installées avant 1970 sont majoritairement en fonte. Les canalisations installées après 1970 sont majoritairement en plastique (*PVC-PEHD*). La longueur des canalisations est en moyenne de 40 mètres par abonné. Les communes rurales ont des réseaux plus longs, mais aussi moins performants. Le rendement primaire, défini par le pourcentage entre le volume comptabilisé et facturé et le volume mis en distribution atteint 72 % en moyenne, mais seulement 55 % pour les communes de moins de 1 000 habitants. La différence entre volume distribué et volume consommé est liée aux fuites et aux quantités consommées non facturées, telles que les eaux de lavage du domaine public ou les eaux utilisées pour la lutte contre l'incendie. Dans le cas des petites communes, l'écart vient majoritairement de fuites.

II.3.Transport Par Canalisation

Le transport par canalisation (appelé aussi parfois par le biais de l'anglicisme pipeline, dont la prononciation approximative serait païplaïne) est un mode de transport de matières gazeuses, liquides, solides ou polyphasiques réalisé au moyen de conduites constituant généralement un réseau.



Figure N°II.05 : Oléoduc du Trans-Alaska

L'évacuation gravitaire des effluents (eaux usées, eaux pluviales, tout-à-l'égout...) et le transit de produits alimentaires (bière, lait, grains...) par tuyauteries peut entrer dans cette acception. Cependant, les produits généralement visés par le terme « transport par canalisation » sont : le pétrole et autres hydrocarbures liquides, le gaz naturel et autres gaz combustibles, les produits.

Selon le produit transporté, les canalisations ont des noms ainsi que des règlementations, des techniques de construction et d'exploitation différentes.

Les principaux systèmes de transport par canalisation concernent :

- le gaz naturel, transporté par gazoduc ;
- les hydrocarbures liquides, dont surtout le pétrole, transportés par oléoduc.
- Il existe bien d'autres produits acheminés sur des distances parfois importantes, justifiant le terme de « transport », par différenciation avec des distributions locales :
- l'eau douce, principalement pour l'irrigation, dans des conduites ou émissaires ou aqueducs ;
- l'eau salée ou saumâtre, appelée « saumure », dans des saumoducs ;
- l'oxygène dans des oxygénoducs ;
- l'hydrogène dans des hydrogénoducs ;
- l'éthylène dans des éthylénoducs etc.

Des matières dangereuses (hydrocarbures, produits chimiques,..) sont donc transportées par canalisation. Cependant dans ce contexte, elles ne sont pas soumises à la réglementation sur le transport de matières dangereuses. La sécurité du transport par canalisation est réglementée par d'autres textes, notamment en France par l'arrêté multifluide du 4 août 2006 modifié (AMF) pour ce qui concerne le gaz naturel, les hydrocarbures liquides ou liquéfiés, les produits chimiques.

II.3.1.Historique Du Transport Par Canalisation

Des réseaux d'aqueducs pour la collecte et la distribution d'eau potable et d'irrigation existent depuis les temps historiques les plus anciens. Certains de ces réseaux utilisaient déjà sur certains tronçons des canalisations maçonnées ou en bois ou en métal ductile (plomb, ...).

Au XIX^{e} siècle, la civilisation industrielle a vu se développer des installations complexes (haut fourneaux, usines à gaz, centrales de vapeur, etc.) qui comprenaient des systèmes de transport locaux par canalisations en fonte, bois, acier, céramique, d'ampleur modeste.

Le premier concept industriel de transport par canalisation aurait été formulé par le Russe Dimitri Mendeleïev en 1863. Il suggéra une solution technique utilisant des tubes pour transporter du pétrole.

Un autre Russe, Vladimir Choukhov, avec la société Branobel (acronyme de Brothers Nobel) passent pour avoir construit l'un des premiers oléoducs à la fin du XIX^{e} siècle, en 1878-1880 près de Bakou.

Peu de temps auparavant, un oléoduc reliant un champ de production de Pennsylvanie à une gare de chemin de fer à Oïl Creek aurait été construit vers 1860 par l'Oïl Transport Association.

II.3.2.Composants Des Réseaux De Transport Par Canalisation

Les réseaux de transport par canalisation sont composés de tronçons de conduites et d'ouvrages connexes remplissant des fonctions précises :

- les stations d'injection ou de départ constituent les points d'entrée du réseau de transport. Suivant leur configuration et leur position géographique ce peuvent être des stations d'atterrage, des terminaux, des stations d'entrée ;
- les stations de compression (pour les gaz) ou stations de pompage (pour les liquides) sont réparties régulièrement le long des réseaux de transport pour maintenir la pression et la vitesse du fluide dans les canalisations ;
- les postes de livraison permettent de mettre la matière transportée à disposition des destinataires intermédiaires ou finaux ;
- les postes de sectionnement permettent d'isoler un tronçon de canalisation afin d'assurer sa maintenance ou de limiter les conséquences néfastes en cas de fuite. Ces postes sont parfois équipés de coupure pour introduire et recevoir des pistons (pigen anglais), destinés à contrôler les différents paramètres d'intégrité de la canalisation : géométrie, propreté, perte de métal, fissuration, etc.



Figure N°II.06 : Poste de coupure en Suisse.

La distance entre deux postes de sectionnement consécutifs dépend de la règlementation applicable, selon le fluide transporté et le pays concerné. La distance entre deux postes de coupure (ou de demi-coupure) consécutifs varie d'une dizaine de kilomètres pour de courtes antennes ou points spéciaux, à quelques centaines de kilomètres pour de grandes canalisations de transit ;

- les postes de détente ou poste de régulation permettent de diminuer la pression de fluide à l'aval. Ces postes sont souvent associés à des postes de livraison. Ils peuvent aussi séparer des portions de réseau exploités à des pressions différentes ;
- les stations d'arrivée marquent l'extrémité d'un réseau de transport. Ce peut être un réservoir de stockage ou le début d'un réseau aval de transport ou de distribution.

II.3.3.Règlementation Du Transport Par Canalisation

II.3.3.1.Les Régimes Juridiques De Transport Par Canalisation

Ce sont des lois et décrets qui déterminent les conditions générales dans lesquelles une société est autorisée à construire et exploiter un ou plusieurs ouvrages de transport.

Ces régimes sont différents selon le type de fluides et selon la nature des risques à maîtriser.

II.3.3.2.Le Règlement De Sécurité Multifluide De Transport Par Canalisation

Rénové et unifié depuis le 4 août 2006, ce règlement (arrêté interministériel dit « multifluides ») et les documents normatifs ou interprofessionnels qui le déclinent (guides GESIP, ...) définit les conditions techniques que doivent respecter les transporteurs de gaz naturel, d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés, de produits chimiques, pour construire et exploiter leurs ouvrages avec un niveau de sécurité acceptable, dans le respect de l'environnement.

II.3.3.3.La Règlementation Sur Les Travaux De Tiers

Le décret 2011-1241 du 5 octobre 2011 détermine les précautions que doivent prendre les entreprises et riverains avant de réaliser des travaux au voisinage d'ouvrages de transport, afin de préserver l'intégrité de ces ouvrages et la sécurité des biens et des personnes.

II.3.4.Économie Du Transport Par Canalisation

Dans les schémas économiques antérieurs, le transport par canalisations dédiées faisait partie d'une chaîne de valeur intégrée allant de la production à la livraison. Ses coûts d'investissement et d'exploitation étaient le plus souvent pris en charge par le producteur et/ou le vendeur de produit qui le répercutait sur son prix de vente.

Dans les nouveaux schémas économiques, et notamment dans les schémas gaziers européens d'ouverture totale du marché à la concurrence internationale, le transport (au sens large, y compris la distribution) devient une activité séparée (unbundled en anglais) gérée par des opérateurs autonomes, au service de l'ensemble des fournisseurs amont et des consommateurs avals.

Ce schéma économique qui est déjà classique aux États-Unis et qui se met en place en Europe, entraîne -- en phase transitoire -- des effets néfastes de désoptimisation des réseaux et des organisations qui font douter certains acteurs de l'efficacité de ce modèle, notamment en période de pénurie de produit et de position dominante des fournisseurs. Le niveau de prix qui reste élevé en Europe depuis la mise en place de ce nouveau marché européen du gaz a amené les industriels à remettre en question le schéma énergique actuellement promu par la Commission européenne.

II.3.5.Mise En Place D'un Système De Transport Par Canalisation

Un système de transport par canalisation nécessite :

- la construction initiale ou progressive d'un outil industriel constitué par un ensemble de canalisations et d'ouvrages annexes.
- la mise en place d'un mécanisme de gestion de cet actif industriel, basé sur des jeux de contrats entre fournisseurs de produit, opérateurs de transport et de distribution, consommateurs.

Ce modèle technico-économique est généralement contrôlé par des autorités régionales, nationales ou supranationales qui s'assurent que les règles de marché sont respectées et que la sécurité des biens et des personnes est garantie, avec un risque résiduel acceptable.



Figure N°II.07 : Plan de Gazoducs de gaz naturel russe vers l'Union européenne en 2009

II.3.6.Exploitation D'un Système De Transport Par Canalisation

Une fois le modèle économique défini et les ouvrages construits (ou acquis), la pérennité du transport par canalisation implique l'exploitation (conduite, au sens utilisation) et la maintenance (entretien) du réseau de transport.

Pour cela, l'opérateur définit des règles techniques et organisationnelles, rassemblées dans un système de management de la qualité, de la sécurité et de l'environnement conforme aux règlementations et règles de l'art en vigueur.

La conduite des flux de produits, par l'intermédiaire d'organes tels que robinets, vannes, régulateurs, évents, compteurs, ... se fait de plus en plus souvent à distance depuis un centre de répartition (dispatching en anglais), à l'aide d'un système de supervision ('SCADA') et de télécommandes.

Les systèmes de télégestion et télésurveillance des réseaux sont de plus en plus sophistiqués avec les progrès techniques réalisés. Certains opérateurs mettent en œuvre des systèmes « intelligents » voire des systèmes experts qui auscultent périodiquement l'état de la canalisation et préconisent des actions préventives ou curatives de conduite ou de réparation.

L'entretien ou le remplacement physique des organes est réalisé suivant des programmes de maintenance définis par l'opérateur et mis en œuvre par son personnel propre et/ou par des prestataires externes.

Le nettoyage ainsi que la vérification de la cylindricité des canalisations sont réalisés par le passage de pistons de conception adaptée à la fonction recherchée (piston racleur, nettoyeur, gabarit,..)

II.3.7.Sécurité Industrielle Du Transport Par Canalisation

Le transport par canalisation mobilise des fluides et des énergies qui représentent, comme toute activité industrielle, un danger. Le risque industriel lié à ce danger est estimé et traité, dans le cadre des règlementations locales et internationales en vigueur, pour être ramené à un niveau résiduel acceptable par la société, représentée par les organismes de contrôle et diverses associations.

En France, une mise en cohérence de nombreuses règles antérieures et une augmentation des exigences ont été concrétisées par l'entrée en vigueur le 15 septembre 2006 d'un nouveau règlement de sécurité de transport multifluide par canalisation, signé le 4 août 2006.

Ainsi, au delà des opérations classiques d'entretien faisant partie de l'exploitation de l'ouvrage, un diagnostic poussé des ouvrages de transport est réalisé périodiquement, en fonction des règlementations nationales et des pratiques locales. En particulier, l'intégrité physique des

canalisations est contrôlée par des mesures électriques de surface et par des auscultations électromagnétiques réalisées à partir de pistons instrumentés.

Quel que soit le niveau de sécurité visé et les moyens mis en œuvre pour l'obtenir, l'accident reste toujours possible. Tous les scénarios d'accident se ramènent à une perte de confinement du produit transporté et à une interaction néfaste du produit libéré avec l'environnement inerte ou vivant. Des plans d'urgence sont établis, en relation avec les pouvoirs publics.

II.3.8.Transport Par Canalisation

II.3.8.1.Transport Par Oléoducs Et Gazoducs

Le transport par canalisation est généralement le moyen le plus économique de transporter du pétrole ou du gaz naturel sur de grandes distances terrestres.

Pour traverser de grandes distances maritimes, bien que des techniques sous-marines existent, le transport maritime par pétrolier ou méthanier est plus économique.

Le transport par canalisation de ces hydrocarbures utilise majoritairement des tubes en acier, soudés bout à bout et revêtus pour mieux résister à la corrosion et aux agressions chimiques et mécaniques.

Le fluide transporté dans les canalisations se déplace généralement sous pression, à des vitesses variant de 1 à 6 m/s. La pression et la vitesse de circulation (ou le débit) sont créés par des pompes (pour les liquides) ou des compresseurs (pour les gaz).

Les oléoducs transportent souvent plusieurs natures de liquides, en séquences appelés « trains ». A l'interface entre deux trains, un mélange partiel de produits se crée. Le bouchon (ou zone) de mélange est éliminé à l'arrivée dans la station de réception.

Les systèmes de gazoducs, au contraire, transportent le plus souvent du gaz de composition stable dans le temps.

II.3.8.2.Transport D'hydrogène

En 2004, il y avait 1450 kilomètres de canalisations d'hydrogène à basse pression aux USA et 1500 kilomètres en Europe.

L'hydrogène est un gaz très inflammable et très léger; cela rend ses conditions de confinement particulièrement délicates.

II.3.8.3.Transport D'eau

Il y a plus de deux mille ans, la civilisation romaine a édifié de nombreux aqueducs parfois très longs et monumentaux, afin d'amener par gravité l'eau des collines et des montagnes vers les zones rurales à irriguer et les zones urbaines à abreuver.

Aujourd'hui la quasi-totalité des zones habitées bénéficie des bienfaits de l'eau courante grâce à des réseaux de transport par canalisation gérés pour le compte des communes ou des intercommunalités par des entreprises publiques ou privées. Ces compagnies des eaux ou fontainiers sont ainsi en charge d'un service public fondamental.



Figure N°II.08 : L'aqueduc de Los Angeles à Antelope Valley.

II.3.8.4.Transport De Saumure

La ville de Hallstatt en Autriche se targue de posséder le plus ancien saumoduc au monde, qui daterait de 1595. Cette canalisation est composée de 13 000 tubes et elle achemine de la saumure sur 40 kilomètres, de Hallstatt à Ebensee.

II.4.La Pose Des Canalisation

II.4.1.La Pose En Terre

La pose d'une canalisation en terre nécessite de creuser une tranchée ; celle-ci est dans la majorité des cas réalisée à l'aide d'un engin mécanique. Dans les cas de présence avérée de réseaux concessionnaires, cette fouille est alors mise en œuvre manuellement. Un grillage avertisseur est obligatoirement présent sur le réseau existant, sa couleur étant fonction de la nature du réseau ; celui-ci est installé à 0,30 m de la génératrice supérieure de la canalisation (à partir de ce grillage avertisseur, tout dégagement se fait alors manuellement) :

Tableau N°II.01 : Profondeur et couleur de grillage avertisseur

Réseau	Profondeur habituelle (m)	Couleur du grillage avertisseur
Eau usée	1,50	Marron
Eau potable	1,20	Bleu
Électricité	0,75	Rouge
Gaz	0,80	Jaune
Téléphonie	0,75	Vert
Éclairage public	0,50	-

En pose en terre, il y lieu de respecter certaines distances entre réseaux concessionnaires. Le tableau suivant présente les espacements entre réseaux.

Tableau N°II.02 : distance entre les réseaux concessionnaires

	Eau pluviale/ usée (m)	Eau potable (m)	Électricité (m)	Gaz (m)	Téléphonie (m)
Eau pluviale, eau usée	-	-	0,20	0,20	0,40
Eau potable	0,20	-	0,60 (HT) 0,30 (BT)	0,60	0,20
Électricité	0,20	0,60 (HT) 0,30 (BT)	-	0,50	0,50 parallèle 0,20 croisement
Gaz	0,20	0,60	0,50	-	0,50
Téléphonie	0,40	0,40	0,30	0,50	-
HT : haute tension. BT : basse tension.					

II.4.2.Principe De Pose Des Canalisations :

Le principe de pose de la canalisation est pratiquement le même pour toutes les conduites. Par contre le mode de pose varie d'un terrain à l'autre, ceci dans le but de diminuer l'effet des différentes contraintes agissant sur la canalisation. En principe pour permettre un écoulement naturel des eaux d'infiltration, la pose de canalisation s'effectue à partir des points hauts. Si la canalisation est posée en tranchée, celle-ci doit être suffisamment large (minimum 70 cm), de façon à permettre l'accès aux ouvriers pour effectuer le travail. Au niveau des joints, la tranchée devra présenter un élargissent plus important.

L'épaisseur du remblai au dessus de la génératrice supérieure de la conduite est variable suivant les régions du fait du gel. En général, elle est de 1 m. Une conduite doit être toujours posée avec une légère pente afin de créer des points bas pour la vidange, et des points hauts pour l'évacuation de l'aire entraîner soit lors du remplissage de la conduite soit pendant le fonctionnement. On adopte en conséquence un tracé en dents de scie avec des pentes de quelques millimètres par mètre et des changements de pente tout les 200 à 400 m.

Les canalisations doivent être éloignées lors de la pose de tout élément dure d'environ 10 m, de 30 cm des câbles électriques et de 60 cm des canalisations de gaz.

II.4.2.1.Pose De Canalisation Dans Un Terrain Ordinaire :

La canalisation est posée dans une tranchée ayant une largeur minimale de 60 cm. Le fond de la tranchée est recouvert d'un lit de sable d'une épaisseur de 15 à 20 cm convenablement nivelé. Avant la mise en fouille, on possède à un triage de conduite de façon à écarter celle qui en subies des chocs, des fissures, …, après cela on pratique la décente en lit soit manuellement soit mécaniquement d'une façon lente. Dans le cas d'un soudage de joints, cette opération doit être faite de préférence en fond de tranchée en calant la canalisation soit avec des butés de terre soit avec des tronçons de madriers en bois disposés dans le sens de la longueur de la tranchée.

Pour plus de sécurité, l'essai de pression des conduites et des jointe doit toujours avoir lieu avec remblaiement. L'essai consiste au remplissage de la conduite par l'eau sous une pression de 1,5 fois la pression de service à laquelle sera soumise la conduite en cours de fonctionnement Cette épreuve doit durée 30 min environ, la variation de niveau ne doit pas excéder 0,2 bar.

Le remblaiement doit être fait par couche de 20 à 30 cm exempts de pierre et bien pilonné et sera par la suite achevé avec des engins.

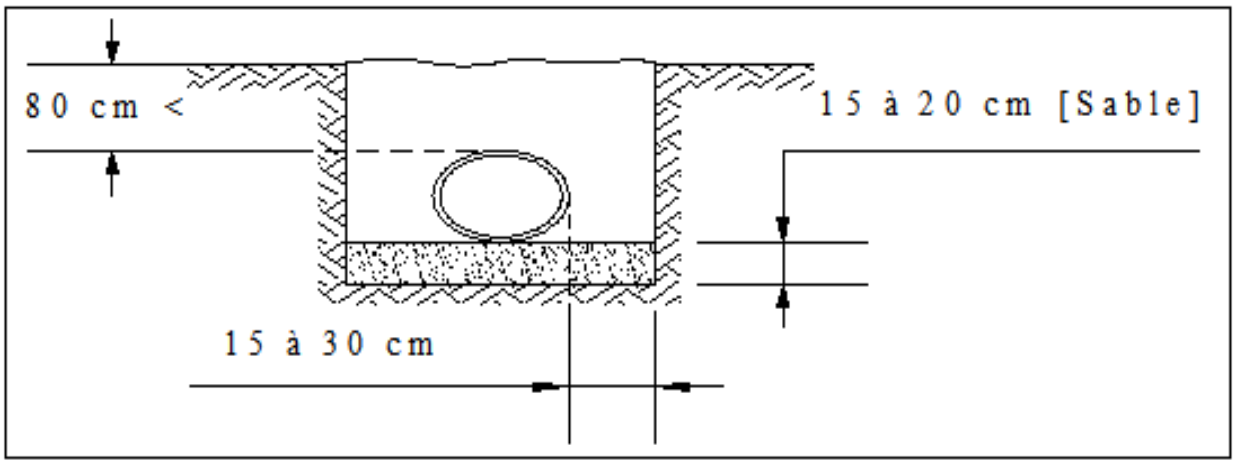


Figure N°II.09 : Pose de conduite dans un terrain ordinaire.

II.4.2.2.Pose De Canalisation Dans Un Mauvais Terrain

Si le terrain est de mauvaise qualité on peut envisager quelques solutions :

1/ Cas d'un terrain peu consistant :

Pour éviter tout mouvement de la canalisation, celle-ci doit être posée sur une semelle, en béton armé. La semelle peut être continue ou non en fonction de la nature du sol.

2/ Cas d'un terrain mouillé :

Il est convenu dans la tranchée un moyen pour le drainage (conduite par exemple) couvert d'un lit de gravier de gros diamètre par la suite un lit en béton sur lequel repose la canalisation.

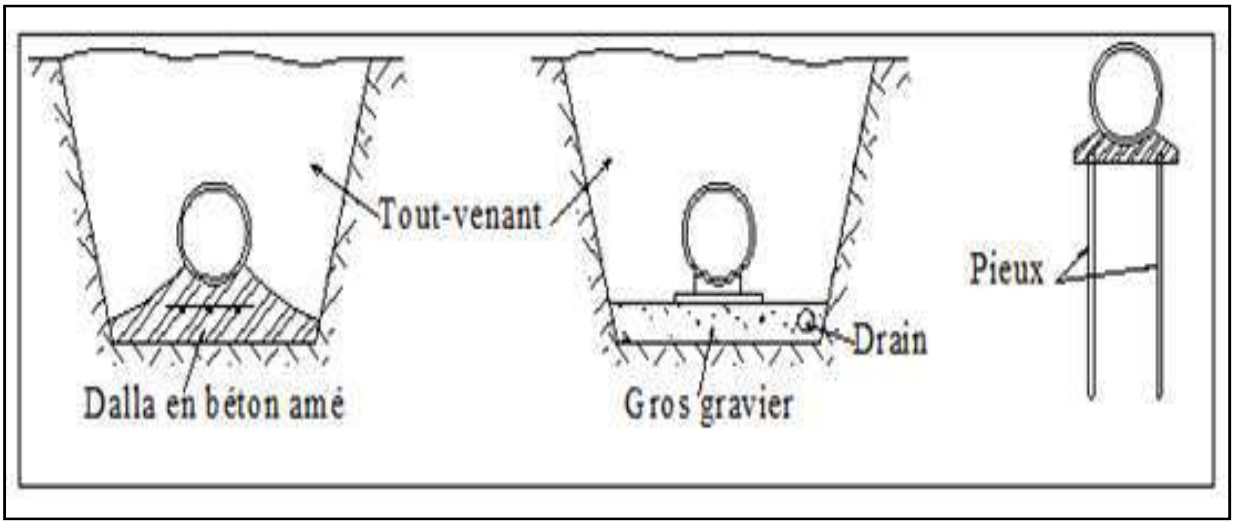


Figure N°II.10 : Pose De Conduite Dans Mauvais Terrain.

II.4.2.3.Pose De Canalisation En Galerie :

Dans certains cas le tracé de la canalisation peut rencontrer des obstacles qui nous oblige à placer la conduite dans une galerie.

Les conduites de diamètre important (sauf aqueducs) doivent être placées sur des madriers (bois de chêne) et calées de part et d'autre pour éviter leur mouvement.

Les canalisations de petit diamètre peuvent être placées dans un fourreau de diamètre supérieur et reposant sur des tasseaux en béton. Les robinets vannes sont placés des deux côtés de la route.

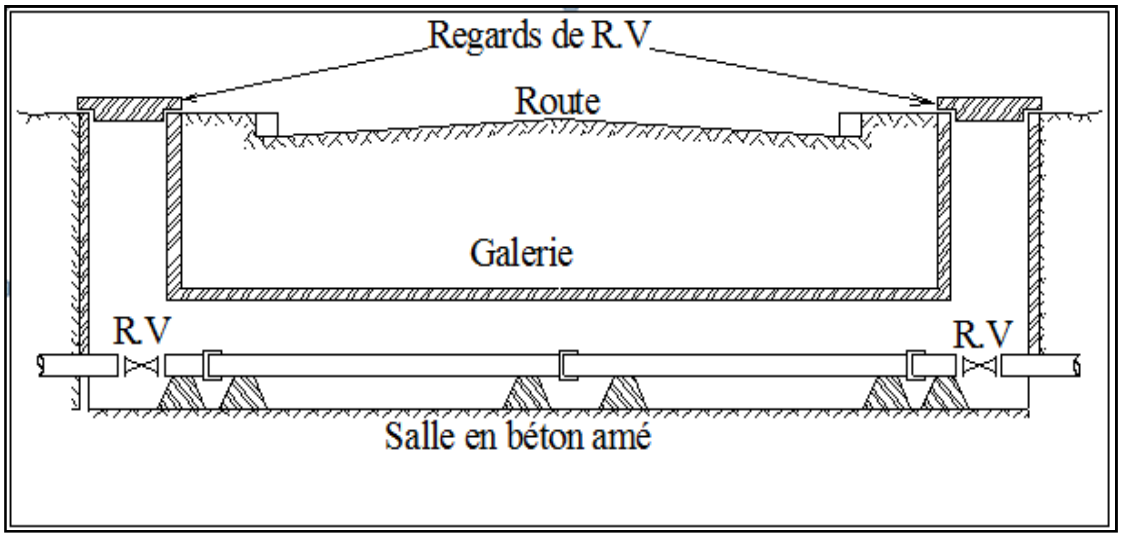


Figure N°II.11 : Pose De Canalisation En Galerie.

II.4.2.4.Traversée D'une Rivière :

La pose de canalisation à la traversée d'une rivière demande certains travaux confortatifs en fonction de l'état de la traversée et de l'importance de l'adduction. L'existence d'un pont-route servira également de support pour la canalisation, ou celle-ci sera accrochée au tablier. Dans la cas ou le pont-route n'existe pas la canalisation pourra suivre le lit de rivière, posée sur des ouvrages spéciaux (Tasseaux par exemple) et couverte de tout- venant pour être protégée contre les chocs (Dus à la navigation par exemple).

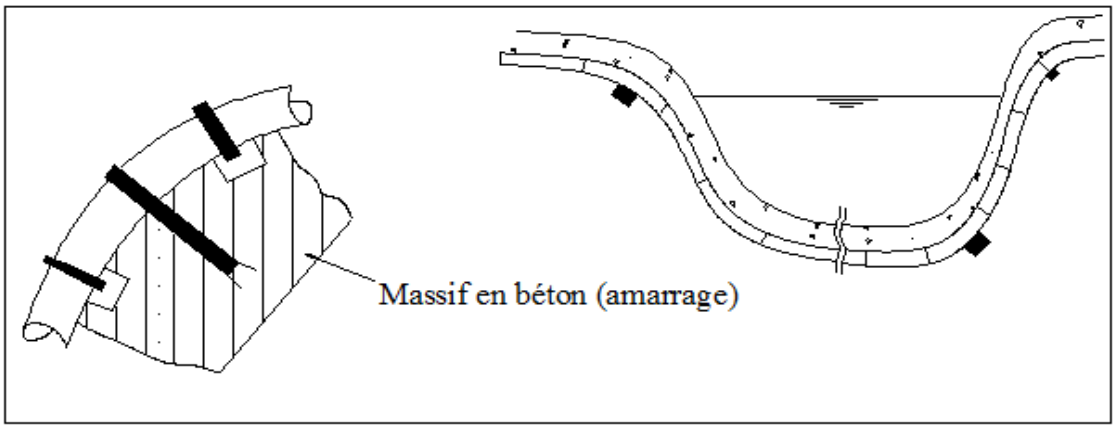


Figure N°II.12 : Pose De Canalisation En Cas De La Traversée D'une Rivière**.**

II.4.3.Les contraintes mécaniques

Un tuyau enterré reçoit de fait les actions et les réactions appliquées par le sol. Les sols disposent de comportements mécaniques très variables et complexes, il est donc normalement indispensable d'obtenir au préalable des informations détaillées sur les sols existants et/ou amenés.

Pour une pose en terre et dans les cas les plus courants, nous sommes amenés à faire des hypothèses simplifiées et, de ce fait, sécuritaires.

Une canalisation posée en terre est assise sur son lit de pose et n'est donc pas faite (normalement) pour résister longitudinalement (réaction dite en poutre) mais transversalement (*ovalisation*). Toutefois, au cours du temps, des mouvements de sol ou des fuites générant des fontis peuvent provoquer des tassements différentiels.

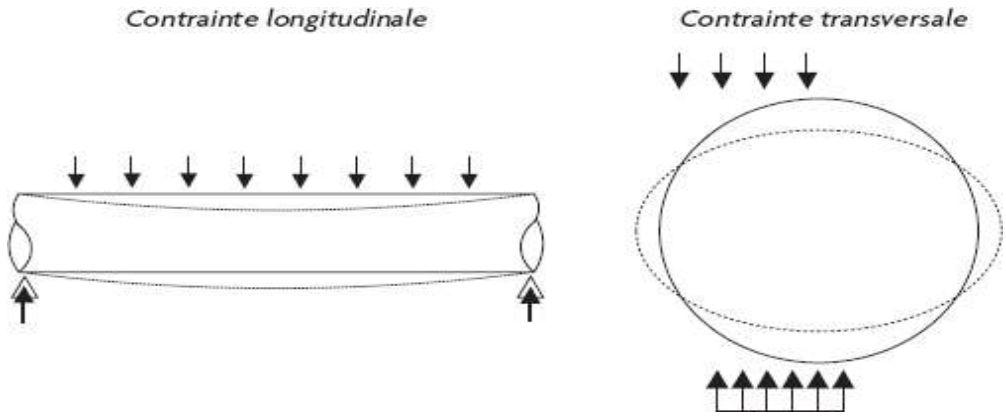


Figure N°II.13 : Les Contraintes Qui Reçoivent Par La Conduite

Sur une conduite composée de joints « souples » mécaniques, ceux-ci peuvent accepter des déviations angulaires permettant dans certaines limites de compenser sans fuite les tassements différentiels – les joints réagissent individuellement à l'instar des rotules.

Dans le cas de joints rigides tels que des conduites assemblées par soudures ou par brides, des efforts de flexion longitudinale sont exercés sur l'ensemble du linéaire de la canalisation.

Les différents efforts appliqués sur le fût d'un tuyau posé en terre sont :

- le poids propre des remblais sur la conduite ;
- les pressions verticales dues aux charges roulantes (voirie) ;
- les efforts de réaction sur l'arc de la conduite qui équilibrent ceux des remblais ;
- la pression hydrostatique due à la présence d'une éventuelle nappe phréatique, exercée normalement à la conduite (poussée d'Archimède) ;
- la pression horizontale du sol qui tend à réduire le moment d'ovalisation de la conduite.

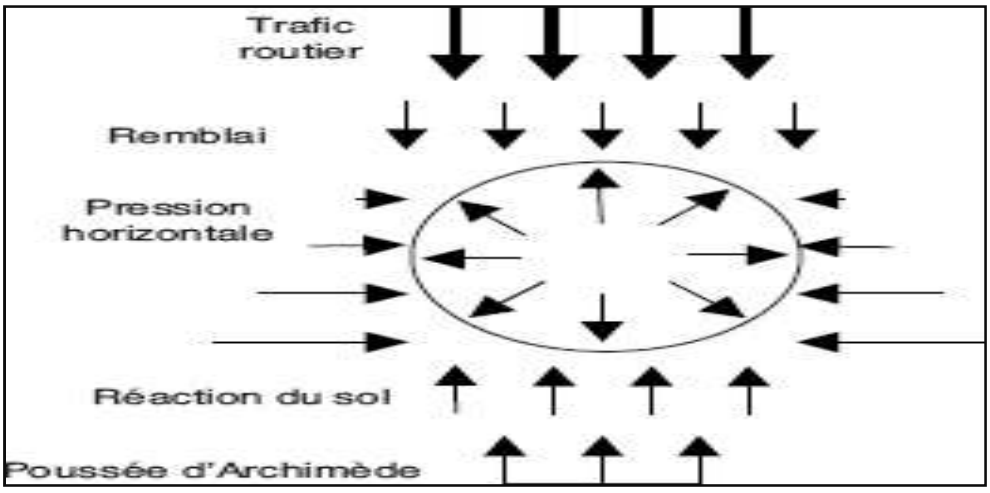


Figure N°II.14 : Les Différents Efforts Appliqués Sur Le Fût D'un Tuyau Posé En Terre.

II.4.4.La Tranchée

La pose de la canalisation en tranchée, à l'instar de la pose en ouvrage visitable, doit être réalisée avec une légère pente (pour chasser l'air aux points hauts avec des ventouses et vidanger la conduite aux points bas). De plus, son profil en long doit être le plus régulier possible afin d'éviter la multiplication des « faux » points hauts et des « faux » points bas.

Les pentes minimales à considérer sont les mêmes que pour la pose en ouvrage visitable

Les dimensions de la tranchée sont :

- en profondeur : épaisseur du lit de pose + diamètre extérieur de la canalisation + épaisseur du remblai. En agglomération, ne pas oublier les épaisseurs des fondations de la chaussée ou du trottoir ;

- en largeur : diamètre du tuyau (DN) + espace de part et d'autre du tuyau + épaisseur du blindage ou boisage.

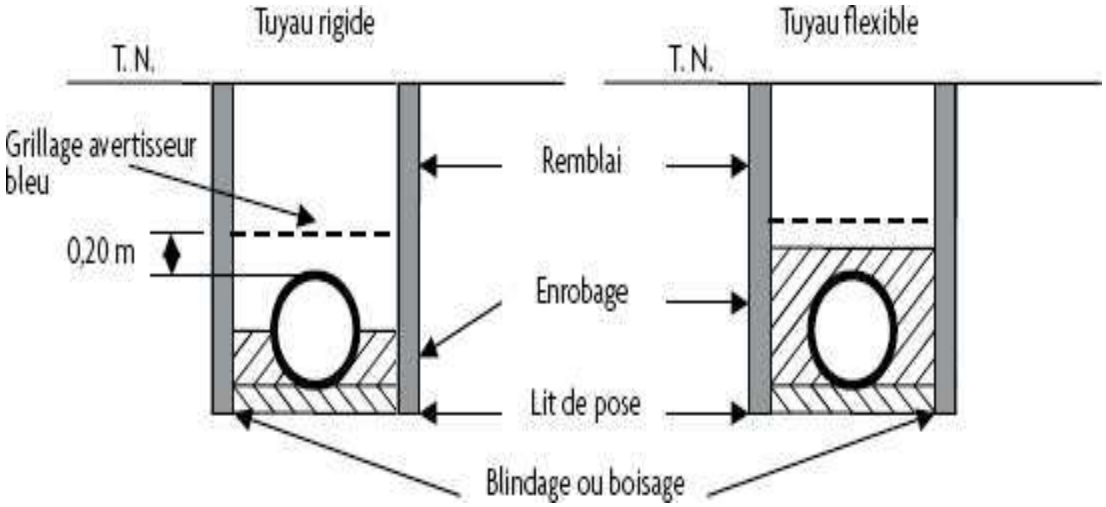


Figure N°II.15 : Section Transversale Pour Deux Tranchées

L'ouverture d'une fouille à proximité d'une construction doit être réalisée avec précaution et, dans tous les cas, à une distance minimale conseillée de 0,30 m. Des sondages de reconnaissance peuvent s'avérer nécessaires (et sécuritaires) pour repérer des réseaux signalés, mais dont la localisation est peu précise.

La largeur de la tranchée dépend du diamètre extérieur du tuyau à poser ainsi que d'une largeur supplémentaire de part et d'autre de celui-ci afin de permettre la pose du tuyau et éventuellement le boulonnage de certains joints ou pièces spéciales qui peuvent nécessiter la création de niches. Le minimum de largeur de la fouille sera de 0,90 m.

La largeur de la fouille est définie par la norme NF EN 1610 et le fascicule 71.

La profondeur de la tranchée doit intégrer la hauteur de couverture de la conduite dite profondeur hors gel entre le niveau fini et la génératrice supérieure de la conduite.

La dépose du revêtement de surface doit être réalisée avec soin – le revêtement ne doit en aucun cas être arraché – par une découpe rectiligne pour les revêtements bitumineux et l'emploi

du matériel adapté (marteau piqueur à bêche, scie à revêtements…). Pour les revêtements réutilisables, la dépose soignée et le stockage permettront leur réemploi.

L'ouverture proprement dite de la fouille présente des risques majeurs par la présence d'autres concessionnaires occupant le sous-sol (conduites de gaz, chauffage urbain…) et le risque humain (ouvriers et piétons) par l'emploi d'engins mécaniques de fouille notamment. L'emplacement des réseaux concessionnaires doit préalablement être repéré par un traçage au sol suite à la consultation (instruction technique du projet spécifique à Paris et demande de renseignement/déclaration d'intention de commencement de travaux). Avant l'exécution des travaux, il est obligatoire à Paris d'organiser une réunion sur site avec certains concessionnaires (article 14 du règlement de voirie parisien).

L'épaisseur du lit de pose est en général de l'ordre de 10 à 15 cm (en fonction de la nature du terrain d'assise), bien compacté et nivelé suivant les côtes du profil en long.

Les matériaux utilisés pour la réalisation de ce lit de pose peuvent être :

- du sable, pour des terrains rocheux ou hétérogènes ;
- du gravier, pour des terres ordinaires ;
- de la pierre concassée (formant drain) en cas de terrains imperméables et en pente (attention toutefois de contrôler préalablement la possibilité d'utiliser ces matériaux après du fabricant de la canalisation) ;
- de grave ciment pour des sols mouvants.

II.4.5.Remblaiements

En complément aux prescriptions de l'article 81 du fascicule 71 du CCTG, il est précisé

Les remblais à réaliser seront à exécuter avec des terres en provenance des fouilles. Dans le cas où la nature des terres provenant des fouilles ne permettrait pas l'exécution des remblais dans les conditions voulues, il appartiendra à l'entrepreneur d'amener des matériaux de remblais conformes.

Préalablement à l'exécution de tous remblais, la tranchée devant être remblayée devra être soigneusement nettoyée et débarrassée de tous gravois, déchets, matières végétales, etc.

Le remblai sera arasé au niveau voulu en fonction de la finition du terrain en surface.

Ce remblai sera mis en place par couches successives de 0,20 m d'épaisseur arrosées et compactées l'une après l'autre afin que la densité en place soit au moins égale à 95 % de la valeur optimale déterminée à l'essai Proctor modifié.

Le compactage de ces remblais de tranchées sera réalisé avec tous les soins requis pour obtenir la compressibilité exigée en fonction des ouvrages de surface au-dessus, et plus particulièrement pour les tranchées sous voiries, trottoirs, etc.

Le maître d'ouvrage pourra imposer les degrés de compacité à obtenir.

Les essais seront réalisés au pénétromètre, et rémunéré au bordereau.

Le maître d'ouvrage pourra faire réaliser des essais, dont les frais seront à la charge de l'entrepreneur dans le cas de résultats non conformes.

Conclusion

Avant de poser les canalisations on doit tout d'abord choisir les matériaux à utiliser ; Le choix du matériau utilisé est en fonction de la pression supportée, de l'agressivité du sol et de l'ordre économique (coût et disponibilité sur le marché) ainsi que la bonne jonction de la conduite avec les équipements auxiliaires (joints, coudes, vannes…etc.).

Parmi les matériaux utilisés on peut citer : l'acier, la fonte et le PRV

Le PRV (plastique renforcé en fibre de vers) est un matériau très répondu dans le monde vu ces qualités incomparables et ses avantages par rapport à d'autre matériaux.

Pour ce projet nous avons fait le choix de prendre ce matériau pour les qualités et les avantages qu'on a cité au dessus et qu'on va les citer dans le chapitre ci-après ;

Chapitre III

CANALISATION EN PRV

Introduction

Le PRV (polyester renforcé en fibre de vers) est un matériau très répondu dans le monde vu ces qualités incomparables et ses avantages par rapport à d'autre matériaux.

Conduite en fibre de verre est fabriqué à partir de renforts de fibres de verre noyées dans, ou entouré par, durci de résine thermodurcissable. Cette structure composite peut également contenir des agrégats, granulaires ou plaquettes charges, des agents thixotropes, et des pigments ou des colorants. En sélectionnant la combinaison appropriée de résine, des fibres de verre, des charges, et de la conception, le fabricant peut créer un produit qui offre un large éventail de propriétés et les caractéristiques de performance. Sur des années, la diversité et la polyvalence des matériaux utilisés pour la fabrication de fibres de verre conduite ont conduit à une variété de noms pour les Conduites en fibre de verre. Parmi ceux-ci sont renforcés thermodurcissable Conduites de résine (RTRP), tuyau de mortier polymère renforcé (RPMP), la fibre de verre époxy renforcée (FR), polyester renforcé de verre (PRV), et la fibre de verre en plastique renforcé (FRP). Les conduites en fibre de verre ont également été classés par la fabrication particulière processus enroulement filamentaire ou coulée centrifuge. Souvent, la résine particulière utilisé pour fabriquer la fibre de verre pipe- époxy, polyester ou vinyle ester a été utilisé pour classer ou de qualité des Conduites en fibre de verre. Indépendamment des nombreuses combinaisons possibles, la désignation la plus courante et utile est tout simplement " conduite en fibre de verre. " Ce nom englobe tous les différents disponibles produits et permet d'envisager comme une classe unique et générale de l'ingénierie matériaux.

III.1.Histoire et l'utilisation

III.1.1.Histoire

Conduite en fibre de verre a été introduit en 1948. La demande la plus ancienne pour la tuyauterie en fibre de verre, et encore l'un des plus largement utilisé, est dans l'industrie pétrolière. Conduite en fibre de verre était choisi comme une alternative résistant à la corrosion à l'acier protégé, acier inoxydable, et d'autres métaux plus exotiques. Les lignes de produits élargies pour inclure des applications de plus en plus haute pression et tube au fond du trou avec raccords filetés. À la fin du années 1950, de plus grands diamètres sont devenus disponibles et la conduite en fibre de verre a été de plus en plus utilisée dans l'industrie de procédé chimique en raison de la corrosion inhérente des Conduites caractéristiques.

Depuis les années 1960, les produits de tubes en fibre de verre ont été utilisées pour l'eau et des eaux usées municipales applications. Conduite en fibre de verre combine les avantages de durabilité, de résistance, et résistance à la corrosion, éliminant ainsi la nécessité de revêtements intérieurs, des revêtements extérieurs, et une protection cathodique.

Systèmes de conduites en fibre de verre offrent une grande souplesse de conception avec une large gamme de diamètres de conduites et de raccords standards disponibles, ainsi qu'une inhérente capacité de fabrication sur mesure pour répondre aux besoins spéciaux. Tuyau en fibre de verre est disponible en diamètres allant de 1 po à 144 po (25 mm par 3600 mm). Il est disponible dans les classes de pression allant de demandes de gravité par plusieurs mille par pouce carré (kPa). Il ya peu de pays dans le monde où il n'a pas été utilisé.

III.1.2.Applications

Conduite en fibre de verre est utilisée dans de nombreuses industries et pour une multitude d'applications, y compris :

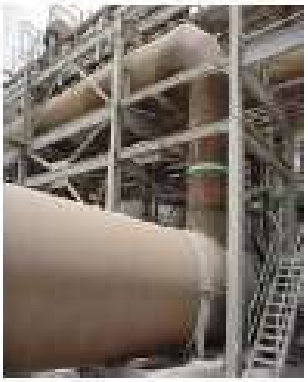
- Les processus chimiques,
- Dessalement,
- Tube au fond du trou et le boîtier,
- Tuyau et la tuyauterie de ventilation,
- Géothermique,
- Les effluents industriels,
- Irrigation,
- Champs de pétrole,
- L'eau potable,
- Refroidissement de la centrale et de l'eau brute,
- Egouts sanitaires, pluviaux
- L'apport d'eau de mer et les émissaires,
- Tuyauterie de suspension,
- Distribution et transmission de l'eau.



Utilisation du PRV en assainissement



Utilisation du PRV dans les grands transferts



Utilisation du PRV en industrie

Figure N°III. 01 : Domaine d'utilisation des conduites en PRV.

III.1.3.Normes, spécifications, et documents de référence

De nombreuses organisations ont publié des normes reconnues à l'échelle nationale, les méthodes d'essai, spécifications et pratiques recommandées sur la fibre de verre et de produits systèmes canalisations. Ces organisations comprennent :

- American Society for Testing and Materials (ASTM),
- American Petroleum Institute (API),
- American Society of Mechanical Engineers (ASME),
- La NSF International (NSF),
- Underwriters Laboratoires (UL),
- Factory Mutual Research (FM),
- American National Standards Institute (ANSI),
- International Organization for Standardization (ISO).

Voici une liste des normes et spécifications de Conduites en fibre de verre qui sont couramment utilisé dans la spécification, les essais et l'utilisation des systèmes de canalisations en fibre de verre.

III.1.3.1.Spécifications et classifications produit

1. Général

- **ASTM D2310 :** Classification type pour machine - Made " en fibre de verre » (Glass-Renforcé de fibres de résine thermodurcissable) Tuyau.

- **ASTM D2517 :** spécification standard pour tube renforcé à base de résine époxy de gaz sous pression et les raccords.
- **ASTM D2996 :** Spécification standard pour enroulement filamentaire "en fibre de verre" (Glass-Renforcé de fibres de résine thermodurcissable) tuyau (Applicable à époxy, polyester et les résines de furanne dans les tailles de 1 po à 16 po [25 mm à 400 mm]).
- **ASTM D2997 :** Spécification standard pour centrifugés " en fibre de verre " (Fibre de verre renforcée de résine thermodurcissable) tuyau (Applicable pour 1 po par 14 po [25 mm à 350 mm] tuyau de polyester Ou des résines époxy.
- **ASTM D3262 :** Spécification standard pour " Fibre de verre " (verre renforcé de fibres De résine thermodurcissable) Conduites d'égouts (applicable pour les Conduites 8 po à 144 po [200 mm par 3700 mm] de diamètre, avec ou sans sable siliceux et de polyester ou de résine époxy).
- **ASTM D3517 :** Spécification standard pour " Fibre de verre " (verre renforcé de fibres De résine thermodurcissable) tuyau de Pression (applicable pour les Conduites 8 po à 144 po [200 mm par 3700 mm] de diamètre, avec ou sans sable siliceux et de polyester ou de résine époxy).
- **ASTM D3754 :** Spécification standard pour " Fibre de verre " (verre renforcé de fibres De résine thermodurcissable) égouts et Conduites de pression industriels (Applicable pour 8 po à 144 po [200 mm par 3700 mm] diamètre, avec ou sans sable siliceux, polyester ou époxy et résine).
- **ASTM D4024 :** Spécification standard pour machine Made " en fibre de verre » (Glass-Renforcé de fibres de résine thermodurcissable) Brides (applicable pour 1/2 po par 24 po [13 mm à 600 mm] ANSI B16.5 £ 150 [70 kg] brides de cercle de boulon).
- **ASTM D4161 :** Spécification standard pour " Fibre de verre " (verre renforcé de fibres De résine thermodurcissable) Raccords de Conduites à l'aide élastomère flexible scellés.
- **ASTM F1173 :** Spécification standard pour la résine thermodurcissable en fibre de verre Conduites Systèmes utilisés pour les applications marines.
- **API 15LR :** Spécification pour basse pression en fibre de verre Pipe Line (Applicable à 2 po par 24 po [50 mm à 600 mm] tuyau de diamètre époxy ou une résine de polyester pour une utilisation à des pressions cycliques à 1000 psi [6895 kPa]).
- **API 15hr :** Spécification pour haute pression en fibre de verre Pipe Line (Applicable à 1 po par 10 po [25 mm à 250 mm] Conduites et raccords pour des pressions de fonctionnement de 500 psi [3500 kPa] à 5000 psi [35000 kPa]).

- **ANSI / AWWA C950 standard :** AWWA standard pour tuyau de pression de fibre de verre.

2. Spécifications militaires américaines

- **MIL P24608 :** pour tuyau de résine époxy de 1/ 2 po par 12 po (13 mm à 300 mm) de diamètre pour le service 200 psi (1379 kPa) à 150 ° F (66 ° C) pour les applications à bord des navires de l'US Marines (US Navy).
- **MIL Spécification P28584A :** pour les Conduites et raccords de 2 po par résine époxy 12 po (50 mm par 300 mm) de diamètre pour une utilisation comme condensats de vapeur Retour Lignes en service continu à 125 psi (862 kPa) et 250 ° F (121 ° C).
- **MIL Spécification P29206A :** pour époxy ou de polyester tuyau et les raccords 2 po par 12 po (50 mm à 300 mm) de diamètre pour POL services à 150 ° F (66 ° C) et 150 psi (1034 kPa) avec des pointes à250 psi (1724 kPa).

III.1.3.2.Pratiques recommandées

- **ASTM D3567 :** Pratique standard pour déterminer les dimensions de " fibre de verre " (Fibre de verre renforcée de résine thermodurcissable) Conduites et raccords installation.
- **ASTM D3839 :** Guide standard pour Underground installation de " fibre de verre " (Fibre de verre renforcée de résine thermodurcissable) Tuyau.
- **API RP15TL4 :** soin et l'utilisation de fibre de verre Boyaux.
- **API RP1615 :** installation de systèmes de stockage de produits pétroliers souterrains.

III.1.3.3.Méthodes d'essai normalisées

1. Les propriétés de traction

- **ASTM D638 :** Méthode d'essai standard pour la traction Propriétés des plastiques.
- **ASTM D1599 :** Méthode d'essai standard de résistance à court temps hydraulique défaut pression de Conduites, tubes et raccords.
- **ASTM D2105 :** Méthode d'essai standard pour longitudinales tendues Propriétés de " Fibre de verre " (fibre de verre renforcée de résine thermodurcissable) Tuyau et Tube.
- **ASTM D2290 :** Méthode d'essai standard pour la résistance apparente cercle de traction de Plastique ou de tuyau en plastique renforcé par la méthode des disques de Split.

2. Propriétés de compression

- **ASTM D695 :** Méthode d'essai standard pour les propriétés de compression de plastique rigide.

3. Propriétés de flexion

- **ASTM D790 :** Méthodes d'essai standard pour les propriétés de flexion de non armé et plastiques renforcés et matériaux isolants électriques.
- **ASTM D2925 :** Méthode d'essai standard pour déviation du faisceau de "fibre de verre" (Fibre de verre renforcée de résine thermodurcissable) tuyau Sous la pleine Bore débit.

4. Résistance à la pression interne à long terme

- **ASTM D1598 :** Méthode d'essai normalisée pour le temps à la rupture de tuyau en plastique sous pression interne constante.
- **ASTM D2143 :** Méthode d'essai standard pour la force de pression cyclique de renforcé, Conduites de plastique thermodurcissable.
- **ASTM D2992 :** Pratique standard pour l'obtention de conception hydrostatique ou pression base de" fibre de verre" (fibres de verre thermodurcissable renforcé -Résine) Conduites et raccords.

5. Rigidité de tuyau

- **ASTM D2412 :** Méthode d'essai standard pour la détermination de chargement externe Caractéristiques de Conduites en plastique par plaques parallèles chargement.

6. Pression externe

- **ASTM D2924 :** Méthode d'essai standard pour résistance à la pression externe de "Fibre de verre " (fibre de verre renforcée de résine thermodurcissable) Tuyau.

7. Résistance chimique

- **ASTM C581 :** Pratique standard pour la détermination de la résistance chimique des thermodurcissables résines utilisés dans les structures de verre renforcé de fibres destiné à la fonction Liquide.
- **ASTM D3681 :** Méthode d'essai standard pour la résistance chimique de " fibre de verre " (Fibre de verre renforcée de résine thermodurcissable) tuyau dans un déviée Etat.
- **ASTM D5365 :** Méthode d'essai standard pour longue durée Ring- contrainte de flexion de " Fibre de verre " (fibre de verre renforcée de résine thermodurcissable) Tuyau.

III.1.3.4.Liste des produits, les approbations et des codes de conduites :

Numéros NSF International - standard 14 et 61. Tests et listes de fibre de verre Conduites, raccords et adhésifs pour utilisation dans le transport d'eau potable. En outre des essais et que les produits de leur classement à un niveau national applicable ou pour propriétés particulières (standard 14 seulement).

Souscripteurs Laboratoires, Inc. fournit des normes établies pour les tests et la liste tuyau en fibre de verre pour une utilisation en tant souterrains conduites d'eau d'incendie et de métro le transport de produits pétroliers.

Usine recherche mutuelle. A établi une norme d'homologation pour le plastique tuyau et raccord pour le service de protection contre l'incendie souterrain.

ANSI / ASME B31.1 -Power code tuyauterie. Ce code prévoit minimum exigences pour la conception , les matériaux , la fabrication , le montage , les essais et l'inspection des alimentation et services auxiliaires des systèmes de canalisations pour les stations de production d'électricité , industrielle plantes institutionnels , et les installations de chauffage central et de district .

ANSI / ASME B31.3 - usine chimique et raffineries de pétrole code tuyauterie. Ce code énumère certains ASTM, AWWA, et les spécifications de tuyauterie API de fibre de verre comme acceptable pour une utilisation dans le code et établir des critères pour leur installation et leur utilisation. Ces codes, en plus d'autres codes ASME, établissent des règles concernant l'application de la tuyauterie de fibre de verre et de fournir des indications d'ingénierie pour l'utilisation de matériaux en fibre de verre.

ANSI / ASME B31.8 – Transmission de gaz et distribution des systèmes de tuyauterie Code. Ce code énumère tuyau en fibre de verre fabriqué en conformité avec la norme ASTM D2517 comme acceptable pour une utilisation dans le code.

Ministère des Transports, titre 49, partie 192. Il s'agit d'un code de gouvernement fédéral réglementation qui couvre le transport de gaz naturel et autres par canalisations. Minimum normes fédérales sont inclus.

ASME sur les chaudières et appareils à pression Case N155. Ce code prévoit les règles pour la construction de systèmes de canalisations en fibre de verre pour utilisation dans la section III, division I, classe 3 applications dans les centrales nucléaires.

III.1.3.5.Organisation internationale de normalisation

III.1.3.5.1.Normes et spécifications

ISO a publié de nombreuses normes, méthodes d'essai et des rapports techniques relatifs à la fibre de verre Systèmes de canalisations et de produits. Beaucoup de leurs titres, ainsi que la teneur générale, sont très similaires aux normes US émises couverts auparavant.

1. **Spécifications du produit**

- **ISO 10467 :** Systèmes de canalisations en plastique pour la pression et sans pression de drainage et les matières plastiques thermodurcissables assainissement - renforcés de verre (PRV) Les systèmes à base de polyester insaturé (UP) de résine.
- **ISO 10639 :** Systèmes de canalisations en plastique pour l'eau de pression et sans pression plastiques thermodurcissables offre renforcés de verre (PRV) Systèmes sur la base de polyester insaturé (UP) de résine.

2. **Les méthodes d'essai**

- **ISO 7432 :** Renforcés de verre plastiques thermodurcissables (PRV) de Conduites et raccords - Méthodes d'essai pour prouver la conception de verrouillage prise - et – robinet joints, y compris les joints à double socket, avec joints en élastomère.
- **ISO 7509 :** Plastiques tuyauterie Systems - renforcés de verre plastiques thermodurcissables (PRV) - Détermination du temps à l'échec sous durable pression interne.
- **ISO 7510 :** Plastiques tuyauterie Systems - renforcés de verre plastiques thermodurcissables (PRV) des composants de détermination des quantités de constituants en utilisant la méthode gravimétrique.
- **ISO 7511 :** Plastiques tuyauterie Systems - renforcés de verre plastiques thermodurcissables (PRV) et les méthodes raccords - test afin de prouver l'étanchéité de la paroi sous pression interne à court terme.
- **ISO 7684 :** Plastiques tuyauterie Systems - renforcés de verre plastiques thermodurcissables (PRV) - Détermination du facteur de fluage sous sec conditions.
- **ISO 7685 :** Plastiques tuyauterie Systems - renforcés de verre plastiques thermodurcissables (PRV) - Détermination de la rigidité spécifique initiale de l'anneau.
- **ISO 8483 :** renforcés de verre plastique thermodurcissable (PRV) de Conduites et raccords - Méthodes d'essai pour prouver la conception des assemblages à brides boulonnées
- **ISO 8513 :** Plastiques tuyauterie Systems - renforcés de verre plastiques thermodurcissables (PRV) - Détermination des propriétés de traction longitudinale.

- **ISO 8521 :** Plastiques tuyauterie Systems - renforcés de verre plastique thermodurcissable (PRV) - Détermination de la circonférence initiale apparente résistance à la traction.
- **ISO 8533 :** Renforcés de verre plastique thermodurcissable (PRV) de Conduites et raccords - Méthodes d'essai pour prouver la conception des joints cimentés ou enveloppés.
- **ISO 8639 :** Renforcés de verre plastique thermodurcissable (PRV) de Conduites et raccords - Méthodes d'essai pour l'étanchéité des joints flexibles.
- **ISO 10466 :** Plastiques tuyauterie Systems - renforcés de verre plastiques thermodurcissables Méthode (PRV) - test pour prouver la résistance à l'anneau initial déviation.
- **ISO 10468 :** en plastiques thermodurcissables renforcés de verre (PRV) – Détermination de la rigidité de fluage de sonnerie spécifique à long terme en vertu humide conditions et le calcul du facteur de fluage mouillé.
- **ISO 10471 :** en plastiques thermodurcissables renforcés de verre (PRV) – Détermination de la souche ultime à la flexion à long terme et le long terme ultime déflexion annulaire rapport dans des conditions humides.
- **ISO 10928 :** Plastiques tuyauterie Systems - renforcés de verre plastiques thermodurcissables (PRV) et raccords - Méthodes d'analyse de régression et leur utilisation.
- **ISO 10952 :** Plastiques tuyauterie Systems - renforcés de verre plastiques thermodurcissables (PRV) et accessoires - Détermination de la résistance aux produits chimiques attaque de l'intérieur d'une section dans un état dévié.
- **ISO 14828 :** en plastiques thermodurcissables renforcés de verre (PRV) – Détermination de la rigidité de la détente de sonnerie spécifique à long terme au titre de des conditions humides et le calcul du facteur de relaxation au mouillé.
- **ISO 15306 :** en plastiques thermodurcissables renforcés de verre (PRV) – Détermination de la résistance à la pression interne cyclique.

3. Les rapports techniques :

- **ISO / TR 10465-1** L'installation métro de souplesse thermodurcissable renforcé de verre Les procédures d'installation : résine (PRV) - Partie 1.
- **ISO / TR 10465-2** L'installation métro de souplesse thermodurcissable renforcé de verre résine (PRV) - Partie 2: Comparaison de calcul statique méthodes.
- **ISO / TR 10465-3** L'installation métro de souplesse thermodurcissable renforcé de verre résine (PRV) - Partie 3: Paramètres d'installation et limites d'application.

III.1.4.Terminologie

En fibre de verre des Conduites peuvent rencontrer une terminologie unique, ou inconnue. Un glossaire des termes utilisés dans ce manuel et par ceux de l'industrie des tubes en fibre de verre est prévu au la fin de ce manuel.

III.2.Caractéristiques, Matériaux et Propriétés

III.2.1.Générale

Tube de fibre de verre est un système de matériau composite réalisé à partir de renforts en fibres de verre, des résines thermodurcissables en plastique, et des additifs. En choisissant la bonne combinaison et la quantité de matériaux et le procédé de fabrication spécifique, le concepteur peut créer un produit pour répondre aux besoins les plus exigeants. Le résultat est un matériau avec un large éventail de caractéristiques et d'attributs de performance.

III.2.2.Caractéristiques

III.2.2.1.Les avantages

Le PRV (polyester renforcé en fibre de vers) est un matériau très répondu dans le monde vu ces qualités incomparables et ses avantages par rapport à d'autre matériaux.

- Très économiques ;
- Disponibilité sur le marché (production locale) ;
- Résistance à des grandes pressions (>à 20 bars) ;
- Permettre une pose simple et adéquate ;
- Réduction des pièces spéciales ;
- Résistance exceptionnelle à la corrosion ;
- Durée de vie minimum 50 ans.

1. Autres avantages

Les conduites en PRV sont plus avantageux point de vue stockage et transport, et parmi ces avantages:

- L'emboîtement des Conduites de diamètres différents, facilite le transport et le stockage ;
- Pas de dispositif particulier de stockage sur chantier ;
- Peut être stocké au soleil ;
- 1/4 du poids de la fonte, 1/10 du béton ;
  - Pour 600 mm / 16 bars
  - PE - 103 kg/ml, PRV- 33 kg/ml
- Pas d'équipements lourds ;
- Coût d'installation réduit ;
- Tolère jusqu'à 3° de déflection ;
- Chargement, déchargement et installation facile ;
- Pas d'infiltration et exfiltration :
  - Pas de perte d'eau et pas de pollution.



Figure N°III.02 : Conduites en PRV sur chantier.

2. Comparaison entre BETON et PRV

Tableau N°III.01 : Comparaison entre le PRV et le Béton

PRV	BETON
✓ **Coût d'installation réduit du à sa légèreté ;**	▪ Lourd et difficile à manipuler ;
✓ **Longueur importante (12 m) (moins de jointures) ;**	▪ Petite longueur ;
✓ **Résistance exceptionnelle à la corrosion ;**	▪ Peu résistant à la corrosion;
✓ **faible friction interne ;** **Coût de pompage réduit ;**	▪ Friction interne élevée; Augmente le coût de pompage ;
✓ **Mieux adapté au séisme ;**	▪ Pas adapté à la zone sismique ;
✓ **Durée de vie 50 ans.**	▪ Durée de vie 20 ans.

3. Coefficient de perte de charge

Sur la base d'essais effectués sur une période de trois ans sur des tubes PRV, le coefficient de Colebrooke– White est de 0.029mm. Ceci correspond à un coefficient de perte de charge de Hazen – Williams d'environ C-150.

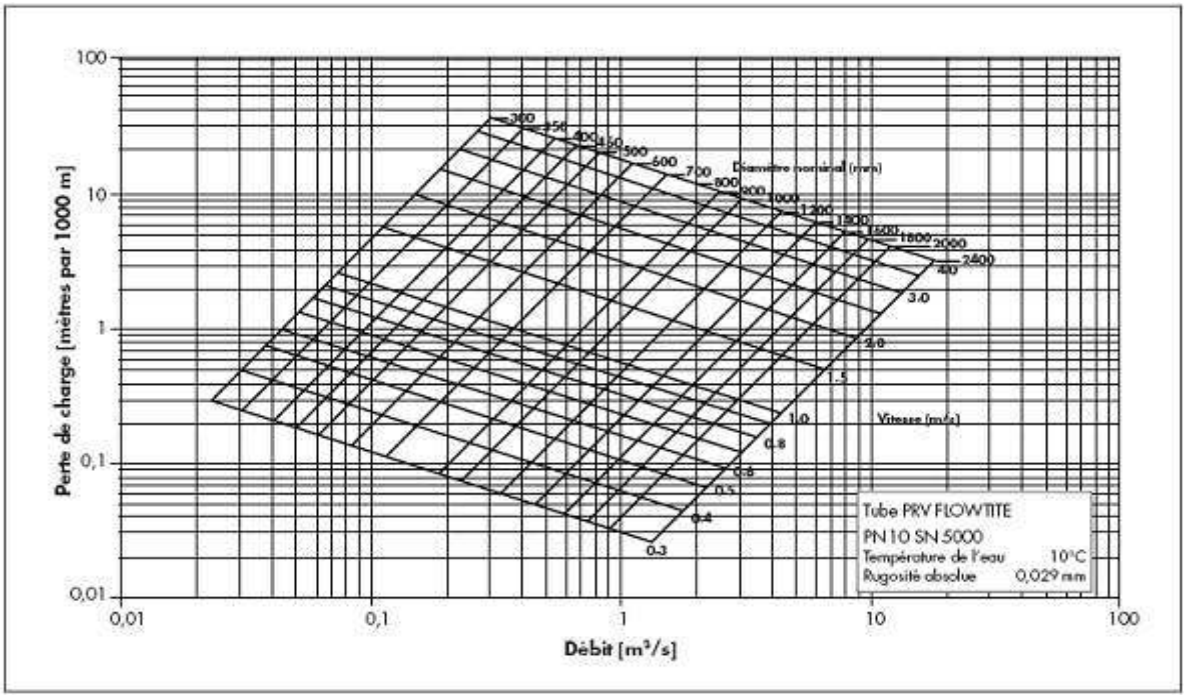


Figure N° III.03 : Abaque de COLEBROOKE pour les pertes de charges du tuyau PRV.

III.2.2.2.Dimensions

III.2.2.2.1.Diamètre nominale

Les canalisations seront fournies selon les diamètres nominaux détaillés dans le projet. Les diamètres sont disponibles du diamètre 300 à 3000 mm.

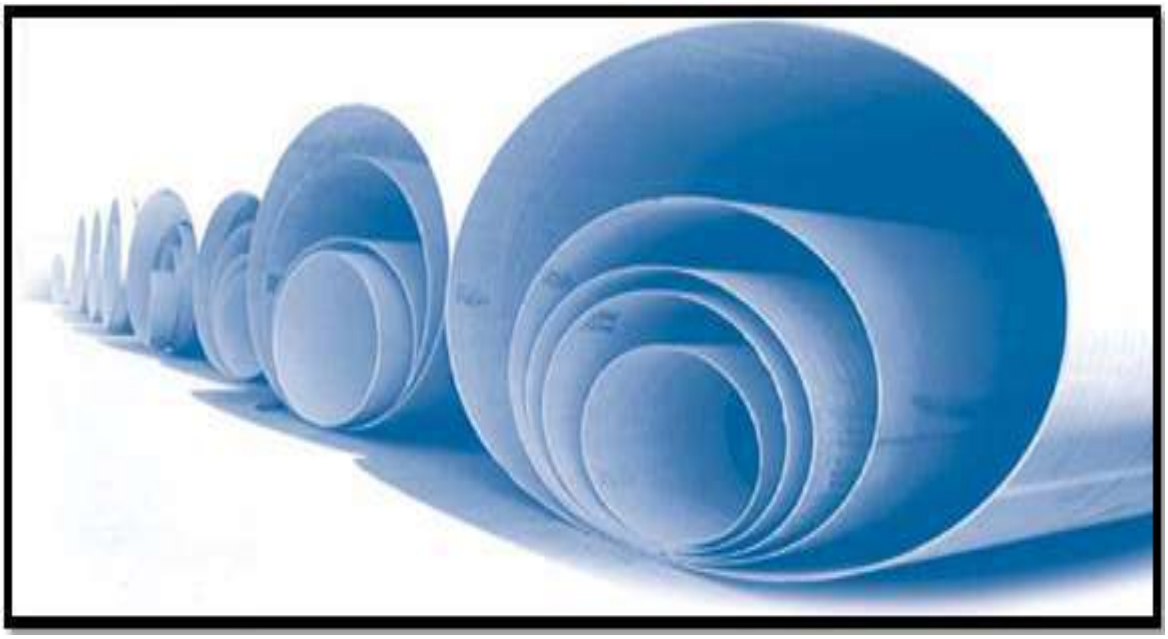


Figure N°III.04 : Des conduites de diamètres différents emboités**.**

Tableau N°III.02 : classe de pression standard.

DN2500 – DN3000	DN1400 – DN2500	DN300 – DN1400
6 bars	16 bars	25 bars
10 bars	20 bars	32 bars

- **Classe de la pression standard :**

III.2.2.2.2.Longueurs

Les longueurs sont spécifiées en mètres ; une tolérance de ±60 mm sera admise pour la longueur effective de la canalisation après assemblage. En cas de besoin, d'autres longueurs peuvent également être fournies sur commande spéciale.

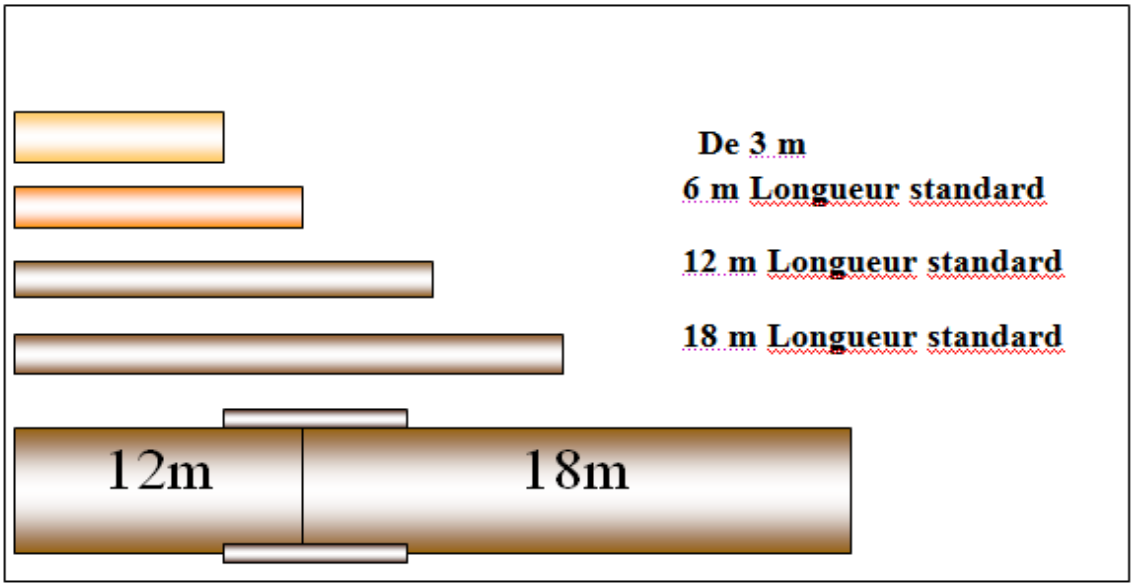


Figure N°III.05: Longueur standard des conduites en PRV.

III.2.2.2.3.Epaisseur de paroi

L'épaisseur de paroi minimale totale, y compris la doublure ne doit pas être inférieure à 3 mm.

III.2.2.2.4.Jointures en PRV

Les Conduites doivent être jointes avec des raccords à double rainure renforcés d'étanchéité en élastomère comme le seul en fibre de verre qui utilisent les joints moyen de maintenir l'étanchéité.

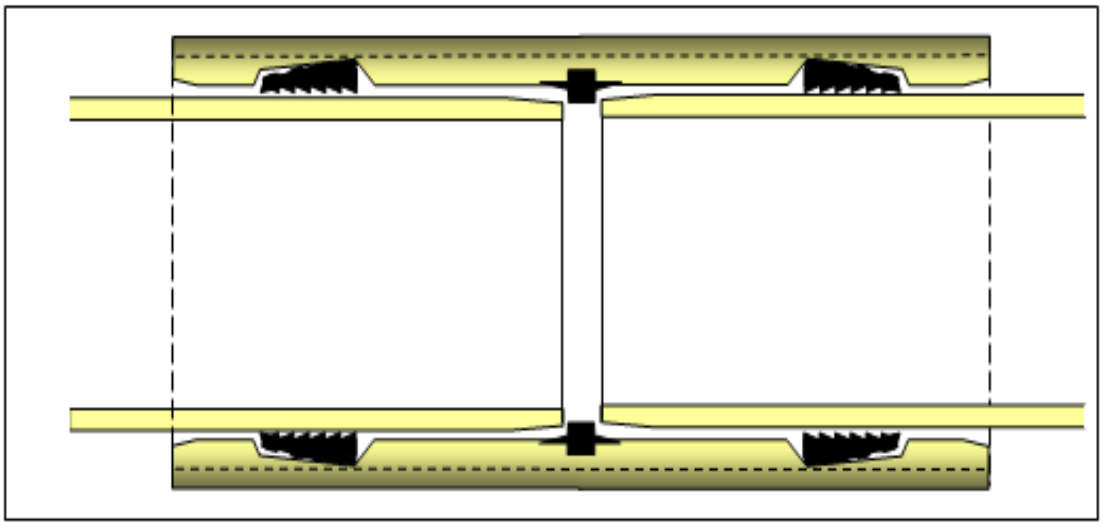


Figure N°III.06 : coupe longitudinale sur une jointure.

Les joints doivent répondre aux exigences de performance des normes en vigueur.

- La jonction entre Conduites est assurée par l'intermédiaire de joints REKA.
- Chaque joint REKA comprend deux bagues d'étanchéité en élastomère et une butée de centrage.
- Chaque tuyau est livré avec un joint REKA monté en usine à l'une de ses extrémités.

III.2.2.2.5.Les pièces spéciales

- On a développé une gamme standard de raccords en PRV qui sont moulés à base de matériaux semblables à ceux utilisés dans la production des tubes PRV.
- L'un des avantages des canalisations PRV est la possibilité de réaliser un large gamme de raccords, standard comme spécial.



Figure N°III.07 : Les pièces spéciales.

III.2.3.Le Système de matériel

Des composites de fibre de verre sont constitués de renforts en fibres de verre, des résines thermodurcissables, et additifs, qui sont conçus et traités pour répondre aux critères spécifiques de performance fonctionnelle. Pour faciliter la compréhension des caractéristiques de performance de fibre de verre a finis tuyau, la corrélation entre les composants du système est décrite dans ce chapitre. Le texte qui suit est une liste des termes utilisés pour décrire le système matériel.



Figure N°III.08 : Procède de fabrication.

- **Renforcement fibre de verre :** La quantité, le type, l'emplacement et l'orientation de verre fibres dans la conduite qui va fournir la résistance mécanique requise.
- **Système de résine :** Résine de sélection fournit les propriétés physiques et chimiques (par exemple, la température de transition vitreuse, une mesure de la résistance à la chaleur, et l'adoucissement ou plastification par solvants et de gaz).

Après un bref examen des constituants de tuyau en fibre de verre et la façon dont ils influencent le produit de tube fini.

III.2.3.1.Les renforts en fibres de verre

La résistance mécanique du tube en fibre de verre dépend de la quantité, le type, et la disposition du renforcement de fibres de verre. Résistance augmente proportionnellement avec la quantité de renforcement de fibres de verre. La quantité de fibres de verre (et la direction dans laquelle les brins individuels sont placés) détermine la force.

Matériaux en fibre de verre sont disponibles dans une variété de compositions. Ceci permet de plus d' concevoir la flexibilité pour répondre à des critères de performance. Tout renforcement fibre de verre commence sous forme de filaments de verre individuel tiré d'un four de verre fondu. Beaucoup de filaments sont formées simultanément et rassemblés dans un « brin ». Un traitement de surface (calibrage) est ajouté pour maintenir l'intégrité de la fibre, d'établir la compatibilité avec de la résine, et la facilité traitement ultérieur par l'amélioration de la consolidation et de résistance à l'humidité. Dimensionnement peut également affecter la chimie de la résine et les propriétés du stratifié.

Les fibres de verre les plus couramment utilisés dans les conduites sont considérées comme des types E, ECR, et C. Verre types ECR et C fournissent de l'acide amélioré et la résistance chimique. Type de verre C fibres ne sont généralement utilisés pour renforcer revêtements résistant aux produits chimiques.

III.2.3.1.2.Renforcements fibre de verre formes

Voici une brève description des différentes formes de renforcements en fibre de verre.

- **Mèche continue** : Ceux-ci sont constitués de brins groupés, non tordus de fibres de verre renforcement et venir paquets cylindriques comme pour un traitement ultérieur .mèche continue est généralement utilisée dans l'enroulement filamentaire et des renforts unidirectionnels /

bidirectionnelle et qui peut être transformé en mat à fils coupés utilisés pour fournir multidirectionnel renforcement dans les Conduites et raccords.

- **Tissu tissé** : Il s'agit d'un tissu drapable lourd, tissé à partir de mèche continue. il est disponible en différentes largeurs, épaisseurs, et des poids. Tissu tissé offre une grande force de grandes pièces moulées et est moins coûteux que les tissus traditionnels.
- **Renforcer tapis :** Ce sont des fils coupés détenus conjointement avec des liants résineux. Il existe deux types de tapis de renfort utilisés dans les Conduites et raccords (par exemple, hachées mat de fils et de tissu mat de combinaison de mèche). Mats à fils coupés sont utilisés dans applications de force moyenne pour les raccords de tuyauterie et de renforcement où une croix uniforme section est souhaitée. Utilisation du tapis de combinaison de gagner du temps dans les opérations Lay-up main.
- **Voiles de surface** Ces tapis de renfort en fibre de verre léger permettent couches avec une teneur en résine de haute avec renfort minime. Le voile de surface offre supplémentaire de l'environnement résistance pour les Conduites et raccords, plus un aspect lisse. (Certaines surfaces à partir de voiles de fibres de polyester sont également utilisées.)

III.2.3.1.3.Renforcement arrangement

Les trois types généraux de l'orientation des fibres comprennent:

- **Unidirectionnel** La plus grande force est dans le sens des fibres. Jusqu'à 80% contenu de renfort en poids est possible.
- **Bidirectionnelle** Certaines fibres sont positionnées à un angle par rapport au reste des fibres, en tant que avec filament enroulement hélicoïdal et tissus. Ceci permet d'obtenir des niveaux de résistance différents régie par la quantité de fibres dans chaque direction d'orientation des fibres. Une combinaison de fibres continues et hachés est également utilisé pour fournir la force directionnelle conçue.
- **Multidirectionnel (isotrope)** Cette disposition permet à peu près égale, bien que généralement plus faible, la force et le module dans toutes les directions. De 10% à 50% de renfort teneur, en poids, peut être obtenue avec des matériaux tels que multidirectionnelles mèche haché ou mat à fils coupés.

III.2.3.2.Résines

Le second composant majeur de tube en fibre de verre est du système de résine. Les fabricants choisissent un système de résine et l'aptitude au traitement pour des propriétés chimiques, mécaniques et thermiques.

Les deux groupes de base de systèmes de résines thermodurcissables et des thermoplastiques. Fibre de verre conduit, par définition, utilise uniquement des systèmes de résines thermodurcissables. Thermodurcissables sont polymère des systèmes de résines durcies par la chaleur ou des additifs chimiques. Une fois durci, une résine thermodurcissable est essentiellement infusible (ne peut être refondu) et insoluble.

Les résines thermodurcissables utilisées dans le tuyau en fibre de verre se répartissent en deux catégories générales des polyesters et des résines époxy.

III.2.3.2.1.Résines de polyester

Les résines de polyester sont généralement utilisées pour produire de l'eau de grand diamètre et de la tuyauterie d'égout.

Les polyesters ont une excellente résistance à l'eau et des produits chimiques et sont notées pour la résistance aux acides.

La résine de polyester de base est un solide. Il est typiquement dissous dans un monomère de styrène, avec laquelle elle liaisons transversales pour fournir la structure thermodurci final. Les résines de polyester sont durcies par des catalyseurs de peroxydes organiques. Le type et la quantité de catalyseur influenceront gel temps, le temps de durcissement, la température de durcissement, et le degré de durcissement. Des catalyseurs typiques comprennent peroxyde de méthyl-éthyl cétone (MEKP) et le peroxyde de benzyle (BPO).

Les fabricants peuvent choisir parmi plusieurs types de résines de polyester qui fournissent une large gamme de caractéristiques de performance. Ceux-ci comprennent:

- polyester orthophtalique,
- polyester téréphtalique,
- polyester d'acide chlorendique,
- ester vinylique époxy novolaque,
- polyester isophtalique,
- bisphénol A polyester de fumarate,
- bisphénol A ester de vinyle.

III.2.3.2.2.Résines époxy

Les résines époxy sont couramment utilisées dans la fabrication de canalisations de plus petit diamètre (< 30 po [800 mm]) transfert de l'eau, de condensation, d'hydrocarbures, de produits caustiques et acides dilués.

Tuyauterie en fibre de verre époxy est utilisée dans les champs pétrolifères à des pressions allant jusqu'à plusieurs milliers par pouce carré (kPa). Les résines époxy permettent généralement des températures de service plus élevés que les résines de polyester, allant jusqu'à environ 225 ° F (108 ° C).

Les résines époxy ne peuvent pas être classées par type de résine aussi facilement que les polyesters. Le type d'agent durcisseur ou de durcissement, est critique avec des résines époxy, parce que les influences de l'agent les propriétés et les performances composites. Les deux types de base de bisphénol A sont des résines époxy amine et anhydride durcie

Bisphénol-A résines époxy sont souvent guéris avec primaire multifonctionnel des amines. Pour une résistance chimique optimale, ces mélanges nécessitent généralement un traitement thermique et / ou post-cuisson. La résine durcie a une bonne résistance chimique, en particulier en alcalino-terreux environnements, et peut avoir une bonne résistance à la température. Le bisphénol -A époxy. Les résines peuvent aussi être réticulés avec divers anhydrides en utilisant une amine tertiaire accélérateur et de la chaleur. Ces polymères durcis ont généralement une bonne résistance aux produits chimiques, en particulier à des acides.

III.2.3.3.Autres éléments

Renforts en fibres de verre et les résines thermodurcissables sont les principaux constituants des fibres de verre tuyau. Cependant, d'autres matières qui influencent le traitement et / ou la performance du produit sont utilisés, y compris des charges, des promoteurs, des accélérateurs, des inhibiteurs, et les pigments.

- **Charges** Des matériaux inorganiques, tels que l'alumine hydratée, de microsphères de verre , l'argile , le talc , le carbonate de calcium , le sable, et le silicate de calcium , peuvent donner économique , l'apparence, ou avantages de performance dans le tuyau en fibre de verre .
- **Promoteurs** des accélérateurs et inhibiteurs. Des promoteurs et des accélérateurs avance l'action du catalyseur afin de réduire le temps de traitement. Inhibiteurs permettent de contrôler le cycle de durcissement et augmenter la durée de conservation du mélange de résine.

- **Pigments** Le choix du pigment affecte la différence réfléchie et transmise la couleur, la clarté de la composition de résine, la réaction entre les colorants et d'autres additifs, tels que des catalyseurs, et le produit final solidité de la couleur et de résistance à la chaleur.

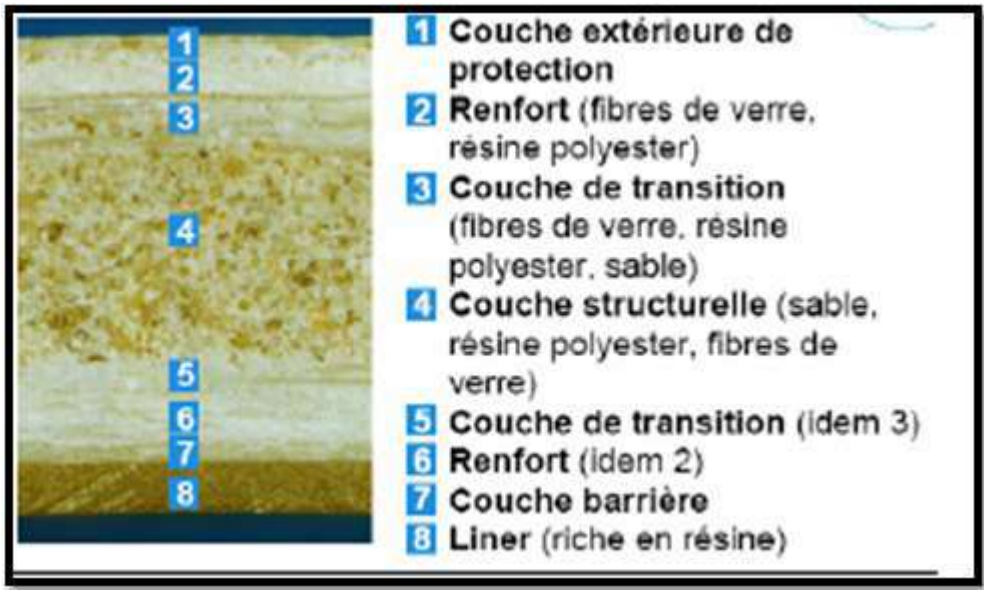


Figure N°III.09 : Constitution de la paroi du tuyau PRV.

- **Marquage**

Chaque tuyau ou raccord portera les indications suivantes de manière bien lisible :

- Référence à la présente norme internationale
- Le diamètre nominal (DN)
- Nom du fabricant et/ou marque commerciale
- La date de fabrication, en format texte ou de code

III.2.4.Propriétés physiques

Ce qui suit est une description des propriétés physiques du tube en fibre de verre.

III.2.4.1.Résistance chimique

Tous les Conduites en fibre de verre offrent une excellente résistance à l'eau et les conditions du sol indigènes. Ils ne sont pas l'objet d'attaques de la corrosion générale, la corrosion galvanique, corrosion aérobie, piqûres, dézingue, et de graphite et à la corrosion inter-granulaire. Conduites en fibre de verre sont soumis à un stress environnemental et des effets du vieillissement, la détermination de ce qui est cadre de la procédure de conception de tube en fibre de verre.

Tuyau en fibre de verre résiste à une large gamme de produits chimiques. La résistance chimique des fibres de verre tuyau dépend principalement de la matière de la matrice de résine particulière utilisée. Bien que d'autres facteurs tels que la construction de revêtement, traitement, et la méthode de fabrication peuvent influencer la résistance chimique du tube en fibre de verre, le facteur principal est la résine. Les résines peuvent être choisies pour fournir une résistance chimique à un large éventail de matériaux. Les fibres de verre fabricant de tubes doit être consulté pour obtenir des informations de performance pour une particulière application de produits chimiques.

III.2.4.2.Résistance à la température

La résistance à la température de tube en fibre de verre dépend aussi en grande partie de la matrice de résine.

La limite supérieure admissible de la température de service peut aussi être influencée par le produit chimique l'environnement et l'état de contrainte du système de tuyauterie. En général, les agents chimiques sont plus agressifs à des concentrations plus élevées et des températures élevées. Cependant, pour Les températures typiques rencontrées dans les systèmes d'adduction d'eau (33 ° F à 90 ° F [1 ° C à 32 ° C]) , tube en fibre de verre n'est pas affectée par la température de service , et il n'est pas nécessaire de réduction ou déclasser la performance de pression dans la conduite de la fibre de verre. Tuyau en fibre de verre n'est pratiquement pas affecté par des températures plus froides. Par conséquent, l'expédition, de manipulation, et des procédures de stockage, comme vu dans le chapitre 10, peut être utilisée par temps inférieur à zéro. Toutefois, les utilisateurs et les installateurs de tuyau en fibre de verre doivent être conscients que le coefficient de dilatation thermique de la fibre de verre tube est généralement supérieur à celui des tubes métalliques (voir le tableau 1.2). Ceci doit être reconnu et les dispositions prises dans la conception et l'installation pour permettre l'expansion et contraction, en particulier dans les applications aériennes.

III.2.4.3.Résistance à l'abrasion

Tuyau en fibre de verre fournit généralement une bonne résistance à l'abrasion et peut être faite pour Service très abrasif en alignant le tuyau avec du sable, de la farine de silice, carborundum, ou perles en céramique ou carreaux ou en incorporant des matériaux de revêtement élastiques tels que les polyuréthanes. Matériaux de revêtement spéciaux devraient

atteindre ou de dépasser la dureté et de l'abrasivité du contenu transportés à travers le tuyau ou de fournir un haut niveau de résistance et la résilience.

III.2.4.4.Retardateurs de flamme

Les systèmes de résines thermodurcissables utilisées pour fabriquer des tubes en fibre de verre sont des matériaux organiques. Par conséquent, en vertu de la combinaison appropriée de chaleur et de l'oxygène, une résine thermodurcissable, comme toute matière organique, peut brûler. Si nécessaire, le comportement au feu des Conduites en fibre de verre peut être amélioré en utilisant des systèmes de résines qui contiennent des halogènes ou du phosphore. Utilisation des charges hydratées améliore également la résistance à la flamme. D'autres additifs, avant d'antimoine oxydes, peuvent également accroître l'efficacité des résines halogénées.

Tests de performance d'incendie nécessite de petits échantillons et méthodes d'essai spécialisés et peuvent pas indiquer comment un matériau se produira dans une situation de terrain ou un incendie à grande échelle. la fibre de verre fabricant de tubes doit être consulté pour des renseignements précis sur la combustion performances de tuyau en fibre de verre.

III.2.4.5.Résistance aux intempéries

La plupart des systèmes de résines thermodurcissables utilisées pour fabriquer des Conduites en fibre de verre sont soumis à une certaine la dégradation de l'ultraviolet (UV). Cette dégradation, cependant, est presque entièrement un phénomène de surface. L'intégrité structurale du tube de fibre de verre n'est pas affectée par l'exposition à la lumière UV. L'utilisation des pigments, des colorants, des charges, des stabilisants UV ou dans le système de résine ou la peinture des surfaces exposées peut aider à réduire de manière significative tout UV dégradation de la surface. Les surfaces exposées à la lumière UV sont généralement fabriqués avec une couche riche en résine. Autre effets de l'altération, tels que la pluie ou l'eau de mer, sont entièrement résisté par la corrosion inhérente résistance de tuyau en fibre de verre.

III.2.4.6.Résistance à l'attaque biologique

Tuyau en fibre de verre ne se détériore pas ou s'effondrer sous les attaques de bactéries ou d'autres micro-organismes, ni ne servira comme un élément nutritif pour les micro-organismes, macro-organismes, ou les champignons. Il n'y a pas de cas connus dans lesquels les produits de Conduites en fibre de verre ont subi la dégradation ou la détérioration due à l'action biologique. Pas de procédures d'ingénierie et d'installation spéciales sont nécessaires pour protéger tuyau en

fibre de verre d'une attaque biologique. Certains élastomères utilisés dans les joints d'étanchéité peuvent être sensibles à ce type d'attaque.

III.2.4.7.Tuberculation

Encristant solubles, tels que le carbonate de calcium, dans certaines sources d'eau n'ont pas tendance à précipiter sur les parois lisses de tube en fibre de verre. Comme les conduites de fibre de verre est intrinsèquement résistant à la corrosion, il n'y a pas de tubercules de la conduite en fibre de verre provoqué par la corrosion sous-produits.

III.2.5.Propriétés mécaniques

III.2.5.1.Gamme de propriétés mécaniques

La souplesse de conception inhérente à la fibre de verre renforcée de matériaux plastiques et la gamme de procédés de fabrication utilisés s'oppose à la simple énumération des Conduites en fibre de verre propriétés mécaniques. Pour cette raison, les normes des produits en fibre de verre de la conduite sont basées sur performance et de détail des exigences de performance du produit plutôt que tables de propriétés épaisseur. Tableau2-1illustre la large gamme de propriétés mécaniques disponibles pour la résine, de la fibre de verre, et le tuyau de fibre de verre.

Cette large gamme de propriétés mécaniques est en outre illustrée par la très variable courbes possibles avec un tuyau en fibre de verre, en fonction de la quantité, le type, et de contrainte-déformation l'orientation de l'armature, ainsi que du procédé de fabrication. Les figures 10 et 11 montrent la forme typique des courbes contrainte-déformation pour haute et basse pression Conduites pour les directions, respectivement circonférentielles et axiales.

III.2.5.2.Essai de la propriété mécanique

La dépendance du temps et une large gamme de propriétés mécaniques des tubes en fibre de verre nécessité des essais pour développer des données nécessaires pour la conception et l'analyse. De nombreuses méthodes d'essai élaborer des données sur une plage de temps modéré , puis extrapoler statistiquement les données à établir des valeurs de conception à long terme .

La cote de pression dans la conduite. Ce test est effectué conformément à la norme ASTM D2992. Cette méthode nécessite une mise sous pression minimum de 18 échantillons de tuyauterie à des pressions dépassant largement la plage d'utilisation normale et surveiller le temps de défaillance. Les données doivent être collectées sur une plage de temps de 1 heure Pour au-delà 10.000 heures. La pression / contrainte / déformation (tous peuvent être utilisés

valablement) en fonction du temps à l'échec est statistiquement extrapolée à 50 ans pour établir un HDB à long terme. Pour établir Evaluation de la pression dans la conduite, un facteur de sécurité est appliqué à cette valeur de 50 ans. Dans la norme ANSI / La norme AWWA C950, fibre de verre Pression tuyau, le coefficient de sécurité indiqué est de 1,8 à 50 ans (soit la valeur extrapolée de 50 ans est divisé par 1,8 à établir le permis valeur de la conception).

Par exemple, le test de la propriété à long terme clé pour les Conduites en fibre de verre est le développement d'une base de conception hydrostatique (HDB) pour établir.

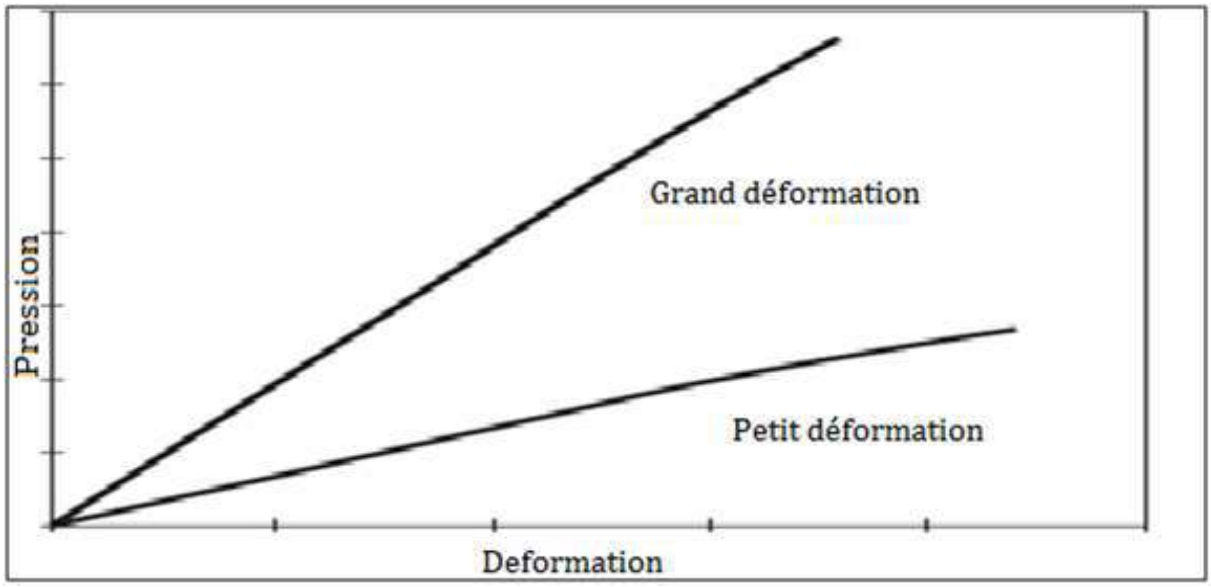


Figure N°III.10 : Courbes périphériques typiques pression-déformation.

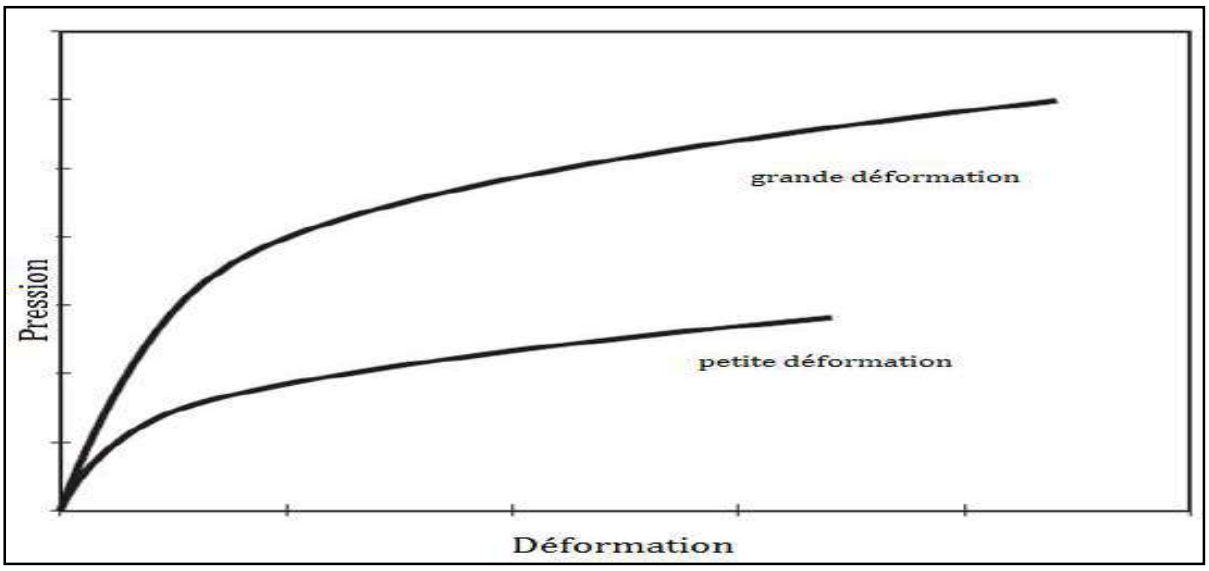


Figure N° III.11 : Courbes axiale typique pression-déformation.

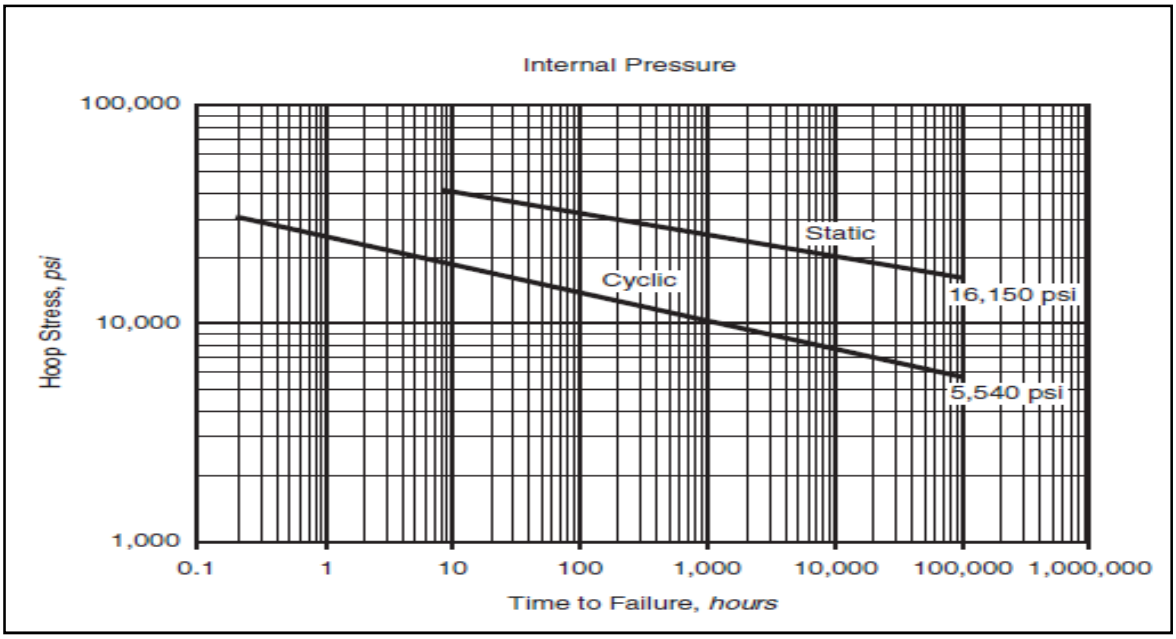


Figure N°III.12 : Pression Statique vs Cyclique.

Cet essai peut être effectué à l'aide de pressurisation statique (la norme pour l'eau la tuyauterie) ou l'essai de pression cyclique (ce qui est courant pour des tubes de faible diamètre utilisées dans l'industrie du champ de pétrole). Le même tuyau testé dans les deux conditions de pression statiques et cycliques va présenter un comportement de régression significativement différente. La condition d'essai de vélo est beaucoup plus sévère (25cycles par minute de 0 à la pression d'essai). Parce que le test est si grave, la pratique courante consiste à utiliser la valeur de 50 ans directement à des fins de conception (c'est à dire, le coefficient de sécurité appliqué à la valeur extrapolée à 50 ans est de 1,0). Pour illustrer la comparaison des deux procédures, la figure 2-3 montre les résultats d'un tube enroulé en filament époxy testé à la fois par des procédures de tests de pression statiques et cycliques.

III.2.6.Produit fini

Tous les Conduites subissent les contrôles suivants:

- Inspection visuelle ;
- Dureté Barcol ;
- Epaisseur de la paroi ;
- Longueur du tuyau ;
- Diamètre ;
- Essai de pression hydrostatique à deux fois la pression nominale ;
- Les contrôles suivants sont effectués par échantillonnage ;
- Rigidité du tuyau ;
- Ovalisation limite sans fissure ni rupture de la structure.

III.3. Fabrication

III.3.1.Introduction

Tuyau en fibre de verre faits à la machine est produite en utilisant deux procédés de base : enroulement filamentaire et la coulée centrifuge. Chaque processus produit un tuyau avec des caractéristiques que, bien unique et avantageux pour certaines applications, se réunira la performance exigences de la norme ANSI / AWWA C950, pression de tuyau en fibre de verre.

III.3.2.Enroulement filamentaire

L'enroulement filamentaire est le procédé d'imprégnation d'un renforcement en fibres de verre avec de la résine, puis en appliquant les fibres mouillées sur un mandrin dans un motif prescrit. Charges, si occasion, sont ajoutés au cours du processus d'enroulement. Mèches de verre coupés peuvent être utilisés comme renforcement supplémentaire. L'application répétée de fibres mouillées, avec ou sans remplissage, se traduit par une construction à paroi de structure multicouche de l'épaisseur souhaitée.

Après durcissement, le tuyau peut être soumis à une ou plusieurs opérations auxiliaires comme joint préparation. Le diamètre intérieur (ID) du tube fini est fixé par le mandrin à l'extérieur diamètre (OD). Le diamètre extérieur du tube fini est variable et déterminé par l'épaisseur de la paroi du tuyau.

Le processus d'enroulement du filament dans la définition large d'enroulement de filaments, il existe plusieurs méthodes, y compris réciproque, en continu, mandrin multiple, et la bague et le mandrin d'oscillation, dont chacun est décrit brièvement. La Figure montre l'application de renforcement de verre imprégné sur un le mandrin lors de la fabrication d'un tuyau enroulé en filament.

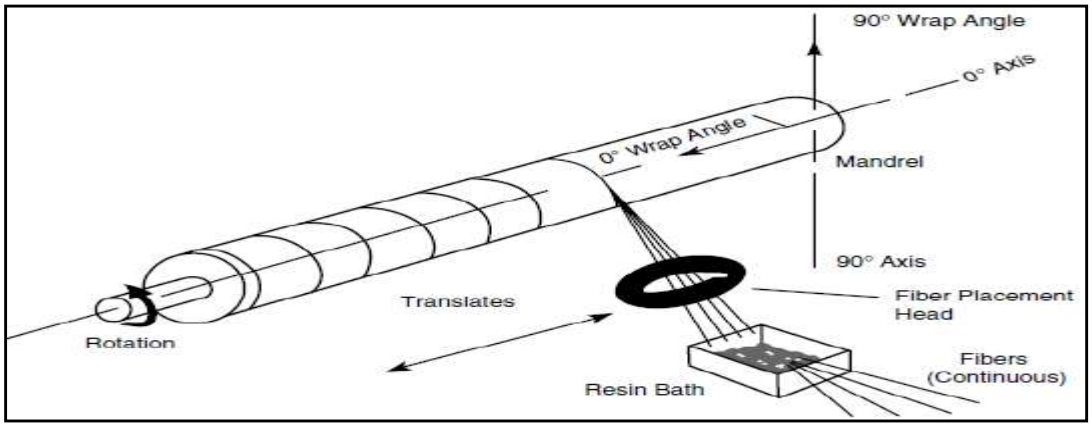


Figure N°III.13 : Processus de l'enroulement filamentaire.



Figure N°V.14 : Demande de renforcement de verre imprégné d'un tuyau enroulé en filament.

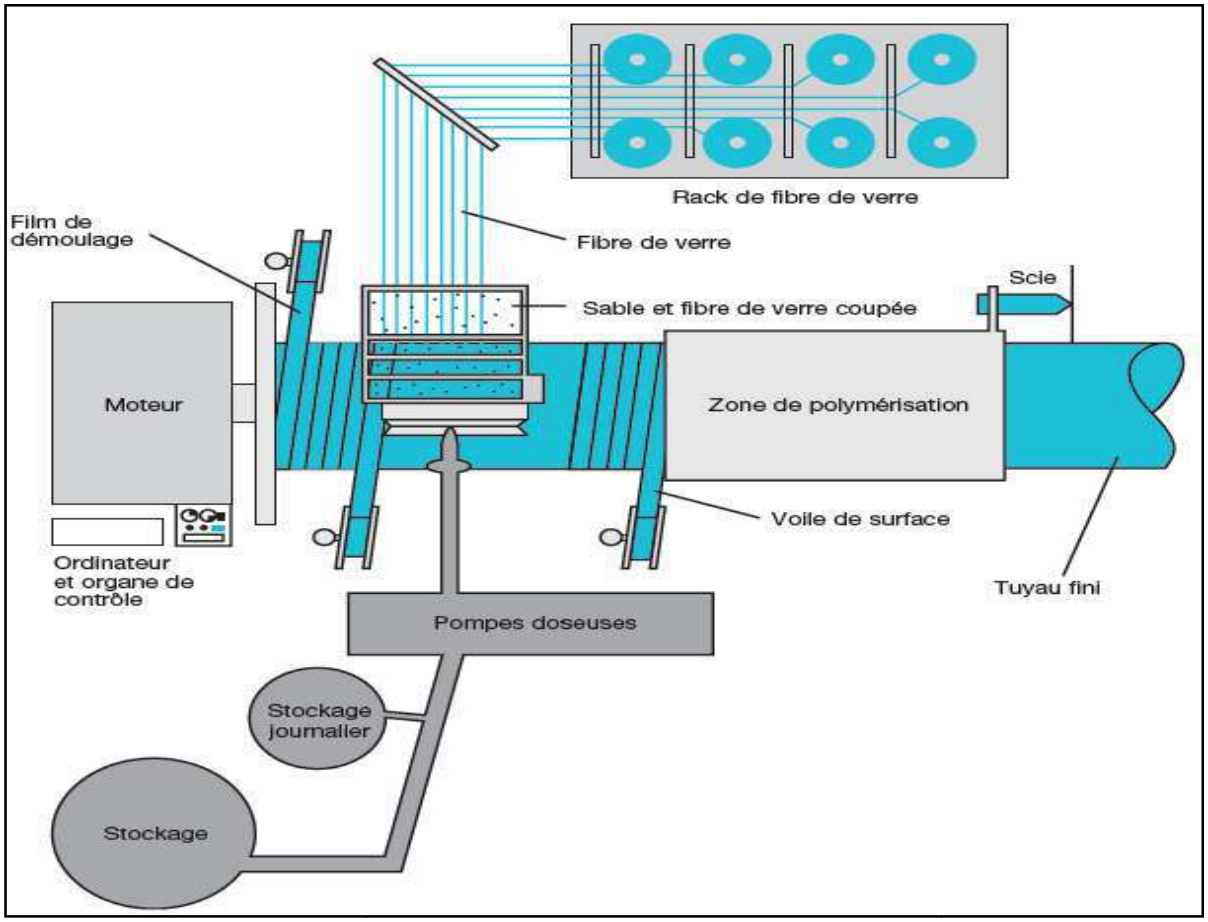


Figure N° III.15 : Procédé continu de mandrin avancer.

III.3.2.1.Méthode réciproque

La méthode réciproque est la méthode de production de l'enroulement filamentaire plus largement utilisé. Dans cette méthode, le placement de fibres tête avec les lecteurs de bain de résine associés retour et-vient passer un mandrin en rotation. L'angle de placement de fibres par rapport à l'axe du mandrin est commandé par la vitesse de translation synchronisée du bain et de la vitesse de rotation du mandrin.

III.3.2.2.Méthodes continue

Dans un type de procédé continu, le tuyau est réalisé en une ou plusieurs mandrins, qui se déplacent stations dernières qui s'appliquent bandes de fibre de verre pré-imprégnées de résine ou de fibres de verre et résine. Les angles d'enroulement sont contrôlés par une combinaison de mandrin longitudinal la vitesse, la rotation du mandrin (s'il est utilisé), ou la rotation de la demande de verre planétaire stations. Une fois commencé, ces méthodes produisent tuyau continu, ne s'arrêtant que pour reconstituer ou remplacer des composants matériels.

Un second type de procédé continu est le mandrin avancement continu, qui est composé d'une bande d'acier continue supportés par des poutres, qui forment une forme cylindrique en forme de mandrin. Les faisceaux tournent, friction tire la bande autour, et des roulements à rouleaux permettre à la bande de se déplacer longitudinalement, de sorte que l'ensemble de mandrin se déplace en continu dans un trajet en spirale vers l'extrémité de la machine. Les matières premières (fibres continues, hachées fibres, de résine et des charges agrégées) sont alimentés à la tête de mandrin. Films de sortie et les matériaux de revêtement sont appliquées à partir de rouleaux adjacents sur le mandrin. Après durcissement, une unité de scie synchronisée coupe le tuyau à la bonne longueur.

III.3.2.3.Multiple méthode mandrin

Dans le procédé de mandrin multiple, un système de matériaux de demande unique s'applique mouillée renforcement simultanément à deux ou plusieurs mandrins de verre. Lorsque l'opération d'enroulement finitions, les mandrins sont indexés à une nouvelle position pour le durcissement tandis qu'une autre série des mandrins est enroulé.

III.3.2.4.Anneau et oscillant mandrin méthode :

L'utilisation de systèmes de délivrance 360° de verre, parfois en combinaison avec un oscillant mandrin, permet la production de deux angles et basse sinueuses comme circuit unique modèles (sans croisements entre les couches)



Figure N°III.16 : Tuyau fini émergeant de cuisson au four.

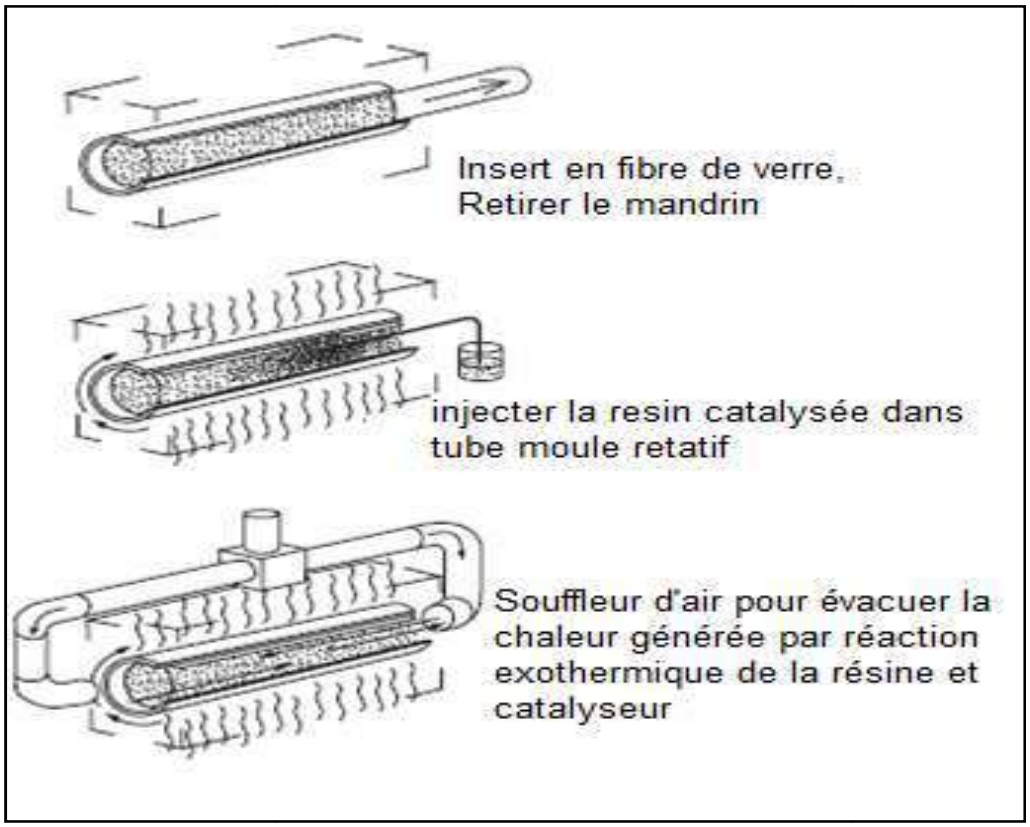


Figure N° III.17 : Méthode verre préformé de douille de renfort.

III.3.3.Coulée centrifuge

Coulée centrifuge est utilisée pour la fabrication de produits tubulaires en appliquant la résine et le renforcement à l'intérieur d'un moule qui est entraîné en rotation et on le chauffe, en polymérisant par la suite (durcissement) du système de résine. Le diamètre extérieur du tube fini est déterminé par l'identification du tube de moule. L'ID du tube fini est variable et déterminée par la quantité

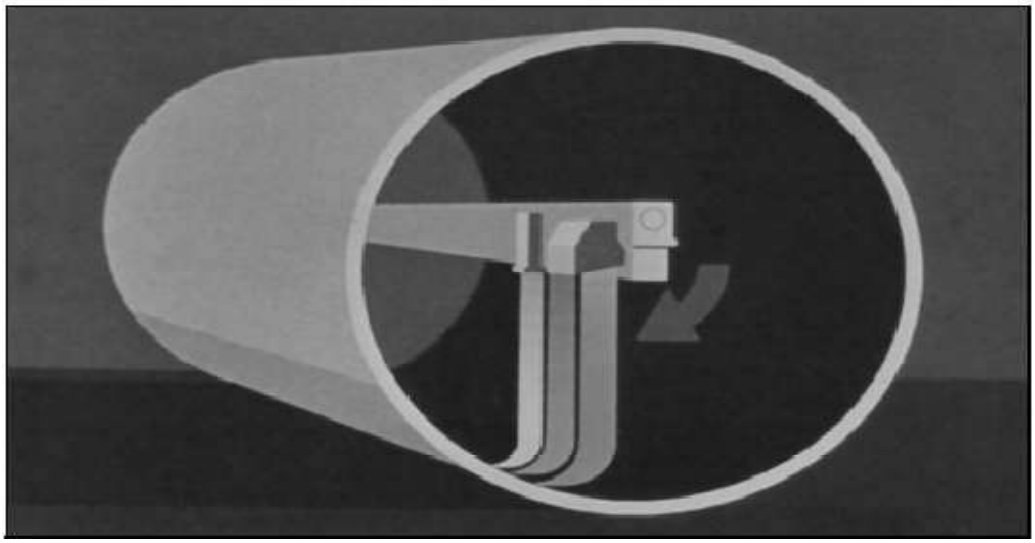


Figure N°III.18 : Haché Procédé de renforcement de verre.

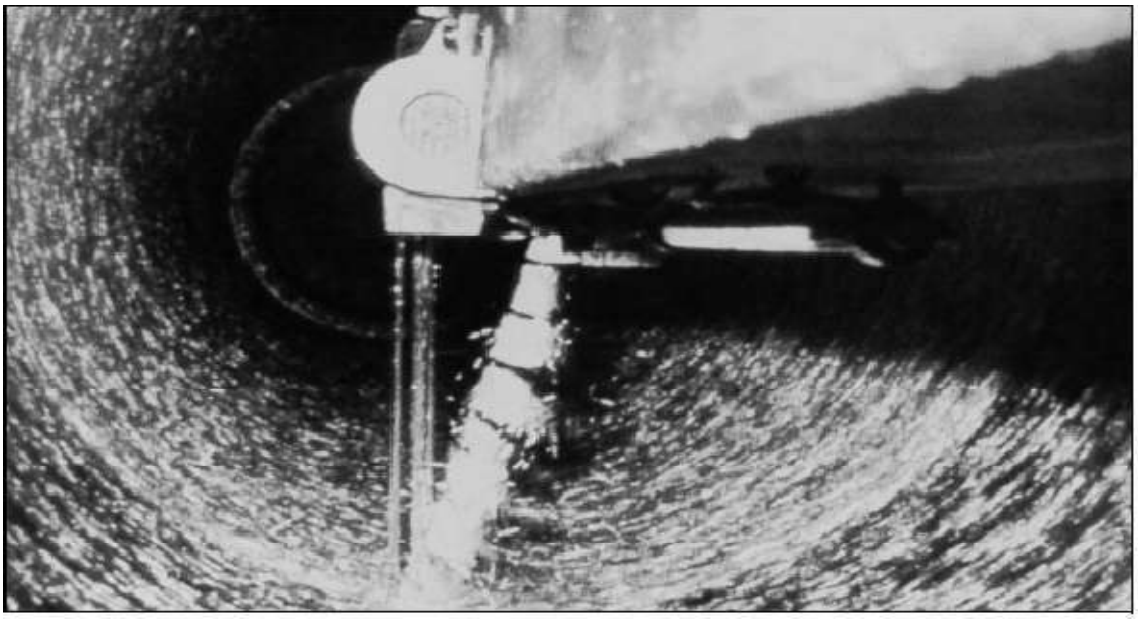


Figure N°III.19 : Application de verre, de résine et de sable.

De matériaux introduits dans le moule. D'autres matériaux, tels que du sable ou de matières de charge, peuvent être introduits dans le procédé lors de la fabrication du tuyau. Deux méthodes différentes de coulée centrifuge sont utilisées et sont décrits brièvement.

- Préformé procédé de manchon de renfort en verre. Un manchon de renfort de verre préformé est placé dans un moule en acier. Lors de la rotation du moule en acier, une résine et une charge, si elle est utilisée, sont placés à l'intérieur du moule au moyen d'un tube d'alimentation qui se déplace dans et hors du moule, mouillant ainsi le manchon préformé.
- Haché méthode de renforcement de verre. Des proportions variables de verre hachée renforcement, de la résine, et les agrégats sont introduits simultanément, par couche, à partir d'un bras de chargement qui se déplace dans et hors du moule.

Conclusion

Malgré ces nombreux avantages, ça légèreté font au risque de déboitement pour cela il faut équilibrer la poussée qui tend au déboîtage des joints.

L'utilisation de massifs de butée en béton est la technique la plus communément utilisée pour reprendre les efforts de poussée hydraulique d'une canalisation à emboîtement non verrouillé sous pression. Différents types de massifs en béton peuvent être conçus selon la configuration de la canalisation (coude, té de dérivation, cône de réduction, plaque pleine (lors d'un essai ou vannes), la résistance et la nature du sol, la présence ou non de nappe phréatique, la valeur de la pression du réseau.
Le massif reprend les efforts dus à une poussée hydraulique : soit uniquement par frottement sur le sol (massif poids), soit par frottement sur le sol et par appui sur le terrain en place (massif butée).

En pratique, les massifs bétons sont calculés en tenant compte des forces de frottement et de la résistance d'appui sur le terrain. Leur volume dépend des propriétés mécaniques des sols en place ainsi que des conditions de réalisation des essais :

- Présence de la nappe phréatique
- Prise en compte du poids des terres au-dessus du massif
- Valeur de la pression d'essai

Les dimensions calculées ainsi que le volume assurent également la stabilité du massif vis-à-vis du renversement. Le grand nombre de combinaisons possibles des hypothèses précédentes a conduit à l'élaboration un calcul facile et rapide qui permet de résoudre la majorité des cas.

Chapitre IV

CALCUL DE MASSIFS DE BUTEE

Introduction

Les assemblages par bague de joint en élastomère ne peuvent s'opposer au recul dû à la pression qui s'exerce sur les bouts d'extrémité et aux changements de direction et les forces de poussée hydraulique peuvent être très élevées et doivent être équilibrées, il est donc indispensable de prévoir une solution pour répartir sur la paroi de la tranchée la charge de poussée correspondant à la pression d'épreuve.

En dehors du cas où ces joints auto butées, verrouillées, à brides ou soudés (acier, béton armé avec âme tôle, polyéthylène), dans notre cas (PRV), les forces dues à la poussée de l'eau peuvent provoquer un déboîtement des tubes, des massifs en béton sont établis au droit des pièces coudées, des branchements latéraux, des pièces coniques, des tubulures d'attente et des extrémités des conduites. Par leur poids et par la butée des terres, ces massifs équilibrent cette poussée. De même, les ancrages voulus sont prévus aux endroits où, du fait de la pente du terrain, il y a risque de glissement de la conduite.

IV.1.Les Massifs De Butée

IV.1.1.Définition

L'étude du comportement d'un réseau d'eau sous pression montre que les contrainte sont concentrées en particulier sur certains accessoires tels que les coudes, les tés les cons et les plaques plaines. Afin d'équilibrer la poussée hydraulique pouvant provoque le désassemblage d'un ou plusieurs accessoires, des massifs en béton d'une certaine masse volumique, sont mis en place, opposition et perpendiculairement à la poussée.

Ces forces sont localisées principalement au niveau des « pièces spéciales » :

- Extrémités de conduites (plaques pleines)
- Dérivations (tés)
- Changements de direction (coudes)
- Changements de diamètre (cônes).

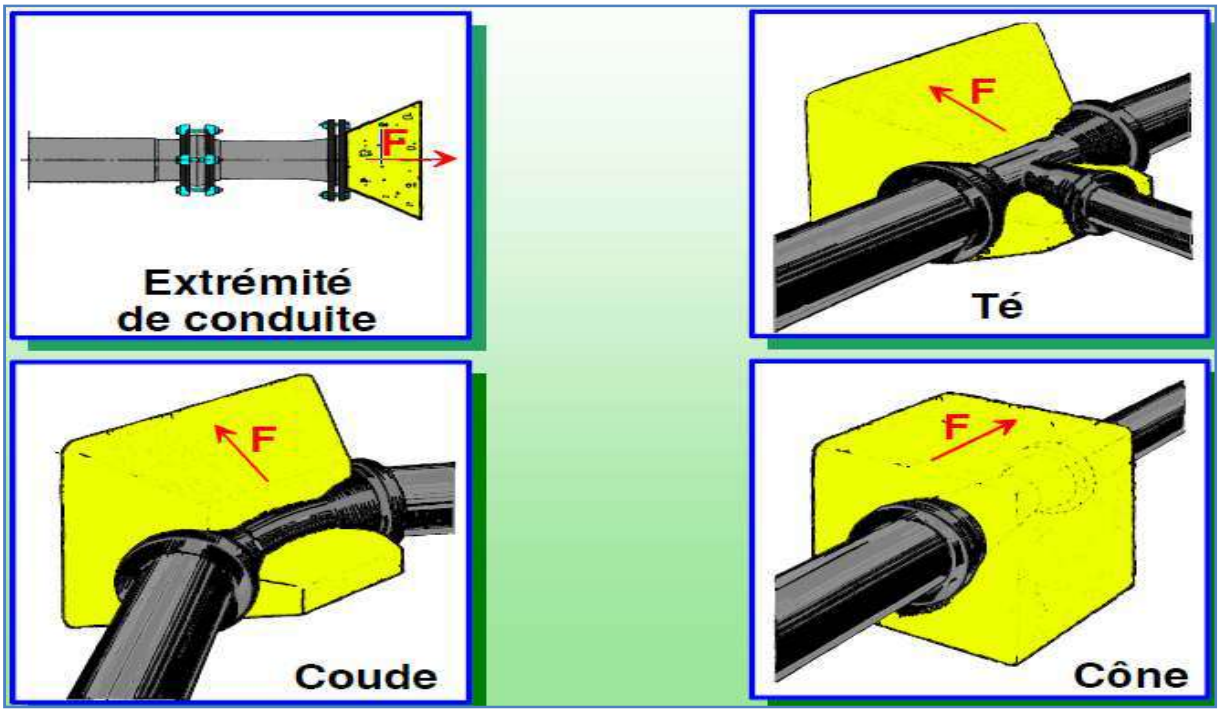


Figure N°IV.01 : Positionnement Des Massifs Pour Déférents Pièces Spéciales.

Ce sont des blocs composé généralement avec de béton, mais il peut y avoir des butées ferraillées. Le béton doit être aux normes (21MPa à 25MPa).

IV.1.2.Bétons Composition

La composition des bétons est indiquée dans le tableau suivant. Il appartient à l'Entrepreneur d'adapter le dosage des granulats et de l'eau pour obtenir les résistances caractéristiques.

Tableau N°IV.1: composition de béton.

	DESIGNATION	**CIMENT**	**GRANULATS**	**RESISTANCE**
		Nature et classe	Dosage mini Kg/m³	mini à la compression à 28 jours en MPa
Béton de propreté	CPJ 35	150	31,5	
Béton courant	CPA 45	300	20	20
	CPJ			
Béton de qualité	CPA 55	350	20	25
	CPJ			

IV.1.3.Les différents types des massifs

IV.1.3.1.Massif de butée latéral à section rectangulaire ou trapézoïdale

Caractéristique d'un massif à section trapézoïdale

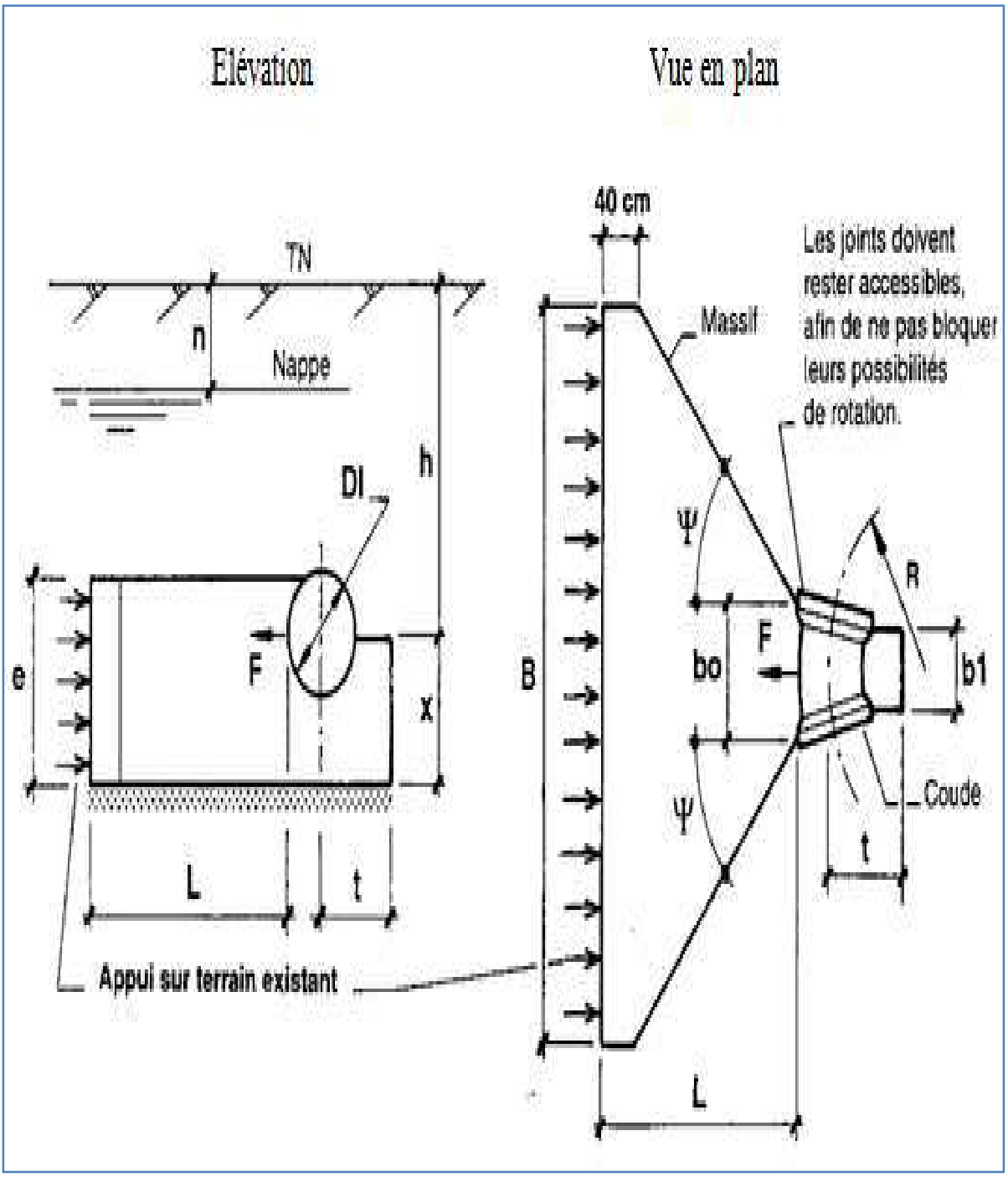


Figure N°IV.02 : massif à surface d'appui rectangulaire ou trapézoïdale.

IV.1.3.2.Longrine sous conduites avec plots intermédiaires

Ce type de massif est réalisé pour reprendre l'effort de poussée du à plusieurs conduits parallèles avec déviation en plan

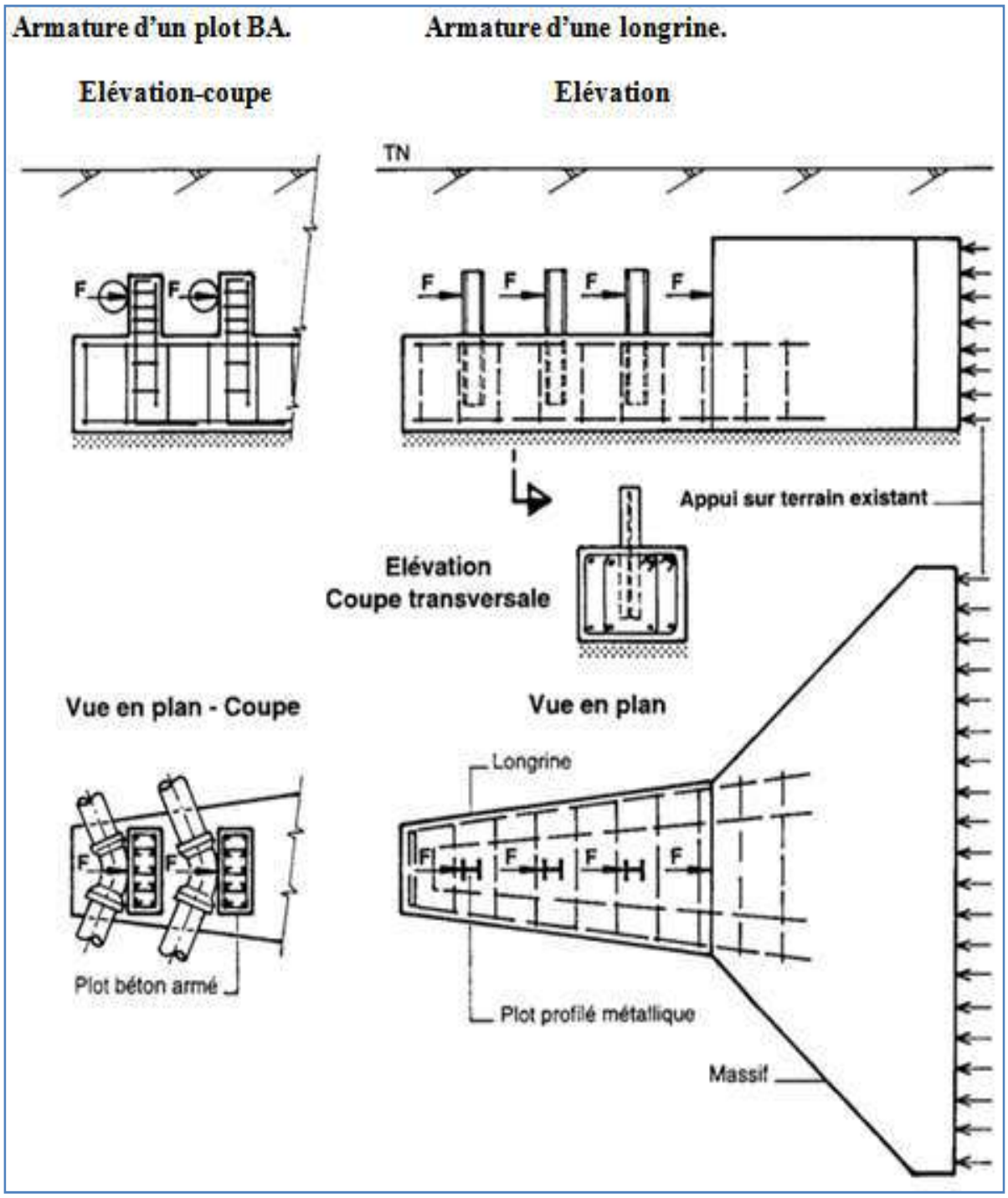


Figure N°IV.03 : un massif pour plusieurs conduits parallèles.

IV.1.3.3.Massif de butée inférieur à section rectangulaire

Ils sont réalisés lorsque l'on ne peut pas avoir de remontée du massif au niveau ou au – dessus des conduites, dans le sens la poussée.

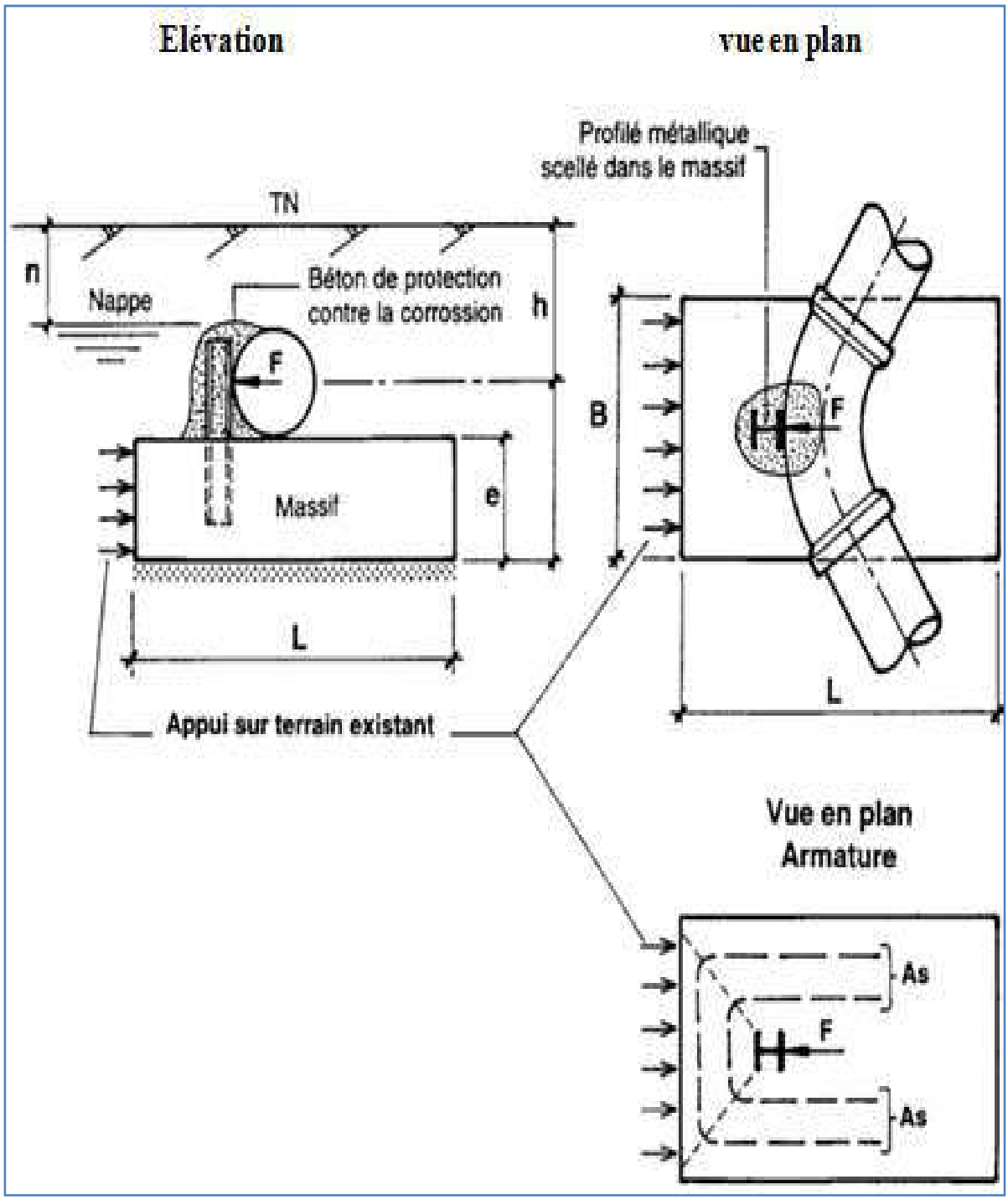


Figure N°IV.04 : massif de butée inférieur.

IV.1.3.4.Massif de butée en élévation

Ces massifs reprennent les efforts dus à la poussée hydraulique des conduites, non plus en plan, mais en élévation.

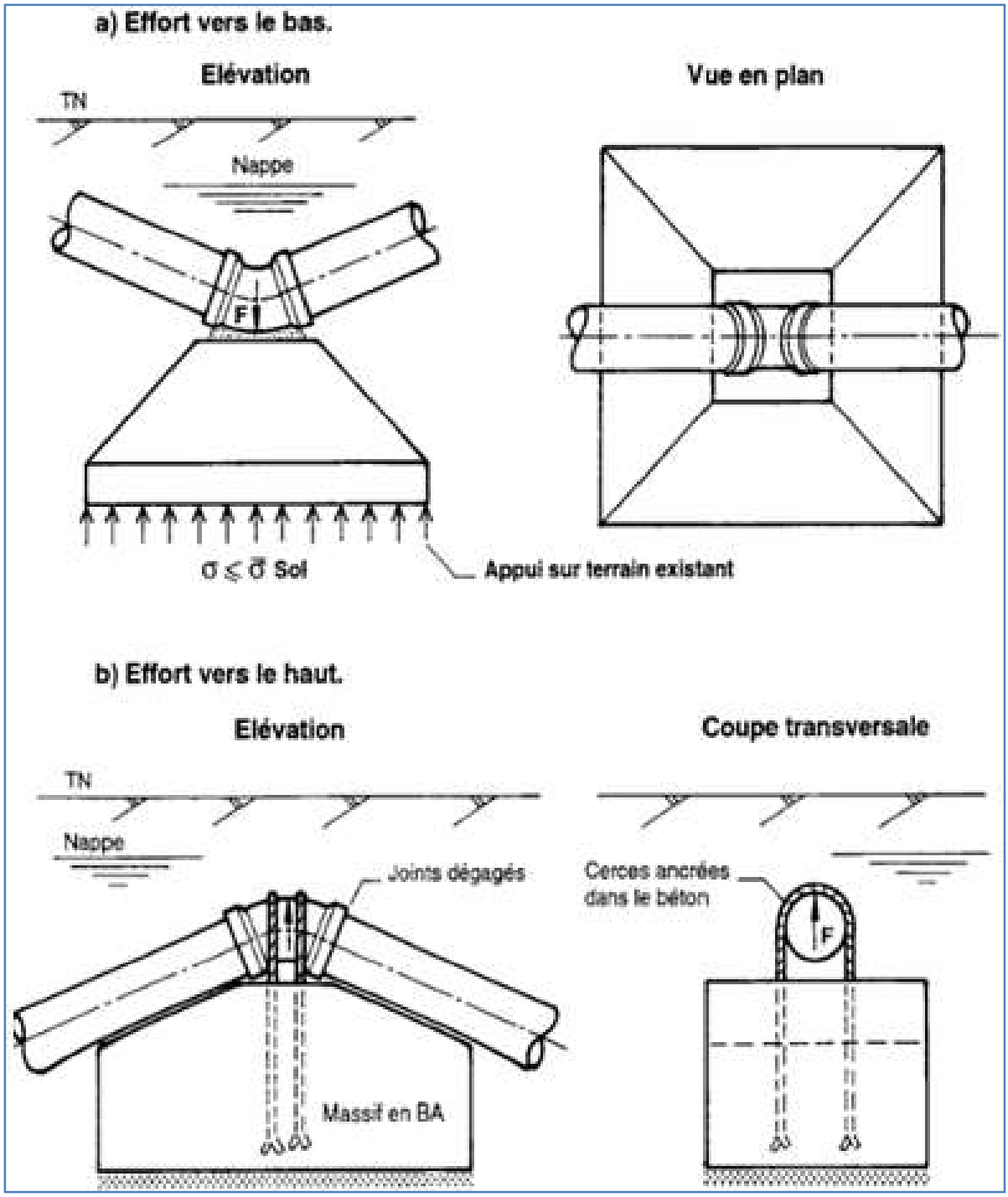


Figure N°IV.05 : Massif de butée en élévation.

IV.1.3.5.Massif-poids et massif traineau

Ils sont assez fréquemment réalisés en site urbain très encombré

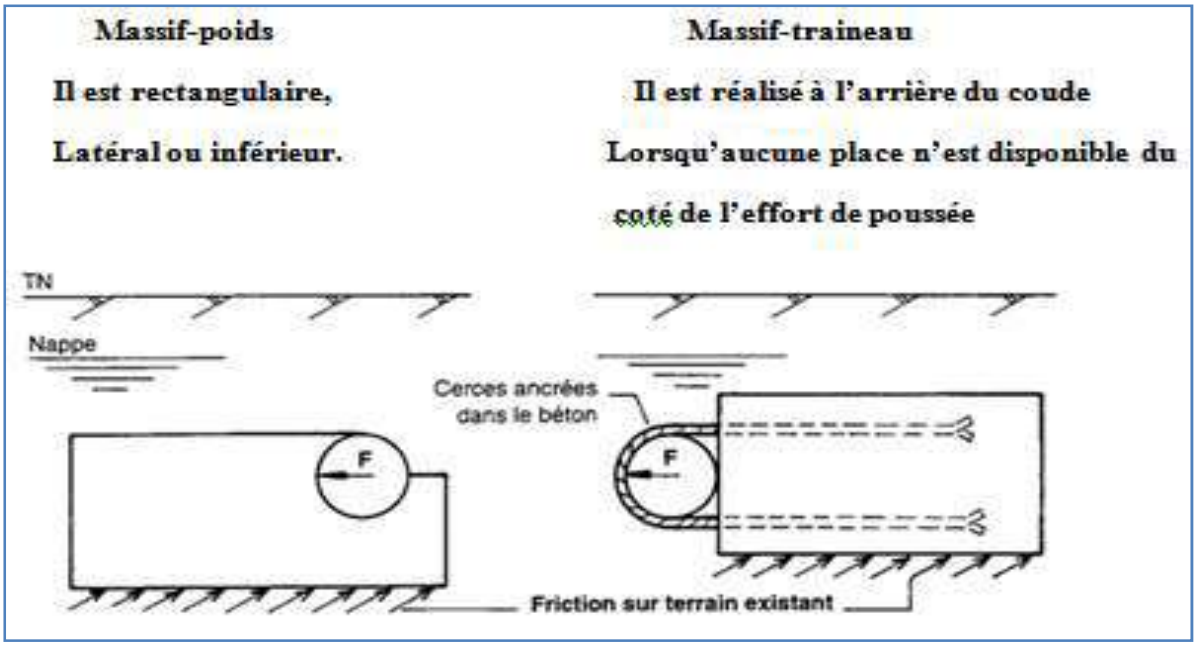


Figure N°IV.06 : Massif-poids et massif-traineau.

IV.1.3.6.Massif de butée en sol rocheux

Dans tel sol, un simple béton de blocage coulé dans la fouille, réalisée pour la pose des conduites, est nécessaire. Lorsque la longueur du massif est supérieure à celle du coude, les emboitements sont bloqués dans le béton.

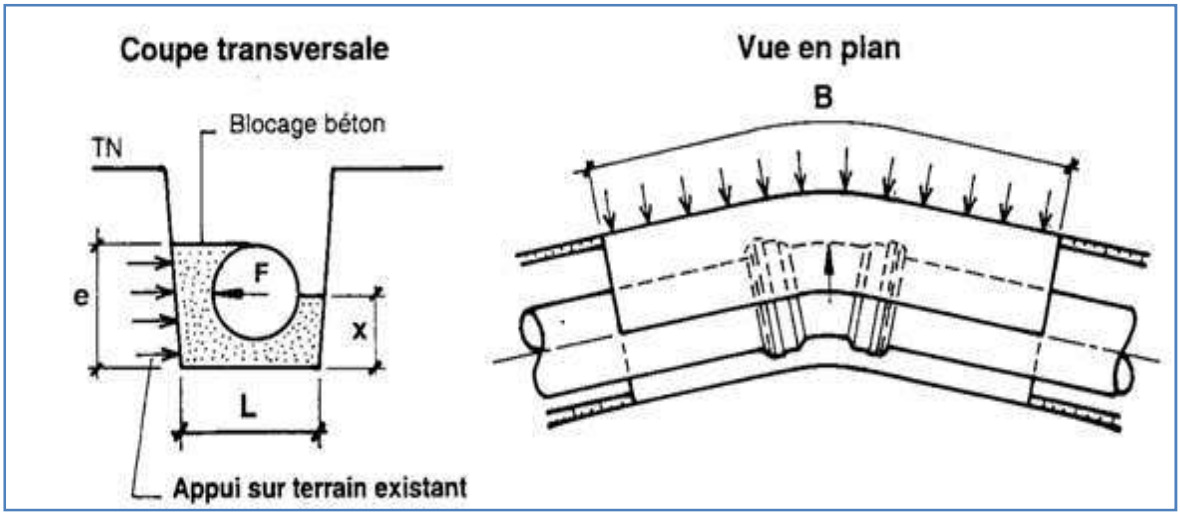


Figure N°IV.07 : Massif de butée en sol rocheux.

IV.1.3.7. Butée pour robinet-vanne enterrée

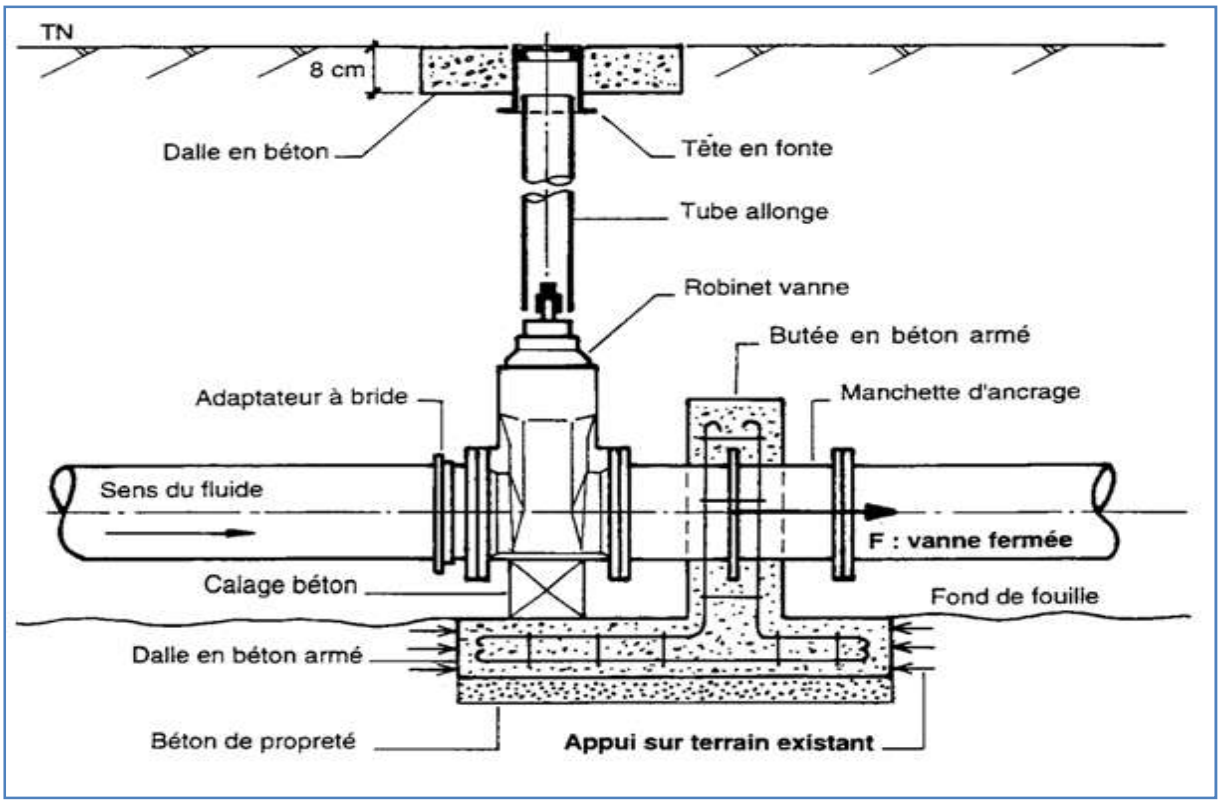


Figure N°IV.08 : massif pour les vannes et les robinets.

IV.1.4.Poussées hydraulique

Des forces de poussée hydraulique apparaissent aux changements de direction, aux réductions de diamètre (coudes, tés, cônes) et aux extrémités d'une canalisation véhiculant un fluide sous pression. Ces forces peuvent conduire à un déboîtage des conduites lorsqu'elles ne sont pas compensées par des massifs de butée en béton ou des dispositifs de verrouillage.

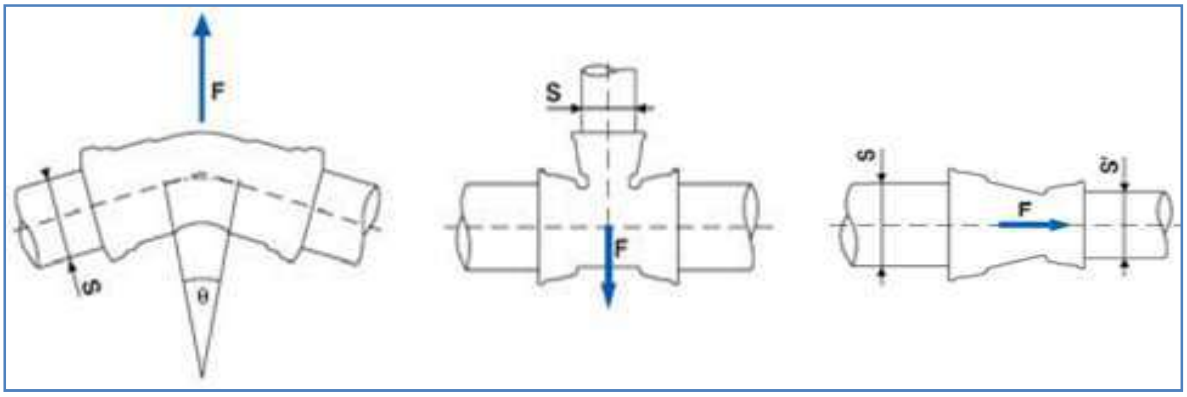


Figure N°IV.09 : Forces de poussée hydraulique apparaissant dans une canalisation.

IV.1.4.1.Les 3 pressions de référence

Pour caractériser un composant de canalisation d'eau 3 pressions sont définies par les normes EN 805 et EN 545

PFA – Pression de Fonctionnement Admissible : Pression hydrostatique maximale à laquelle un composant est capable de résister de façon permanente en service. C'est la pression jusqu'à laquelle le réseau peut fonctionner en continu.

PMA – Pression Maximale Admissible : Pression maximale, y compris le coup de bélier, à laquelle un composant est capable de résister lorsqu'il y est soumis de temps à autre en service. C'est la pression jusqu'à laquelle le réseau peut fonctionner en continu en tenant compte des coups de bélier.

PEA – Pression d'Épreuve Admissible : Pression hydrostatique maximale à laquelle un composant nouvellement mis en œuvre est capable de résister. C'est la pression jusqu'à laquelle le réseau peut fonctionner en continu pendant un laps de temps relativement court afin de s'assurer de l'intégrité et de l'étanchéité de la conduite.

IV.1.4.2.Calcul des poussées

Pour le calcul des poussées, il ne sera pas tenu compte des efforts engendrés par l'écoulement de l'eau car ils sont négligeables pour les vitesses rencontrées dans les réseaux (inférieures à 3m/s).

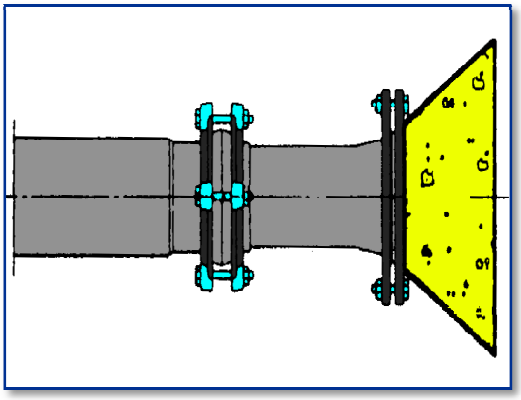
Seule interviendra donc, la poussée hydrostatique de l'eau sur les pièces spéciales citées précédemment.

On calcul les poussées à l'aide de l'expression suivante :

F = k x P x S

F : Poussée exprimée en daN
P : Pression d'essai hydraulique du chantier en bar
S : Surface de la section intérieure du tuyau en cm2
k : Coefficient dont la valeur est fonction de la géométrie de l'élément de canalisation concerné.

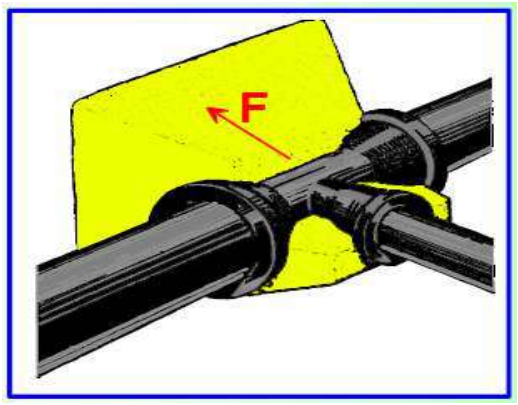
- **Extrémité de conduite**



La poussée tend à décoller la plaque pleine avec une force :

F = P x S

- **Té**

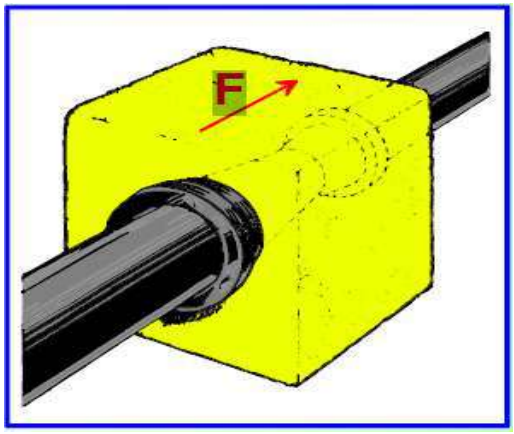


La poussée est dirigée suivant l'axe de la tubulure.

F = P x S

La surface S correspond à la section de la dérivation.

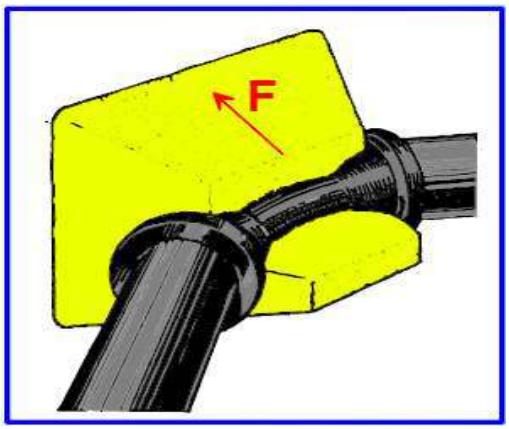
- **Cône**



La poussée tend à chasser le cône dans la direction de la petite section quel que soit le sens de l'écoulement.

F = P x (*S* - s)
S : Grande section en cm2
s : Petite section en cm2

- **Coude**



La poussée est dirigée suivant la bissectrice et tend à chasser le coude vers l'extérieur.

F = 2 x P x S x sin A/2

α: Angle déviation du coude
· Coude au 1/4 ***α*** = 90° F = 1,414 x P x S
· Coude au 1/8 ***α*** = 45° F = 0,766 x P x S
· Coude au 1/16 ***α*** = 22°30' F = 0,390 x P x S
· Coude au 1/32 ***α*** = 11°15' F = 0,196 x P x S

IV.1.5.Des conditions pour la construction et l'installation

- Une profondeur proportionnée de couverture de 1 m au minimum est requise.
- Lors de la conception des butées, ne pas omettre de laisser les joints dégagés afin de permettre leur inspection ultérieure pendant l'essai hydraulique.
- Lors de la construction ou de l'installation des butées, il est veillé à ne pas porter atteinte aux revêtements des conduites, les surfaces d'appui avec les conduites ont une forme assurant une bonne répartition des efforts.
- Si des fouilles ultérieures doivent être exécutées au voisinage immédiat des massifs mobilisant la butée des terres, il convient de réduire la pression dans la canalisation pendant les travaux.
- Les butées serrant toujours remblayées (remblai compacté) avant l'épreuve hydraulique de la conception.
- Pour des pressions (PN > 10 bar) le béton doit complètement entourer le matériel.

IV.2.Dimensionnement des massifs de butées

Le but de cette partie est d'expliquer les méthodes utilisées pour permettre de calculer et de réaliser un massif dans les conditions optimales de garantie de tenue mécanique, et d'économie.

IV.2.1.Prédimensionnement des massifs de butée

Le but du Prédimensionnement est de choisir les dimensions des massifs en béton. Ces dimensions sont choisies selon les recommandations, les spécifications et les règlements.

Les résultats obtenus ne sont pas définitifs, ils peuvent être modifiés après vérifications dans la phase de calcul.

Les massifs de béton pour répartir sur la paroi de la tranchée la charge de poussée correspondant à la pression d'épreuve

Il est conseillé de les calculer de façon à supporter les surpressions dues aux coups de bélier.

La poussée à prendre en considération pour les calculs tient compte d'une pression dans la canalisation égale à la pression d'épreuve.

Les calculs sont à établir pour les deux sens d'écoulement de l'eau.

Les calculs présentés ne constituent qu'une base théorique de travail étant entendu que chaque butée est en soi un cas d'espèce fonction de l'endroit et du terrain concernés.

IV.2.1.1.Calcul de Dimensions de massif de butée

Différents types de massifs en béton peuvent être conçus selon la configuration de la canalisation, la résistance et la nature du sol, la présence ou non de nappe phréatique.

Le massif qui nous allons calculer est un massif de butée pour un coude de 90° car c'est un cas défavorable et la poussée dans ce cas est maximal.



Figure N°IV.10: Massif de butée d'un coude.

Le massif reprend les efforts dus à une poussée hydraulique soit par:

- Frottement sur le sol (massif poids),
- Appui sur le terrain en place (massif butée).

En pratique, les massifs de butée sont calculés en tenant compte des forces de frottement et de la résistance d'appui sur le terrain.

❖ **Les forces agissantes (Massif butée)**

F : Poussée hydraulique.

P : Poids du massif.

W : Poids des terres.

B : Appui sur la paroi de la tranchée.

f : Frottement sur le sol.

M : Moment de renversement.

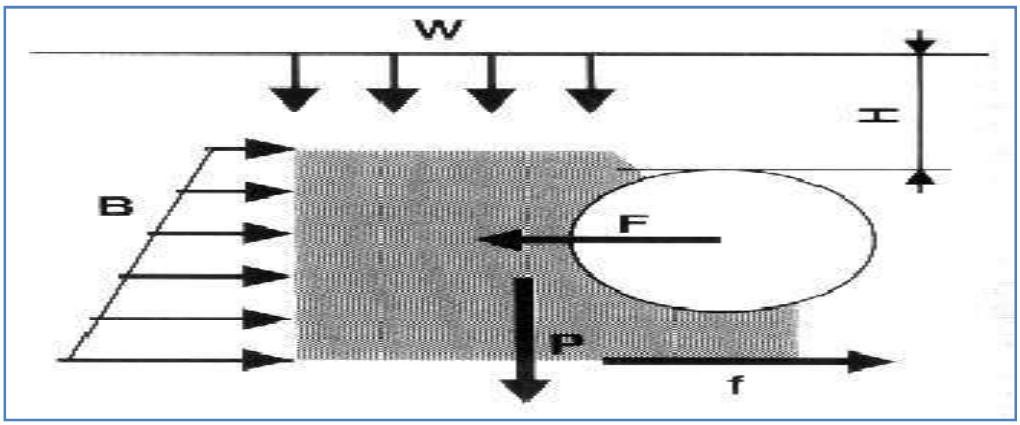


Figure N°IV.11: Les forces agissantes.

IV.2.1.1.1.Dimensionnement d'un massif poids

Une butée poids est constituée par un massif en béton qui s'oppose à la poussée de l'eau par une force proportionnelle à son poids, il réagit seulement par frottement avec le plan du sol, ils seront placés quand les conditions de sol assurent seulement des forces de frottement.

Dans ce cas la surface la plus importante est la surface inférieure en contact avec les frottements $\mathbf{A_p = (L + L') \times l \ / 2}$.

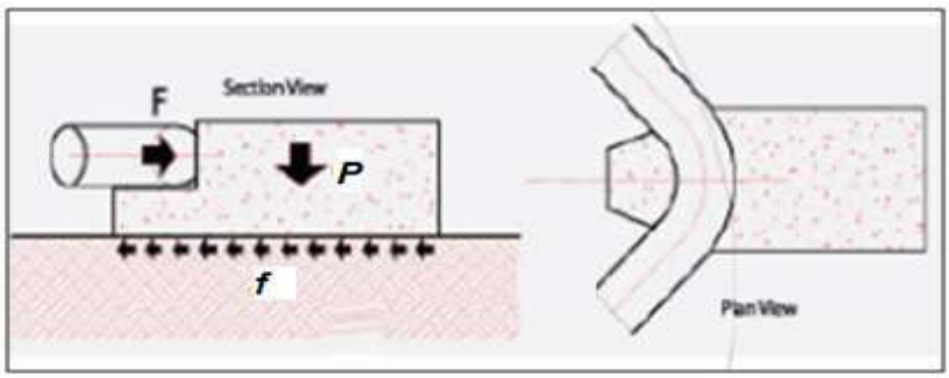


Figure N°IV.12 : les forces agissant pour le massif poids.

✓ Le niveau hydrostatique sera pris en compte puisqu'il réduit le poids du massif.

Une projection des forces horizontales donnez-nous :

$\sum F=0 \rightarrow F = B + f \quad (B = 0)$

$\rightarrow F = f$

On à: $\tau = \sigma$ x tan(φ) $\rightarrow$ $F = f = \tau$ x S = C x S + σ x S x tan(φ) (σ = N/S) et (C = 0)

$\rightarrow$ F = N x tan(φ)

$\rightarrow$ N = γ x V

Donc :

$$V = \frac{F}{tan\varphi \times \gamma}$$

V : Le volume de béton en m^3.

F : Poussée de l'eau calculée précédemment en kN.

tan(φ) : Coefficient de frottement entre béton et terrain.

γ_B : Poids volumique du béton en kN/m^3.

tableaux N°IV.02 : coefficient de frottement f(tan φ).

NATURE DU SOL	ANGLE DE FROTTEMENT Φ (degrés)		COEFFICIENT DE FROTTEMENT f (tan Φ)	
	humide	immergé	humide	immergé
Débris rocheux	40	35	0,84	0,7
Tout venant	35	30	0,7	0,58
Sables limoneux	30	25	0,58	0,47
Argiles	25	15	0,47	0,27

Le béton étant coulé en pleine fouille, le coefficient f est au plus égal à tan φ.

φ : étant l'angle de frottement interne du terrain.

IV.2.1.1.2.Dimensionnement d'un massif à surface d'appui

Ce massif sera construits quand le sol présent des caractéristiques de stabilité (terrain rocheux, sol compact et ferme).

Il s'agit de déterminer la surface d'appui de la butée sur le terrain en place **(S_b = L x h)**.

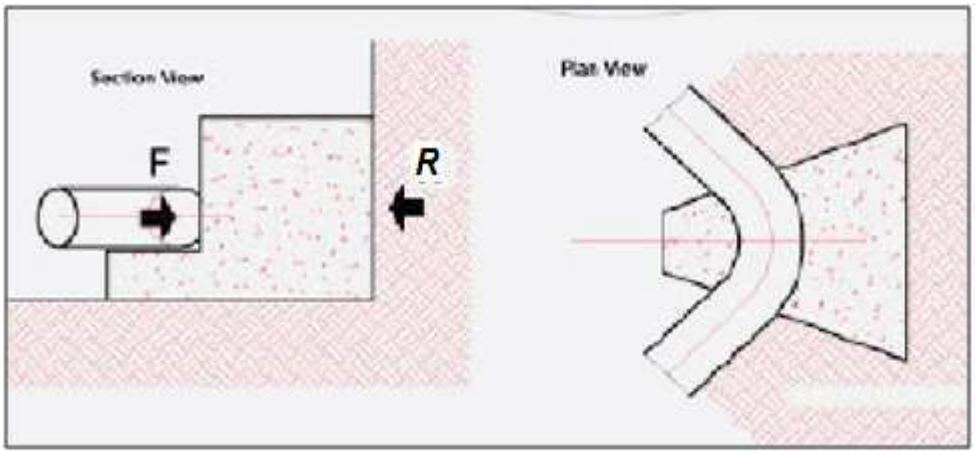


Figure N°IV.13 : les forces agissantes sur les massifs à surface d'appui.

Elle est donnée par une seule condition :

$F/S \geq \sigma$ $S_b = F/\sigma$

F : Poussée hydraulique de l'eau en kN.

S_b = L x h : Surface d'appui en m^2.

σ : Résistance du terrain en kPa.

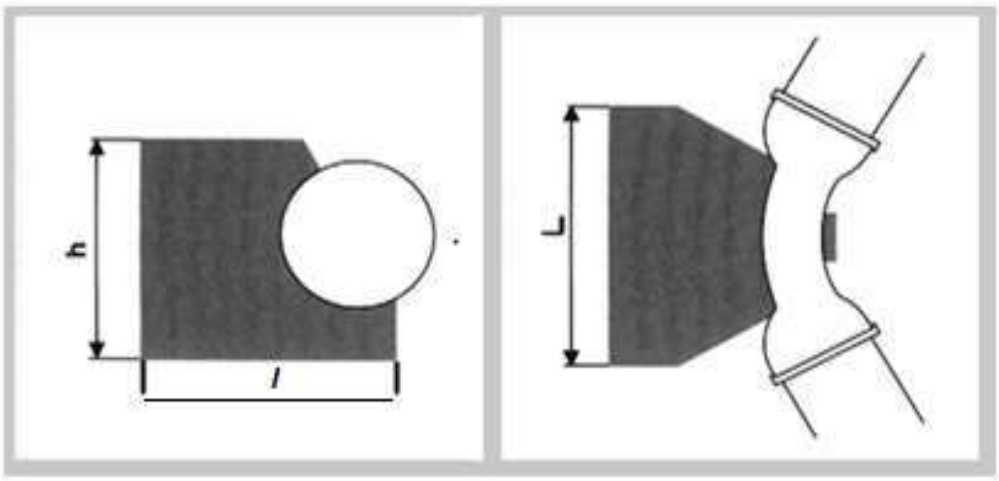


Figure N°IV.14 : vue de deux cotés d'un massif à surface d'appui

Tableaux N°IV.03 : résistance de terrain.

Nature des sols	σ daN/cm²
Vases et terrains fluents	0,3 - 0,5
Sable rapporté	0,8
Terre végétale	1
Marne ou argile compacte	2 à 3
Sable argileux ou gravier	2 à 5
Craie ou roche tendre	2 à 5
Roche dure	5 à 15

IV.2.2.Vérifications

La méthode est celle détaillée dans les « Règles Techniques de Conception et de Calcul des Fondations des Ouvrages de génie civil ». C.C.T.G. applicable aux marchés publics de travaux - Fascicule 62 - Titre V. Ces règles ont déjà été évoquées pour le calcul d'un mur de soutènement. Dans la fin des années 1990, la normalisation dans le domaine du génie civil et des constructions s'est progressivement construite au niveau européen. C'est ainsi que l'Eurocode 7, qui concerne le calcul géotechnique a été ratifié le 23 avril 2004 au niveau européen, et transposé en France en 2005-2006 (norme NF EN 1997-1 de juin 2005 complétée par la norme NF EN 1997-1/NA de septembre 2006). Cependant, pour être pleinement opératoires, ces deux normes doivent encore être complétées par une série de normes particulières à chaque domaine d'application, qui sont en cours de rédaction :

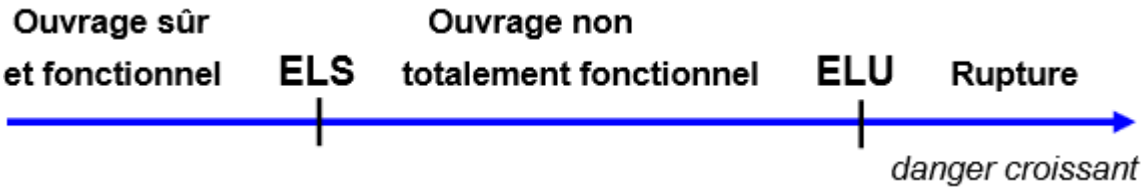
- NF P 94 261 : fondations superficielles ;
- NF P 94 262 : fondations sur pieux ;
- NF P 94 270 : remblais renforcés et clouage ;
- NF P 94 281 : murs de soutènement ;
- NF P 94 282 : écrans de soutènement ;
- NF P 94 290 : ouvrages en terre.

IV.2.2.1.Démarche générale du calcul de massif

Les calculs justificatifs sont conduits suivant la théorie des états limites. Un «état limite» est celui pour lequel une condition requise est strictement satisfaite et cesserait de l'être en cas de modification défavorable d'une action. Sont distingués :

- les états limites ultimes (ELU) au-delà desquels il y a risque de rupture ;

- les états limites de service (ELS) au-delà desquels l'ouvrage ne serait plus susceptible de remplir sa fonction (par exemple déformations excessives).



La justification de la structure doit être envisagée pour différentes situations parmi lesquelles :

- les situations en cours de construction ;
- les situations en cours d'exploitation ;
- les situations accidentelles, telles que les séismes.

- Pour chaque combinaison d'actions, le calcul des composantes M, N et T de la sollicitation résultante conduit à la valeur de l'excentricité e = M/N du point d'application de la sollicitation résultante par rapport au centre de massif.

(M moment par rapport au centre de la fondation, N et T composantes normale et tangentielle de la résultante).

- On calcule ensuite une contrainte de référence (appliquée par la structure au sol) selon un modèle d'interaction sol-structure.

- modèle de Navier : répartition triangulaire ou trapézoïdale de la contrainte ;

- modèle de Meyerhof : contrainte homogène appliquée à une partie seulement de la surface.

- Il reste enfin à justifier le massif par rapport aux différents mécanismes de rupture envisageables :
a) état limite ultime de mobilisation de la capacité portante du sol ;
b) état limite ultime de glissement ;
c) état limite de service de décompression du sol ;

IV.2.2.2.Classification des sols

Les sols sont reconnus de préférence par des essais in-situ : pénétromètre statique et/ou pressiomètre Ménard. La classification présentée ci-après au tableau 8 sera ensuite utilisée pour estimer la résistance des sols, comme nous allons le voir.

Tableau N°IV.04 : critères de classification des sols (d'après fascicule 62)

Nature des terrains		Pressiomètre P_l (MPa)	Pénétromètre q_c (MPa)
ARGILES - LIMONS	A argiles et limons mous	< 0,7	< 3,0
	B argiles et limons fermes	1,2- 2,0	3,0- 6,0
	C argiles très fermes à dures	> 2,5	> 6,0
SABLES - GRAVES	A lâches	< 0,5	< 5
	B moyennement compacts	1,0- 2,0	8,0- 15
	C compacts	> 2,5	> 20
CRAIES	A molles	< 0,7	< 5
	B altérées	1,0- 2,5	> 5
	C compactes	> 3,0	-

P_l est la pression limite et q_c est la résistance de pointe.

IV.2.2.3.Etapes de calcul d'un massif.

Tout d'abord, les dimensions (h, l, L, L') de massif sont fixées a priori. Il s'agit de vérifier si ce massif convient.

- Le sol en place est étudié à partir des résultats d'essais in situ ou, à partir d'essais de laboratoire (triaxiaux sur échantillons intacts). Puis est calculée la contrainte de rupture du sol **qu'** sous charge verticale centrée par les formules à partir des essais de laboratoire ou à partir des essais in situ comme indiqué ci-après.
- A partir de l'essai pressiométrique :

$qu' - q_0' = k_p . Pl_e^*$

q_0' : est la contrainte effective due au poids des terres au niveau de la fondation.

Pl_e^* : est la pression limite nette équivalente, obtenue en lissant les pressions limites Pl sur une épaisseur de 1,5.h sous la fondation.

K_p : est le facteur de portance lié à l'essai pressiométrique, donné par le tableau IV.06 ci-après.

Tableau IV.05 : valeurs du facteur de portance K_p.

Nature des terrains	k_p
ARGILES et LIMONS A, CRAIES A	$0,8\left[1+0,25\left(0,6+0,4\frac{B}{L}\right)\frac{D}{B}\right]$
ARGILES et LIMONS B	$0,8\left[1+0,35\left(0,6+0,4\frac{B}{L}\right)\frac{D}{B}\right]$
ARGILES C	$0,8\left[1+0,50\left(0,6+0,4\frac{B}{L}\right)\frac{D}{B}\right]$
SABLES A	$\left[1+0,35\left(0,6+0,4\frac{B}{L}\right)\frac{D}{B}\right]$
SABLES et GRAVES B	$\left[1+0,50\left(0,6+0,4\frac{B}{L}\right)\frac{D}{B}\right]$
SABLES et GRAVES C	$\left[1+0,80\left(0,6+0,4\frac{B}{L}\right)\frac{D}{B}\right]$
CRAIES B et C	$1,3\left[1+0,27\left(0,6+0,4\frac{B}{L}\right)\frac{D}{B}\right]$
MARNES, MARNO CALCAIRES, ROCHES ALTÉRÉES	$\left[1+0,27\left(0,6+0,4\frac{B}{L}\right)\frac{D}{B}\right]$

- Pour chaque combinaison d'action, calculer les composantes M, N et T de la sollicitation résultante.

M: moment par rapport au centre de massif ;

N: composante normale à la surface de massif ;

f: composante tangentielle à la surface de massif.

D'où la valeur de l'excentricité e = M/N

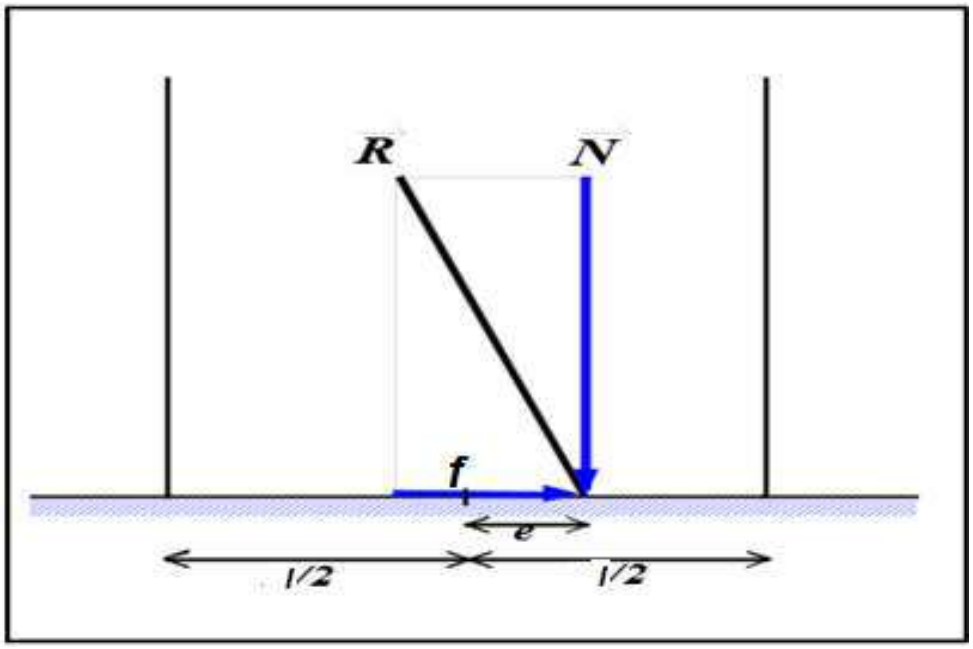


Figure N°IV.15 : l'épaisseur de la résultante.

- Calculer q_{ref}', contrainte de référence selon l'un des modèles de la figure.

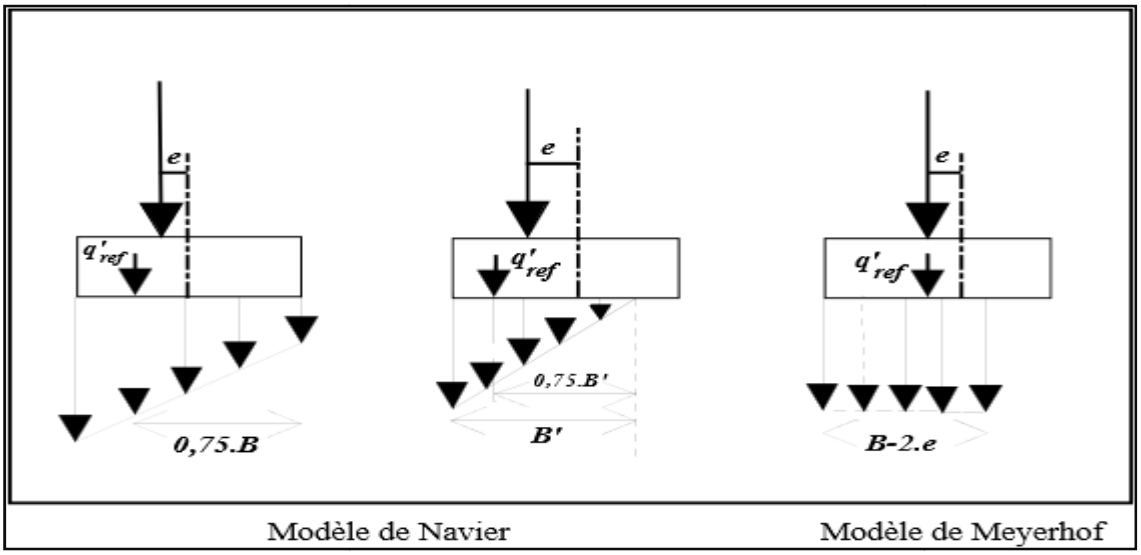


Figure N°IV.16 : les modèles de la résultante.

- Pour le modèle trapézoïdal, si e < *l*/6 (semelle entièrement comprimée) : $q_{ref}' = N (1+3e/ l) / A$
- Pour le modèle de Meyerhof : $q_{ref}' = N/ (l – 2e) A$

- Connaissant la contrainte de rupture qu', vérifier que la contrainte de référence q_{ref}' est admissible selon les différents mécanismes de rupture envisageables.

a) Etat limite de mobilisation de la capacité portante du sol.

$$\mathbf{2.5\ q_{ref}' \leq\ (qu'-q_0')/2 + q_0'}$$

b) Etat limite de service de décompression du sol

Le sol doit être entièrement comprimé sous combinaisons fréquentes, ce qui se traduit par la condition **e < *l*/6** (règle du tiers central) et vérifier que :

$$\mathbf{0{,}75\ S_f\ \leq\ A'}$$

c) Etat limite ultime de glissement

Pour chaque combinaison d'actions, vérifier que :

$$\mathbf{T \leq (N.\tan \varphi/1{,}2)+(c'.A'/1{,}5)}$$

Net T : désignent les composantes normale et tangentielle de la résultante des actions appliquées à la fondation.

φ' et c' : désignent l'angle de frottement et la cohésion du sol de massif ou de l'interface sol/ouvrage.

A' : est la surface comprimée de la fondation :

$$\mathbf{A' = (\mathit{l} - 2e)\ (L+L')/2}$$

- Si, avec les dimensions initialement adoptées, le massif n'est pas justifié vis-à-vis de tous les mécanismes de rupture, il faut augmenter les dimensions de massif
- Si la sécurité est trop largement vérifiée, on peut diminuer les dimensions de massif.
- Le niveau de massif ayant été décidé, on calcule la contrainte admissible du sol. On calcule également le tassement prévisible sous la massif. On vérifie que le tassement prévisible est inférieur ou égal au tassement admissible sinon il faut renforcer se sol ou remplacer le.

IV.2.3.Application

IV.2.3.1.Interprétation des données

- **Reconnaissance des lieux et du sol**

Pour projeter correctement un massif, Il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de l'état des lieux, mais il est surtout indispensable d'avoir des renseignements aussi précis que possible sur les caractéristiques géotechnique des différentes couches qui constituent le terrain.

Notre choix a été porté à un massif mixte (massif a surface d'appui et massif poids) qui repose sur un terrain (argile sableux).

- L'étude suppose les terrains (sol d'assise) hors nappe.
- Il est impératif qu'un massif soit mise hors en gel. Le gel a pour effet de faire gonfler le sol en place à cause de l'eau qu'il contient, les cycles de gel-dégel créent des vides sous le massif et engendrent une fissuration dans celui-ci.
- Le massif se trouvant hors eau et non soumis a charges roulantes (voirie), aucun lestage n'est à prévoir puisque le risque de soulèvement est inexistant.

Des essais pourront être réalisés sur ce terrain avant la réalisation de massif pour vérifier ces hypothèses.

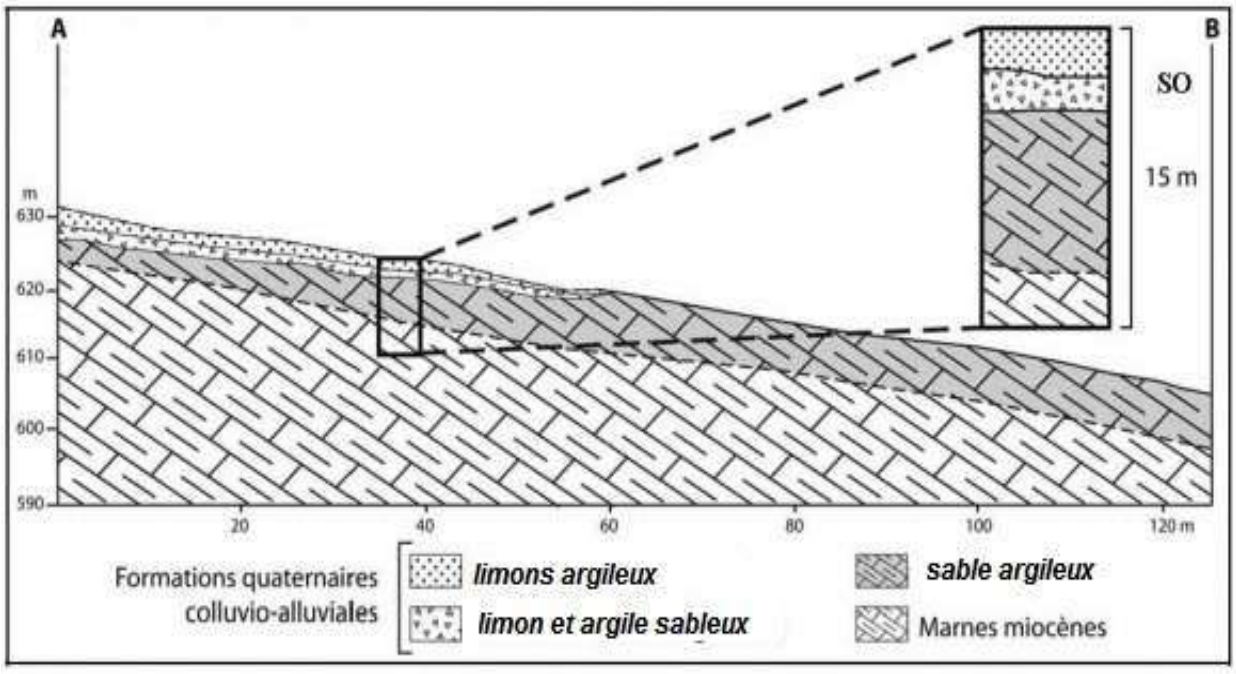


Figure N°IV.17 : un sondage carotté qui détaillé les différentes couches de sol.

Toutes les données sont résumées dans le tableau ci-après :

Tableau N°IV.06 : les paramètres du massif ; conduites et terrain

Paramètres	Valeurs	Unités
PN P_{epr} = PN x 1.4	400 560	KPa KPa
DN	1	M
α k = tan α	45 0.766	° /
H	1	M
γ_B	25	kN/m^3
σ	40	KPa
φ tan φ	30 0.58	° /
C	45	KPa
γ_R	15	kN/m^3
kp = $\tan^2(\pi/4 + \varphi/2)$	3	/

IV.2.3.2.Calcul des dimensions du massif

- ✓ **Calcul de la poussée hydraulique « F »**

On a: $\mathbf{F = k \times P \times S}$

Donc: F = 0,766 x 0,785 x 560

F = 336,733 kN

- ✓ **Calcul du volume du massif « V »**

On a $\boldsymbol{V = \frac{F}{tan\varphi \times \gamma}}$

$V = \frac{336,733}{0,58 \times 25}$

V = 23,22 m^3

- ✓ **Calcul de la surface d'application « S_B » :**

On a : $\mathbf{S_B = F/\sigma}$

Donc : S_B = 336,733 / 40

S_B = 8,42 m^2

On pose les dimensions

L = 3D = 3m ; **L' = 2D = 2m**

Donc **h = 2,8m** (A_B=L x h) et ***l*** **=3.3m**

Car : (V = h x *l x* (L+L')/2)

Et : $S_f = l$ x (L+L')/2 **S_f = 8,25** (la surface inferieur de massif)

IV.2.3.3.La vérification de la stabilité de massif aux états limites

a) Etat limite ultime de mobilisation de la capacité portante du sol

Il faut vérifier que $2{,}5 \leq \frac{\frac{(qu'-q0')}{2} + q0'}{qref'}$

D'abord il faut calculer la contrainte de référence $\mathbf{q_{ref}'}$

$q_{ref}' = \frac{N}{S_f}\left(1 + \frac{3e}{l}\right)$ ou e = M/N

e : l'excentricité de la résultante.

M : moments des actions ou $M_{/0} = M_{B/0} - M_{F/0}$

$M_{B/0}$: moment de la butée par rapport au centre du massif

$M_{F/0}$: moment de la poussée par rapport au centre du massif

$M_{B/0} = B \times Z_B$

B : force de butée de sol

Z_B : bras de levier

$B = (0{,}5 \times kp \times \gamma_R \times h^2 \times L) + (kp \times \gamma_R \times HhL)$

$B = (0{,}5 \times 3 \times 15 \times 2.8^2 \times 3) + (3 \times 15 \times 2.8 \times 3)$

B = 907,200 kN

$Z_B = G_y$ = 1,127m

$M_{B/0} = 968{,}68 \times 1{,}127$

$M_{B/0}$ = 1022,414 kN.m

$M_{F/0} = F \times Z_F$ $M_{F/0} = 336.733 \times 2.3$

$M_{F/0}$ = 774,486 kN.m

$M_{/0} = 1022{,}414 - 774{,}486$

$M_{/0}$ = 247,928 kN.m

$N = V_B \times \gamma_B + V_R \times \gamma_R$ $N = 23.22 \times 25 + 8.25 \times 15$

N = 704,25 kN

e = 247,928/704,25

e = 0.352 m

(e < *l/6* donc q_{ref}' model de Navier répartition trapézoïdale de la contrainte).

$$q_{ref}' = \frac{704.25}{8.25}\left(1 + \frac{3\,x\,0{,}352}{3{,}3}\right)$$

q_{ref}' =112,68 kPa

- ✓ **Calcul de la contrainte de rupture « qu' »**

La méthode pressiométrique rappelé dans le D.T.E .13.12 donne l'expression suivante :

$qu' - q_0' = Ple^* \times k_p$

Ple* : la pression limite équivalente.

k_p : facteur de portance pressiométrique.

- ✓ **Détermination approche de k_p :**

D'après le tableau-valeurs du facteur de portance k_p on tire

k_p = 1.16

- ✓ **Calcul de Ple* :**

Un sondage pressiométrique nous donnons les résultats suivants :

Tableau N°IV.07 : valeurs mesurées avec essai pressiomètre.

Z(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pl (kPa)	300	500	400	700	600	700	800	750	900
Em (kPa)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
couche	Limon argileux-sableux			Argile légèrement sableux				Sable marno	

Ple* = ∑ Pl*/n avec Pl* ≤ 1,5 Pl*min

On applique la formule pour un sol homogène sur (d + 3/2 *l*) de profondeur Z.

Z = 3,8 + 1,5 x 3,3 = **8,75 m**

Tableau N°IV.08 : calcul des pressions limite **« Pl* »**

niveau	Z (m)	Pl (kPa)	$\sigma_v = \gamma . d$ (kPa)	$\sigma_h = \sigma_v . k_0$ (kPa)	Pl* = Pl - σ_h (kPA)
0	3,8	640	57	28,5	611,5
l/2	5,45	645	81,75	40,875	604.125
L	7,10	795	106,5	53,25	741,75
3/2 *l*	8,75	862,5	131,25	65,625	796,875

On tire Ple* = $\frac{611.5+604.125+741.75+796.875}{4}$

Ple* = 688,562 kPa

Donc qu'-q_0' = 688,562 x 1,16

qu'-q_0' = 798,732 kPa

$$\mathbf{2,5 \leq \frac{(qu'-q0')/2 + q0'}{qref'} \Rightarrow (qu'-q_0')/2 + q_0' = \frac{798.732}{2} + 15x3.8 = 456,366}$$

$$\mathbf{\frac{456.366}{112.68} = 4,05 > 2,5}$$ **Vérifier**

b) Etat limite de service de décompression du sol

e ≥ *l* /6 (règle du tiers central) la condition est vérifier car (e = 0,352) < (3,3 / 6 = 0,55)

Il faut vérifier que : **0,75 x S_f ≤ A'**

Calcule de la surface comprimée «A' »

A' = (***l*** – 2e) (L+L') / 2 A' = (3,3 - 0,704) (3 + 2) / 2

A' = 6,49 m²

Et **S_f x 0,75 = 8,25 x 0,75 = 6,1875 < 6,49** **Vérifier**

c) Etat limite ultime de glissement

Il faut vérifier que :

T≤ (N.tan φ/1,2)+(c'.A'/1,5)

Net T : désignent les composantes normale et tangentielle de la résultante des actions appliquées à la fondation.

φ' et c' : désignent l'angle de frottement et la cohésion du sol de massif ou de l'interface sol/ouvrage.

T = F

T = 336,733 kN

Et (N x tan φ /1,2) + (C' x A' / 1,5) = (704,25 x 0,58 / 1,2) + (45 x 6,49 / 1,5)

(N x tan φ /1,2) + (C' x A' / 1,5)= 535,087 kN > T = 336,733 kN **Vérifier**

Conclusion

Pour le massif étudié établie sur une couche d'argile sableux, on observe que la hauteur nécessaire, vis-à-vis de l'ELU de portance, est inférieure à 3.0 m.

L'optimisation d'un projet est toutefois un sujet différent de la vérification de sa sécurité et elle doit aussi tenir compte de la classe de conséquence de l'ouvrage et de l'impact économique qui en découle et bien sur de tous les autres états limites, notamment les ELS.

Lorsqu'il existe des contraintes d'encombrement ou si la mauvaise tenue des terrains interdit la construction de massifs en béton, il est possible d'utiliser les techniques de verrouillage des joints.

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire fournit au lecteur à la fois des informations générales et techniques pour aider à la conception, de spécification, de l'approvisionnement, l'installation, et la compréhension des tuyaux en fibre de verre et leurs accessoires. Il est destiné à être utilisé par toutes les personnes qui en ont besoin, que ce soit à un ouvrage de référence ou un manuel pour ceux pas complètement familier avec tuyau de fibre de verre et produits de montage.

Il ya une discussion de la pratique pour le dimensionnement du massif butée. Les calculs présentés ne constituent qu'une base théorique de travail étant entendu que chaque butée est en soi un cas d'espèce fonction de l'endroit et du terrain concernés.

L'étude du choix et du dimensionnement de fondations est un travail très important dans le cadre de la mise en œuvre des ouvrages. Au bout de ce travail, nous avons vu un cas d'un massif butée mixte (surface d'appui et poids) d'un coude de 45° qu'il se pose sur un sable argileux, cette réalisation nous a permis de faire les constats suivants pour l'analyse d'un massif en béton :

- Le prédimensionnement est une étape nécessaire pour la suite de l'analyse ;
- La forme de massif est joue un rôle très important pour amélioré ça capacité et ça résistance il dépend de (type de joints, la valeur de pression, le terrain …) ;
- La reconnaissance du sol, où va être implanté l'ouvrage, est capitale pour connaître la nature du sol d'assise de l'ouvrage ;
- Il est impératif qu'un massif de butée soit mise hors en gel ;
- Préférer les sols rocheux et fermes aux sols meubles ;
- Veiller que la couche d'appui des massifs soit suffisamment épaisse, ne reposant pas sur une couche instable ;
- Appuyer à un minimum de profondeur sur couche compacte, homogène et hors d'eau de préférence ;
- La capacité portante du sol, doit être suffisante et vérifie la conception et calcul en vigueur ;
- Recevoir les charges tout en limitant les tassements différentiels ;
- Les couches en remblais ou sols reconstitués ne sont pas admises (sauf justifications spéciales ;

- Le choix définitif du site sera arrêté sur la base des résultats d'investigations dont l'importance sera en rapport avec celle de l'ouvrage projeté ;
- Il importe que le béton soit coulé directement contre le terrain en place, et qu'il soit de résistance mécanique suffisante ;
- En principe, les butées sont établies à partir du fond de la tranchée mais on peut effectue si nécessaire les affouillements voulus pour donner aux butées la forme appropriée. En outre, compte tenu des circonstances locales, dans certains cas on doit établir, soit des massifs en béton armé, soit l'amarrage des conduites au moyen de carcans réalisés en fers plats travaillant en traction et scellés dans les massifs. Les carcans sont protégés contre la corrosion ;
- Enfin, ce mémoire nous a donné la possibilité de récapituler nos connaissances acquises durant le cursus universitaire, de les améliorer, et de les enrichir par des nouvelles telles que les massifs butée ou les systèmes tuyauteries.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET REGLEMENTAIRES

- ADE.MÉMOIRE D'HYDRAULIQUE SOUTERRAINE M. CASSAN Editeur Presses de I'ENPC - 1993 1 ex 627 CAS
- Adolphe Trébuchet. Rapport général sur les travaux du Conseil d'hygiène publique et de salubrité du département de la Seine depuis 1849 jusqu'à 1858 inclusivement. Impr. Boucquin, 1861.
- Amar S. Clarke B.G.F. and Gambin M., Or T.L.L. The application of pressuremeter test results to foundation design in Europe, Comité Technique Régional Européen 4, Pressiomètre, A.A.Balkema; 1991; 1-24.
- American Water Works Association. ANSI/AWWA C950, Standard for Fiberglass
- Baud J.P. 2005. Analyse des résultats pressiométrique Ménard dans un diagramme spectral Log (Pl) Log (EM/Pl) et utilisation des regroupements statistiques dans la modélisation d'un site, *Symp.Int. ISP5 – Pressio 2005, Paris, Vol.1, 22-34*
- Bolton M.D. The strength and dilatancy of sand, Geotechnique, 1986; 36: 65-77.
- Cambou B. and Bahar R. Utilisation de l'essai pressiométrique pour l'identification de paramètres intrinsèques du comportement du sol, Revue Française de Géotechnique, 1993 ; 63 : 39-50.
- CARLIER M. : Hydraulique générale et appliquée, Editions Eyrolles (1972).
- Darcy, H. (1857). Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux (Vol. 1). Mallet-Bachelier
- DTU 13.12 (DTU P11-711) : Calcul des fondations superficielles (Mars 1988) ;
- Eurocode 0 (NF EN 1990) : Eurocodes structuraux - Bases de calcul des structures (Mars 2003) ;
- Eurocode 1 (NF EN 1991) : Eurocodes structuraux - Actions sur les structures ;
- Eurocode 2 (NF EN 1992) : Calcul des structures en béton armé ;
- Eurocode 7 (NF EN 1997) : Calcul géotechnique (Juin 2005) ;
- Fascicule 62 : Règles Techniques de conception et de calcul des fondations des ouvrages de génie civil (Edition Eyrolles 2004) ;
- Fascicule 70 : Les conditions techniques particulières d'exécution des travaux de terrassement, de fourniture et pose de conduites d'assainissement.
- Fascicule 71 : Les conditions techniques particulières d'exécution des travaux de terrassement, fourniture et pose de conduites d'eau, accessoires et branchements.
- GÉOTECHNIQUE - Recueil de normes tome 1 : Essais en laboratoire tome 2 : Essais sur site tome 3 : Justification des ouvrages. Exécution des travaux. Editeur AFNOR - 1999 1 ex 624.15
- GRAF W. H., ALTINAKAR M. S. : Hydrodynamique : Une introduction, Traité de Génie Civil, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Presse polytechnique et universitaire romanes (1995).
- GRAF W. H., ALTINAKAR M. S. : Hydraulique fluviale : écoulement non permanent et phénomènes de transport, Tome 2, Traité de Génie Civil, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Presse polytechnique et universitaire romanes (1996).

- GUEYE I. 2012 : cours de Fondations superficielles institut internationale de l'eau et de l'environnement 2IE.
- K. Terzaghi, R.B. Peck & G. Mesri Editeur John Wiley & sons - GEO SOIL MECHANICS IN ENGINEERING PRACTICE- 1996 1 ex 624.1 TER Géotechnique 1 - J. Lérau.
- MOHR CIRCLES, STRESS PATHS AND GEOTECHNICS R. H. G. Parry Editeur Spon - 1997 1 ex 624.1 PAR
- Monnet J. and Khlif J. 1994. Etude théorique de l'équilibre élastoplastique d'un sol pulvérulent autour du pressiomètre, *Revue Française Géotechnique (67), 71-80.*
- Philipponnat & B. Hubert Editeur Eyrolles _ OUVRAGES GENERAUX FONDATIONS ET OUVRAGES EN TERRE G. - 1997 6 ex 624.1 PHI.
- Pressure Pipe. Denver, Colo.: American Water Works Association
- Règles BAEL 91 révisées 99 (DTU P18-702) : Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites (Février 2000) ;
- R. Lancellotta Editeur Balkema _ GEOTECHNICAL ENGINEERING - 1995 6 ex 624.1 LAN.
- Sidoine Apollinaire. Poésie 1. Œuvres, traduction, avec le texte en regard et des notes par J.F. Grégoire et F.-Z. Collombet.
- SINNIGER R.O., HAGER W. H. : Constructions hydrauliques : Ecoulements stationnaires, Traité de Génie Civil, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Presse polytechnique et universitaire romanes (1989).
- Techniques de l'Ingénieur (C2314) : Béton Armé - Règles BAEL - Ossatures et éléments courants des structures ;
- VIOLET P.L., CHABARD J.P., Mécanique des fluides appliquée, Presses des ponts et chaussées, ed. 1998.