



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Laboratoire de Recherches Sciences de l'Eau

Département hydraulique

Mémoire De master

Thème :

---

Etude technico – économique comparative pour le  
choix du matériau de conduite destiné a l'eau potable

---

Dirigé par : **S.BENZIADA**

Réalisé et présenté par : **SEGHIR OUALI Samir**

Soutenu le 23/06/2014 devant le jury suivant :

Pr. S.BENMAMER	Président
Dr. NAKIB	Examineur
N. NEBACHE	Examineur
S.BENZIADA	Promoteur

**Promotion 2015**

*ENP, 10 Avenue Hassan Badi BP. 186 EL HARRACH, ALGER*

# Remerciements

*Merci à notre bon Dieu, notre guide, notre force, notre bonheur, et la raison de notre existance. C'est lui qui nous a fait comprendre le but de cette vie, et qui nous a donné le pouvoir d'aimer les gens et d'apprécier les choses. Merci d'être là dans les moments les plus difficiles.*

*Tout d'abord, on remercie Monsieur S.BENZIADA et melle.BENMAMAR d'avoir été nos promoteurs et surtout de travailler avec eux. On est très reconnaissant pour leurs disponibilité, pour leurs écoute, ainsi que pour leurs confiance pour bien mener ce travail.*

*Les travaux présentés dans ce mémoire ont été réalisés au sein de l'entreprise Stucky ENHYD, dont on remercie monsieur N.smakdji de nous avoir accepté et ouvrir les portes de son entreprise pour notre stage de fin d'étude et aussi notre encadreur Monsieur A.temmar d'avoir été disponible pour les difficultés rencontrées ainsi que son encouragement dans le travail et surtout les moments d'écoutes et de besoins.*

*on tiens aussi à remercier tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation particulièrement ceux du département d'Hydraulique, de m'avoir donné la chance d'apprendre, et de nous faire partager leurs savoirs, sans eux je ne serai jamais arrivé à ce stade.*

*Je remercie toutes personnes qui ont participé à l'élaboration de ce travail de près ou de loin.*

# Dédicaces

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut. . .  
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect,  
la reconnaissance. . Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce projet  
de fin d'étude....*

## *A mes chers parents*

*Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soient-elles ne  
sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Vous avez su  
m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la  
confiance en soi face aux difficultés de la vie.*

*Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je  
ferai toujours de mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous  
décevoir. Que Dieu, le tout puissant, vous préserve, vous accorde santé,  
et bonheur.*

## *A mes sœurs : imane et fadoua et mon cher frère : imade*

*Merci d'être toujours à mes côtés, par votre présence, par votre amour  
dévoué et votre tendresse.*

## *A tout les membre de la famille Seghir ouali et Touhari loïn*

*Et à tout ceux qui on collaboré de prés ou de loïn a l'élaboration de ce  
travail*

*SEGHIR OUALI  
Samir*

## SOMMAIR

### Chapitre I : conduites en plastique

<b>1. Polyéthylène (PE)</b> .....	<b>1</b>
1.1. Historique .....	2
1.2. Procédés de Polymérisation .....	2
1.3. Propriétés des polyéthylènes haute densité.....	3
.1.3.1 Caractéristiques générales .....	3
1.3.2. Propriétés mécaniques.....	4
1.3.3. Propriétés thermiques.....	4
1.4. Propriété des conduites en PE .....	4
1.4.1. Corrosion .....	4
1.4.2. Abrasion.....	5
1.4.3. Ductilité et flexibilité .....	5
1.4.4. Autobutage.....	5
1.4.5. Étanchéité.....	5
1.5. Marquage des tubes PEHD .....	6
1.6. Calcul hydraulique .....	7
1.6.1. Rugosité du polyéthylène.....	7
1.6.2. Pertes de charge.....	7
1.7. Soudage des tubes en PE.....	8
1.7.1. La Polyfusion ou soudure bout à bout .....	8
1.7.2. L'électrofusion .....	8
<b>2. Polychlorure de vinyle (PVC)</b> .....	<b>9</b>
2.1. Préparation.....	9
2.2. Propriétés du PVC.....	9
2.2.1. Propriétés physiques .....	9
2.2.2. Propriétés mécaniques.....	10
2.3. Applications du PVC.....	10
<b>3. Conclusion</b> .....	<b>11</b>

### Chapitre II : conduites métallique

<b>Introduction</b> .....	<b>12</b>
<b>1. La fonte</b> .....	<b>12</b>

1.1.	La fonte grise .....	12
1.2.	La fonte ductile.....	13
1.2.1.	Tuyaux en fonte ductile NATURAL .....	14
1.2.2.	Tuyaux en fonte ductile, zinc + peinture bitumineuse DN 60 – 2000 .....	15
1.2.3.	Tuyaux en fonte ductile, TT DN 80 – 700 .....	18
1.2.4.	Tuyaux en fonte ductile, PUX .....	19
1.2.5.	Tuyaux en fonte ductile, ZMU DN 80 - 700 .....	20
1.2.6.	Tuyaux en fonte ductile, ISOPAM.....	22
1.2.7.	Tuyaux en fonte ductile, PUR .....	25
1.3.	Notion de pression.....	25
<b>2.</b>	<b>Les conduites en acier .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.</b>	<b>Définition.....</b>	<b>26</b>
2.2.	Caractéristique de l’acier.....	26
2.2.1.	Conduite en acier .....	26
<b>3.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>29</b>

### **Chapitre III : comparaison des conduites**

<b>Introduction.....</b>	<b>30</b>
<b>1. Comparaison technique entre les tuyaux en fonte ductile et l’acier .....</b>	<b>30</b>
<b>2. Comparaison technique entre les tuyaux en PEHD et PVC .....</b>	<b>31</b>
2.1. Synthèse : .....	31
<b>3. Comparaison des pressions .....</b>	<b>32</b>
<b>4. Protection contre la corrosion .....</b>	<b>32</b>
4.1. Corrosion : principes et définitions .....	32
4.2. Corrosion des conduites d’aqueduc en métal.....	33
4.3. Différents types de corrosion des conduites en fonte .....	35
4.4. Relation sol corrosion des conduites .....	35
4.4.1. La résistivité du sol .....	36
4.4.2. Le pH du sol .....	36
4.4.3. Le potentiel redox .....	36
4.4.4. Sulfates ou présence de bactéries sulfato-réductrices .....	36
4.4.5. Présence d’humidité dans le sol.....	37
4.4.6. Le TAS, un indice pour caractériser l’agressivité du sol .....	37

4.5.	Protection des conduites contre la corrosion .....	38
4.5.1.	par revêtement.....	38
4.5.2.	Par la protection cathodique.....	38
4.5.3.	Soutirage de courant .....	38
4.5.4.	Protection par anode réactive.....	38
<b>5.</b>	<b><i>coup de bélier</i></b> .....	<b>39</b>
5.1.	Le phénomène du coup de bélier.....	39
5.2.	Causes du coup de bélier :.....	39
5.3.	Les risques du coup de bélier .....	39
5.4.	La protection des conduites contre le coup de bélier.....	39
5.5.	Les paramètres du coup de bélier : .....	40
	Calcul de la célérité d'ondes :.....	40
<b>6.</b>	<b><i>Toxicité du matériau</i></b> .....	<b>42</b>
<b>7.</b>	<b><i>La durabilité et Vieillessement</i></b> .....	<b>43</b>
<b>8.</b>	<b><i>Étude économique</i></b> .....	<b>43</b>
8.1.	Prix des conduites.....	43
8.2.	Pose des conduites .....	44
8.3.	Gamme des produites .....	46
<b>9.</b>	<b><i>Synthèse finale</i></b> .....	<b>47</b>
	Conclusion générale .....	48
	<b><i>références bibliographiques</i></b> .....	<b>49</b>
	Annexe.....	50

## Liste des figures

<b>Figure I. 1</b> : Molécule de polyéthylène .....	1
<b>Figure I. 2</b> : Équation de base de la polymérisation .....	2
<b>Figure I. 3</b> : Marché européen des tubes en PE .....	3
<b>Figure I. 4</b> : La flexibilité des conduites en PEHD .....	5
<b>Figure I. 5</b> : Les conduites PEHD en couronne .....	6
<b>Figure I. 6</b> : Des conduites PEHD en bars .....	6
<b>Figure I. 7</b> : Marquage des tubes en PEHD .....	7
<b>Figure I. 8</b> : Schéma de Polymérisation du PVC.....	9
<b>Figure I. 9</b> : segmentation des Applications du PVC .....	10
<b>Figure II. 1</b> : Diagramme d'équilibre des phases Fe .....	12
<b>Figure II. 2</b> : la combinaison fer carbone dans la fonte grise par microscope .....	13
<b>Figure II. 3</b> : La combinaison fer carbone dans la fonte ductile par microscope .....	13
<b>Figure II. 4</b> : Conduite de type fonte ductile NATURAL .....	14
<b>Figure II. 5</b> : Schématisation du revêtement zinc aluminium [4].....	14
<b>Figure II. 6</b> : schématisation du revêtement zinc aluminium .....	15
<b>Figure II. 7</b> : conduite de type fonte ductile zinc + peinture bitumineuse .....	16
<b>Figure II. 8</b> : conduite de type fonte ductile TT .....	18
<b>Figure II. 9</b> : Conduite de type fonte ductile ZMU .....	20
<b>Figure II. 10</b> : Conduite de type fonte ductile ISOPAM .....	22
<b>Figure II. 12</b> : Schématisation de la jonction de deux conduites ISOPAM .....	23
<b>Figure III. 1</b> : Processus de corrosion du fer .....	32
<b>Figure III. 2</b> : Paramètres qui contribuent à l'affaiblissement des conduites d'eau .....	34
<b>Figure III. 3</b> : Quelques formes de corrosion les plus répandues sur les conduites métalliques .....	35
<b>Figure III. 4</b> : comparaison des différent célérité des ondes pour différent matériau .....	41
<b>Figure III. 5</b> : Schématisation du phénomène de migration.....	42
<b>Figure III. 6</b> : pose des conduites rigides (acier et fonte ductile ) .....	44
<b>Figure III. 7</b> : Pose des conduites flexible .....	45
<b>Figure III. 8</b> : gammes des diamètres des conduites disponibles sur le marché .....	46

## Liste des tableaux

<b>Tableau I. 1</b> : Propriété du PEHD .....	4
<b>Tableau I. 2</b> : Les propriétés mécaniques du PVC .....	10
<b>Tableau I. 4</b> : caractéristique des tubes en PVC.....	11
<b>Tableau II. 1</b> : caractéristique des conduites fonte ductile NATURAL .....	15
<b>Tableau II. 2</b> : caractéristiques des conduites fonte ductile ' zinc + peinture bitumineuse .....	17
<b>Tableau II. 3</b> : Caractéristique des conduites de type fonte ductile TT .....	18
<b>Tableau II. 4</b> :Caractéristique des conduites de type PUX .....	19
<b>Tableau II. 5</b> : Caractéristique des conduites ZMU .....	21
<b>Tableau II. 6</b> :les temps de congélation d'eau pour les conduites ISOPUM .....	24
<b>Tableau II. 7</b> : caractéristiques des conduites en fonte ductile ISOPAM .....	24
<b>Tableau II. 8</b> : Les différentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en fonte.....	26
<b>Tableau II. 9</b> : caractéristiques des conduites en acier soudable .....	26
<b>Tableau II. 10</b> : poids par mètre linéaire pour les conduites en acier à raccordement slip joint .....	27
<b>Tableau II. 11</b> : les revêtements pour les conduites en acier .....	28
<b>Tableau III. 1</b> : Comparaison technique entre les tuyaux en fonte ductile et l'acier.....	30
<b>Tableau III. 2</b> : Comparaison technique entre les tuyaux en PEHD et PVC.....	31
<b>Tableau III. 3</b> : La résistance et les pressions pour chaque martiales .....	32
<b>Tableau III. 4</b> : Les causes et facteurs physiques et environnementaux qui peuvent être à l'origine de la dégradation de la structure des conduites d'eau potable.....	34
<b>Tableau III. 5</b> : Grille d'évaluation du taux d'agressivité du sol selon le standard .....	37
<b>Tableau III. 6</b> : coefficient <b>K</b> pour divers matériaux .....	40
<b>Tableau III. 7</b> : comparaison entre la surpression max et la dégression min pour défèrent conduits.....	41
<b>Tableau III. 8</b> :prix des conduites .....	43
<b>Tableau III. 9</b> :temps de l'installation.....	45



## ملخص

في هذه الدراسة نتطرق للتعريف بخصائص مختلف انواع القنوات المستعملة في مجال التزويد بالماء الشروب على غرار القنوات المعدنية و البلاستيكية و من ثمة تحديد المعايير المعمول بها في مختلف المشاريع و الدراسات الحديثة في مجال الري وتطرقنا كذلك للمقارنة بين مختلف اسعار القنوات وهذا بغية الاختيار الصائب لنوعية القنوات من اجل ديمومة المشروع و تزويد المستهلكين بماء شروب ذو نوعية مقبولة بسعر ملائم.

**الكلمات المفتاحية** مقارنة, القنوات البلاستيكية, القنوات المعدنية.

## **Résumé :**

Dans cette étude nous aborderons la définition des différentes caractéristiques des conduites utilisées dans le domaine de l'alimentation en eau potable comme les conduites en plastique et les conduites métalliques et par la suite déterminer les critères utilisés dans les différent projet et étude moderne dans le domaine de l'hydraulique et on a aussi abordé la comparaison économique des déférentes conduites pour in bon choix du matériau pour une durabilité du projet et aussi alimenté les abonnés avec une eau de qualité et avec un prix acceptable.

**Mots clés :** les conduites métalliques, les conduites plastiques, comparaison.

## **Abstraction :**

In this study we discuss the definition of the different characteristic of the pipes used in the food sector in drinking water such as plastic pipes and metal pipes and subsequently determine the criteria used in project and deferential modern study in the field hydraulics and we also discussed the economic comparison of deferent ducts for good in choice of material for a project sustainability and also fueled subscribed with quality water at an acceptable price.

**Keywords:** the metal pipes, plastic pipes, comparison

# **Introduction général**

# Introduction générale

Dans nos jours il y a plusieurs projets en hydraulique que ce soit des transferts ou des distributions d'eau potable, des aménagements hydrauliques assainissement urbain ou rural ...Etc.,

Ce qui est commun entre ces projets-là c'est l'utilisation des matériaux et des équipements spécifiques, aménagés de telle façon qu'elles accomplissent une fonction bien précise, mais la question qui se pose toujours c'est qu'elle est le rendement de ces ouvrages hydrauliques, et par récurrence le rendement de ces ouvrages dépend de plusieurs paramètres, la principale d'entre eux c'est la qualité des matériaux à choisir, et celle-ci va influencer énormément sur le rendement des ouvrages hydrauliques.

Les conduites se présentent ici comme étant le matériau principal dans toutes les réalisations d'hydrauliques et ce qu'on cherche à travers de ce travail c'est la détermination de quel matériau de conduite qui présente plus d'avantage par rapport aux autres matériaux, donc on fait en sorte une comparaison technique entre les différents matériaux de conduite sur plusieurs critères en plus une comparaison économique pour que le matériau choisi soit le plus technico-économique.

# **Chapitre I**

## **Conduites en plastique**

## Chapitre I

## Conduites en plastique

### Introduction

Les plastiques sont nés en 1868 avec l'invention du celluloïd puis ils ont végété une soixantaine d'années jusqu'à ce que les chercheurs disposent de bases physico-chimiques suffisantes pour se lancer dans toutes les voies possibles de la polymérisation.

Maintenant, rigides ou souples, transparents ou opaques, prenant les formes les plus complexes, isolantes, résistantes aux intempéries, ils ont envahi tous les secteurs.

Et hydraulique n'est pas à l'abri de cette domination puisque les plastiques se sont imposés dans le temps et on trouve maintenant des outils en plastique sur toutes les conduites, puisqu'il existe actuellement des conduites en PE et aussi des conduites en PVC.

Ce que nous allons faire dans ce travail est de présenter les matières en plastique utilisées pour la fabrication des conduites.

### 1. Polyéthylène (PE)

Une molécule de polyéthylène n'est qu'une longue chaîne d'atomes de carbone, avec deux atomes d'hydrogène attachés à chaque atome de carbone [KEBBI Malika, 2010]

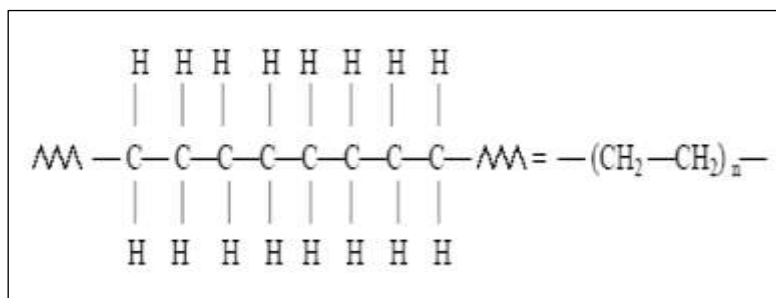


Figure I. 1 : Molécule de polyéthylène

Les polyéthylènes sont des matériaux thermoplastiques semi-cristallins obtenus par polymérisation de l'éthylène. Ils ont des usages variés et une structure très simple, la plus simple de tous les polymères commerciaux.

Dans la famille du polyéthylène, les produits se différencient par leur structure moléculaire issue de leur mode de synthèse.

- Le polyéthylène à basse densité PE-BD : il est obtenu par des procédés opérant sous haute pression leur densité est comprise entre 0,915 et 0,935 g/cm<sup>3</sup>. Les chaînes

obtenues comportent de nombreux branchements courts et longs répartis de manière aléatoire.

- Le polyéthylène à haute densité PE-HD : il est synthétisé en utilisant des procédés opérant à basse pression. Les densités des produits varient de 0,95 à 0,97 g/cm<sup>3</sup>. Il se caractérise par des chaînes linéaires dépourvues de branchements longs. [KEBBI Malika,2010]

### 1.1. Historique

Le polyéthylène haute densité a été obtenu par des procédés de polymérisation de l'éthylène à basse pression au milieu des années cinquante. La première usine fut construite en 1955 par la société Philips au Texas, ce fut ensuite Hoeschst qui démarra la première unité selon le procédé Ziegler en 1956 [KEBBI Malika,2010].

### 1.2. Procédés de Polymérisation

Il existe plusieurs procédés de polymérisation le plus ancienne est le procédé standard oïl, mais celui-ci a été abandonné, et les procédés les plus célèbres aujourd'hui sont le procédé Phillips et le Procédé Ziegler. Les deux procédés sont basés sur l'utilisation d'un catalyseur et chacun a sa technologie, mais ce qui reste commun c'est l'équation de base de la polymérisation qui est la suivante.

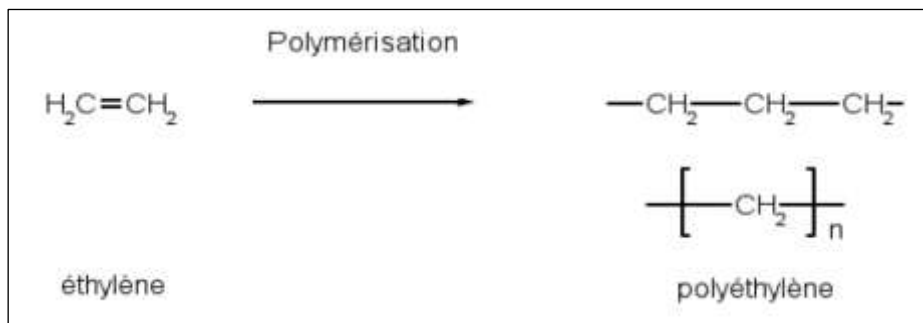


Figure I. 2 : Équation de base de la polymérisation

#### ❖ *Application de PE*

Selon les caractéristiques mécaniques souhaitées, on fait appel à des PE de densités variables dans plusieurs domaines. La figure (I.3) schématise les différents domaines d'application du PE.

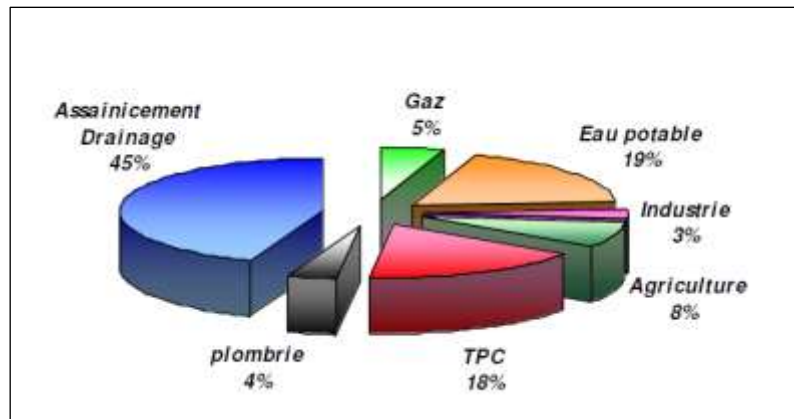


Figure I. 3 : Marché européen des tubes en PE [KEBBI Malika,2010]

Il est bien clair que les matières de type PE sont les plus utilisées comme conduite dans le domaine d'hydraulique, ce qui nous amène à bien détailler les propriétés des conduites en PEHD.

### 1.3. Propriétés des polyéthylènes haute densité

#### 1.3.1. Caractéristiques générales

##### ❖ Le taux de cristallinité

Le taux de cristallinité est étroitement dépendant de la structure moléculaire. Il est faible dans le cas du polyéthylène basse densité radicalaire (PEBDR), du à sa structure branchée qui empêche pratiquement les molécules de se serrer les unes contre les autres, et est élevé dans le cas du PEHD homopolymère, dû à la structure linéaire de ses chaînes qui se replient facilement pour former des cristallites.

L'incorporation des branches courtes dans les chaînes linéaires, favorisant l'encombrement stérique, abaisse la cristallinité. La diminution du taux de cristallinité amène à la diminution de la densité, et par conséquent à l'augmentation de certaines propriétés mécaniques comme la résistance au choc [KEDDAR Sarah,2014].

##### ❖ La masse moléculaire

D'une manière générale, plus les chaînes polymériques sont longues (masse moléculaire grande) plus la viscosité à l'état fondu est élevée, la mise en œuvre est plus difficile et les propriétés mécaniques sont meilleur. Dans la pratique, la détermination de l'indice de fluidité à chaud (IF) du PE, qui est inversement proportionnel à la viscosité, donne une estimation sur sa masse moléculaire.

##### ❖ Propriétés rhéologiques

Le PEHD à l'état fondu présente un comportement viscoélastique non linéaire, cela signifie que sa viscosité diminue avec l'augmentation du cisaillement. Lors de l'extrusion, le polyéthylène est soumis à un gradient de vitesse de cisaillement, du cylindre de l'extrudeuse à la filière. Il est donc important de connaître la courbe de viscosité-vitesse de cisaillement

sur l'étendue de la plage de cisailent. La mesure de l'indice de fluidité à chaud (IF) permet d'estimer la viscosité à une vitesse de cisaillement donnée.

### 1.3.2. Propriétés mécaniques

La rigidité et la dureté du PEHD augmentent avec la densité, et donc avec la cristallinité. La rigidité est mesurée au moyen de module d'élasticité qui varie d'environ 1600 MPa (dans le cas du PEHD) alors que la dureté (Shore D) varie d'environ 60.

### 1.3.3. Propriétés thermiques

Le point de fusion du PEHD se situe entre 120 et 136°C. La conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique linéaire sont fonction du taux de cristallinité. Ils sont plus élevés pour les homopolymères que les copolymères.

Le tableau ci-dessous regroupe les propriétés de PEHD.

**Tableau I. 1 :** Propriété du PEHD [KEDDAR Sarah,2014]

Propriété		Unité	PEHD
physique	Masse volumique	g/cm <sup>3</sup>	0,925 - 0,956
	Taux de cristallinité	%	75 - 80
	Masse molaire moyenne	g/mol	10000
mécanique	Contrainte a la rupture	Mpa	13 - 25
	Module de traction	Mpa	200 - 600
	Module de flexion	Mpa	60 - 400
thermique	Température de fusion	°C	120 - 136
	Plage de température de résistance	°C	-70 +50

## 1.4. Propriété des conduites en PE

### 1.4.1. Corrosion

Le PE est inerte chimiquement, pour pratiquement tous les usages, à l'intérieur de sa plage de température d'utilisation. Il est imputrescible, il ne rouille pas, ne se pique pas, ne se corrode pas. De ce fait, son épaisseur n'est modifiée par aucune corrosion chimique ou électrique provenant du milieu environnant.

La résistivité des terrains, quel que soit son niveau, n'a pas d'effet sur les tubes et les raccords constituant le réseau en polyéthylène. De même, il est totalement inerte vis-à-vis des courants électriques vagabonds générés par l'activité des transports en commun ou par les industries. Les réseaux PE installés supportent sans conséquence l'exploitation d'un réseau tramway.



### 1.4.2. Abrasion

Les tubes polyéthylène résistent très bien à l'abrasion. Lorsqu'on compare les tubes PE aux tuyaux conventionnels utilisés pour des applications identiques, on constate une augmentation considérable de la durée de vie des canalisations PE vis-à-vis de ce phénomène physique.

### 1.4.3. Ductilité et flexibilité

La ductilité inhérente au PE permet aux conduites d'absorber les impacts, les vibrations et les contraintes causés par les mouvements de sol. La propriété de flexibilité et l'aptitude à se déformer sans dommage permanent permettent en outre aux conduites d'être cintrées dans le cas de tracés difficiles ou de changement de direction. Leur aptitude à s'adapter aux mouvements du sol est particulièrement intéressante dans les terrains potentiellement instables, tels que des zones comblées récemment, au-dessus de carrières ou encore des zones sismiques.



Figure I. 4 : La flexibilité des conduites en PEHD

### 1.4.4. Autobutage

Les canalisations PE permettent de limiter au minimum les points d'ancrage du réseau. Cette caractéristique, assurée par l'aptitude du matériau PE à être conditionné en grandes longueurs ( $DN \leq 160$ ) et par les techniques de raccordement par soudage, simplifie la conception du réseau. L'autobutage a des répercussions non négligeables dans la rapidité d'exécution du projet. [Chiali,2012]

### 1.4.5. Étanchéité

Le mode d'assemblage du PE (soudage par électro-fusion & soudage bout à bout) confère au réseau une étanchéité quasiment parfaite. Des essais de résistance à la pression hydraulique effectués au laboratoire ont montré que les joints de soudures sont plus fiables que le tube. Lorsque l'essai est poussé jusqu'à la rupture, celle-ci se produit toujours en dehors de la zone de soudure. Le soudage confère à l'assemblage un verrouillage durable ; plus de déboîtement possible, quelles que soient les contraintes subites par la conduite comme les surpressions ou les mouvements du terrain. [Chiali,2012]

Les conduites en PEHD sont disponibles en deux types :

- ❖ **Les conduites en couronne** : jusqu'à un diamètre 125 mm.



**Figure I. 5** : Les conduites PEHD en couronne

- ❖ **Les conduites en bars** : des bars de longueur de 6m, 8m,12m et 14 mètre



**Figure I. 6** : Des conduites PEHD en bars

### **1.5. Marquage des tubes PEHD**

Chaque tube doit porter de façon apparente et indélébile, répétées chaque mètre les indications suivantes :

- la désignation commerciale et / ou le sigle du fabricant,
- la matière constitutive (PE) et la valeur de la résistance minimale requise (MRS),
- la mention « eau potable » suivie de la valeur de la pression nominale PN,
- les dimensions nominales : diamètre extérieur nominal x épaisseurs nominales,

- la date de fabrication,
- le numéro du lot de fabrication,
- origine de la matière première.

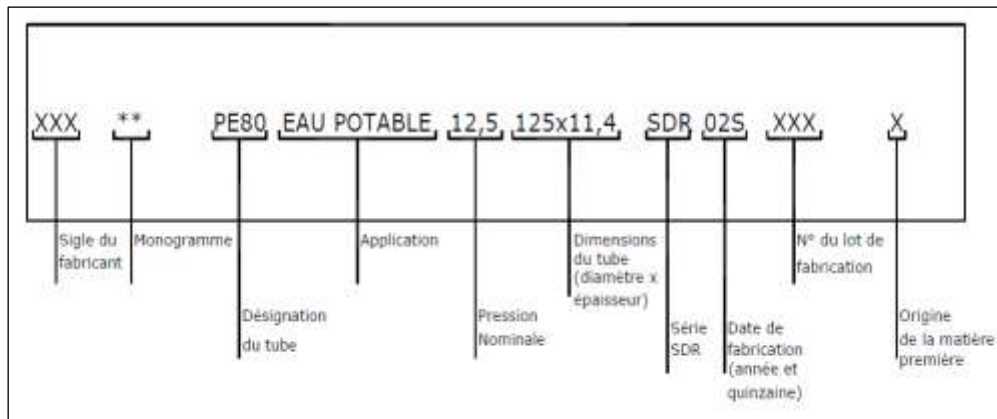


Figure I. 7 : Marquage des tubes en PEHD

La table qui donne tous les diamètres du PEHD avec leur pression nominale et les épaisseurs des parois et dans l'annexe 1.

## 1.6. Calcul hydraulique

### 1.6.1. Rugosité du polyéthylène

Les tubes en polyéthylène présentent un très bon comportement hydraulique. En effet, l'état de surface d'un tube a une très faible rugosité (environ 0,01). De plus le polyéthylène a l'avantage de conserver une paroi très lisse même après une longue période de service. Ainsi les pertes de charge à court et à long terme peuvent être définies avec précision dès la conception.

### 1.6.2. Pertes de charge

Les pertes de charge sont généralement calculées à partir de la formule Colebrook :

$$j = \frac{\lambda}{D} * \frac{v^2}{2g} \quad (I.1)$$

- le coefficient lambda est obtenu par la formule de **Colebrook White** :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -0,86 * \ln\left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}}\right) \quad (I.2)$$

Le nombre de Reynolds est calculé comme suit :  $Re = V * \frac{D}{\nu}$

**Avec** :  $\lambda$  : Coefficient de perte de charge ;  $D$  : Diamètre de la conduite(m) ;  $L$  : Longueur de la conduite(m) ;  $V$  : Vitesse moyenne (m/s) ;  $g$  : Accélération =9,81(m/s) ;  $\varepsilon$  : Rugosité de la conduite(m) ;  $\nu$  : viscosité cinématique de l'eau à 20°C égale  $1,00*10^{-6}$ .

Pour le PEHD le constructeur a proposé un abaque de perte de charge (annexe) telle que la perte de charge est déterminée comme suit :

- Définir le diamètre intérieur de la conduite en mm ;
- Marquer cette valeur sur l'échelle A ;
- Marquer la valeur du débit correspondant au diamètre de la conduite sur l'échelle B ;
- Relier par une droite les points marqués sur l'échelle A et B, puis étendre cette ligne à travers les échelles C et D ;
- La valeur de la vitesse du fluide en m/s est déterminée par l'intersection avec l'échelle C ;
- La perte de charge en mètres par 100 mètres est obtenue par lecture directe sur l'échelle D.

Les pertes de charge sont calculées pour des réseaux linéaires. Il est courant d'appliquer une majoration de 10 à 20 % pour un réseau présentant un nombre de raccords importants.

$$\Delta H_s = 10\% \sim 20\% * \Delta H_L$$

### **1.7. Soudage des tubes en PE**

Il existe deux types d'assemblages pour raccorder les tubes PE (polyéthylène) :

- Polyfusion
- Electrofusion

#### **1.7.1. La Polyfusion ou soudure bout à bout**

##### **❖ Description**

La soudure bout à bout est une méthode simple et rapide de soudure, sans apport de matière, des tubes et des raccords en PEHD de même épaisseur et de même PN (Pression nominale, ce qui signifie que les indices de fluidité doivent être compatibles entre eux).

Cette méthode de soudage, réalisable à partir des diamètres de 63 mm, est souvent utilisée pour des tubes de diamètre supérieur ou égal à 200 mm [Chiali,2012].

##### **❖ Le principe**

La soudure bout à bout peut être divisée en plusieurs étapes :

- Les tubes à souder sont coupés au droit. Les surfaces doivent être propres.
- Les extrémités des tubes et/ou raccords à assembler sont portées à température de soudage (environ 220-230°C) par un outil chauffant, souvent appelé miroir, jusqu'à création du bourrelet.
- Le chauffage est maintenu ensuite sans pression.
- L'outil chauffant est escamoté.
- Les extrémités à souder sont mises rapidement en contact et maintenues en pression pendant le cycle complet de refroidissement.

#### **1.7.2. L'électrofusion**

##### **❖ Description**

Cette technique consiste à assembler 2 tubes de même PN (pression nominale) à l'aide de raccords électrosoudables dans lesquels a été intégrée, dès leur fabrication, une résistance électrique [Chiali,2012].

### ❖ Le principe

Après avoir réalisé un montage dans les règles de l'art, décrite dans la procédure ci-après, la résistance électrique du raccord est connectée à une source d'énergie électrique. La dissipation par effet Joule de la puissance électrique provoque une fusion de surface des deux pièces à assembler et assure grâce à un mélange intime des polyéthylènes des 2 pièces une cohésion et une étanchéité parfaites.

## 2. Polychlorure de vinyle (PVC)

Le polychlorure de vinyle, dont le symbole international PVC découle de l'appellation anglaise « polyvinyle chloride », est une matière thermoplastique de synthèse composée de carbone, d'hydrogène et de chlore. Le carbone et l'hydrogène provenant du pétrole (43%) tandis que le chlore est originaire du sel (57%). La production industrielle du PVC remonte au début des années 1930. C'est un polymère qui occupe une place importante dans l'industrie des matières plastiques. Ses propriétés mécaniques, physiques et son aptitude à être modifié selon les besoins en font un matériau adapté à de multiples usages [KEBBI Malika,2010].

### 2.1. Préparation

Le polychlorure de vinyle est obtenu par polymérisation du chlorure de vinyle monomère (CVM).

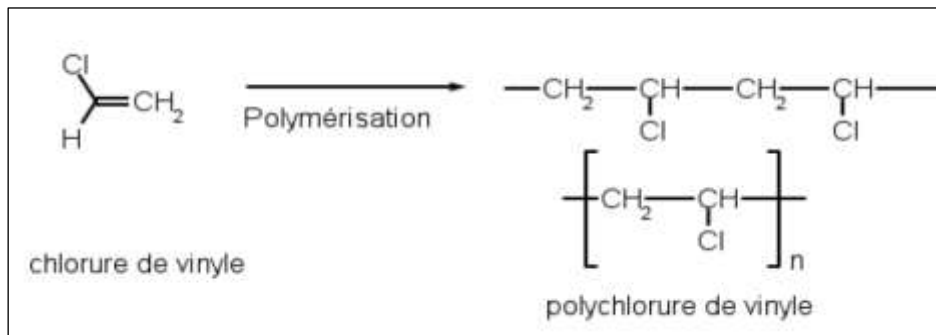


Figure I. 8 : Schéma de Polymérisation du PVC

La réaction de polymérisation du chlorure de vinyle monomère par voie radicalaire donne naissance à des macromolécules linéaires. Industriellement, il existe plusieurs techniques de polymérisation : émulsion, suspension.

### 2.2. Propriétés du PVC

#### 2.2.1. Propriétés physiques

La masse volumique pour les mélanges plastifiés (souples), est d'environ 1,2 à 1,3 g/cm<sup>3</sup> et pour les mélanges non plastifiés (rigides), elle est d'environ 1,4 g/cm<sup>3</sup> [KEBBI Malika,2010].

### 2.2.2. Propriétés mécaniques

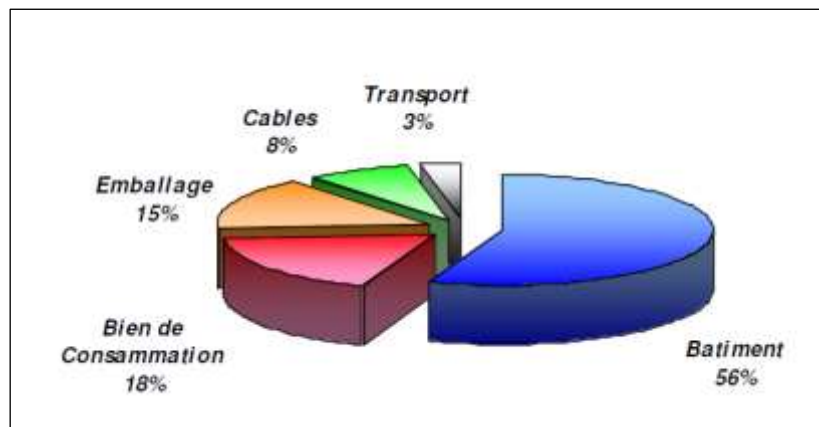
Les principales propriétés mécaniques sont données dans le tableau ci-dessous [KEBBI Malika,2010].

**Tableau I. 2 :** Les propriétés mécaniques du PVC [KEBBI Malika,2010]

Propriétés	Unité	PVC rigide	PVC souple
Dureté	shore/A, D	30 - 80	40 – 80
Module de traction	Mpa	2500-3500	< 1500
Contrainte à la rupture	MPa	30 - 50	10 – 25
Allongement à la rupture	%	100	500

### 2.3. Applications du PVC

La grande diversité des propriétés du PVC permet la fabrication des produits les plus variés. Des formulations peuvent, par exemple, être élaborées pour satisfaire aux exigences les plus strictes en matière de santé publique, d'emballages de produits alimentaires ou de transport d'eau potable. C'est aussi toujours l'un des plus utilisés puisqu'en 2003, avec une consommation mondiale de 28 millions de tonnes, dont près de 6 millions de tonnes dans l'Union européenne et 710000 tonnes en France, il se plaçait au troisième rang derrière le polyéthylène et le polypropylène.



**Figure I. 9 :** segmentation des Applications du PVC [KEBBI Malika,2010]

Dans le domaine d'hydraulique le PVC est utilisé pour :

- Distribution d'eau froide avec pression (branchement) ;
- Adduction et irrigation gravitaire ;
- Refoulement irrigation et eaux usées ;
- Industrie chimique et agroalimentaire ;
- Assainissement et passage de câbles.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques des conduites en PVC sous pression.

**Tableau I. 3** : caractéristique des tubes en PVC[10]

	6 Bar	10 Bar	16 Bar
DN (mm)	e (mm)	e (mm)	e (mm)
63	2,0	3,0	4,7
75	2,3	3,6	5,6
90	2,8	4,3	6,7
110	2,7	4,2	6,6
160	4,0	6,2	9,5
200	4,9	7,7	11,9
250	6,2	9,6	14,8
315	7,7	12,1	18,7
400	9,8	15,3	23,7
500	12,3	19,1	29,7
630	15,4	24,1	34,7

### 3. Conclusion

On a présenté dans le présent chapitre les différentes caractéristiques des conduites en plastique et on a remarqué les conduites en plastique sont des matériaux nouveaux dans le marché des conduites par rapport aux conduites métalliques et présentes aujourd'hui un concurrent réel aux conduites métallique ce qui nous pousse d'aller vers la présentation des conduites métallique qui sera détaillée dans le chapitre suivant.

# **Chapitre II**

## **Les conduites métalliques**



## Chapitre II

## Les conduites métalliques

### Introduction

Les conduites métalliques que ce soit en fonte ductile ou en acier occupent une place primordiale dans le marché des conduites utilisées dans le domaine d'hydraulique à savoir les transferts d'eau ou bien la distribution d'eau potable ou avant traitement ce qui nous pousse à poser des questions : quelles sont ces conduites ? Leurs caractéristiques ? Leur domaine d'application ? C'est à ces questions que nous allons essayer de répondre dans le présent chapitre.

### 1. La fonte

La fonte est un mélange de fer et de carbone en fusion tel que le pourcentage du carbone soit plus de 2,11% et selon le pourcentage du carbone il apparaisse deux formes de fonte.

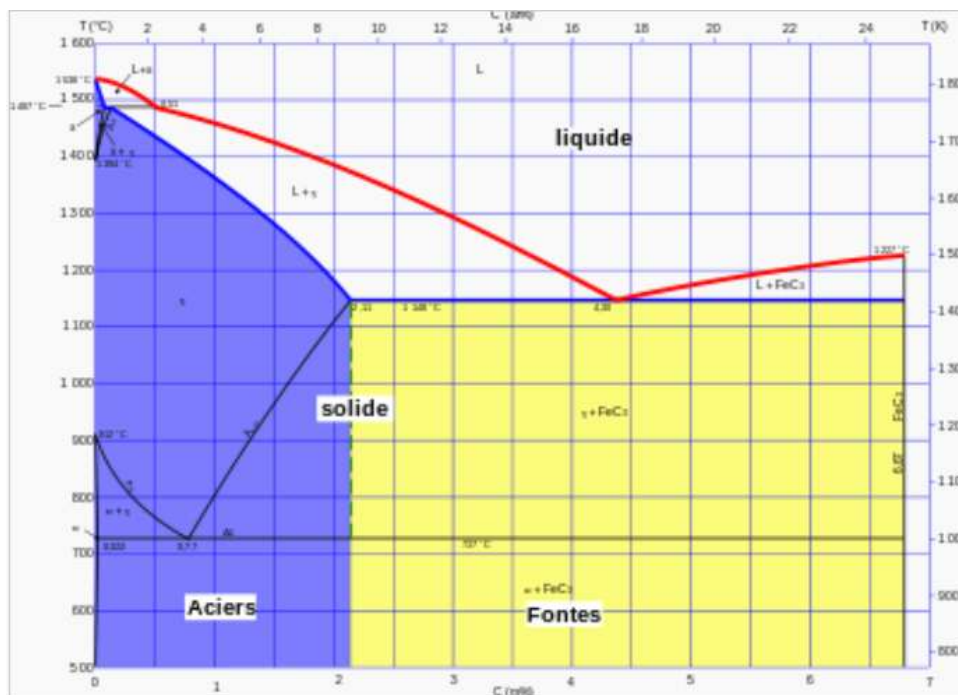
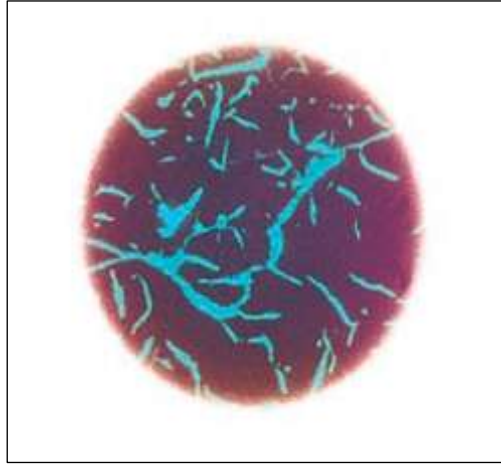


Figure II. 1 : Diagramme d'équilibre des phases Fe

#### 1.1. La fonte grise

La fonte grise est une fonte à graphite lamellaire, c'est-à-dire une fonte où le carbone se cristallise sous forme de lamelles de graphite longues et étroites. Pour obtenir de la fonte, il faut ajouter au fer en fusion beaucoup plus de carbone que pour produire de l'acier. La plupart des nuances d'acier renferment moins de 1.2% de carbone tandis que la fonte en contient généralement de 2.5% à 4% [BENZIADA, 2013].

L'ajout de carbone fait baisser le point de fusion du métal et le rend plus fluide. Il est donc plus facile de donner au métal des formes complexes.



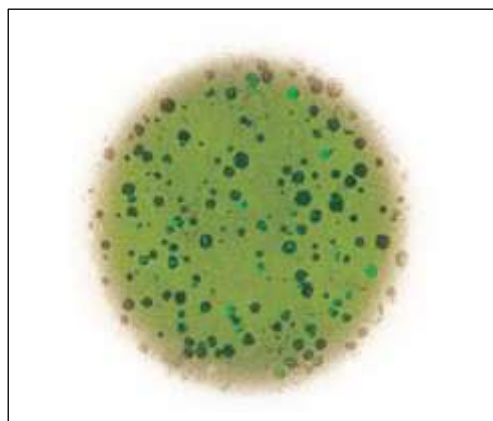
**Figure II. 2 :** la combinaison fer carbone dans la fonte grise par microscope

La fonte grise possède les caractéristiques suivantes :

- résistance à la compression,
- aptitude au moulage,
- résistance à l'abrasion,
- usinabilité,
- résistance à la fatigue.

### **1.2. La fonte ductile**

La fonte ductile, alliage de fer, carbone et silicium, où le graphite apparaît sous forme de lamelles, le graphite dans la fonte ductile apparaît sous forme de sphères, éliminant ainsi le risque de propagation de fissures, d'où un matériau beaucoup plus résistant que la fonte grise, en plus de conserver les propriétés traditionnelles de la fonte grise.



**Figure II. 3 :** La combinaison fer carbone dans la fonte ductile par microscope

Dans la fonte ductile, les particules de graphite apparaissent comme de petites sphères qui éliminent tout risque de propagation des ruptures. Elle est «ductile» et résistante.

La fonte grise possède les caractéristiques suivantes :

- haute limite élastique
- résistance à la traction
- résistance aux chocs
- allongement important

Sa popularité vient du fait que ses propriétés sont compétitives avec plusieurs types d'acier, mais à un coût de fabrication beaucoup moins élevé.

### 1.2.1. Tuyaux en fonte ductile NATURAL

Tuyaux NATURAL est compatible avec plus de 95% des terrains communément rencontrés et dispense des études de sols systématiques. La canalisation peut traverser sans risque des terrains corrosifs sans nécessiter de protection complémentaire.



Figure II. 4 : Conduite de type fonte ductile NATURAL

#### ❖ Revêtement extérieur

Le revêtement extérieur des tuyaux NATURAL est constitué d'une couche de 400 gr/m<sup>2</sup> d'un alliage de zinc et d'aluminium (85/15).

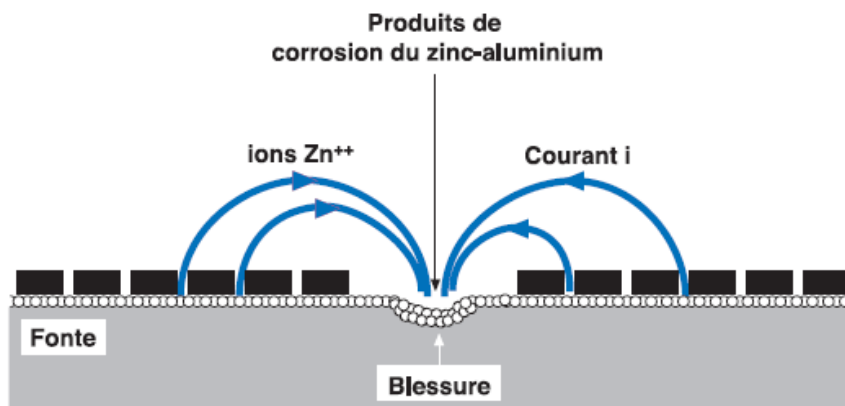


Figure II. 5 : Schématisation du revêtement zinc aluminium

Des essais dans des milieux agressifs démontrent que la protection zinc-aluminium protège le tuyau, même quand ce dernier est endommagé.

### ❖ **Revêtement intérieur**

La protection intérieure des tuyaux est constituée d'un mortier de ciment appliqué par centrifugation assurant:

- D'excellentes conditions d'écoulement hydraulique,
- le maintien de la qualité de l'eau potable transportée,
- une protection efficace de la paroi du tuyau.

**Tableau II. 1** : caractéristique des conduites fonte ductile NATURAL

DN (mm)	e ( mm)	Masse moyenne métrique (Kg)
60	4,8	9,9
80	4,8	12,9
100	4,8	15,7
125	4,8	19,4
150	5,0	23,9
200	5,4	33,4
250	5,8	43,9
300	6,2	55,5
350	6,3	67,9
400	6,4	79,3
450	6,9	93,7
500	7,4	109,9
600	88,6	149,1

### **1.2.2. Tuyaux en fonte ductile, zinc + peinture bitumineuse DN 60 – 2000**

Les tuyaux classiques revêtus extérieurement de zinc et d'une couche de peinture bitumineuse ont prouvé leur efficacité pendant de nombreuses années. Ils offrent la solution pour les grands diamètres. Ces tuyaux sont principalement utilisés pour des applications dans le domaine de l'eau potable.



Figure II. 6 : conduite de type fonte ductile zinc + peinture bitumineuse

### ❖ Revêtement extérieur

Le revêtement zinc est constitué :

- D'une couche de zinc métallique de minimum  $200 \text{ g/m}^2$  appliquée par projection. Il s'agit d'une protection active grâce à l'action galvanique de la pile fer-zinc.
- D'une couche de finition de peinture bitumineuse.

En contact du terrain environnant, le zinc se transforme lentement en une couche protectrice dense, adhérente, imperméable et continue de sels de zinc insolubles. Le bouche-pores favorise la formation d'une couche stable et insoluble.

### ❖ Revêtement intérieur

La protection intérieure des tuyaux est constituée d'un mortier de ciment appliqué par centrifugation assurant:

- d'excellentes conditions d'écoulement hydraulique,
- le maintien de la qualité de l'eau potable transportée,
- une protection efficace de la paroi du tuyau.

Tableau II. 2 : caractéristiques des conduites fonte ductile ' zinc + peinture bitumineuse

D	L	e	masse moyenne métrique
mm	m	mm	Kg

60	6	6	10
80	6	6	13
100	6	6,1	15,9
125	6	6,2	19,7
150	6	6,3	24,2
200	6	6,4	33,8
250	6	6,8	44,5
300	6	7,2	56,2
350	6	7,7	80
400	6	8,1	94,5
450	6	8,6	111,8
500	6	9	129,2
600	6	9,9	167,8
700	7	10,8	216,4
800	7	11,7	265,1
900	7	12,6	317,6
1000	7	13,5	374,4
1100	8,37	14,4	435,8
1200	8,26	15,3	502,8
1400	8,19	17,1	676,8
1500	8,18	18	762,3
1600	8,18	18,9	848,7
1800	8,17	20,7	1031,8
2000	8,13	22,5	1241,5

### 1.2.3. Tuyaux en fonte ductile, TT DN 80 - 700

Les tuyaux TT revêtus extérieurement de polyéthylène coextrudé sont adaptés aux sols corrosifs (sols marins, tourbeux ...) ou présentant un risque de courants vagabonds.



**Figure II. 7 :** conduite de type fonte ductile TT

### ❖ Revêtement extérieur

Le revêtement en polyéthylène est appliqué en usine sur la surface extérieure du fût en fonte par l'intermédiaire d'une couche d'adhésif thermofusible selon une technique de coextrusion. Le polyéthylène extrudé isole le tuyau du sous-sol corrosif. Une manchette protège les jonctions.

Le revêtement extérieur du tuyau est composé:

- de polyéthylène coextrudé (min. 1,8 mm)
- d'une couche d'adhésif
- d'une couche de zinc métallisé

### ❖ Revêtement intérieur

La protection intérieure des tuyaux est constituée d' un mortier de ciment appliqué par centrifugation assurant :

- D'excellentes conditions d'écoulement hydraulique,
- le maintien de la qualité de l'eau potable transportée,
- une protection efficace de la paroi du tuyau.

**Tableau II. 3 :** Caractéristique des conduites de type fonte ductile TT

DN mm	e mm	masse moyenne métrique Kg
80	6	15,6
100	6	19
125	6,3	24,2
150	6	28,3
200	6,3	38,7
250	6,8	51,1

300	7,2	64,8
350	7,7	81,7
400	8,1	97
450	*	*
500	9	132
600	9,9	169,9
700	10,8	223,8 <sup>1</sup>

#### 1.2.4. Tuyaux en fonte ductile, PUX

Lorsque la corrosivité des sols nécessite une protection complémentaire, on recourt à une protection de type PUX pour les tuyaux de grands diamètres.

##### ❖ Revêtement extérieur

Ces tuyaux sont extérieurement revêtus d'une couche de polyuréthane appliquée par projection, épaisseur 900  $\mu$  (minimum 700  $\mu$ ). Un revêtement époxy est appliqué sur le bout-uni et l'intérieur de l'emboîture. Ces tuyaux sont adaptés aux sols extrêmement agressifs.

##### ❖ Revêtement intérieur

La protection intérieure des tuyaux est constituée d'un mortier de ciment appliqué par centrifugation assurant :

- d'excellentes conditions d'écoulement hydraulique,
- le maintien de la qualité de l'eau potable transportée,
- une protection efficace de la paroi du tuyau.

**Tableau II. 4 :**Caractéristique des conduites de type PUX

DN (mm)	L (m)	e (mm)	masse moyenne métrique (Kg)
600	6	9,9	169,7
700	7	10,8	216,7
800	7	11,7	266,0
900	7	12,6	319,0
1000	7	13,5	377,0
1100	8,25	14,4	438,9

<sup>1</sup> \* revenir au constructeur pour avoir cette valeur



1200	8,25	15,3	504,4
1400	8,17	17,1	685,3
1500	8,16	18,0	771,4
1600	8,16	18,9	858,5
1800	8,17	20,7	1044,3
2000	8,13	22,5	1251,3

### 1.2.5. Tuyaux en fonte ductile, ZMU DN 80 - 700

Le tuyau en fonte ductile revêtu extérieurement de mortier de ciment (ZMU) peut être utilisé dans les sols très rocheux (épaisseur des cailloux jusqu'à 100 mm) et se prête parfaitement aux poses recourant à la technique du forage dirigé.

Ce tuyau est généralement utilisé dans des applications de pose sans tranchée, c.-à-d. forages dirigés.



Figure II. 8 : Conduite de type fonte ductile ZMU

#### ❖ Revêtement extérieur

Le revêtement extérieur est constitué d'une couche de mortier de ciment renforcé de fibres synthétiques projetées. Ce revêtement possède une structure multiple :

- couche de zinc,
- couche adhésive,
- mortier de ciment renforcé de fibres.

Le mortier de ciment est projeté sur la surface extérieure du tuyau zingué. Pour améliorer l'adhésion, une couche de résine d'époxy est appliquée sur le tuyau.

### ❖ **Revêtement intérieur**

La protection intérieure des tuyaux est constituée d'un mortier de ciment appliqué par centrifugation assurant:

- d'excellentes conditions d'écoulement hydraulique,
- le maintien de la qualité de l'eau potable transportée,
- une protection efficace de la paroi du tuyau.

**Tableau II. 5 : Caractéristique des conduites ZMU**

DN (mm)	e (mm)	Masse moyenne métrique (Kg)
80	6,0	17,8
100	6,0	21,6
125	6,3	27,3
150	6,0	31,9
200	6,3	43,4
250	6,8	56,8
300	7,2	71,4
350	7,7	89,4
400	8,1	105,6
450	*	*
500	9,0	143,0
600	9,9	182,0
700	10,8	238,0

### **1.2.6. Tuyaux en fonte ductile, ISOPAM**

Les canalisations pré isolé ISOPAM ont pour but d'assurer l'isolation thermique des réseaux particulièrement exposés aux risques de gel. La gamme de tuyaux et raccords de DN 100 à DN 600 est munie d'une isolation thermique appliquée en usine. Les performances mécaniques et d'étanchéité sont celles des canalisations classiques en fonte ductile.



**Figure II. 9 :** Conduite de type fonte ductile ISOPAM

❖ **Revêtement extérieur**

Les fûts des tuyaux et des raccords sont pourvus :

D'une isolation thermique comprenant une mousse de polyuréthane injectée entre le tuyau et d'une gaine en polyéthylène.

L'isolation des jonctions comprend une entretoise en mousse placée sur le bout-uni du tuyau avant emboîtement dans le tuyau précédent. La jonction externe est réalisée à l'aide d'une manchette en élastomère et voici la figure suivante qui schématise la jonction de ce type de conduite.

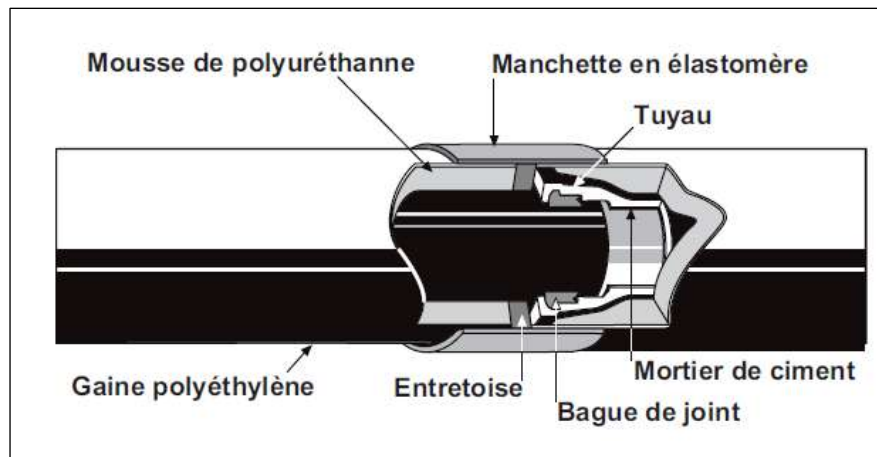


Figure II. 10 : Schématisation de la jonction de deux conduites ISOPAM

### ❖ Revêtement intérieur

La protection intérieure des tuyaux est constituée d'un mortier de ciment appliqué par centrifugation assurant:

- d'excellentes conditions d'écoulement hydraulique,
- le maintien de la qualité de l'eau potable transportée,
- une protection efficace de la paroi du tuyau.

### ❖ Domaine d'emploi

Les canalisations ISOPAM sont utilisées en cas de :

- faible hauteur de couverture en régions froides,
- passages aériens sur ouvrages d'art exposés aux intempéries,
- colonnes de refoulement-distribution dans les châteaux d'eau.

Le revêtement d'isolation thermique a pour effet de retarder la baisse de température de l'eau traversant le tronçon de canalisation exposé aux intempéries.

Coefficient de conductivité thermique du revêtement =  $0,034 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^\circ$

La température extérieure que peut supporter le revêtement en continu est de  $-40^\circ\text{C}$ .

Le tableau ci-dessous indique le temps en heure minimum pour que l'eau contenue à l'intérieur d'une conduite complètement remplie et posée en aérien atteigne  $0^\circ\text{C}$  :

**Tableau II. 6** :les temps de congélation d'eau pour les conduites ISOPUM

Température de l'eau	4 °C			10 °C		
	- 5 °C	-10 °C	-20 °C	-5 °C	-10 °C	-20 °C
DN 100	12	7	3	23	14	8
DN 125	16	9	5	30	19	11
DN 150	20	11	6	38	24	14
DN 200	33	18	10	61	38	22
DN 250	56	32	17	105	66	38
DN 300	68	39	21	127	80	47
DN 350	78	44	24	145	92	53
DN 400	96	55	29	180	113	66
DN 500	128	73	39	240	151	88

Pour éviter la congélation de l'eau, il convient de choisir un débit Q tel que le temps de passage  $\Delta T$  de l'eau dans le tronçon préisolé soit inférieur à  $\Delta T$  de congélation à débit nul.

$$Q > \frac{L \cdot S}{\Delta T \text{ congélation}} \quad (\text{II.1})$$

**Avec**, Q : débit (en m<sup>3</sup>/h) ; S: section (en m<sup>2</sup>) ; L : longueur du tronçon exposé aux intempéries (en m) et  $\Delta T$  : temps de congélation (en h).

**Tableau II. 7** : caractéristiques des conduites en fonte ductile ISOPAM

DN (mm)	e (mm)	Masse moyenne métrique (Kg)
100	6,1	22,2
125	6,2	27,2
150	6,3	32,5
200	6,4	45,3
250	6,8	62,5
300	7,2	77,7

350	7,7	97,9
400	8,1	116,2
450	*	*
500	9,0	158,5
600	*	*

(\*) revenir au constricteur pour cette valeur

### 1.2.7. Tuyaux en fonte ductile, PUR

Cette gamme de tuyaux revêtus intérieurement de polyuréthane a été conçue spécialement pour :

- des eaux très douces ou très agressives associées à des temps de séjours supérieurs à 3 jours,
- des eaux minérales dont l'analyse ne doit pas varier entre l'entrée et la sortie de la canalisation,
- des eaux brutes.

La température maximale d'utilisation est de 35°C.

### 1.3. Notion de pression

Comme repris dans les normes NBN EN 545 et NBN EN 805, les tuyaux en fonte ductile sont conçus pour résister à des pressions élevées. Et voici quelque abréviation des pressions utilisées dans le domaine des technologies des conduites.

**PFA** : pression de fonctionnement admissible :

Pression interne, hormis le coup de bélier, qu'un composant peut supporter en toute sécurité de façon continue en régime hydraulique permanent.

**PMA** : pression maximale admissible

Pression interne maximale, y compris le coup de bélier, qu'un composant peut supporter de façon sûre en service.

$$PMA = 1,2 \times PFA$$

**PEA** : pression d'épreuve admissible

Pression hydrostatique maximale qui peut être appliquée sur site à un composant d'une canalisation nouvellement installée.

$$PEA = PMA + 5 \text{ bars (en général)}$$

La PN est la pression nominale, nous distinguons :

**Tableau II. 8 :** Les différentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en fonte

DN	PN 10			PN 16			PN 25			PN 40		
	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA
60-80	10	12	17	16	20	25	25	30	35	40	48	53
100-150	10	12	17	16	20	25	25	30	35	40	48	53
200-300	10	12	17	16	20	25	25	30	35	40	48	53
350-1200	10	12	17	16	20	25	25	30	35	-	-	-
1400-2000	10	12	17	16	20	25	-	-	-	-	-	-

(-) donne non disponible

## 2. Les conduites en acier

### 2.1. Définition

Les tuyaux peuvent être obtenus, soit par laminage à chaud sans soudure, à partir d'un bloc de métal transformé peu à peu par plusieurs laminages sur mandrin (jusqu'au diamètre de 0,400 m), soit à partir de tôles mises en forme à la machine et soudées longitudinalement à l'arc électrique (du diamètre de 0,350 m et au-dessus), soit, encore, à partir de bandes enroulées en hélice et soudées sur les bords à l'arc électrique (du diamètre de 0,150m jusqu'au diamètre de 0,600 m) [BENZIADA,2013].

### 2.2. Caractéristique de l'acier

#### 2.2.1. Conduite en acier

Les conduites en acier sont des conduites bien présentes dans les réalisations des différents projets d'hydraulique et ces conduites sont distinguées par ces caractéristiques qui sont résumées dans le tableau suivant.

**Tableau :** caractéristiques des conduites en acier soudable**Tableau II. 9 :** caractéristiques des conduites en acier soudable

DN (mm)	e (mm)	longueur du tube (m)	poids par mètre linéaire (Kg)	pression de fonctionnement admissible (bar)
80	3,6	6 12	11,1	123
100	3,6	6 14	14,6	95
125	4,0	6 14	19,5	88
150	4,0	6 14	23,3	73

200	4,5	6 16	34,9	64
250	5,0	6 16	46,9	57
300	5,6	6 16	60,9	54
350	5,6	6 16	69,4	50
400	6,3	6 16	86,4	49
450	6,3	6 16	90,5	44
500	6,3	6 16	100,7	39
600	6,3	8 16	130,0	30

Il existe une gamme de conduites en acier qui n'est pas soudable et la jonction entre deux conduites se fait à l'aide d'un slip joint. Cette gamme de conduites a pour chaque diamètre nominal les mêmes caractéristiques que l'acier soudable c.-à-d. d'une même épaisseur même longueur et même pression de fonctionnement admissible ce qui change c'est le poids par mètre linéaire qui prend les valeurs dans ce tableau.

**Tableau II. 10** : poids par mètre linéaire pour les conduites en acier à raccordement slip joint

DN (mm)	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600
Poids (Kg/m)	13.6	17.8	23.4	28.5	40.3	53.7	68.9	75.8	93.8	90.5	100.7	130.0

### 2.2.2. Revêtement des conduites en acier





Puisque l'acier c'est un mélange d'une grande quantité de fer et un petit pourcentage de carbone donc il existe un risque majeur de corrosion donc il faut prévoir un revêtement au préalable, et il existe plusieurs types de revêtement et à l'ingénieur concepteur de choisir celui qu'il faut en fonction du type de terrain à traverser.

in à traverser.

Nous présenterons dans ce qui suit les différents types de revêtement pour les conduites en acier.



**Tableau II. 11** : les revêtements pour les conduites en acier

 <p>revêtement plastique polythène</p>	Description	Revêtement plastique 3 couches
	Caractéristique	Protection anticorrosion standard
	Application	Pose en terre pour température de service maximum de 60°C/80°C
 <p>Revêtement plastique polyéthylène</p>	Description	Revêtement plastique 3 couches
	Caractéristique	Résistance aux chocs et à l'abrasion
	application	Relining par exemple
 <p>Coating</p>	Description	Suivant spécifications client
	Caractéristique	En fonction des spécifications
	Application	Revêtement pour pose hors sol
 <p>Revêtement extérieur en mortier antiroche FZM-N</p>	Description	Revêtement en mortier par projection
	Caractéristique	Augmentation de la protection mécanique
	Application	Pour la pose en sol rocheux ou rocailleux

### 3. Conclusion

Les conduites métalliques sont des conduites reconnues pour leur forte résistance à la pression intérieure et extérieure et ce qu'on a vu dans ce chapitre c'est qu'il y a une grande variété de gammes de conduites en acier et en fonte surtout et chacune a ses spécificités et sa propre condition d'application, ce qui rend ces matériaux très intéressants pour l'utilisation comme conduites, ces caractéristiques nous obligent donc de faire une comparaison entre ce dernier et les conduites en plastique ce qu'on verra dans le chapitre qui va suivre.

# **Chapitre III**

## **Comparaison des conduites**

## Chapitre III

## Comparaison des conduites

### Introduction

À fin de pouvoir de choisir tel matériau par rapport aux autres il faut faire une comparaison technique entre les différent propriété des matériaux étudier ,pour déterminer les avantages et les inconvénients de chaque matériau et par la suite sélectionnés quel inconvénient peut engendre la rupture de conduite ,ce que nous cherchons à travers cette comparaison ,et on allons plus vers l'étude de ces dangers et proposer les solutions adéquates a ces inconvénients.

### 1. Comparaison technique entre les tuyaux en fonte ductile et l'acier

On a déjà vu dans les chapitres précédents les propriétés de chaque matériau ce qu'il reste et de faire une comparaison entre les avantages et les inconvénients de chaque matériau et voici un tableau qui résume ce dernier

**Tableau III. 1 :** Comparaison technique entre les tuyaux en fonte ductile et l'acier

Avantage fonte ductile	Inconvénient fonte ductile
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Importante résistance mécanique</li> <li>➤ Ne s'ovalise pas</li> <li>➤ Utilisation de matériaux d'enrobage plus grossier, compactage moins soigné, nature des sols hétérogène, aléas de chantier</li> <li>➤ Recyclage total des tuyaux</li> <li>➤ Raccordement verrouillable pour certains types</li> <li>➤ Utilisable même si faible recouvrement</li> <li>➤ Robustesse et longévité</li> <li>➤ Résistance aux instabilités dues aux poussées lors d'une pose sous le niveau de la nappe</li> <li>➤ Le plus communément utilisé,</li> <li>➤ Résistant aux chocs extérieurs,</li> <li>➤ Gamme de pièces spéciales variée,</li> <li>➤ Économique,</li> <li>➤ Ne nécessite pas de joints de dilatation.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sensible au courant vagabond</li> <li>➤ Coût élevé</li> <li>➤ Production très localisée</li> <li>➤ Nécessite des mesures anticorrosion</li> <li>➤ Diminution de la section hydraulique</li> <li>➤ Fléchissement en terrain instable</li> <li>➤ Matériau lourd</li> <li>➤ Transport difficile et coûteux</li> <li>➤ Érosion par le chlore.</li> </ul>
Avantage acier	Inconvénient acier
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Pérennité du matériau surtout utilisé en fonçage</li> <li>➤ Utilisable même si faible recouvrement</li> <li>➤ Élasticité importante</li> <li>➤ Résistant aux fortes pressions,</li> <li>➤ Utilisation pour les diamètres importants,</li> <li>➤ Dilataion et compression négligeable,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Endommagement du revêtement extérieur Lors du transport ou construction</li> <li>➤ Non élastique</li> <li>➤ Matériaux lourds</li> <li>➤ Manipulation difficile</li> <li>➤ Plus le diamètre est important plus la déformation est importante,</li> </ul>

➤ Revêtement intérieur robuste, revêtement extérieur absorbe bien les chocs,	➤ Technique de soudage nécessite experts, ➤ Risques de corrosion importants sur les parties coupées.
--	---

## 2. Comparaison technique entre les tuyaux en PEHD et PVC

Le tableau ci-dessous donne les avantages et les inconvénients des matériaux plastiques

**Tableau III. 2 :** Comparaison technique entre les tuyaux en PEHD et PVC

avantages PEHD	Inconvénient PEHD
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Conduites flexibles,</li> <li>➤ Nécessite peu de pièces spéciales,</li> <li>➤ Joints par fusion BUTT donc peu de fuite,</li> <li>➤ Bonne élasticité.</li> <li>➤ Très peu de raccords à faire dans les petits diamètres (production en grande longueur) , zéro fuite, temps de pose diminué, facilité de mise en oeuvre.</li> <li>➤ Coût faible de transport et de manutention.</li> <li>➤ Résistance à la pression et aux mouvements de terrain.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Dilatation importante sous l'effet de la chaleur donc utilisation de joints,</li> <li>➤ Mécaniques impossibles,</li> <li>➤ Élasticité importante,</li> <li>➤ Matériaux légers,</li> <li>➤ Technique de soudage nécessitent experts,</li> <li>➤ nécessite un temps de refroidissement après fusion.</li> <li>➤ Lit de pose soigné</li> <li>➤ Technique de soudage nécessite experts,</li> </ul>
Avantage PVC	Inconvénient PVC
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Résistance à la corrosion et à l'abrasion ;</li> <li>➤ une bonne résistance aux efforts de traction</li> <li>➤ une inertie électrique,</li> <li>➤ une pose mécanisable,</li> <li>➤ une bonne résistance aux U.V</li> <li>➤ facile a mise en œuvre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ faible résistance mécanique</li> <li>➤ pression admissible moyenne</li> <li>➤ sensibilité à la lumière (il noircit et devient cassant)</li> <li>➤ fragile aux dépressions</li> </ul>

### 2.1. Synthèse

D'après cette comparaison entre tous ces avantages et ces inconvénients, il faut déterminer sur quelle base on effectue notre choix.

Les paramètres qu'on voit déterminante à n'importe quel projet d'AEP sont celle qui engendre la rupture des conduites qui sont les suivantes :

- La résistance au fort pression
- La corrosivité des conduites et les défèrent accessoires
- La résistance au coup de bélier
- La durabilité et Vieillessement
- Toxicité du matériau

En cas d'égalité entre deux types de conduites, on a recours aux autres paramètres à savoir

- Le cout les conduites
- Le cout des accessoires

- La facilité de mise en œuvre (les moyennes) et les techniques

### 3. Comparaison des pressions

La résistance a la pression c'est un paramètre déterminant dans le choix des conduites, nous allons voir dans le tableau suivant les valeurs des différents type de résistance a la pression de quel que conduite

**Tableau III. 3 :** La résistance et les pressions pour chaque matériaux

Matériau	Fonte	PVC	PE
résistance mécanique	420 Mpa	25 Mpa	10 Mpa
PFA	40 Bar	10-16 Bar	10-20 Bar
coefficient sécurité <sup>1</sup>	3	2	1,25
PMA	48 Bar	10-16 Bar	10-20 Bar
PEA	53 Bar	10-16 Bar	10-20 Bar

D'après une petite analyse des valeurs du tableau précédent, on remarque bien que les conduites ductiles sont 42 fois plus résistantes que le PE ,et 16 fois plus résistantes que le PVC c'est pour cette raison que la fonte ductile est plus résistante que les conduites plastiques .

## 4. Protection contre la corrosion

### 4.1. Corrosion : principes et définitions

La corrosion est une action destructrice qu'exerce le milieu ambiant sur les conduites métalliques. Elle est la résultante d'un processus d'échange et de déplacement d'ions qui se produit soit entre deux sites de la conduite ayant des potentiels différents (anode et cathode), soit entre le sol et la paroi externe de la conduite. Il a été prouvé que les conduites enfouies dans des sols avec des caractéristiques non homogènes tendent à se corroder plus vite à cause du déplacement des charges qui se fait plus aisément entre les différents sites. L'anode et la cathode sont des sites du métal qui présentent un potentiel électrochimique différent; la connexion électrique est assurée par le métal. Le sol ou l'eau servent de solution électrolyte et voici une figure illustrative de ce phénomène [SOPHIE duchesne,2012 ].

<sup>1</sup> Coefficient de sécurité est un coefficient entre la pression de fonctionnement admissible et la pression de rupture calculé

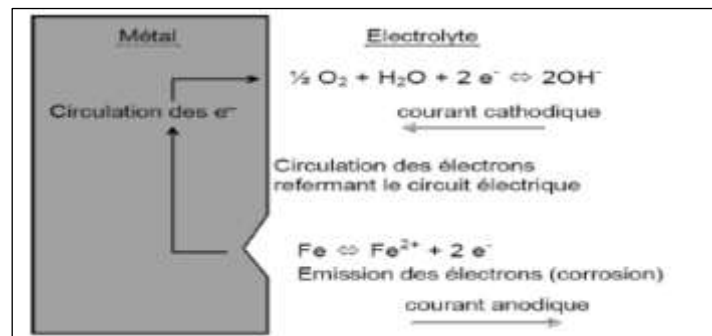


Figure III. 1 : Processus de corrosion du fer

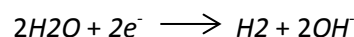
La corrosion électrochimique d'un métal dans un sol résulte de l'activité de piles, d'où le terme pile de corrosion. La corrosion électrochimique est une oxydation de ce métal. Les électrons libérés induisent nécessairement une réduction dans un autre site du métal. Il y a donc des zones d'oxydation et des zones de réduction entre lesquelles circulent des ions et des électrons.

Ces zones se forment à la surface du métal et correspondent donc à un système d'oxydoréduction. Lors de la formation d'une pile de corrosion, le métal le plus réducteur s'oxyde. Les deux phénomènes qui contribuent à la formation de piles de corrosion sont alors :

- ❖ Le phénomène d'oxydation : qui est l'équivalent d'une perte d'électrons; cela veut dire que le métal perd des ions de fer et libère des électrons ( $2e^-$ ). Ce processus peut se traduire par la formule chimique suivante :



- ❖ Le phénomène de réduction du solvant, qui est l'équivalent d'une perte de degré d'oxydation et gain d'électrons. Ce processus peut se traduire par la formule chimique suivante :



## 4.2. Corrosion des conduites d'aqueduc en métal

La corrosion des conduites souterraines est une forme de détérioration des métaux les composant, qui se développe suite aux différentes réactions chimiques, biologiques et mécaniques exercées par les composantes du sol environnant. La corrosion des conduites en métal, enfouies dans le sol, est un phénomène complexe à analyser à cause des différents paramètres qui contribuent à sa formation. Plusieurs auteurs ont affirmé que la corrosion externe est la cause principale de la détérioration structurale des conduites métalliques. Ce phénomène joue un rôle majeur dans la rupture des conduites d'eau potable, comparativement à la corrosion interne qui est provoquée par les caractéristiques de l'eau. Selon plusieurs auteurs la rupture des conduites d'aqueduc serait très peu souvent attribuable à la corrosion interne.

Les conditions environnementales induisent la formation de cellules électrochimiques qui encouragent l'apparition de puits de corrosion.

L'épaisseur de la paroi d'une conduite qui se corrode diminue dans le temps; la paroi devient ainsi de plus en plus fragile. Elle perd sa capacité de supporter les forces résultantes environnantes et s'affaiblit, se perce, ou rompt tout simplement. Une pression d'eau interne suffit pour éliminer le matériau résiduel. La Figure III.2 illustre un exemple des causes d'affaiblissement des conduites d'eau potable, alors que le Tableau III.4 présente les principaux facteurs qui peuvent déclencher cette dégradation de la structure.

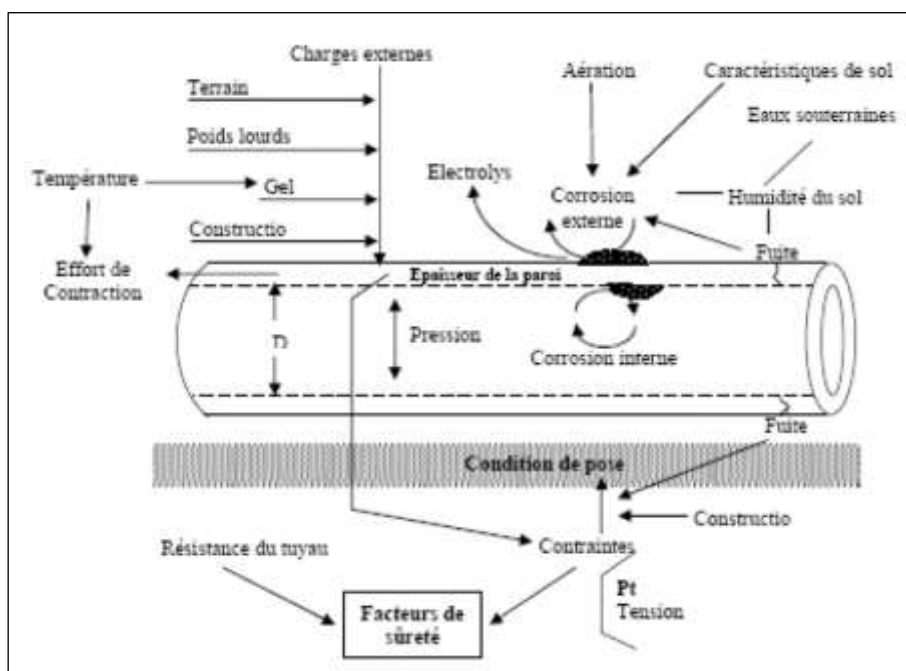


Figure III. 2 : Paramètres qui contribuent à l'affaiblissement des conduites d'eau

**Tableau :** Les causes et facteurs physiques et environnementaux qui peuvent être à l'origine de la dégradation de la structure des conduites d'eau potable

**Tableau III. 4 :** Les causes et facteurs physiques et environnementaux qui peuvent être à l'origine de la dégradation de la structure des conduites d'eau potable

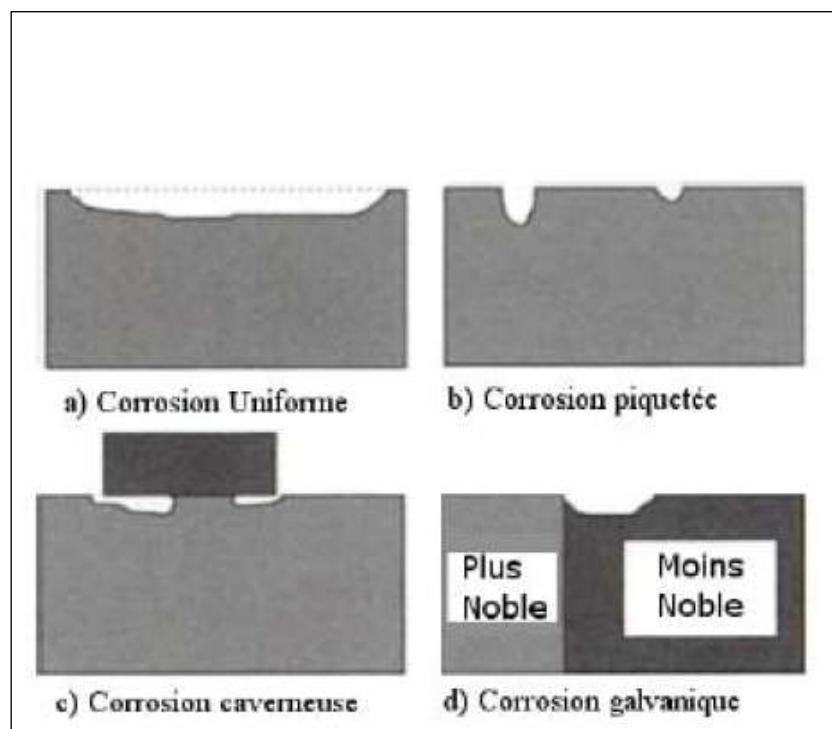
	facteur	Explication
Physique	matériau	la nature de la défaillance varie selon le matériau du tuyau
	épaisseur paroi	la corrosion traverse une paroi moins épaisse
	Âge du tuyau	les effets de la dégradation du tuyau deviennent plus visible avec l'Âge
	revêtement	les tuyaux munis d'un revêtement sont moins sensible a la corrosion
	époque de fabrication	l'époque et l'endroit de la fabrication d'un tuyau peuvent avoir une incidence sur sa vulnérabilité à la défaillance
	diamètre	les tuyaux de petit diamètre sont plus sensible à une défaillance
	pose et fabrication	de mauvaises pratiques lors de la pose des tuyaux et la présence d'imperfection lors de la fabrication



Environnement	type de sol	certaines sols sont corrosifs pour les conduites qui y sont enfouies
	climat	le climat a une influence sur la pénétration du gel et l'humidité du sol
	charges et mouvement	les mouvements souterrains dans l'environnement immédiat du tuyau peuvent modifier sa structure de soutien
	courant électrolytique	les courants vagabonds provoquent la corrosion électrolytique

### 4.3. Différents types de corrosion des conduites en fonte

Plusieurs types de corrosion peuvent attaquer les conduites métalliques souterraines, notamment la corrosion galvanique, électrolytique, par piqûres et celle causée par des bactéries ces types sont illustré dans la figure suivante :



**Figure III. 3 :** Quelques formes de corrosion les plus répandues sur les conduites métalliques

### 4.4. Relation sol corrosion des conduites

Les caractéristiques du sol ont une influence non négligeable sur la détérioration des réseaux d'aqueduc. Les composantes biologiques et chimiques ainsi que l'aération du sol définissent son taux d'agressivité. Le sol contient, parmi une multitude d'éléments chimiques et de composés, une quantité élevée de sels. Ceux-ci peuvent avoir un effet défavorable en augmentant le taux de corrosion des conduites par la création de cellules galvaniques. Quelques recherches ont montré que la texture du sol joue aussi un rôle dans la formation de piles de corrosion sur les conduites. La texture du sol est déterminée par les proportions de sable, de silt et d'argile qui le constituent. À part

la texture du sol, les facteurs qui sont le plus souvent pris en compte pour déterminer le taux d'agressivité du sol sont cités ci-dessous et décrits aux sections suivantes [SOPHIE duchesne,2012] :

- la résistivité du sol;
- la concentration en ions d'hydrogène (pH);
- le potentiel d'oxydoréduction (Rédox);
- la présence de sulfates (qualitatif);
- le taux d'humidité (relatif);
- la description du sol (homogénéité, taille des particules, couleur, texture, etc.);
- dans certains cas, la présence de courants vagabonds (équipement industriel, transport utilisant des trames électriques, etc.).

#### 4.4.1. La résistivité du sol

La résistivité est la propriété d'un matériau conducteur de résister aux courants électriques. C'est un indicateur de la capacité d'un environnement (ex. : sol) à véhiculer des courants corrosifs. Les résistivités des sols peuvent s'étendre entre moins de 1 000 ohm-cm dans des sols très humides à plus de 100 000 ohm-cm dans des sols secs comme le sable et le gravier.

Plus la résistivité du sol est faible, plus le sol est jugé agressif (corrosif). Ceci est dû au fait qu'une résistivité faible permet un déplacement facile des charges, donc un flux de courant plus élevé entre les sites de potentiels différents. Le Tableau suivant illustre un exemple de répartition des résistivités selon leur effet sur la corrosivité du sol [SOPHIE duchesne,2012].

**Tableau :** Classification de la corrosivité des sols selon la résistivité

résistivité du sol (ohm.cm)	corrosivité
0 - 2000	très corrosif
2000 - 5000	corrosif
5000 - 10000	modérément corrosif
10000 - 25000	moyennement corrosif
25000 - 50000	relativement corrosif
50000 - 100000	progressivement non corrosif

#### 4.4.2. Le pH du sol

La plupart des sols possèdent un pH de 4 à 8 et, dans cet intervalle, ils sont considérés comme moins corrosifs. Quand le pH est inférieur à 4 ou supérieur à 8,5, le sol devient plus corrosif.

Cependant, un pH neutre est favorable à la présence de bactéries réductrices de sulfates (BRS), qui contribuent à la formation de la corrosion microbiologique.

#### 4.4.3. Le potentiel redox

Le potentiel redox est lié au degré d'aération du sol. Des niveaux très faibles ou négatifs de potentiel redox indiquent que le sol est anaérobie et, par conséquent, qu'il peut favoriser la présence de bactéries réductrices de sulfates.

#### 4.4.4. Sulfates ou présence de bactéries sulfato-réductrices

Dans certains cas, la corrosion est provoquée par l'attaque de certaines bactéries dites anaérobies qui, pour vivre, digèrent certains éléments pour en rejeter d'autres. Ces bactéries vivent dans des sols humides avec peu ou pas d'oxygène et qui contiennent des ions de sulfates, des composants organiques et des minéraux. Elles peuvent ainsi détruire certains revêtements protecteurs des conduites. Un exemple de ces bactéries est la gallowella ferrugineuse, les conditions qui favorisent la croissance de ces bactéries sont un pH neutre ou légèrement acide, un pourcentage élevé de CO<sub>2</sub> et des températures de 2 °C à 60 °C.

#### 4.4.5. Présence d'humidité dans le sol

La corrosivité du sol dépend fortement de la quantité d'eau qu'il maintient. Les changements du taux d'humidité dans le temps peuvent également influencer la corrosion. Par exemple, un sol composé majoritairement de sable dans un secteur aride peut ne pas être très corrosif.

Cependant, un sol qui contient des chlorures et qui est soumis à une humidité peu fréquente (provenant de la pluie) peut être fortement agressif. Pendant la période de séchage, les chlorures peuvent devenir concentrés sur la surface, rendant les conditions locales bien plus agressives. Si un point de corrosion s'initie dans la conduite, ce processus humidité/sécheresse peut induire une corrosion très intense, augmentant ainsi d'une manière considérable sa profondeur.

#### 4.4.6. Le TAS, un indice pour caractériser l'agressivité du sol

Le TAS (taux d'agressivité du sol) est un système de pointage développé par l'American Water Works Association et l'American National Standards Institute pour évaluer le taux d'agressivité des sols (norme ANSI/AWWA C105/A21.5-99). Le système de pointage consiste à assigner des points à chacune des propriétés du sol (voir Tableau suivant). Le TAS résume l'influence que peut avoir chacune des caractéristiques du sol sur les conduites. Si la valeur totale du TAS est supérieure à 10, le sol est considéré comme corrosif pour les conduites en fonte. L'application d'une protection cathodique est alors suggérée [SOPHIE duchesne,2012].

**Tableau III. 5 :** Grille d'évaluation du taux d'agressivité du sol selon le standard ANSI/AWWA C-105/A21.5-99

		Point
résistivité (ohm*cm)	< 700	10
	700 - 1000	8
	1000 - 1200	5
	1200 - 1500	2
	1500 - 2000	1
	2000 - 3000	0
	> 3000	0
PH	0 - 2	5
	2*4	3
	4*6,5	0
	6,5*7,5	0*
	7,8*8,5	0
	8,5*9,5	0
	> 9,5	3

sulfures	positifs	3,5
	trace	2
	négatif	0
humidité	drainage pauvre : continuellement humide	2
	drainage moyen : généralement humide	1
	drainage excellent : généralement sec	0
potentiel redox (mv)	> 100	0
	50 - 100	3,5
	0 - 50	4
	< 0	5

\* Si les sulfures sont présents dans le sol et le potentiel redox est < 100 mV ou négatif, ajouter 3 points.

## 4.5. Protection des conduites contre la corrosion

### 4.5.1. par revêtement

les revêtements des conduites s'avèrent une solution très simple et efficace en plus elle est économique, cette solution est appliquée en phase de fabrication et il existe pour chaque type de métal de conduite il existe une grande variété de revêtement et chaque revêtement est approprié pour un projet et pas pour un autre.

Les différents types de revêtement extérieur possible sont bien détaillés pour chaque type de conduite précédemment.

### 4.5.2. Par la protection cathodique

La protection cathodique est la technique qui permet de conserver dans son intégrité la surface extérieure des structures en acier enterrées ou immergées, en s'opposant au processus électrochimique d'attaque du métal par le milieu ambiant, c'est-à-dire les canalisations acier constituent le champ d'application principal de cette protection. Les réseaux en acier, même anciens et dégradés, peuvent bénéficier de cette technique dans des conditions économiques admissibles. Nous présenterons dans ce qui suit les principaux modes de la protection cathodique brièvement.

### 4.5.3. Soutirage de courant

Afin d'éviter la corrosion du métal il faut abaisser son potentiel à un niveau d'immunité, pour cela cette technique consiste à connecter le réseau en un ou plusieurs points au pôle négatif d'une source électrique de courant continu .

Le redresseur comporte 2 pôles :

- (+): Un pôle positif relié à la prise de terre nommée ( anode ),ou masse sacrificielle, c'est là où la corrosion sera reportée.
- (-): Un pôle négatif sera relié à la conduite là où s'échappe le courant de l'installation, il est donc soutiré.

#### 4.5.4. Protection par anode réactive

Pour les anodes réactives, elles seront disposées dans les zones de terrains agressifs, ceux sont des cylindres de 15 à 30kg que l'on place dans le sol à 3 m environ de la conduite entourée d'une bouille à base d'argile colloïdale qui permet d'entretenir autour de l'anode une humidité favorable. Elles sont reliées à la conduite par un câble isolé ;

On relie, de place en place, la conduite à protéger, à un métal plus électronégatif et dans ce cas celle-ci jouera le rôle de cathode,

### 5. Coup de bélier

#### 5.1. Le phénomène du coup de bélier

Le coup de bélier étant un cas particulier du régime transitoire, c'est un phénomène oscillatoire qui se manifeste dans les conduites en charge à écoulement gravitai ou par refoulement et qui peut engendrer des dégâts considérables dans le réseau.

#### 5.2. Causes du coup de bélier

Le coup de bélier est un phénomène oscillatoire dont les causes les plus fréquentes sont les suivantes :

- L'ouverture ou la fermeture des vannes dans les conduites en charge à écoulement gravita.
- La mise en marche ou l'arrêt des pompes dans les conduites en charge par refoulement.
- Le remplissage ou la vidange d'un système d'AEP.
- Modification de la vitesse d'une pompe.
- Une variation du niveau d'un réservoir à une extrémité du réseau.
- La disparition de l'alimentation électrique dans une station de pompage qui est la cause la plus répandue du coup de bélier.
- La mise en marche ou la modification de l'opération d'une turbine.

#### 5.3. Les risques du coup de bélier

##### Risque de surpression :

C'est l'une des conséquences du coup de bélier, qui génère une pression très importante suite à une fermeture rapide ou instantanée d'une vanne ou l'arrêt brusque d'une pompe .si la somme de cette surpression avec la pression initiale (en régime permanent) dépasse la pression maximale admissible des canalisations, il peut y avoir fissuration de ce dernier et dislocation des joints.

##### Pression négative :

C'est Une autres conséquence du coup de bélier, l'apparition de cette pression négative est due aux soit a une forte surpression ou suite à l'arrêt instantané d'une pompe si cette pression devient inférieure à 10 m.c.e il se produit une poche de cavitation. Des conséquences néfastes peuvent être créées dans la conduite à la suite de cette pression négative, tel qu'aplatissement de la conduite par implosion, l'aspiration des joints et même le décollement de l'enduit de protection internent.

#### Fatigues des conduites

Le passage successif d'une surpression à une dépression et inversement même si ces perturbations sont minimales, elles ont une conséquence directe sur le matériau de la canalisation ce qui provoque leurs fatigues.

#### 5.4. La protection des conduites contre le coup de bélier

Les moyens ou les appareils anti bélier ont un rôle essentiel c'est :

- De limiter la dépression.
- De limiter la surpression.

Les appareils utilisés sont les suivants :

- Volant' d'inertie
- Clapet anti retour
- Vanne à fermeture automatique
- Amortisseurs en ligne

#### 5.5. Les paramètres du coup de bélier

##### Calcul de la célérité d'ondes

La célérité est la vitesse de propagation des ondes .Elle est donnée par la formule d'ALLIEVI :

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}}$$

Avec ;c: La célérité ; D: Diamètre intérieur de la conduite en (m) ; e : Épaisseur du tuyau en (m) ; K : Coefficient dépendant du matériau constituant la canalisation.

Tableau III. 6 : coefficient **K** pour divers matériaux

Matériau	Acier	Fonte grise	Fonte ductile	Béton	Amiante-ciment	P.V.C	P.E.H.D
K	0,5	1	0,59	5	4	33	83

Calcule de la valeur de surpression et de dépression pour chaque type de conduite dans le cas de la fermeture brusque d'une vanne ou arrêt d'une pompe ( $T < \frac{2L}{c}$ ) pour une conduite de diamètre de 250 mm et Hg = 18 m

La valeur numérique du coup de bélier :

$$B = \frac{c.V_0}{g} \quad (\text{m})$$

Avec ; V : vitesse moyenne d'écoulement (m/s) ; g: Accélération de la pesanteur  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Cas de la surpression :

$$H_{max} = H_g + \frac{C.V_0}{g} \quad (m)$$

Cas de la dépression :

$$H_{min} = H_g - \frac{C.V_0}{g} \quad (m)$$

Et voici une comparaison de célérité entre les différents type de conduite étudié dans le diagramme suivant et une récapitulative dans le tableau en dessous.

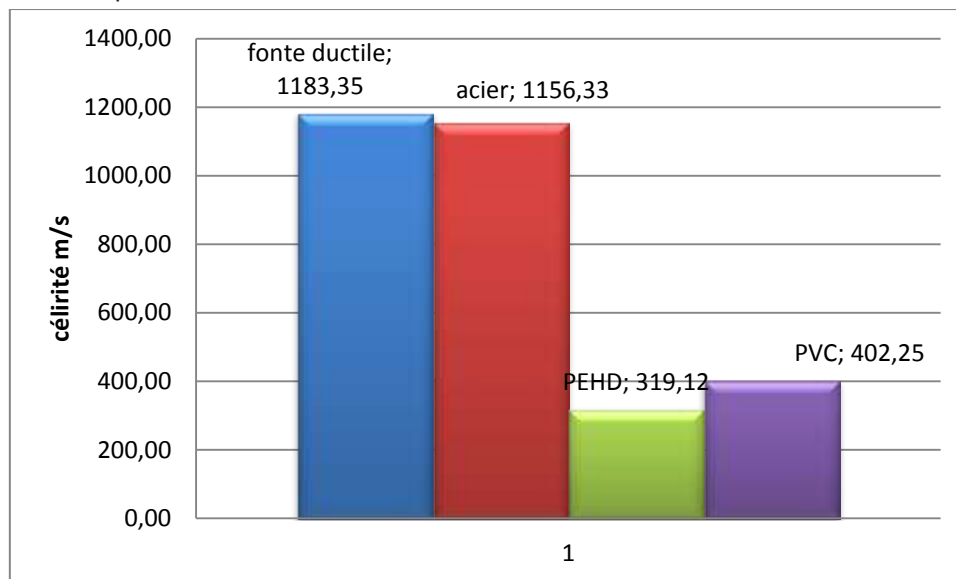


Figure III. 4 : comparaison de la différente célérité des ondes pour différent matériau

Tableau III. 7 : comparaison entre la surpression max et la dégression min pour différent conduites

type de conduite	fonte ductile	acier	PEHD	PVC
k	0,59	0,5	83	33
DN	500	500	500	500
e	9	6.3	55.8	29.7
c	1099.4	1055.4	350.3	402,9
H surpression	263	277	164	172
H dépression	-47	-61	52	44
Remarque	Protection obligatoire	Protection obligatoire	Pas besoin de protection	Protection obligatoire

D'après ce graphe, on remarque que la célérité (pour un diamètre donné et une épaisseur donnée) présente dans le PEHD et la moins faible de tous les matériaux étudié et par conséquent la valeur de

la surpression et la dépression sont incluses dans l'intervalle admissible. Donc le PEHD et le plus sur vis-à-vis du coup de bélier et ne nécessite pas une protection anti bélier par contre les autres types de conduits on est obligé de mettre une protection anti bélier. Cette synthèse n'est valable que pour ce cas-là et on ne peut pas généraliser pour tous les cas.

## 6. Toxicité du matériau

On connaît depuis longtemps les effets d'un milieu humide sur la corrosion des métaux, mais on a souvent les idées moins claires en ce qui concerne les matériaux polymères, car ces effets peuvent se manifester de façon plus subtile et à long terme.

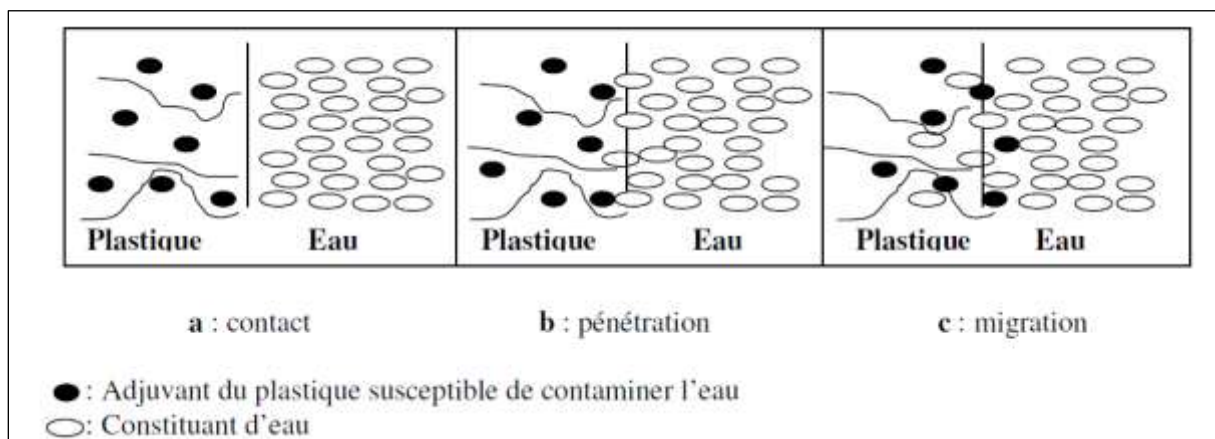
À titre exemple, en cas d'absorption d'eau par la matière plastique surtout dans le cas d'immersion, on peut observer l'extraction des adjuvants comme les plastifiants ou bien les stabilisants qui peut contribuer à raccourcir considérablement les durées de vie des conduites.

Lors du contact de l'eau potable avec les canalisations de la distribution des interactions qui sont classées en deux types peuvent avoir lieu.

- La migration ou transfert des constituants de la canalisation vers l'eau au cours de la distribution.
- Des interactions dues à la perméabilité de la canalisation aux gaz qui entrent dans la constitution du sol.

Ce qui nous concerne en tant qu'hydraulicien c'est la qualité de l'eau transportée et le phénomène de migration influe sur cette qualité et dans les cas extrêmes sur la portabilité de l'eau.

On entend par le terme migration le transfert de substances provenant de la paroi de la canalisation vers l'eau par des effets de nature physico-chimique. En réalité, le phénomène de migration ne se présente pas uniquement dans le sens de la canalisation vers l'eau transportée. Inversement.



**Figure III. 5 :** Schématisation du phénomène de migration

Les tuyaux en plastique ont un risque de se désintégrer et se contaminer par plusieurs procédés on peut citer par exemple que l'eau dans les tuyaux en PVC et en fer sont affectés par les dépôts de manganèse à l'intérieur d'un système de distribution d'eau potable qui se traduit par la présence d'eau noire liée au manganèse qui subit le cycle biogéochimique [KEBBI Malika,2010].

Cerrato & al ont montré que les concentrations totales en fer étaient plus élevées dans l'eau provenant des tuyaux en fer. Par contre les échantillons d'eau provenant des tuyaux en PVC présentent une concentration totale en Mn plus grande et une eau plus noire que celle obtenue à partir de tuyaux en



fer. Les tuyaux en PVC contiennent une mince surface blanche et brune observée au microscope électronique à balayage. La couche brune était en contact avec l'eau contenant 6% en poids de Mn, elle se détache facilement des conduites sous l'action de l'eau qui coule à l'intérieur [KEBBI Malika,2010].

Hassinen et al ont étudié la détérioration des canalisations en polyéthylène exposées à l'eau chlorée. Les tuyaux en PEHD ont été exposés à l'eau chlorée à des températures élevées. Les matériaux ont été stabilisés avec des phénols et des phosphites. L'induction d'oxydation mesurée par DSC a montré que le système de stabilisation chimique est rapidement consommé par l'action de l'eau chlorée. La chromatographie d'exclusion stérique a montré que la dégradation des polymères est strictement limitée à la surface immédiate de la paroi intérieure et le taux de croissance de la couche de polymère dégradée a été constant [KEBBI Malika,2010].

Hiem & al ont étudié l'effet sur l'odeur de la libération des composés chimiques, de la formation de trihalomethane (THM) et la demande en chlore libre dans l'eau en contact avec les canalisations en PEHD et en PVC chloré. Les résultats ont montré que, pour un temps de séjour de 72-96 heures la concentration de carbone organique total (COT) augmente. Les échantillons d'eau en contact avec le PEHD produisent plus de COT que ceux exposés au PVC chloré. Les composés chimiques identifiés dans les lixiviats provenant des tuyaux en PEHD incluent spécifiquement des cétones, des phénols et des hydrocarbures. Les données indiquent que la libération de ces composés a modifié l'odeur de l'eau. Le THM n'a pas été détecté dans l'eau chlorée exposée à ces tuyauteries. Les résultats confirment la capacité des matériaux synthétiques à affecter la qualité de l'eau potable [KEBBI Malika,2010].

Cette étude montre que les interactions entre l'eau et les différents matériaux plastiques utilisés pour son transport peuvent entraîner des altérations qui affectent la qualité finale livrée aux consommateurs par contre que les conduites en métal (fonte et acier) ne se désintègrent pas et peut modifier aussi la qualité des eaux sauf dans le cas de corrosion interne des tuyaux .

## 7. La durabilité et Vieillesse

Le vieillissement correspond à une évolution lente et irréversible d'une ou de plusieurs propriétés du matériau à partir d'un point de référence, généralement pris dès la fin du cycle de fabrication. Il se traduit par une altération des propriétés fonctionnelles classiquement caractérisées par une perte des propriétés initiales (Poids moléculaire, structure moléculaire, résistance à la traction).

Le vieillissement c'est aussi un paramètre qui entre en jeu dans le choix des conduites et on a généralement tendance à opter vers les possibilités les plus durables , ce qui concerne nos matériaux on a les PE et PVC qui ont une durée de vie d'environ 50 Ans avec une diminution de résistance linéaire de 10 Mpa dans la mise en eau vers 8 Mpa avec 20 ans d'exploitation par contre les tuyaux en fonte ductile ont une durée de vie plus de 100 Ans [KEDDAR Sarah,2014] .

## 8. Étude économique

### 8.1. Prix des conduites

Les prix de mètre linéaire des conduites jouent un rôle essentiel dans le choix final du type de matériau , le tableau ci-dessous donne des prix de mètre linéaire pour différents conduites, mais on signale dans ce point que ces prix datent de 22 mai 2007 .

**Tableau III. 8** :prix des conduites

Diamètre (mm)	fonte	acier	PEHD
80	7526,4	8713,6	6865,6
100	8052,8	9352	7716,8
125	9060,8	10360	8825,6
150	9441,6	11110,4	9251,2
200	10808	13059,2	11289,6
250	12387,2	15366,4	13092,8
300	14067,2	18748,8	15500,8
350	15892,8	22030,4	18233,6
400	18200	25043,2	21571,2
450	20316,8	27272	24371,2
500	22344	29915,2	28078,4
600	26700,8	36713,6	36747,2
700	31707,2	41003,2	-
800	38270,4	49896	-
900	46860,8	56492,8	-
1000	55675,2	69249,6	-
1100	64915,2	78668,8	-
1200	85000	-	-
1300	94000	-	-
1400	105000	-	-
1500	114500	-	-
1600	125000	-	-
1700	134500	-	-
1800	145000	-	-

À travers une analyse de ce tableau on distingue clairement que les prix des conduites en PEHD sont inférieur au prix de la fonte et les deux sont inférieur au prix de l'acier pour les diamètres inférieurs a 150 mm, mais pour les diamètres de 200 à 1100 la fonte est plus économique que le PEHD, les diamètres supérieurs a 1200 mm la fonte est l'unique produite sur le marché.

## 8.2. Pose des conduites

La pose des conduites c'est un paramètre très important dans le choix du matériau de conduites, car elle se ressemble dans tous les types de conduites ce qui change c'est la hauteur de recouvrement, on voit dans les deux figures suivantes un profilé en travers des deux types de conduites rigides et flexibles en tranché de type U

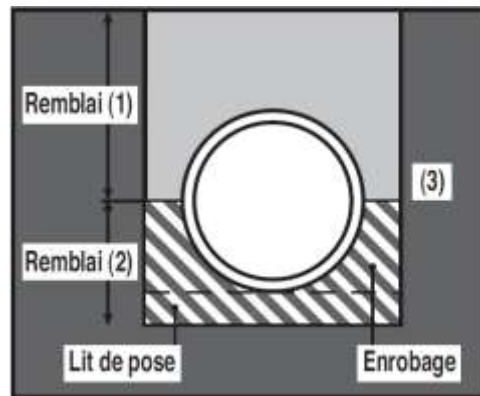


Figure III. 6 : pose des conduites rigides (acier et fonte ductile )

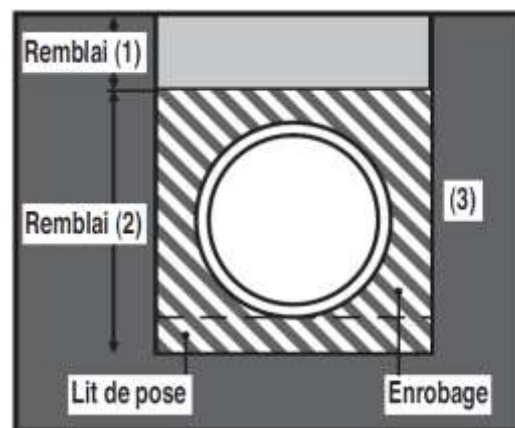


Figure III. 7 : Pose des conduites flexible

❖ La **zone de remblai (1)** : varie selon le secteur traverse (rural, semi-urbain ou urbain) et doivent tenir compte le cas échéant de la stabilité des chaussées.

D'autres contraintes influencent également les conditions de pose :

- le maintien de la canalisation hors gel (hauteurs de couverture minimales),
- la traverse de zones a haute sécurité (passage de voies ferrées, d'autoroutes...) qui font l'objet de dispositions particulières,
- les règlementations en vigueur et les prescriptions locales relatives a la voirie.

La **zone de remblai (2)** : conditionne la stabilité et/ou la protection de la canalisation.

Son exécution doit satisfaire des exigences variables selon :

- les caractéristiques de la canalisation (rigide, semi-rigide ou flexible),
- les charges extérieures (hauteurs de couverture, charges roulantes),
- le caractère plus ou moins rocheux ou hétérogène des terrains traverses.

❖ **le sol en place (3).**

Concernant la hauteur de recouvrement, il existe des abaques qui donnent la hauteur de recouvrement minimale en fonction des types de matériaux et les charges roulantes.

On conclut que les conduites métalliques ont un avantage par rapport aux conduites en plastique concernant :

- ❖ la hauteur de recouvrement puisque :
  - moins de recouvrement pour les conduites métalliques que les conduites plastiques
  - lit de pose est moins critique pour les conduites métalliques que pour les plastiques

- les conduites métalliques supportent plus de charges roulantes que les conduites en plastique dans les zones de faible hauteur de recouvrement .
- ❖ **le temps de pose**

l'assemblage des conduites en fonte ce fait par des joint donc moins de temps par contre les PEHD et l'acier ce fait par soudage, le tableau suivant donne le temps de pose pour les différent type de conduite pour le diamètre 125 mm

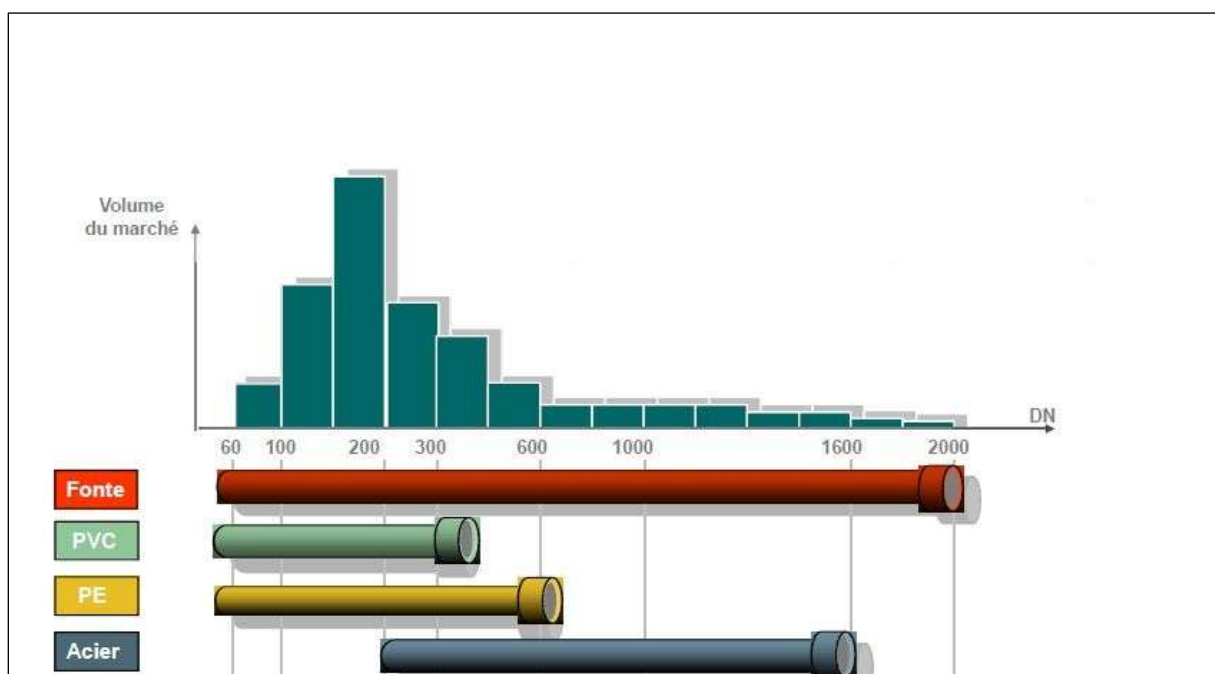
**Tableau III. 9 :** temps de l'installation

	PEHD	Fonte ductile
temps d'installation de 12 m	75 min	8 min
après 8 heures	77 m	720 m
différence	643 m	

De la première vue on estime que la pose des conduites en PEHD et la plus facile et rapide, car les PE sont plus légers et faciles a transporté par rapport a la fonte, mais en réalité c'est le contraire, car le soudage des PE nécessite un temps de refroidissement très grand environ 60 min et sans intervention humaine pour le refroidissement (c'est une caractéristique des PE) donc les fontes on un avantage dans ce point.

### 8.3. Gamme des produites

Dans la figure ci-dessous on trouve une comparaison entre les gammes des diamètres des différent tubes et elle bien claire que la fonte c'est le matériel qui couvre une large partie de diamètre 60 a 2000.



**Figure III. 8 :** gammes des diamètres des conduites disponibles sur le marché

Donc on est conditionné dans notre choix par les gammes des diamètres des conduites disponibles sur le marché ,donc il serait inacceptable d'opter vers le PEHD par exemple pour un diamètre de 2000 mm et commencer à combiner les conduites en parallèle.

Il faut signaler que les diamètres mentionnés ci-dessus sont celle qui existe sur le marché, et on peut avoir par exemple des conduites en PEHD de diamètre supérieur de 600 mm justes en commandons celle-ci à chez le constructeur, mais ce ci sera une solution non économique au départ.

## **9. Synthèse finale**

D'après cette étude comparative des conduites métalliques (fonte ductile et acier) et conduites en plastique (PEHD et PVC) on peut sortir avec quelques conclusion sur le choix des matériaux

PVC est recommandé pour les projets provisoires et de petite durée de vie à condition de faible pression avec un recouvrement obligatoire.

PEHD est recommandé pour les projets d'une durée de vie moyenne et il sera économique pour les faibles diamètres (moins de 150 mm)

Acier est recommandé pour les projets ou les pressions très élevée et aussi pour les tronçons spécieux par exemple les traversées d'oued, les zones de risque de glissement de terrain et de forte pente. La fonte serait matériau de référence pour les grands diamètres et pour tous les projets de transfert d'eau à long durée de vie et aussi a fort résistance à la pression, comme elle est non dégradable donc n'affecte pas la qualité de l'eau en plus elle est moins chère que le PEHD pour les diamètres supérieurs a 150 mm et également moins chère que l'acier.

# **Conclusion générale**

# Conclusion générale

Tout au long de cette recherche, nous avons fait en sorte une comparaison entre des différents matériaux de conduites, et nous avons essayé d'être objective le plus que possible pour ne pas favoriser un matériau par rapporte a un autre.

On a commencé cette comparaison par la présentation des conduites en plastique à savoir le Polychlorure de vinyle (PVC) et le Polyéthylène à haute densité (PEHD).

Ensuite on a présenté les conduites métalliques telles que les conduites en fonte ductile et les conduites en acier.

Par la suite on a déterminé les avantages et les inconvénients de chaque matériau et on a sélectionné en suite les critères décisifs pour le choix.

Puis on a comparé chaque matériau vis-à-vis de ces critères décisifs et on a éliminé les matériaux les moins fiables

Enfin on a fait une petite comparaison économique du matériau étudié puis une synthèse finale qui donne les Lignes directrices pour le choix final.

# Références bibliographiques

- [1] guide des réseaux en polyéthylène édition 2011,2012.
- [2] KEBBI Malika 2010 « étude d'interactions des tuyaux d'adduction à base de PVC,PEHD ,eau potable »,154 pages.
- [3] KEDDAR Sarah ,2014 « vieillissement thermique du polyéthylène haute densité : comportement mécanique et structurelle » 68 pages.
- [5] saint gobain PUM , « tuyau pour adduction d'eau potable » catalogue technique.
- [6] Chiali ,2012 « tube en polyéthylène » catalogue technique .
- [7] norme européenne ,2003 « Systèmes de canalisations en plastique pour l'alimentation en eau Polyéthylène (PE) .
- [8] Chiali ,2012 « le soudage bout à bout des tubes en polyéthylène PEHD »manuel de pose .
- [9] Chiali ,2012 « l'électrosoudage des tubes en polyéthylène PEHD » manuel de pose.
- [11] BENZIADA Salim ,2013 « Cours technologie des Conduites et Equipements Hydrauliques » support de cours.
- [10] Sophie DUCHESNE Nabila BOUZIDA Naoufel CHAHID Jean-Pierre VILLENEUVE ,2012«Modélisation De La Corrosion Des Conduites D'eau Potable En Fonte De La Ville De Québec »124 pages.
- [12] MANNESMANN FUCH ROHR « Conduites pour l'eau et l'assainissement » catalogue technique.



# **ANNEXE**

**Annexe I.1** : épaisseur des conduits en PEHD en fonction du diamètre nominal et de la pression admissible

	6 Bar	10 Bar	16 Bar	20 Bar
DN (mm)	e (mm)	e (mm)	e (mm)	e (mm)
90	3,5	5,4	8,2	10,1
110	4,2	6,6	10,0	12,3
125	4,8	7,4	11,4	14,0
160	6,2	9,5	14,6	17,6
200	7,7	11,9	18,2	22,4
250	9,6	14,8	22,7	27,9
315	12,3	18,7	28,6	35,2
400	15,3	23,7	36,3	44,7
450	*		40,9	*
500	19,1	29,7	45,4	55,8
560	*		50,8	*
630	24,1	37,4	57,2	70,3
710	*	42,1	*	*
800	*	47,4	*	*
900	*	53,3	*	*
1000	*	59,3	*	*

(\*) Données introuvables ou inexistantes

**Annex I.2 : abaque de perte de charge pour le PEHD**

