

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR ANNABA-UNIVERSITY  
مختار عنابة  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT  
DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE

## MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

## INTITULE

**Etude statistique des caractéristiques mécaniques  
des tubes en PEHD renforcés de noir de carbone**

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENIE MECANIQUE

SPECIALITE : MAINTENANCE INDUSTRIELLE ET FIABILITE  
MECANIQUE.

PRESENTE PAR :

ATTOUI SALAH

DIRECTEUR DU MEMOIRE : M<sup>m</sup>. Z. ZEMOURI

DEVANT LE JURY

PRÉSIDENT:

Mr. R. KHELIF (MC) UNIVERSITE BADJI MOKHTAR  
ANNABA

EXAMINATEURS :

Mr. O. BOUSSAID (MC) UNIVERSITE BADJI MOKHTAR  
ANNABA

**Mr. A/M MERABTINE. (MC) UNIVERSITE BADJI MOKHTAR  
ANNABA**

**Mr. K. TADJINE.K (MC) UNIVERSITE BADJI MOKHTAR  
ANNABA**

**Mr. R. LAISSAOUI. (MA) UNIVERSITE BADJI MOKHTAR  
ANNABA**

**Année: 2012/2013**

*Remerciement*

---

*Tout d'abord, je remercie le bon Dieu qui m'a donné la force et la patience pour terminer mes études.*

*J'adresse ma reconnaissance particulière à mes parents qu'ils soient chéris, Pour leur soutien et aide sans faille qu'ils nous ont apporté durant tout le cycle de ma scolarité.*

*Je tiens à remercier mon encadreur :*

*Mm : zemouri qui a ménagé un grand effort afin de me permettre de mener à bien non modeste travail et à qui j'exprime ma gratitude et mes respects.*

*Un grand merci pour M<sup>elle</sup> : BOUTI AMINA , et SEHLI KHALED*

*Un grand merci pour les responsables des SEATA qui m'ont facilité la tâche dans l'élaboration de ce mémoire, en particulier : Mrs. Raouf, et Mm DAASE*

*Enfin, je remercie tous ceux qui ont participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

*Merci.*

*Dédicaces*

*À l'aide de dieu j'ai pu réaliser ce travail que Je dédie*

*A ma mère, à mon père*

*Pour leur bienveillance et leur abnégation de m'avoir encourager à terminer dans de bonnes conditions mon travail.*

*A mon frère*

*A mes sœurs*

*A tout les membres de ma famille*

*A tous mes ami(e) s chacun son nom*

*en particulier les compagnons du long chemin avec tous mes vœux de succès.*

*A tous ceux que j'aime.*

*A tous ceux qui m'aiment.*

ATTOUI SALAH

## **SOMMAIRE**

### **CHAPITRE.I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE**

<b>I. PRESENTATION DE L'ENTREPRISE .....</b>	<b>1</b>
<b>I.1. EAU .....</b>	<b>1</b>
<b>I.2. ASSAINISSEMENT .....</b>	<b>1</b>
<b>I.2.1. SERVICE CLIENTELE.....</b>	<b>2</b>
<b>I.2.2. RESSOURCES HUMAINES. ....</b>	<b>2</b>
<b>I.2.3. LE CLIENT NOYAU DE TOUS NOS EFFORTS.....</b>	<b>2</b>
<b>I.3. NOS METIERS.....</b>	<b>2</b>
<b>I.3.1. PRODUCTION DE L'EAU .....</b>	<b>2.</b>
<b>I.3.2. DISTRIBUTION DE L'EAU .....</b>	<b>2</b>
<b>I.3.3. QUALITE DE L'EAU .....</b>	<b>2</b>

I.4. IMPLANTATION .....	3
I.5.1. LIVRES DE PREPARATION POUR LES CONDITIONS.....	4
I.5.2. CONFIGURER LES UTILISATEURS: A L'ETRANGER ET EN ALGERIE.....	4
I.6. ORGANIGRAMME.....	5
I.7. LES DIFFERENTES UNITES.....	6
I.7.1. BUREAU D'ETUDES ET CONCEPTION.....	6
A) CONTEXTE GENERAL .....	6
B) PRINCIPAUX OBJECTIFS ASSIGNES A LA MISSION DE GESTION DELEGUEE....	6
I.8. CONTROLE QUALITE DE L'EAU.....	7
I.8.1. LES STATIONS ET RESERVOIRS.....	7
I.8.2. UN PRELEVEMENT POUR CONTROLE DE LA QUALITE DE L'EAU .....	7
A) MATERIEL DU PRELEVEMENT .....	7
B) LA METHODE DE PRELEVEMENT .....	8
I.8.3. DISTRIBUTION DU CHLORE (JAVEL) .....	9
I.8.4. CAS DE CONTAMINATION .....	9
A) PARAMETRE ORGANOLEPTIQUE .....	9
B) METHODE D'ORGANISATION EN CAS DE CONTAMINATION.....	10

## **CHAPITRE II : LES FONCTIONS DU DEPARTEMENT DE MAINTENANCE**

INTRODUCTION.....	11
II.1.DEFINITION DE MAINTENANCE.....	11

II 2. OBJECTIFS DE LA MAINTENANCE.....	12
II 3. NIVEAUX DE LA MAINTENANCE.....	12
II.4. LA POLITIQUE DE MAINTENANCE.....	13
II .4.1.LA DEFINITION DE LA POLITIQUE DE MAINTENANCE GENERALE...13	
II.5.LES DEFERENTS TYPES DE MAINTENANCE.....	14
II .5.1-MAINTENANCE CORRECTIVE.....	15
A) DEFINITION.....	15
B) LES DEFIRENT TYPES DE MAINTENANCE CORRECTIVE .....	15
1) MAINTENANCE PALLIATIVE .....	15
2) MAINTENANCE CURATIVE.....	15
C) LA MAINTENANCE CORRECTIVE DEBOUCHE SUR 2 TYPES D'INTERVENTIONS .....	15
1) LE DEPANNAGE .....	15
2) LA REPARATION.....	15
D) ORGANISATION D'UNE ACTION DE MAINTENANCE CORRECTIVE.....	15
1) ORGANISATION D'UN DEPANNAGE .....	15
2) ORGANISATION D'UNE REPARATION.....	16
E) AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA MAINTENANCE CORRECTIVE.....	17
II .5.2MAINTENANCE PREVENTIVE.....	17
A) DEFINITION.....	17

B) LES OBJECTIFS VISES PAR LA MAINTENANCE PREVENTIVE SONT LES SUIVANTS.....	17
C) LES DIFFERENTS TYPES DE MAINTENANCE PREVENTIVE...	18
1) MAINTENANCE PREVENTIVE SYSTEMATIQUE .....	18
2) MAINTENANCE PREVENTIVE CONDITIONNELLE.....	18
3) MAINTENANCE PREVENTIVE PREVISIONNELLE.....	18
D) LES OPERATIONS DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE .....	18
E) BUT DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE .....	19
F) AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA MPC/MPP.....	19
G) COMPARAISON ENTRE LES DIFFERENTES FORMES DE MAINTENANCE.....	21
II.6. CHOIX D'UNE FORME DE MAINTENANCE.....	22
II.7. STRATEGIES DE MAINTENANCE.....	23
II.8 LA MAINTENANCE BASEE SUR LA FIABILITE (MBF).....	24
II.8.1 HISTOIRE DE LA MBF.....	24
II.8.2. DEFINITIONS, OBJECTIFS ET MOYENS DE LA MBF....	25
II.8.2.1 DEFINITIONS DE LA MBF.....	25
II.8.2.2. OBJECTIFS DE LA MBF.....	25
II.8.2.3. MOYENS NECESSAIRES A LA MISE EN ŒUVRE DE LA MBF.....	26
II.9. LA TOTALE PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM).....	26
II.9.1. LES OBJECTIFS DE TPM SONT .....	27
 <b>CHAPITRE III : LES POLYMERES</b>	
III.1. INTRODUCTION .....	28

III .2. MATERIAUX ETUDIES .....	28
III .2.1.POLYETHYLENES.....	28
III .2.1.1.STRUCTURE.....	28
III .2.1.2.MISE EN OUVRE .....	29
III .2.1.3.CLASSIFICATION DES PE.....	30
III .2.1.3. CARACTERISTIQUES.....	31
III .2.2. POLYCHLORURE DE VINYLE.....	34
III .2.2.1. PROPRIETES DU PVC.....	35
III .2.2.2. PROPRIETES MECANIQUES.....	37
III .2.2.3. PROPRIETES THERMIQUES.....	39
III .2.2.4. PROPRIETES DIELECTRIQUES.....	40
III .2.2.5. PROPRIETES CHIMIQUES.....	40
III .2. AVANTAGES DES TUYAUX EN PVC.....	42
III.3. DEGRADATION DES RESEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU .....	43
III.3.1. INTRODUCTION .....	43

III	.3.2.VIEILLISSEMENT	DES	POLYMERES	43
III.3.2.1.			VIEILLISSEMENT	
	PHYSIQUE.....			43
III.3.2.2.	VIEILLISSEMENT			
	CHIMIQUE.....			44
III.3.2.3.	VIEILLISSEMENT	EN	MILIEU	
	AEROBIE.....			45
III.3.2.4.	VIEILLISSEMENT		RADIOCHIMIQUE	
	.....			45
III.3.2.5.	VIEILLISSEMENT	PAR	OXYDATION	
	.....			45
III.3.2.6.	VIEILLISSEMENT		THERMIQUE	
	.....			46
III.3.2.7.	VIEILLISSEMENT		THERMIQUE	
	.....			46
III.3.2.8.	VIEILLISSEMENT			
	MECANIQUE.....			47
III.3.3.	DEGRADATION DE PEHD			47
I.3.3.1.			INTRODUCTION	
	.....			47
III.3.3.2.	RUPTURE DE PEHD			47
III.3.3.3.	CORROSION			50
III.3.3.4.	ABRASION			52
III.3.3.5.	POINT D'ECHEC			54
III.3.4.	DEGRADATION	DE	PVC	
	.....			55

III.3.4.1.	COLLAGE	PVC
.....		55
III.3.4.2.		TRANCHEES
.....		56
III.3.4.3.	RESISTANCE	CHIMIQUE
.....		56
III.3.4.4.	RESISTANCE	A L'ABRASION
.....		57

#### CHAPITRE IV : ETUDE EXPERIMENTALE

IV .1 .	INTRODUCTION	
.....		58
IV .2 .	COURBES	DE TRACTION
.....		58
IV .3 .		ANALYSES
PHYSICOCHIMIQUES		.....59
IV	.3.1.	DENSITE
.....		59
IV	.3.2.	INDICE DE
FLUIDITE		.....60
IV .4.	ESSAI	DE TRACTION
.....		60
IV.4.1.	MACHINES	D'ESSAIS
.....		61
IV .4.2.	PROCEDE DE MOULAGE DE LAMES POUR ESSAIS DE TRACTION	
.....		63
IV .5.	LES	ESSAIS
.....		64
IV .5.1.	PEHD	GRADE TR
.....		144
.....		64

IV .5.1.1. PROPRIETE GENERALE DE PEHD GRADE TR	144
.....	64

III .5.1.2. RESULTATS D'ESSAIS (VALEURS MOYENNES)	
.....	65

IV .5.2. RESULTATS D'ESSAIS D'EPROUVETTES DES MATERIAUX DE L'ENTREPRISE	
.....	67

## **V.1. Etude statistique des résultats de l'essai de traction**

V.1.1.INTRODUCTION	73	
<b>V .1.2. Analyse des résultats de l'essai de traction</b>	74	
V.2 Proposition de remplacement de réseaux d'eau	83	
V.2.1. Introduction	83	
<b>V.2.2</b> Modèle mathématique	84	
V.2.MODELE DE COUPLAGE	88	
V.2.1/ ASSEMBLAGE PAR RACCORD DE COMPRESSION	88	
V.2.2/ ASSEMBLAGE PAR FUSION	62	
1- EXIGENCES GENERALES	91	
2- PREPARATION DE LA MACHINE	91	
3- PREPARATION DES SOUDURES	92	
a) UN CYCLE DE SOUDAGE COMPREND 5 PHASES	93	
V.2.4/ PROPOSITION	95	
V.2.4.1	CONDITIONNEMENT	ET
STOCKAGE	95	
V.2.5./ MISE EN ŒUVRE	96	
A) FOND DE FOUILLE	96	
b) LE TUBE	97	
V.2.6/ PREPARATION DU RACCORDEMENT	97	

V.2.7/ POSE SANS TRANCHEE.....	98
❖ A) Forage .....	<b>98</b>
B) FUSEES.....	101
A) - TUBAGE DE CANALISATION AVEC VIDE ANNULAIRE.....	102
1) PRINCIPE.....	102
2) TECHNIQUE DE TUBAGE.....	102
3) REALISATION DES TRAVAUX.....	102
4) ESSAIS.....	103
B) - AUTRES TECHNIQUES DE RENOVATION.....	103
1) PRINCIPE D'EXECUTION.....	103
2.1 .CE PROCEDE CONSISTE.....	103
2) AVANTAGES.....	104
4) REMPLACEMENT PLACE POUR PLACE PAR EXTRACTION.....	104
5) PRINCIPE D'EXECUTION.....	104
6) TUBE PE REPLIE.....	104
7) AVANTAGES DE CES DIVERS PROCEDES.....	104
CONCLUSION	

# Introduction générale

Les wilayas de ANNABA et EL TAREF dépendent entièrement en eau potable de deux barrages. La mobilisation et le transfert des eaux se font à partir de ces deux grands ouvrages sur plus de 50 km de conduites jusqu'au point le plus éloigné du chef-lieu de wilaya. Le premier barrage, celui de Mexa, à quelques kilomètres de la frontière avec la Tunisie, devait au départ avoir une capacité de 120 millions de m<sup>3</sup>, capacité. La reconfiguration de l'ouvrage, les études pour sa réalisation et les travaux qui ont suivi ont quelque peu retardé son exploitation par rapport à ce qui était prévu initialement. Le nouveau barrage (d'une capacité de 33 millions de m<sup>3</sup>) réceptionné, ce n'est qu'en 2003 que sa mise en eau a été possible pour ensuite alimenter la ville Annaba depuis 2006.

L'adduction d'eau potable vers la ville n'a pas été facile, il avait fallu mettre en place plus d'une cinquantaine de kilomètres de canalisations avec les équipements nécessaires pour qu'enfin certains quartiers, cités et localités de la wilaya soient régulièrement alimentés.

En aval, à quelques kilomètres en contrebas, la station de traitement d'un débit de 1 000 litres/seconde fonctionne 24h/24 pour faire face à une demande sans cesse croissante au vu développement que connaît toute la région. La potabilisation se fait à l'aide d'installations modernes avant que l'eau ne soit transférée vers des réservoirs pour être stockée et distribuée via un réseau de conduites long de 1 205 km.

Un deuxième barrage, "le Cheffia", d'une capacité de 95 millions de m<sup>3</sup>, met à la disposition de la wilaya de Annaba un complément de 44 millions de m<sup>3</sup>, ce qui porte les quantités transférées à partir de ces deux grands ouvrages à 64 millions de m<sup>3</sup> en dehors des 165 forages et des 84 retenues collinaires irrigant 1 825 hectares de terres arables. Le tout mobilise 92,6 millions de m<sup>3</sup> par an dont, 72 en eaux superficielles et 20,6 en eaux souterraines.

En vue d'assurer les meilleures conditions de réussite du contrat de management des services publics de l'eau potable et de l'assainissement au niveau de l'Agglomération, l'EP Algérienne des Eaux et l'Office National de l'Assainissement ont décidé de créer une filiale commune en la forme d'une société par actions dénommée Société des Eaux et de l'Assainissement d'Annaba et El-Tarf, par abréviation SEATA et de confier la gestion de cette dernière à un partenaire étranger, à savoir GELSENWASSER.

Le contrat de management liant la société SEATA d'une part et GELSENWASSER d'autre part pour la gestion de SEATA a été signé le 17 décembre 2007.

Ce contrat, dont l'ordre de service a été donné le 16 juillet 2008, court jusqu'en mars 2014.

Pour s'assurer du succès de l'option de la gestion déléguée, l'EP Algérienne des Eaux et l'Office national de l'Assainissement ont prévu dans ce contrat de gestion déléguée, des missions d'audit externe de sa mise en œuvre sur le terrain.

C'est dans ce contexte précis, que le Consortium CTH / BEARIM / CETIC a été chargé par l'EP Algérienne des Eaux de la réalisation d'une mission d'audit externe devant porter sur :

La période écoulée de l'exécution du contrat de gestion déléguée, qui court depuis son début d'exécution (16 juillet 2008) jusqu'au démarrage de l'audit externe,

Celle qui reste à réaliser jusqu'à la clôture du contrat de management (mars 2014).

Principaux objectifs assignés à la mission de Gestion Déléguée :

Les principaux objectifs assignés à la Gestion Déléguée de SEATA) sont :

Amélioration et modernisation de la qualité des services publics de l'eau et de l'assainissement,

Atteinte d'une distribution de l'eau en continu H24 sur l'ensemble des wilayas d'Annaba et El-Tarf, dans les délais contractuels,

Transfert de Savoir faire de l'opérateur aux employés de SEATA,

Implémentation d'un nouveau logiciel de Gestion Clientèle,

Implémentation d'un nouveau logiciel de comptabilité général et analytique,

Implémentation et Fonctionnement d'une Cellule d'Etudes.

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit au cœur d'un projet de recherche, mené en coopération (Université de Annaba, SEATA utilisateur d u polyéthylène à haute densité PEHD).

Nous nous sommes intéressés au endommagement du réseau d'eau potable du secteur EL BOUNI.

Afin d'avoir une vision globale de l'état de ce réseau et améliorer nos connaissances sur le comportement des réseaux d'eau potable dans leur environnement nous avons procédé à un diagnostic, en s'appuyant sur une enquête précise comprenant un historique du réseau (fuites et casses).

Ce travail se décompose de la manière suivante :

Dans le premier chapitre, nous présentons l'entreprise SEATA lieu de stage pratique

Dans le deuxième chapitre nous présentons une théorie générale sur la maintenance

Dans le troisième chapitre nous présentons une théorie sur les polymères (PEHD), les propriétés, les avantages et les inconvénients).

Une partie expérimentale permettant la caractérisation des matériaux de canalisations (PEHD sera illustré dans le quatrième chapitre. Notre objectif principal est de comparer les caractéristiques mécaniques du polymère à haute densité avec et sans noir de carbone. Les matériaux sont présentés et les techniques expérimentales mises en œuvre sont détaillées ainsi que les résultats des essais.

Une étude comparative des moyennes des spécimens pour 3 répétitions concernant les différentes caractéristiques (contrainte élastique, la contrainte d'écoulement, la contrainte de la zone de striction et le module de Young) a été proposée dans le chapitre cinq en se basant sur le test d'analyse de la variance à un critère de classification modèle fixe

En fin une conclusion et des perspectives sont proposées

## **II. Présentation de l'entreprise :**

- SEATA gère les services de l'eau potable et de l'assainissement des eaux usées sur l'ensemble des deux wilayas ANNABA et EL TARF.
- Société par action (SPA) détenue par l'Algérienne des Eaux (A.D.E) et l'office National de l'Assainissement (O.N.A).
- Plusieurs projets d'AEP et d'Assainissement sont en cours de réalisation à travers les deux wilayas.
- Un personnel de plus de 2500 travailleurs spécialisés dans la gestion de l'eau et de l'assainissement et mobilisés pour améliorer la qualité du service de 1.2 million d'habitants (36 communes).

Chiffres clés (Fin de l'année 2011) :

### **I.1. Eau :**

- ✓ 112874 Hm<sup>3</sup> Production d'eau Annuelle
- ✓ 2085 Km de réseau dont 1107 Km de gros diamètres

- ✓ 147 forages
- ✓ 266 Réservoirs
- ✓ 121 stations de pompage
- ✓ 04 stations de traitement

## **I.2. Assainissement :**

1 million d'habitants -02 wilayas- 13 Dairas-36 Communes -4.780 Km<sup>2</sup> ca.  
140000 m<sup>3</sup>/jour d'eau usée produit.

2000 Km L de réseau

62 Stations de relevage en service

05 Station d'épuration en service

Ca.10000 m<sup>3</sup>/jour d'eau usée relevée (pompée)

Ca.2000 m<sup>3</sup>/jour d'eau usée épurée

### **I.2.1. Service clientèle.**

-184000 Abonnés.

### **I.2.2. Ressources humaines.**

-2737 salariés.

### **1.2.3. Le client noyau de tous nos efforts**

- Les effets du personnel de la SEATA ont pour objectif d'offrir un service de qualité et de satisfaire notre aimable clientèle.
- Un réseau de 32 agences clientèle sur l'ensemble des deux wilayas Annaba et El tarf.
- Un centre d'appel téléphonique opérationnel (cato).0770810851

## **I.3. Nos métiers**

### **I.3.1. Production de l'eau :**

La SEATA dispose de 2 Centre de production, géré par un personnel qualifié, mobilisé en permanence pour produire une eau quantité et de qualité à partir des différentes ressources disponibles, de façon optimale et durable.

### **I.3.2. Distribution de l'eau :**

La distribution est gérée par 10 centres de distribution dont 05 au niveau de la wilaya d'El-Tarf au et 05 au niveau d'Annaba ; ces centres assurent en permanence et d'une façon continue une distribution satisfaisante.

### **I.3.3. Qualité de l'eau :**

L'eau produite distribuée au niveau des deux wilayas répond aux normes de qualité les plus strictes. 100% de conformité bactériologique, plus de 2600 tests de chlore sont réalisés mensuellement. Des analyses physicochimiques et bactériologiques sont effectuées systématiquement sur les sites de production et de stockage de l'eau, ainsi que sur le réseau de distribution et chez les consommateurs.

## **I.4. Situation :**

SPA SEATA Société de l'Eau et l'Assainissement d'El-Tarf et d'Annaba

09, Avenue de l'ALN Centre d'Affaires ElDjawhara-Annaba-Algérie

Tél : 038843045 / Fax : 038840038

## **I.5. Implantation :**

Dans le cadre de la réorganisation des services publics de l'eau et de l'assainissement par les pouvoirs publics La société a été créée pour l'eau et le nettoyage Btarv et Annaba raccourci nommé "actions de la société Seata"

assurer Baltsier travers Mandat pour deux gars et le comté de services aux États Tarf et Annaba.

- La compagnie a commandé "Seata", par contrat, le commerçant allemand "Gelsn Wasser" pour aller des services d'eau et d'assainissement sur le territoire des deux Etats. .
- L'objectif de contrat présente :
  1. moderniser et de développer la gestion des services d'eau et d'assainissement.
  2. Élaborer et diffuser des outils de gestion modernes [Réseau d'information automatisé ...]
  3. Mettre en place un système pour la distribution de l'eau 24 potable à 24 heures.
  4. assurent le transfert de compétences et les qualifications de leurs homologues allemands de pneus Algériens addition à la technologie.
- Lancé société Seata dans le travail de terrain sur 01 Juin 2008.
- Du 01 Juin 2008 au 15 Mars 2009, était le polythéisme sont gérés par le chef de projet M. Belhasini Miloud Directeur général adjoint est actuellement seul sur la responsabilité du processus de réalisation de moyens techniques et administratifs. Et cela pour que le diagnostic négociant allemand, et recueillir des informations assurer basale en l'aidant le développement de contour. Cette phase a permis d'identifier négociant allemand utilisateurs, installations. Ceci afin que le commerçant allemand en faire le diagnostic, et de recueillir des informations de base pour assurer aidant un plan de développement. Cette phase a permis d'identifier négociant allemand utilisateurs, les installations et les procédures en matière de gestion.
  
- 16 mars 2009 cité la Direction générale à l'opérateur allemand a été l'inauguration des Sams Directeur général, M. Hans Joachim par le conseil d'administration à assumer ses fonctions.
- Le 25 Juillet 2009, et approuvé par le Conseil d'administration sur le plan de développement.
- De cette histoire, a commencé la phase de mise en œuvre du plan de développement:

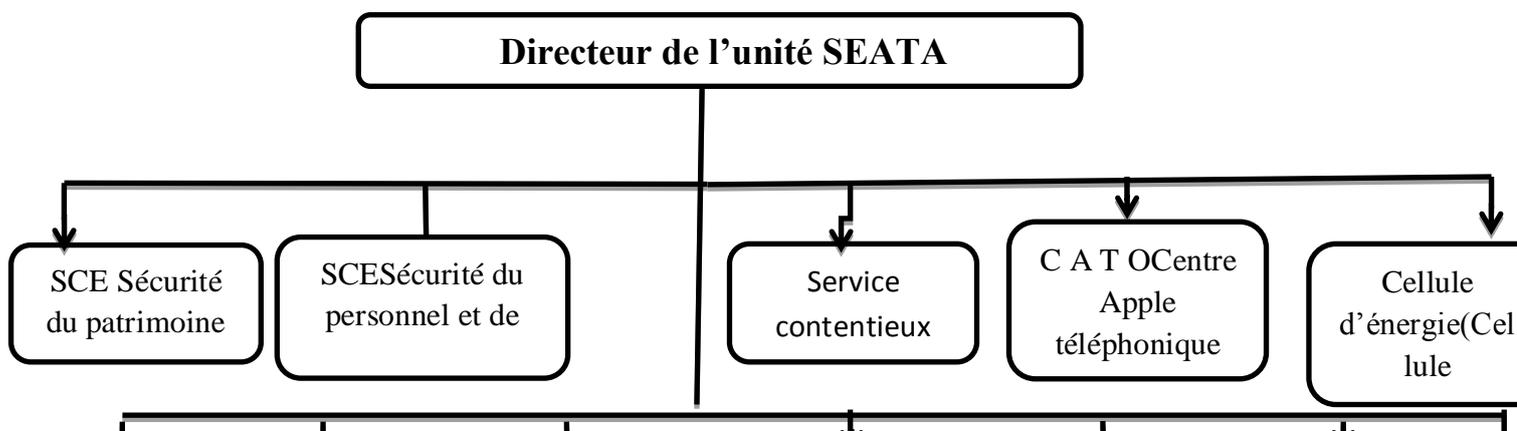
### ***1.5.1. Livres de préparation pour les conditions:***

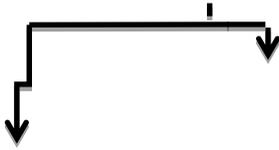
- A. l'acquisition des engins mobiles, les mécanismes, les camions, éliminer les blocages,
- B. Renouvellement des réseaux de distribution d'eau et le nettoyage.
- C. la réhabilitation des stations de pompage (eau potable) et des stations défendent (nettoyage)
- D. réhabilitation de puits.

### ***1.5.2. Configurer les utilisateurs: à l'étranger et en Algérie :***

- ✓ Un groupe d'utilisateurs a participé nettoyage est composé de 12 individus dans la période de formation en Allemagne.
- ✓ Actuellement résider en Belgique un autre groupe d'utilisateurs de l'approvisionnement en eau potable de participer à une session de formation à la gouvernance sectorielle.
- ✓ Impliquez un groupe de chefs de centres et chefs de secteurs marche à l'approvisionnement en eau potable dans une session de formation sur la gouvernance sectorielle Annaba sous la supervision des experts Belhakyin.
- De la Compagnie le plus important des projets Seata «aussi:
  - Ouvrez le centre de la composition dans l'eau professions (alimentation en eau potable / assainissement) se fonder, Tarif.
  - Création du siège de la Direction générale, Annaba.

### **I.6. Organigramme :**





## **Organigramme de la SEATA**

(Structure des eaux et de l'assainissement d'El teref et d'annaba)

### **I.7. Les différentes unités :**

#### **I.7.1. Bureau d'études et conception :**

##### **a) Contexte général :**

En vue d'assurer les meilleures conditions de réussite du contrat de management des services publics de l'eau potable et de l'assainissement au niveau de

l'Agglomération d'Annaba et El-Tarf, l'EP Algérienne des Eaux et l'Office National de l'Assainissement ont décidé de créer une filiale commune en la forme d'une société par actions dénommée Société des Eaux et de l'Assainissement d'Annaba et El-Tarf, par abréviation SEATA et de confier la gestion de cette dernière à un partenaire étranger, à savoir GELSENWASSER.

Le contrat de management liant la société SEATA d'une part et GELSENWASSER d'autre part pour la gestion de SEATA a été signé le 17 décembre 2007.

Ce contrat, dont l'ordre de service a été donné le 16 juillet 2008, court jusqu'en mars 2014.

Pour s'assurer du succès de l'option de la gestion déléguée, l'EP Algérienne des Eaux et l'Office national de l'Assainissement ont prévu dans ce contrat de gestion déléguée, des missions d'audit externe de sa mise en œuvre sur le terrain.

C'est dans ce contexte précis, que le Consortium CTH / BEARIM / CETIC a été chargé par l'EP Algérienne des Eaux de la réalisation d'une mission d'audit externe devant porter sur :

- La période écoulée de l'exécution du contrat de gestion déléguée, qui court depuis son début d'exécution (16 juillet 2008) jusqu'au démarrage de l'audit externe,
- Celle qui reste à réaliser jusqu'à la clôture du contrat de management (mars 2014).

#### **b) Principaux objectifs assignés à la mission de Gestion Déléguée :**

Les principaux objectifs assignés à la Gestion Déléguée de SEATA) sont :

- Amélioration et modernisation de la qualité des services publics de l'eau et de l'assainissement,
- Atteinte d'une distribution de l'eau en continu H24 sur l'ensemble des wilayas d'Annaba et El-Tarf, dans les délais contractuels,
- Transfert de Savoir faire de l'opérateur aux employés de SEATA,
- Implémentation d'un nouveau logiciel de Gestion Clientèle,
- Implémentation d'un nouveau logiciel de comptabilité général et analytique,

- Implémentation et Fonctionnement d'une Cellule d'Etudes.

## **I.8. Contrôle qualité de l'eau**

### ***I.8.1. Les stations et réservoirs :***

1. Suppresseur elbouni.
2. 2\*2000 m3 bouzaouroua.
3. 3000 m3 les crêtes.
4. St s selem.
5. St saruel.
6. St o-Nil.
7. Rés Ecotec (kherraza1).
8. Rés h-Ediss.
9. Rés G-a-Aissa.

\*Suivi de taux de chlore au niveau de réservoir ou stations et abonnés consommateurs

### **I.8.2. Un prélèvement pour contrôle de la qualité de l'eau :**

- Départ du réservoir.
- Arrivée cher les abonnés.

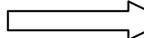
#### **a) Matériel du prélèvement :**

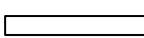
- un tube a essai.
- un compromet DPD N°1.
- un flacon bactériologique.
- un flacon physicochimique.
- un glaciaire comprime les glaciale.

#### **b) la méthode de prélèvement :**

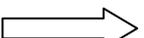


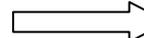
- Abonnés :

\*  $\geq 0.2\text{mg/l}$   bactériologique + physico-chimique

\*  $< 0.2\text{mg/l}$   Prélèvement physico-chimique.

- Réservoir :

\*  $\geq 0.5 \text{ mg/l}$   Prélèvement physico-chimique+ bactériologique.

\*  $< 0.5 \text{ mg/l}$   Prélèvement physico-chimique.

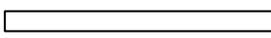
### I.8.3. Distribution du chlore (javel) :

1. Stations.
2. Réservoirs.
3. Alimentation se fait par :

-Utiliser machine javellisateur qui marche goutte à goutte.

-utiliser méthode de choc (bidon de 20 L).

La règle pour utiliser :

1000 m<sup>3</sup>  98 L

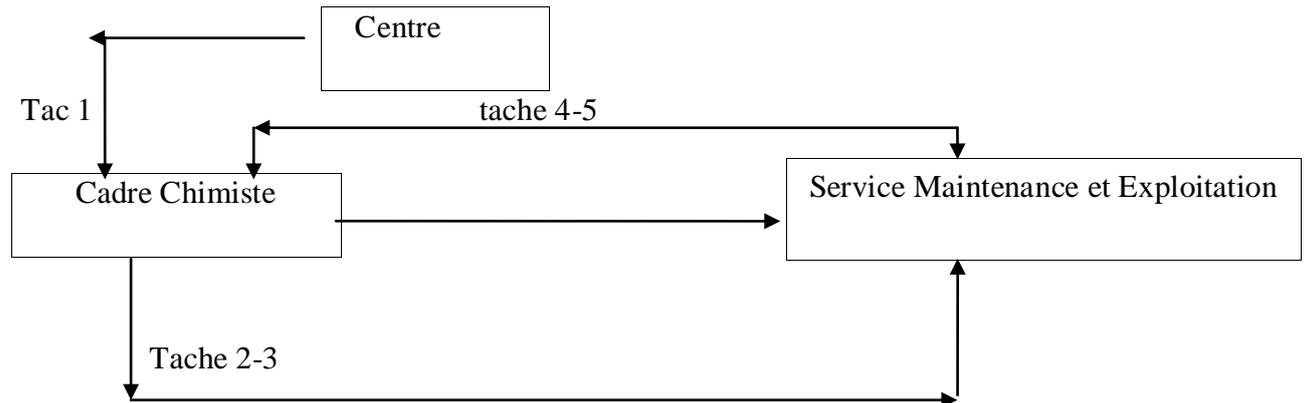
- Avant la distribution 30 min utiliser chlore (javel).

### I.8.4. Cas de contamination :

**a) paramètre organoleptique :**

- Goût.
- Couleur.
- Odeur.

**b) Méthode d'organisation En Cas De Contamination :**



**Taches Effectué :**

1. Réception du Cas.
2. Vérification des paramètres Organoleptique.
3. Ordre de fermeture +affichage.
4. Isolation de Site et AEP par Camion Citerne.
5. Intervention pour la Détection et la résiliation de la source de contamination.
6. Prise d'un Prélèvement pour les Analyses Physico-chimiques et Bactériologiques.
7. Ordre d'Ouverture.

**Introduction :**

Pour être et demeurer compétitive, une entreprise doit produire toujours la bonne qualité et au coût le plus bas. Pour minimiser ce coût, on fabrique plus vite et sans interruption. L'automatisation et l'informatique ont permis d'accroître considérablement cette rapidité de production.

De plus, produire plus sous-entend produire sans ralentissements, ni arrêts. Pour cela, le système de production ne doit subir qu'un nombre minimum de temps.

Exceptés les arrêts inévitables dus à la production elle-même (changements de production, montées en température, etc.), les machines ne doivent jamais (ou presque) connaître de défaillances tout en en fonctionnant à un régime permettant le rendement maximal. Cet objectif est un des buts de la fonction maintenance d'une entreprise. Il s'agit de maintenir un bien dans un état lui permettant de répondre de façon optimale à sa fonction.

## II.1. Définition de maintenance : [1]

D'après l'afnor (NFX60-010) «la maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifique ou en mesure d'assurer un service déterminé.»

Dans une entreprise maintenir, c'est donc effectué des opérations (réparation, graissage, contrôle, .....etc.) qui permettent de conserver le potentielle du matériel pour assurer la production avec efficacité et qualité.

<b>SANTE DE L'HOMME</b>	<b>ANALOGIE</b>		<b>SANTE-MACHINE</b>
Connaissance de l'homme Connaissance des maladies  Carnet de santé  Dossier médical  Diagnostic, examen, visite  Connaissance des traitements curatifs  Dépannage, réparation Opération	Naissance   Longévitité   Bonne santé   Mort	Mise en Service   Durabilité   Fiabilité   Rebut	Connaissance technologique Connaissance modes de défaillances  Historique  Dossier machine  diagnostic, expertise inspection  Connaissances des actions curatives  Dépannage, réparation rénovation, modernisation
<b>MEDECINE</b>			<b>MAINTENANCE INDUSTRIELLE</b>

**Tab.II.1.** Comparaison entre santé de l'homme et santé machine

## II.2. Objectifs de la maintenance :

- Mettre à la disposition de la production un outil fiable.
- Améliorer pour un équipement le profil cumulé durant le cycle de vie par ;
- Diminution des coûts de défaillance (au niveau des coûts propres de maintenance et au niveau de la maintenabilité).
- L'accroissement de la durée de vie rentabilise les équipements.
- Le maintien et / ou l'accroissement des performances du point de vue qualité / quantité.
- La réduction des risques d'accident.
- La réduction des risques concernant la sécurité des hommes et de l'environnement.

Il est évident que l'atteinte de ces objectifs passe par l'amélioration de la compétence technique et de l'efficacité du personnel chargé de la maintenance.

### **II.3. Niveaux de la maintenance :**

Ils sont au nombre de cinq et leur utilisation pratique n'est concevable qu'entre des parties qui sont convenues de leur définition précise, selon le type de bien à maintenir.

#### **1<sup>er</sup> Niveau**

- Réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage ou ouverture de l'équipement,
- Échanges d'éléments consommables accessibles en toute sécurité, tels que voyants, huiles, filtres, type d'intervention effectuée par l'exploitant sans outillage et à l'aide des instructions d'utilisation.

#### **2<sup>ème</sup> Niveau**

- Dépannages par échange standard des éléments prévus à cet effet.
- Opérations mineures de maintenance préventive.
- Type d'intervention effectuée par un technicien habilité de qualification moyenne.
- Outillage portable défini par les instructions de maintenance.
- Pièces de rechange transportables sans délai et à proximité du lieu d'exploitation.

#### **3<sup>ème</sup> Niveau**

- Identification et diagnostic des pannes.
- Echanges de constituants.
- Réparations mécaniques mineures.

- Réglage et réétalonnage des mesureurs.

#### **4<sup>ème</sup> Niveau**

Travaux importants de maintenance corrective ou préventive.

- Démontage, réparation, remontage, réglage d'un système.
- Révision générale d'un équipement.
- Remplacement d'un coffret d'équipement électrique.

#### **5<sup>ème</sup> Niveau**

Travaux de rénovation, de reconstruction ou de réparation importante.

- Révision générale d'un équipement (chaufferie d'une usine).
- Rénovation d'une ligne de production en vue d'une amélioration.
- Réparation d'un équipement suite à accident grave (exemple: dégât des eaux).

### **II.4. La politique de maintenance :[2]**

En matière de politique de maintenance il faut distinguer deux niveaux :

Le niveau global de l'entreprise, où l'on définit une politique de maintenance générique le niveau d'une machine ou d'un équipement, pour lequel on définit le type de maintenance en fonction de critères économiques, stratégiques, etc.

#### **II.4.1.La définition de la politique de maintenance générale :**

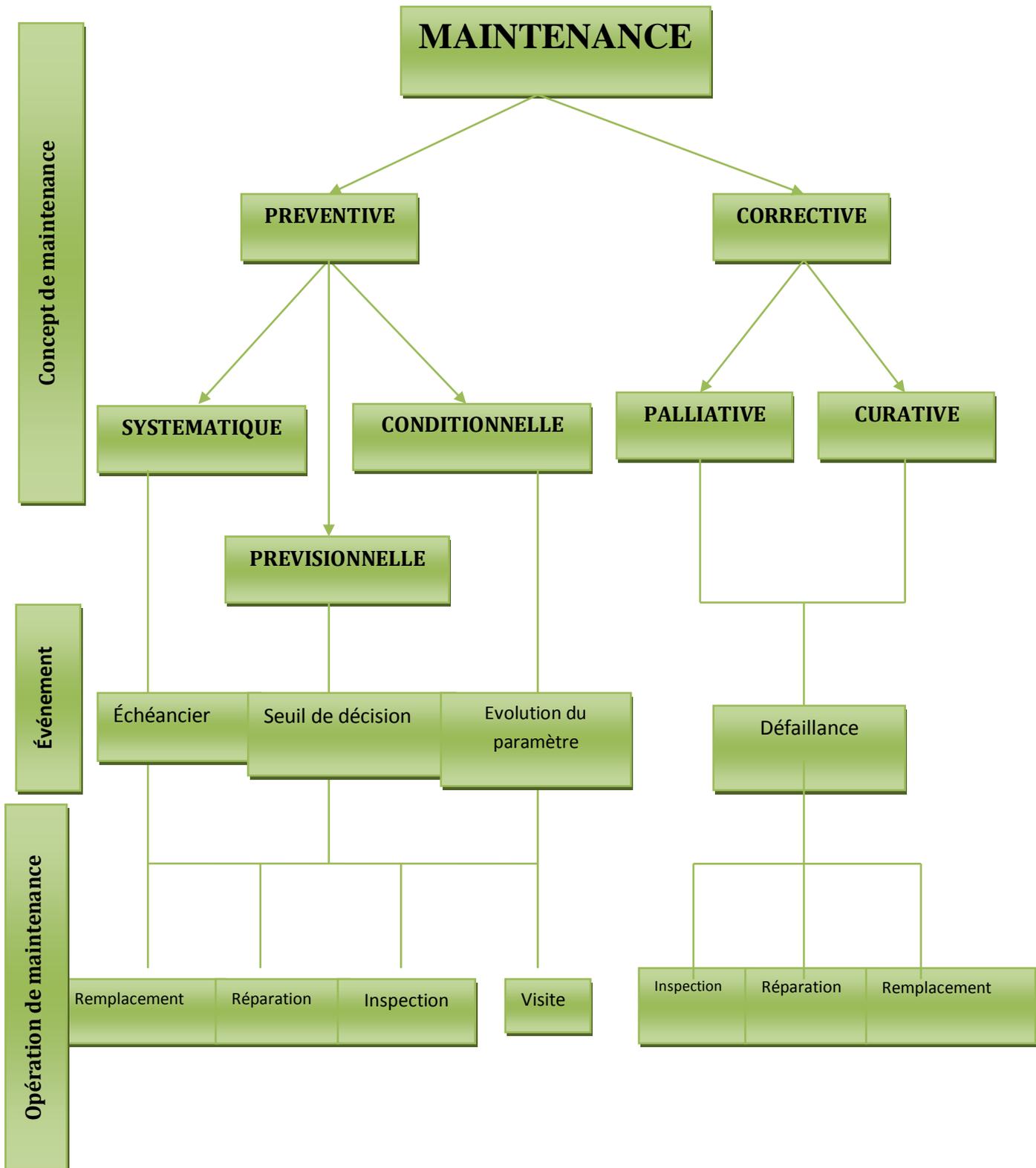
La politique de maintenance générale doit définir le cadre des activités de maintenance, afin que les différents acteurs ainsi que les services connexes disposent de bases et références pour comprendre et organiser.

La définition de la politique de maintenance doit comporter :

- La définition du budget maintenance.
- Le choix du type de maintenance et les actions de réduction des coûts.
- La politique en matière d'investissements.
- La stratégie en matière de gros entretiens.
- La stratégie en matière de sous-traitance.
- La politique concernant l'entretien courant.
- La politique d'amélioration continue propre au service et/ou la contribution à ces programmes dans l'entreprise.

- La politique de gestion des compétences.

## II.5. Les différents types de maintenance : [1]



**Fig.II.1** Types de maintenance (d'après AFNOR)

### **II.5.1-Maintenance corrective :[2]**

#### **a) Définition :**

C'est l'ensemble des activités réalisées après la défaillance d'un bien, ou la dégradation de sa fonction pour lui permettre d'accomplir une fonction requise, au moins provisoirement, ces activités comportent notamment la localisation de la défaillance et son diagnostic, la remise en état avec ou sans modification, le contrôle du bon fonctionnement.

#### **b) Les différents types de maintenance corrective :**

##### **1) Maintenance palliative :**

Ce sont des activités de maintenance corrective destinées à permettre à un bien d'accomplir provisoirement tout ou partie d'une fonction requise. Appelé couramment

dépannage, cette maintenance palliative est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives.

## **2) Maintenance curative :**

Activités de la maintenance corrective ayant pour objets de rétablir un bien dans un état spécifié ou de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Le résultat des activités réalisées doit présenter un caractère permanent. Ces activités peuvent être des réparations, de modifications ou aménagement ayant pour objet de supprimer la défaillance

## **c) La maintenance corrective débouche sur 2 types d'interventions :**

### **1) Le dépannage :**

Remise en état de fonctionnement effectué « in situ », parfois sans interruption du fonctionnement de l'ensemble concerné. Le dépannage a un caractère provisoire. Les dépannages caractérisent la maintenance palliative. Le palliatif est caractéristique des 2<sup>èmes</sup> niveaux de maintenance.

### **2) La réparation :**

Faite « in situ » ou en atelier de maintenance, parfois après dépannage. Elle a un caractère définitif. La réparation caractérise la maintenance curative. Le curatif est caractéristique des 2<sup>èmes</sup> et 3<sup>ème</sup> niveaux de maintenance.

## **d) Organisation d'une action de maintenance corrective :**

### **1) Organisation d'un dépannage :**

L'organisation s'effectue de la manière suivante afin de réduire les immobilisations des matériels :

- **Avant la panne :**
- Rassembler tous les moyens nécessaires à une intervention rapide.
- **Au déclenchement de la panne :**

- 1ère phase : enregistrement de l'appel
- 2ème phase : analyse du travail
- 3ème phase : discussion au niveau de l'analyse
  - **Après la panne :**
- Faire le compte rendu de l'intervention ;
- Déclencher éventuellement une procédure de remise en service pour le personnel utilisateur ;
- Mettre à jour le stock de pièces détachées ;
- Exploiter les résultats de dépannage.

## **2) Organisation d'une réparation :**

La réparation (suivant éventuellement un dépannage) peut être préparée et planifiée afin de pour réaliser l'action de maintenance dans de bonnes conditions.

Comme pour le dépannage, l'organisation s'effectue à 3 niveaux :

- **Avant l'intervention :**
- cela concerne toute l'activité liée à la préparation de la réparation.
  - **Au déclenchement de l'intervention :**
- diagnostiquer les causes de la panne,
- expertiser le matériel,
- décider du lieu d'intervention,
- préparer le poste de travail,
- respecter les consignes de sécurité,
- rassembler les moyens matériels et humains.
- ❖ **Après l'intervention :**
- compte-rendu de l'intervention,
- remise en main du matériel,
- correction de la préparation / exploitation des résultats

## **e) Avantages et inconvénients de la maintenance corrective :**

❖ **Avantage :**

- faible coût de maintenance.

❖ **inconvénients :**

- Peu de sécurité des travailleurs.
- Stockage important des pièces.
- Temps de réparation élevé.
- Perte de production élevée.

## **II.5.2-Maintenance préventive :[2]**

### **a) Définition :**

La maintenance préventive ayant pour objet de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation d'un bien ou d'un service rendu. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage (maintenance systématique), et/ou des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien ou du service (maintenance conditionnelle).

### **b) Les objectifs visés par la maintenance préventive sont les suivants :**

- Augmenter la fiabilité d'un équipement, donc réduire les défaillances en service.
- réduction des coûts de défaillance, amélioration de la disponibilité.
- Augmenter la durée de vie efficace d'un équipement.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux, donc les relations avec la production.
- Réduire et régulariser la charge de travail.
- Faciliter la gestion des stocks (consommations prévues).
- Assurer la sécurité (moins d'improvisations dangereuses).
- Plus globalement, en réduisant la part « d'imprévu », améliorer le climat des relations humaines (une panne imprévue est toujours source de tension).

La mise en œuvre d'une politique de maintenance préventive implique le développement d'un service « méthodes de maintenance » efficace. En effet, on ne peut

pas faire de préventif sans un service méthode qui va alourdir à court terme les coûts directs de maintenance, mais qui va permettre :

- La gestion de la documentation technique, des dossiers machines, des historiques.
- Les analyses techniques du comportement du matériel.
- La préparation des interventions préventives.
- La concertation avec la production.

## **c) Les différents types de maintenance préventive :**

### **1) Maintenance préventive systématique :**

Maintenance préventive effectuée selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage.

### **2) Maintenance préventive conditionnelle :**

Maintenance préventive subordonnée au franchissement d'un seuil prédéterminé significatif de l'état de dégradation du bien.

### **3) Maintenance préventive prévisionnelle :**

C'est une maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres significatifs de la dégradation du bien, permettant de retarder et planifier les interventions de quelques concepts fondamentaux liés à la maintenance.

## **d) Les opérations de la maintenance préventive :**

Elles peuvent être regroupées en 3 familles : **les inspections, les contrôles, les visites**. Elles permettent de maîtriser l'évolution de l'état réel du matériel. Elles peuvent être effectuées de manière continue ou à des intervalles, prédéterminés ou non, calculés sur le temps ou le nombre d'unités d'usage.

### **➤ L'inspection :**

Activité de surveillance s'exerçant dans le cadre d'une mission définie. Elle n'est pas obligatoirement limitée à la comparaison avec des données préétablies. Pour la maintenance, cette activité s'exerce notamment au moyen des rondes. Ex : inspection des

extincteurs, écoute des bruits dans un compresseur. Les activités d'inspection sont en général exécutées sans outillage spécifique et ne nécessitent pas d'arrêt de l'outil de production ou des équipements.

➤ **La visite :**

Opération de maintenance préventive qui se traduit par un examen détaillé et prédéterminé de tout ou partie du bien. Ex : visite périodique des ascenseurs, des équipements électriques et mécaniques d'un engin de levage. Ces activités peuvent entraîner des démontages partiels des éléments à visiter (et donc d'entraîner une immobilisation du matériel) ainsi que des opérations de maintenance corrective.

➤ **Le contrôle :**

Vérifications de conformité par rapport à des données préétablies, suivies d'un jugement. Ex : contrôle du niveau d'isolement d'une installation, contrôle du jeu fonctionnel dans un mécanisme. Le contrôle peut comporter une activité d'information, inclure une décision (acceptation, rejet, ajournement), déboucher sur des actions correctives. La périodicité du contrôle peut être constante (durant la phase de fonctionnement normal du matériel) ou variable (et de plus en plus courte dès que le matériel rentre dans sa phase d'usure).

**e) But de la maintenance préventive :**

- Augmenter la durée de vie des matériels.
- Diminuer la probabilité des défaillances en service.
- Diminuer les temps d'arrêt en cas de révision ou de panne.
- Prévenir et aussi prévoir les interventions coûteuses de maintenance corrective.
- Permettre de décider la maintenance corrective dans de bonnes conditions.
- Éviter les consommations anormales d'énergie, de lubrifiant, etc.
- Améliorer les conditions de travail du personnel de production.
- Diminuer le budget de maintenance.
- Supprimer les causes des accidents.

**f) Avantages et inconvénients de la MPC/MPP :**

- ❖ **Avantage :**

Le principal avantage de la MPC / MPP est qu'elle permet d'éviter les arrêts machines dus aux pannes. Pour minimiser encore ces arrêts machines, il faut utiliser des techniques permettant de mesurer l'état de la machine sans l'arrêter. Les 3 principales techniques utilisées en MPC / MPP sont :

- **La thermographie infrarouge :** cette technique permet de mesurer la température des composants sans contact. Tout défaut se traduisant souvent par une élévation de la température, on peut ainsi en mesurer les conséquences.
- **L'analyse des huiles :** cette technique permet à la fois de surveiller l'huile d'une machine afin de ne la changer que lorsqu'elle est dégradée (surveillance de lubrifiant) mais également, à l'instar d'une analyse de sang pour un être humain, de mesurer l'état de santé de la machine.
- **L'analyse vibratoire :** cette technique est principalement utilisée pour la surveillance des machines tournantes. Toute machine tournante vibre. Ces vibrations sont les conséquences de défauts de la machine. Plus la machine vibre, plus les défauts sont importants.

#### ❖ **Inconvénients :**

Le principal inconvénient de la MPC / MPP réside dans la mise en place de ces techniques. Elles sont lourdes à mettre en œuvre sur plusieurs points :

- **Coûts d'achat :**

    Systèmes souvent onéreux :

    Caméra infrarouge : de 8000€ (modèle de base ne permettant pas de retraiter la mesure) à 60000€ (modèle permettant une analyse poussée de la mesure) ;

    Spectromètre mesurant plusieurs éléments (Fer, Zinc, etc.) contenus dans une huile

    Système d'analyse vibratoire : à partir de 1500€ pour collecteur de niveau global et plus de 30000€ pour un collecteur de vibration + logiciel d'analyse.

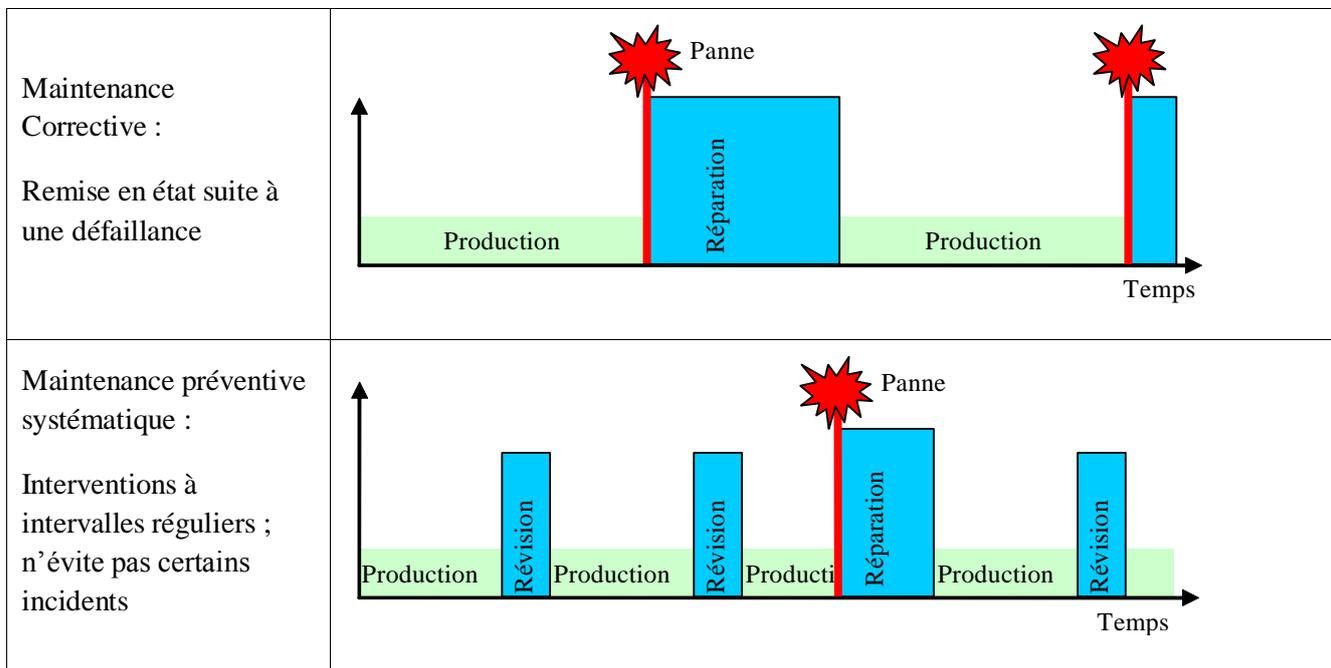
- **Formation du personnel :**

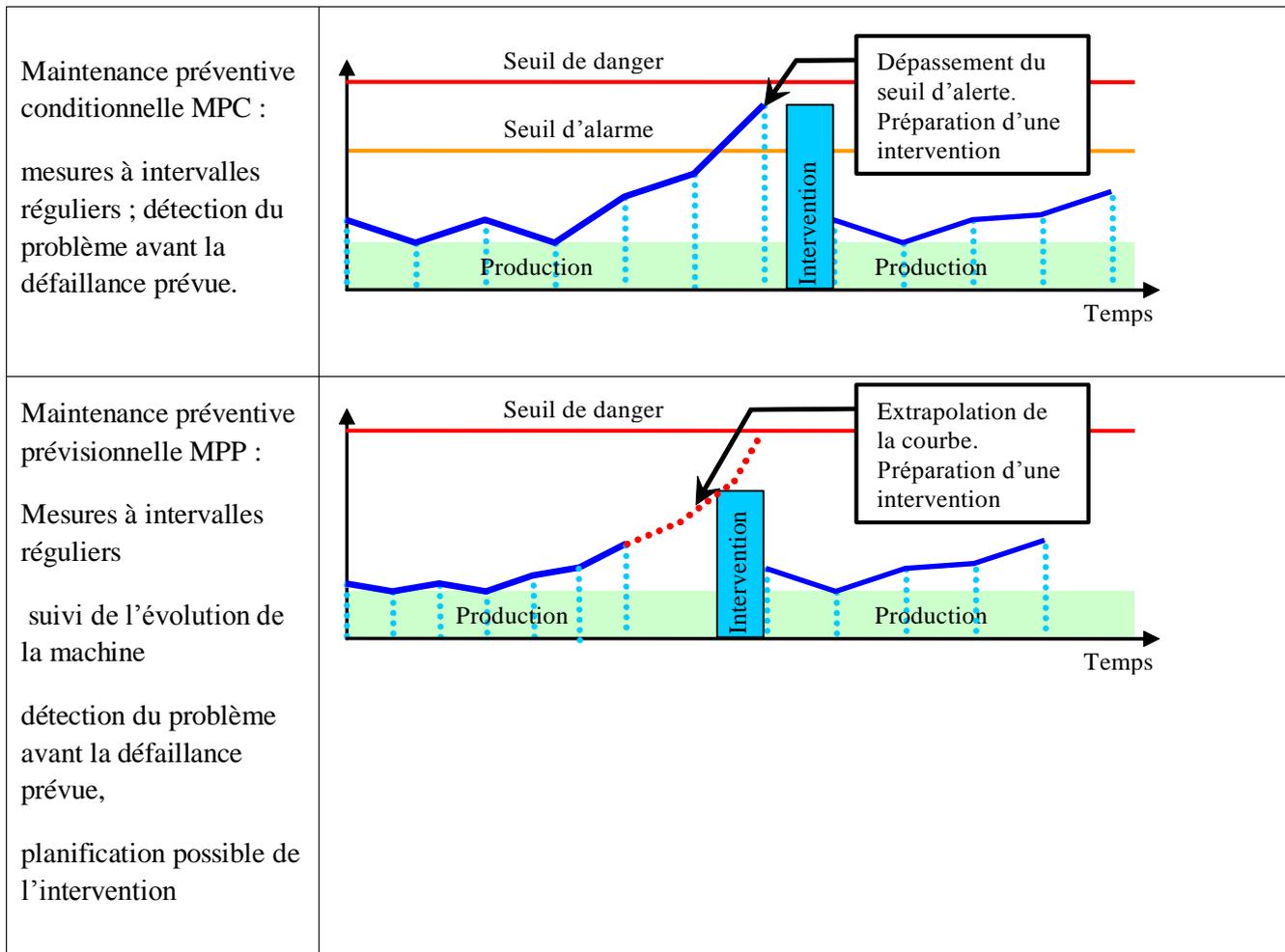
    Selon le matériel acheté et le niveau d'exigence désiré, ces techniques exigent un haut niveau de formation du personnel. Cela implique donc de libérer du temps de formation et de trouver du personnel compétent, capable de s'adapter aux évolutions rapides de ces techniques.

- **Mise en place :**

La difficulté principale de ces techniques est la définition des seuils d'alarme et de danger. Ces seuils nécessitent un temps de mise en place pendant lequel la MPC / MPP n'est pas forcément rentable. Ce délai peut aller de 1 à 3 ans. En effet, si on surestime les seuils, on risque la panne bien avant de l'atteindre. De même, si on les sous-estime, on risque de détecter des fausses alarmes, c'est-à-dire d'atteindre les niveaux d'alarme bien avant la panne ; ce qui aura pour conséquence de déclencher des actions de maintenance non justifiée.

**g) Comparaison entre les différentes formes de maintenance : [2]**





**Fig.II.2** Comparaison entre les différents types de maintenance

**II.6. Choix d'une forme de maintenance :[2]**

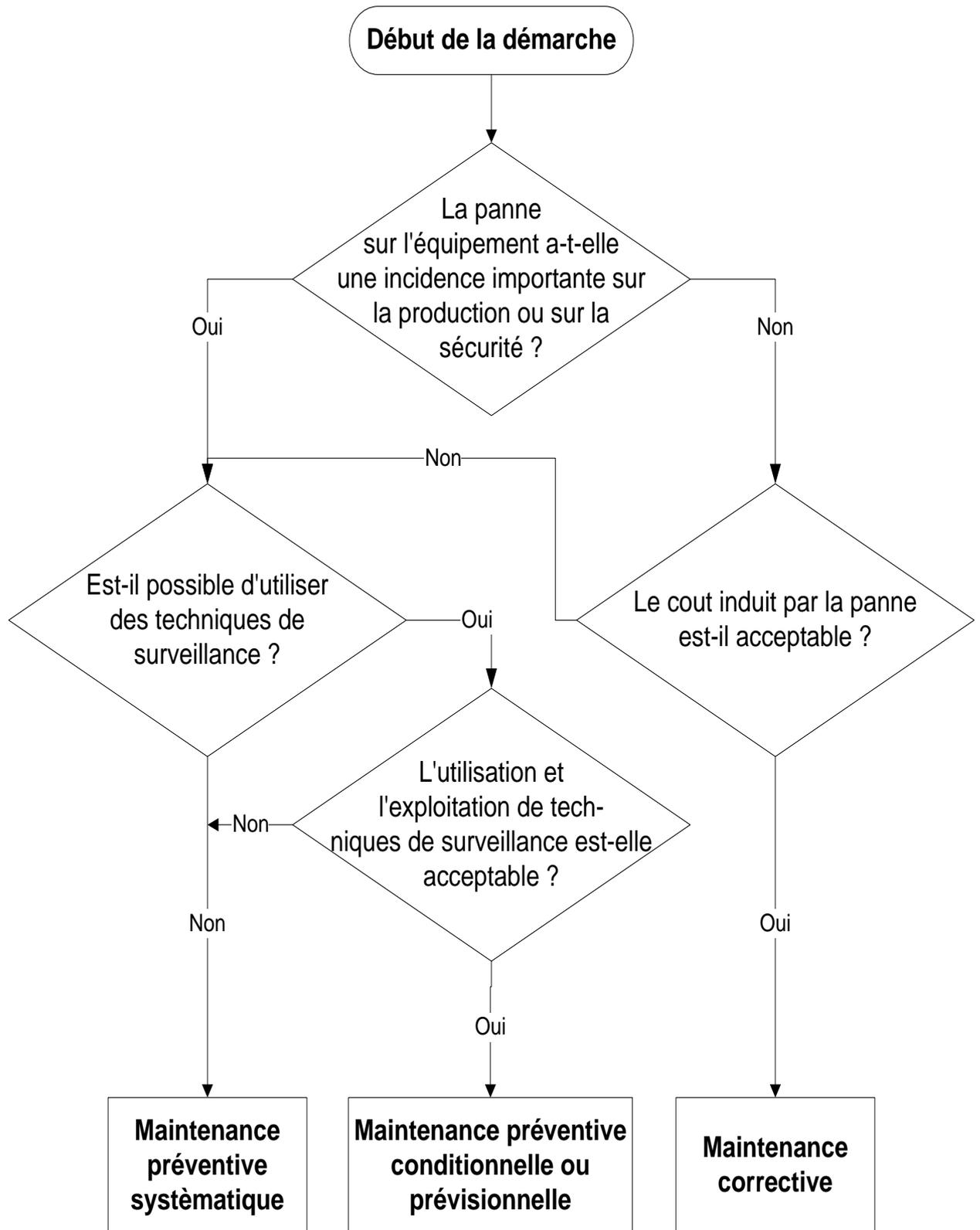


Fig. I.3 Choix d'un type de maintenance

## II.7.Stratégies de maintenance : [3]

## **Pourquoi mettre en place une stratégie ?**

La stratégie de maintenance, qui résulte de la politique de maintenance, impose des choix pour atteindre, voire dépasser, les objectifs fixés. Ces choix sont à faire pour :

Développer, adapter ou mettre en place des méthodes de maintenance.

Élaborer et optimiser les gammes de maintenance.

Organiser les équipes de maintenance.

Internaliser et/ou externaliser partiellement ou totalement les tâches de maintenance

Définir, gérer et optimiser les stocks de pièces de rechange et de consommables

### **Il s'agit de décider sur les trois points suivants :**

Quelles méthodes de maintenance mettre en œuvre et sur quels biens ?

Quels biens fiabiliser ?

Quand remplacer un équipement ?

### **Avec comme objectifs :**

- Augmenter la productivité de l'entreprise et la qualité des produits fabriqués
- Améliorer la sûreté de fonctionnement des installations, et leur durabilité
- Augmenter le taux de rendement global des installations
- Diminuer les coûts associés à une politique (Coûts directs et indirects, coût global)
- Optimiser les stocks de pièces de rechange
- Optimiser les méthodes de maintenance mises en place

### **– Ingénierie de maintenance :**

Étude d'un projet industriel sous tous ses aspects :

- Techniques.
- Économiques et financiers.
- Sociaux.

Et qui nécessite un travail de synthèse coordonnant les travaux de plusieurs équipes de spécialistes.

Ensemble des actions permettant de :

- Constituer et d'organiser les moyens aptes à obtenir d'un bien durable, dès sa conception, et à chaque instant de son cycle de vie,
- Une sûreté de fonctionnement,
- Des performances, et une durée de vie optimale au coût global minimum.

## **II.8 La maintenance basée sur la fiabilité (MBF) :[3]**

### **II.8.1 Histoire de la MBF :**

Les origines de la MBF viennent de la RCM (*reliabilitycentered maintenance*) qui a été introduite en aéronautique vers 1960 aux Etats-Unis pour déterminer les programmes de maintenance. La publication du document MSG (*maintenance steering groupe*) a fixé les bases de la méthode de développement d'un programme de maintenance recevable à la fois pour les constructeurs d'avions, pour les autorités de l'aviation civile.

Il faut souligner que la certification de navigabilité des appareils commerciaux est conditionnée à la mise en œuvre de la maintenance MSG (programme MSG 3 pour l'Airbus

A320 et les Boeing 757 et 767). L'évolution des versions successives des MSG a traduit la régression de la maintenance planifiée, le développement des actions conditionnelles, puis l'optimisation économique dans le respect de l'objectif prioritaire qu'est la sécurité. C'est en

1984 que la méthode de maintenance RCM a été transposée au nucléaire américain, puis importée par EDF au nucléaire français sous le nom de « projet OMF », optimisation de la maintenance par la fiabilité.

L'OMF peut se définir comme une politique de maintenance ayant pour objet « de définir un programme de maintenance préventive afin de contribuer à maintenir, voire à améliorer la fiabilité des fonctions des systèmes qui sont importantes pour la sûreté et la disponibilité des tranches nucléaires ». En 1991, EDF a pris la décision de généraliser l'application de l'OMF à toutes les tranches 900 MW, puis aux 1 300 MW à partir de 1995.

### **Les objectifs de l'OMF sont :**

- Le maintien, voire l'amélioration de la sûreté nucléaire
- La maîtrise des coûts et l'optimisation économique de la maintenance, suivant le principe :  
« Exercer l'effort au bon endroit ».
- La mise en œuvre d'une méthode structurée et rationnelle, par analyse de chaque mode de défaillance fonctionnelle.
- L'utilisation du retour d'expérience pour réajuster les programmes de maintenance et leur pertinence.

Plus pragmatique que la TPM, la démarche MBF repose sur l'analyse technique des équipements, donc sur une forte implication des techniciens de maintenance et de l'encadrement sectoriel, le résultat abouti étant proche de celui obtenu par la démarche TPM une redistribution des responsabilités dans une nouvelle organisation.

## **II.8.2.Définitions, objectifs et moyens de la MBF :**

L'objectif de la MBF est de proposer aux entreprises une méthode structurée permettant d'établir un plan de maintenance sélectif à partir de la criticité des équipements, puis de leurs défaillances identifiées. Cela à partir d'une démarche participative.

### **II.8.2.1.Définitions de la MBF :**

Quelques définitions de la MBF, tirées de la littérature récente, donneront l'idée générale de la méthode.

- La RCM est une stratégie de maintenance globale d'un système technologique utilisant une méthode d'analyse structurée permettant d'assurer la fiabilité inhérente à ce système.
- La MBF est une méthode destinée à établir un programme de maintenance préventive permettant d'améliorer progressivement le niveau de disponibilité des équipements critiques.
- La MBF est une méthode reposant essentiellement sur la connaissance précise du comportement fonctionnel et dysfonctionnel des systèmes.

### **II.8.2.2.Objectifs de la MBF :**

L'objectif principal est clair : améliorer la disponibilité des équipements sélectionnés comme critiques par leur influence sur la sécurité, sur la qualité et par leur impact sur les flux de production. Améliorer la disponibilité implique la réduction des défaillances techniques par la mise en place d'un plan préventif « allant à l'essentiel », mais aussi la réduction des durées de pertes de production par une nouvelle répartition des tâches entre production et maintenance.

### **D'autres objectifs sont recherchés :**

- La maîtrise des coûts par l'optimisation du plan de maintenance préventive, en faisant porter l'effort de prévention « au bon endroit au bon moment », donc par élimination de tâches préventives constatées improductives.
- La mise en œuvre d'une démarche structurée, par analyse systématique de chaque mode de défaillance qui permet de justifier les décisions prises.
- La mise en œuvre d'une démarche participative au niveau des groupes de travail.

MBF ou au niveau des tâches réparties entre production et maintenance.

- La rapidité des résultats associés à une faible perturbation de l'organisation en place, par opposition à la TPM qui est une démarche globale de management à objectifs sur le long terme.

### **II.8.2.3.Moyens nécessaires à la mise en œuvre de la MBF :**

La méthode s'appuie sur une démarche de type AMDEC et des matrices de criticité pour hiérarchiser les équipements, puis les causes de défaillances. L'utilisation ultérieure d'arbre de décisions permet de déterminer les actions à entreprendre dans le cadre d'un plan de maintenance préventive.

### **II.9.La totale productive maintenance (TPM) :[3]**

Le concept TPM date de 1971 et il est japonais. C'est S. Nakajima de l'institut japonais de maintenance industrielle qui fait la promotion de la TPM. Mais les origines de la TPM viennent des Etats-Unis où la maintenance productive date de 1954. C'est en 1958 que John

Smith vient au Japon enseigner la PM (*productive maintenance*). La TPM est donc une adaptation japonaise de la PM américaine. L'ajoutant du mot total a trois significations majeures : la TPM est un système global et transversal, elle concerne tous les niveaux hiérarchiques, des dirigeants aux opérateurs et comprend l'auto maintenance, c'est-à-dire la participation des exploitants à certaines tâches de maintenance.

### **Nakajima définit la TPM en cinq points :**

- La TPM a pour objectif de réaliser le rendement maximal des équipements

- La TPM est un système global de maintenance productive, pour la durée de vie totale des équipements
- La TPM implique la participation de toutes les divisions, notamment l'engineering, l'exploitation et la maintenance
- La TPM implique la participation de tous les niveaux hiérarchiques.
- La TPM utilise les activités des cercles comme outil de motivation.

La TPM implique donc un décloisonnement de ces services en faisant participer le personnel de production aux tâches de maintenance. Elle vise ainsi à atteindre les zéro pannes, en procédant comme suit :

- Les opérateurs sont chargés de tâches de maintenance du 1<sup>er</sup> niveau (nettoyage, lubrification, examen externe, etc.). Ils ont la responsabilité de leur machine ;
- Le service maintenance intervient comme spécialiste pour des tâches plus complexes.
- La TPM fait participer des petits groupes analogiques aux cercles de qualités ayant pour objectif l'amélioration de la maintenance dans l'intérêt de l'entreprise.

### **II.9.1. Les objectifs de TPM sont :**

- Réduction du délai de mise au point des équipements.
- Augmentation de la disponibilité, et du taux de rendement synthétique (T.R.S.).
- Augmentation de la durée de vie des équipements.
- Participation des utilisateurs à la maintenance appuyés par des spécialistes de maintenance.
- Pratique de la maintenance préventive systématique et conditionnelle.
- Meilleure maintenabilité des équipements (envisagée à la conception, aide au diagnostic, systèmes experts).

## **III.1. INTRODUCTION**

Le choix des matériaux des réseaux de distribution d'eau posés au cours des années dépend à la fois de choix techniques ou économiques et de la disponibilité sur le marché de

ces matériaux qui on connu de nombreux progrès De ce fait les matériaux reflètent essentiellement la période de pose mais également la densité de l'habitat en effet en fonction des diamètres posés des matériaux différents sont utilisés selon leurs caractéristiques techniques, notamment la résistance à la pression de service. Ainsi, le polychlorure de vinyle (PVC) est en usage pour les diamètres inférieur à 150mm les plus fréquents en milieu rural et en fonte ductile pour les diamètres supérieurs du fait de sa résistance aux fortes pressions et gros débit des milieux urbains ou des régions aux fortes variations saisonnières de population.

Les réseaux actuels comptent plusieurs matériaux différents, pour les canalisations le principal en longueur est le PVC qui connut dans les années 1960 pour devenir le principal matériau pour les petits diamètres avec près des deux tiers des lignes actuel, il peut se révéler sensible au vieillissement. La fonte grise utilisée depuis fort longtemps représente 17% elle est fragile au choc et particulièrement aux surpressions enfin l'acier posé 1965 environ n'existe qu'à l'état de traces comme le PEHD plus fréquent pour les branches

## III .2. MATERIAUX ETUDIÉS

### III .2.1. POLYÉTHYLÈNES

#### III .2.1.1. Structure

Les polyéthylènes (PE) possèdent l'une des structures chimiques les plus simples de tous les polymères. Ce sont des matériaux thermoplastiques semi cristallins qui représentent un enchaînement de groupe (-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-) [8]. Ils sont obtenus par polymérisation d'éthylène gazeux. Cette dernière s'effectue à haute température, vers 800°C. L'éthylène doit être soigneusement purifié, pour le débarrasser de diverses impuretés gazeuses comme : CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, S...qui pourraient jouer le rôle d'inhibiteurs de polymérisation, en rompant les chaînes de polymère, au fur et à mesure de leur formation.

(Figure I .1) représente le modèle d'un segment macromoléculaire de polyéthylène de haute densité; la chaîne est dans la réalité environ dix fois plus longue. Les atomes d'hydrogène (petits cercles) sont liés latéralement aux atomes de carbone (grands cercles), ce qui confère une allure en zigzag à la macromolécule.

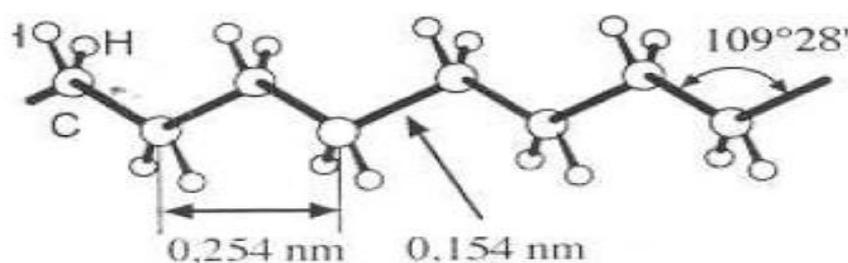


Figure I.1 : Structure macromoléculaire du polyéthylène linéaire (PE-HD)

### **III .2.1.2. Mise en oeuvre**

Pendant la mise en oeuvre, le polymère est mélangé à différents produits (stabilisants, lubrifiants, plastifiants, charges..) pour élaborer une formulation qui se présente le plus souvent sous forme de poudre ou de granulés. Cette formulation est ensuite fondue (cas des polymères semi cristallins ou plastifiés (cas des polymères amorphes), à la fois par conduction thermique depuis les parois de l'outillage de mise en forme et par dissipation d'énergie mécanique.

Cette matière thermoplastique très visqueuse est ensuite forcée dans un outillage qui va donner une première forme au produit (tube, film...), elle est ensuite mise en forme et alors refroidie, dans certain cas étirée ou bi étirée, pour obtenir le produit final. De ce processus de mise en forme, des paramètres d'étirage et de refroidissement vont dépendre la structure cristalline du polymère et de l'orientation de la phase amorphe. Etant donné leur faible conductivité thermique et leur viscosité élevée, les matériaux polymères ne se laissent pas mettre en oeuvre comme des matériaux traditionnels. Il faut en effet provoquer leur fusion, puis les mettre sous une pression suffisante pour pouvoir les forcer au travers des outillages de mise en forme.

Les machines d'extrusion (Figure I.2) sont des équipements de mise en oeuvre les plus utilisés et au travers desquelles, la plus grande quantité de matières thermoplastiques est mise et forme. Les éléments actifs de ces machines sont une ou plusieurs vis enfermées dans un Fourreau, dont la température peut être contrôlée par des éléments chauffants et refroidissant. Ces vis sont entraînées par un moteur électrique (parfois hydraulique) à vitesses variables au travers d'un réducteur et d'un dispositif d'accouplement.

L'extrusion est une technique de fabrication continue de feuilles, de plaques, de tubes et de profilés. La matière plastique est introduite, sous forme de poudre ou de granulés, dans un cylindre chauffé. A l'intérieur de celui-ci tourne une vis sans fin assurant le transport et l'homogénéisation de la masse fondue. Cette masse plastique est ensuite pressée à travers une matrice d'extrusion ou une filière, qui donne la forme finale à la section de l'extrudat. Le produit extrudé est refroidi puis coupé en longueur.

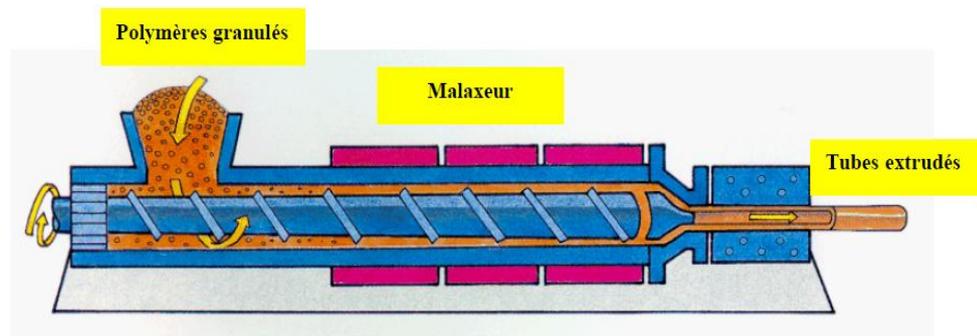


Figure I.2 : Représentation d'une machine d'extrusion des tubes.

Le PEHD peut être transformé par d'autres techniques :

- \* Extrusion de films par technique "Chill – Roll";
- \* Production de fils et de fibres à partir de film extrudé – soufflés (fibrillation) ;
- \* Production de fils par filage.

### III .2.1.3. CLASSIFICATION DES PE

Ils sont classés en fonction de leur densité qui dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes dans le matériau.

- $0.910 \text{ g cm}^{-3} \div 0.925 \text{ g cm}^{-3}$  sont de type I polyéthylène à basse densité (LDPE).
- $0.926 \div 0.940$  sont de type II (polyéthylène moyenne densité) (MDPE).
- $0.941 \div 0.959$  sont le type III
- Plus que  $0.960$  comme type IV, sont appelées polyéthylène haute densité (HDPE).

Cette classification est devenue fondamentale dans l'industrie des tubes

### III .2.1.3. Caractéristiques

Les propriétés des polyéthylènes dépendent des paramètres structuraux comme la cristallinité, la masse volumique et la distribution des masses molaires, de la conception de la pièce et des conditions d'utilisation comme la durée des charges appliquées, la nature des contraintes de sollicitation et la température. L'introduction de branchements courts dans la chaîne carbonée, favorisant l'encombrement stérique, abaisse la masse volumique du HDPE

et sa cristallinité. Les propriétés les plus importantes de ces types de polymères sont rassemblées dans le Tableau I.1

Propriété	PEBD	PEHD
Masse volumique ( $\text{g/cm}^3$ )	0.91–0.94	0.95–0.98
Module de Young (20°C, 100s) (GPa)	0.15–0.24	0.55–1.00
Résistance à la traction (MPa)	7-17	20-30
Ténacité (20°C) ( $\text{MPa m}^{1/2}$ )	1-2	2-5
Température de transition vitreuse $T_g$ (°K)	270	300
Température de ramollissement $T_s$ (°K)	355	390
Chaleur massique ( $\text{J Kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )	2250	2100
Conductivité thermique ( $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ )	0.35	0.52
Coefficient de dilatation thermique ( $\text{M K}^{-1}$ )	160-190	150-300

### Tableau III .1 : Propriétés mécaniques et thermiques des polyéthylènes.

En l'absence de contraintes, le polyéthylène haute densité peut supporter une température de 110 à 120°C, stérilisation par exemple, cette température décroît sous charge et augmente avec la réticulation. Le passage de la température de transition vitreuse est d'autant moins sensible que le polyéthylène est plus cristallin. La fusion des polyéthylènes est étalée car la température de fusion augmente avec la masse volumique. Les PE brûlent aune flamme bleutée et ils « gouttent ». La sensibilité dimensionnelle est indépendante de la reprise d'humidité très faible <0.2%.

Le système d'évacuation polyéthylène haute densité résiste aux sollicitations les plus extrêmes rencontrées dans les conduites d'évacuation des industriels et donc des maisons. Son intérêt réside dans sa grande durabilité (50 à 100 ans) et sa capacité au recyclage à 100%. L'assemblage est réalisé par soudure avec un appareil spécifique à louer, qui permet une étanchéité absolue et un assemblage fixe.

Les tubes en polyéthylène sont livrés en couronnes de 25,5 à 100m de longueur, aux diamètres compris entre 0,030 et 0,200m. ils sont caractérisés par une masse volumique peu élevée < 1g/cm<sup>3</sup>, une excellente résistance à la fatigue, un très faible coefficient de frottement, une grande ténacité, une excellente résistances au choc même à basse température, une bonne résistance aux chocs et au vieillissement, une très faible absorption d'eau hydrofuge, ils sont très bon isolant électrique, ils sont très souples, légers, une grande facilité de pose, une résistance à la corrosion et à l'abrasion, une bonne résistance aux U.V et aux agressions chimiques, une absence de toxicité, une bonne résistance aux efforts de traction, Résistance à la fissuration, Fiabilité et étanchéité des réseaux grâce à sa soudabilité, une grande facilité et flexibilité de la mise en œuvre permettant de suivre les courbes du terrain, une durée de vie dépassant 100 ans.

Tous les tubes plastiques ont une classification qui dicte les propriétés primaires du matériau à base de sa résine. Selon la norme ASTM D-3350, les tubes sont classés suivant leur densité, indice de fusion, module de flexion, résistance à la traction au seuil de l'écoulement plastique, résistance à la fissuration sous contrainte, résistance hydrostatique

à 23°C, stabilisateurs de pigments et stabilité aux rayons ultraviolets. L'essai hydrostatique de design (HDB) est une évaluation de la plus importante propriété. Cet essai renseigne sur les propriétés à long terme du matériau. En référence aux normes ISO, le polyéthylène est défini par la MRS, (Minimum Required Strength) : qui est la résistance minimale que le polyéthylène doit garantir après 50 ans de service à une température de 20°C (Tableau I.5). Celle-ci s'appelle aussi résistance hydrostatique à long terme à 20°C. Les tubes sont caractérisés aussi par le rapport dimensionnel standardisé SDR (Standard Dimension Ratio) qui est le nombre arrondi exprimant le rapport du diamètre extérieur minimal à l'épaisseur nominale moyenne mesurée directement sur le tube .

Après la fabrication du tube, on doit effectuer plusieurs essais pour déterminer ses propriétés mécaniques les plus importantes. Chaque tronçon de tube doit être certifié en indiquant composition chimique et en vérifiant sa résistance. Une maintenance adéquate implique l'inspection continue des fuites, le contrôle de la dégradation, la prévention d'endommagement, et des programmes de réduction des risques de ruine

Diamètre		Masse au mètre (g)	Pression de service à 20 °C bar	Diamètre		Masse au mètre (g)	Pression de service à 20°C bar
$\Phi_i$ mm	$\Phi_e$ mm			$\Phi_i$ mm	$\Phi_e$ mm		
4	6	24	10	21	25	138	4
	6	15	6	21	32	435	10
5	7	18	6	25	32	298	6
				27	32	220	4
5	8	27	10				
6	8	21	4	26	40	688	10
				31	40	476	6
6	9	32	6	34	40	331	4
8	10	27	4	33	50	1051	10
				39	50	729	6
8	11	41	6	42	50	549	4
10	14	70	6	42	63	1642	10
				49	63	1168	6
12	16	81	6	53	63	864	4
13	20	172	10	59	75	1597	6
15	20	131	6	63	75	1234	4
16	20	108	4				
				76	90	1734	4
16	25	275	10				
19	25	161	6	93	110	2370	4

Tableau I.2 Dimension de tubes en polyéthylène (haute densité).

Diamètre		Masse au mètre (g)	Pression de service à 20 °C bar	Diamètre		Masse au mètre (g)	Pression de service à 20 °C bar
$\Phi_1$ mm	$\Phi_2$ mm			$\Phi_1$ mm	$\Phi_2$ mm		
6	10	50	10	45,6	63	1460	16
8	12	62	10	51,4	63	1020	10
12	16	89	10	55,8	63	657	6
13	16	70	6	58	63	550	4
16	20	114	10	54,2	75	2070	16
17	20	89	6	61,2	75	1450	10
18	25	232	16	66,4	75	934	6
20,4	25	164	10	69,2	75	650	4
21,6	25	126	6	65	90	2980	16
23	32	380	16	73,6	90	2060	10
26,2	32	263	10	79,8	90	1330	6
28	32	190	6	83	90	1060	4
28,8	40	592	16	79,6	110	4430	16
32,6	40	413	10	90	110	3070	10
35,4	40	267	6	97,4	110	2010	6
36,2	50	913	16	100	110	1600	4
41	50	629	10	90,4	125	5720	16
44,2	50	420	6	102,2	125	3980	10
46	50	302	4	110,8	125	2570	6
				115,2	125	1860	4

Tableau I.3 : Dimension de tubes en polyéthylène (basse densité)

PEHD 250 : UTILISATION :

Bonne résistance aux agents chimiques, autolubrifiant, anti adhésif, haute dureté même à basse température, bon comportement à l'usure, résistant au choc. S'usine bien, ne se colle pas se soude par poli fusion. S'utilise pour la pièce de chocs, planche de découpe, trémie, benne, revêtement anti choc pour armoires frigorifiques.

### PEHD 500 :

#### UTILISATION :

Similaire au PEHD 250 mais meilleure résistance mécanique, résiste aux agents chimiques, autolubrifiant, anti-adhésif, haute dureté même à basse température, bon comportement à l'usure, résistant aux chocs. S'usine bien, ne se colle pas! se soude par poli fusion. S'utilise pour la pièce de chocs, planche de découpe, trémie, benne, revêtement anti-choc pour armoires frigorifiques. Les tuyaux en polyéthylène haute densité, destinés à l'adduction d'eau potable, sont réalisés avec des matières premières rigoureusement sélectionnées répondant aux Normes sanitaires en vigueur. L'utilisation des tuyaux PEHD Eau Potable ne nécessite pas de précaution ni de protection particulière. Les événements de casses prématurées sur des branchements en PEHD - Poly Ethylène Haute Densité- (autre matériau polymère mis en oeuvre en longs tuyaux souples de 200 m pour éviter les raccords et résistant particulièrement bien au vieillissement même à la lumière) ont conduit à réaliser des études pour comprendre les phénomènes de dégradation accélérée, observés en présence de certains désinfectants.

### III .2.2. POLYCHLORURE DE VINYLE

Le polychlorure de vinyle, dont le symbole international PVC découle de l'appellation anglaise « Poly Vinyl Chloride », est un polymère thermoplastique fabriqué à partir de pétrole et de sel il peut être synthétisé : de carbone, d'hydrogène et de chlore, Le carbone et l'hydrogène proviennent 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 plastique très présent dans notre vie quotidienne car l'ensemble de ses propriétés mécaniques et physiques et son aptitude à être modifié selon les besoins en font un matériau adapté à de multiples usages. Le PVC est présent dans tous les secteurs économiques : bâtiment (> 50 %), emballage, électricité, électronique, biens de consommation, santé, transports. C'est la deuxième matière plastique employée dans le monde (20 % de la consommation mondiale totale des plastiques, soit de l'ordre de 20 millions de tonnes). Depuis 1970, le chlorure de vinyle monomère de formule semi-développée  $\text{CH}_2 = \text{CHCl}$  est essentiellement produit à partir d'éthylène dans des unités de grande capacité pouvant atteindre 500 000 tonnes/an.

#### III .2.2.1. PROPRIETES DU PVC

Il est nécessaire de distinguer les propriétés des résines (PVC sans adjuvants) et celles des produits transformés (matériaux et objets).

- **RESINES**

Les résines de PVC se présentent sous forme de poudres blanches généralement inodores et insipides. Suivant leur distribution granulométrique, elles font penser soit à de la farine, soit à du sable très fin. Pour caractériser avec plus de précision chaque résine et aussi faciliter le choix des utilisateurs, on a recours à des désignations normalisées par l'AFNOR (Association Française de Normalisation), le CEN (Comité Européen de Normalisation) et l'ISO (International Organization for Standardization).

- **Indice de viscosité**

C'est une grandeur qui varie comme la masse moléculaire moyenne du polymère. Il est calculé à partir de la mesure de la viscosité relative à 25 °C d'une solution de PVC de concentration déterminée (0,5 % en masse). Cette viscosité relative caractérise l'augmentation de viscosité apportée par la dissolution du polymère dans le solvant. Dans certaines normes nationales étrangères ou habitudes commerciales établies, on trouve la masse moléculaire moyenne des résines exprimée en nombre K (ou K-Wert), grandeur calculée soit à partir de la viscosité relative ci avant, soit à partir de la mesure de la viscosité de solutions de concentrations différentes (1 % par exemple), ou dans des solvants différents (1,2 dichloréthane, par exemple selon la méthode DIN 53726 de juin 1961). Des confusions pouvant en résulter, il est nécessaire de préciser la signification de la valeur exprimée. Un fort indice de viscosité (ou un nombre K élevé) correspond à un PVC de masse moléculaire moyenne élevée, généralement plus difficile à mettre en oeuvre et dont la transformation exige un apport énergétique plus important. Parallèlement, on obtient des produits finis à caractéristiques mécaniques plus élevées. Les valeurs d'indice de viscosité pour les résines de PVC les plus commercialisées varient de 60 à 170 (correspondant à des valeurs du nombre K de 50 à 80). Ces valeurs correspondent sensiblement à des masses moléculaires moyennes en nombre  $M_n$  d'environ 20 000 à 35 000 et en poids  $M_p$  d'environ 57 000 à 100 000.

- **Granulométrie**

Pour chaque résine en poudre, il existe une distribution statistique moyenne de la dimension des grains qui couvre généralement une plage de quelques micromètres à 350 mm selon le procédé de polymérisation. On la détermine soit à sec (tamiseuse à dépression d'air), soit sous courant d'eau avec addition éventuelle d'un agent mouillant, soit par d'autres procédés plus élaborés (diffraction de lumière, sédimentation, centrifugation,...). La répartition granulométrique influe sur l'aptitude à l'écoulement des résines, leurs facultés d'adsorption de plastifiants (surface spécifique), et par conséquent, intervient directement sur la siccité des mélanges (poudres sèches) et sur la consistance des plastisols.

- **Aptitude a l'écoulement**

On utilise également le terme « coulabilité » pour exprimer la propriété d'une poudre à s'écouler dans des conditions opératoires conventionnelles de laboratoire ou à alimenter les machines de transformation. La méthode consiste à déterminer le temps que prend un volume de poudre donné pour s'écouler totalement au travers de l'orifice calibré d'un entonnoir de géométrie spécifiée. Plus le temps d'écoulement est faible, meilleure est l'aptitude à l'écoulement de la poudre et donc, sa faculté à alimenter correctement les machines de transformation. Une autre méthode consiste à déterminer le diamètre le plus faible qui assure un écoulement régulier de la poudre placée dans une série d'entonnoirs de forme identique mais de diamètres d'orifice d'écoulement variables.

- **Stabilité thermique**

La molécule de PVC est sensible à l'action de la chaleur à partir d'un certain niveau de température. Combinée à celles de l'oxygène et de la lumière, cette action peut conduire à un dégagement de gaz chlorhydrique, puis à l'apparition d'une teinte jaunâtre devenant brunâtre. Ce comportement dépend en partie de la masse moléculaire de la résine. La stabilité thermique peut-être déterminée suivant des méthodes statiques (action de la chaleur seule) ou dynamiques (action combinée de la chaleur et d'un cisaillement mécanique obtenu par friction entre deux cylindres ou entre les cames d'un malaxeur).

- **Faculté d'absorption de plastifiant**

La porosité, l'état de surface, la répartition granulométrique et, par conséquent, la surface spécifique du polymère influent sur sa faculté d'absorption de plastifiant. C'est une

caractéristique de base qu'il faut connaître pour la préparation et la manipulation des mélanges d'une part, pour l'alimentation des machines de transformation d'autre part.

Dans le cas des mélanges sous forme de poudre sèche, l'absorption de plastifiant peut être déterminée à température ambiante ou à chaud. Des méthodes de laboratoire existent à cet effet, Elles ont recours à l'utilisation de mélangeurs normalisés et de centrifugeuses, et permettent de suivre la vitesse de plastification et la quantité de plastifiant ayant pénétré dans la résine en fonction du temps. D'autres procédés, plus simples, consistent à observer la possibilité ou la facilité d'écoulement de la poudre à travers une série d'entonnoirs de diamètres différents. Pour les pâtes, l'absorption de plastifiant(s) est étudiée à partir des propriétés rhéologiques. Celles-ci, conditionnant la manipulation et les possibilités d'application des mélanges, sont mesurées au moyen de viscosimètres appropriés (généralement rotatifs) qui expriment la contrainte de cisaillement  $t$  (Pa) en fonction du gradient de vitesse  $D$  ( $s^{-1}$ ) et permettent d'en déduire la consistance ou viscosité dynamique  $h$  (Pa.s) :  $t = h D$

- **Masse volumique**

La masse volumique des objets à base de PVC varie en moyenne entre 1,0 et 2,0 g/cm<sup>3</sup> à température ambiante :

- pour les mélanges non plastifiés (rigides), elle est d'environ 1,4 g/cm<sup>3</sup>.
- pour les mélanges plastifiés (souples), elle est d'environ 1,2 à 1,3 g/cm<sup>3</sup>.

L'addition de charges (kaolin, carbonate de calcium, etc.) a pour effet d'augmenter la masse volumique jusqu'à des valeurs de l'ordre de 2,0 g/cm<sup>3</sup>.

### III .2.2.2. Propriétés mécaniques

- **Dureté**

Selon la teneur en plastifiant de la composition de PVC initiale, on mesure la dureté Shore A ou D :

- pour les mélanges plastifiés (souples), elle varie de 40 à 80 unités Shore A ;
- pour les mélanges peu ou non plastifiés (semi-rigides ou rigides), elle est d'environ 30 à 80 unités Shore D.

- **Module d'Young en flexion**

Il peut atteindre environ 3 500 MPa pour les PVC non plastifiés. Pour les PVC plastifiés, il est inférieur à 1 500 MPa et varie dans de larges limites. Cette valeur seuil de 1 500 MPa a été retenue conventionnellement par le Comité technique international ISO TC 61 [Plastiques] et l'AFNOR pour permettre la distinction entre les PVC plastifiés et les PVC non plastifiés.

- **Contrainte à la rupture en traction**

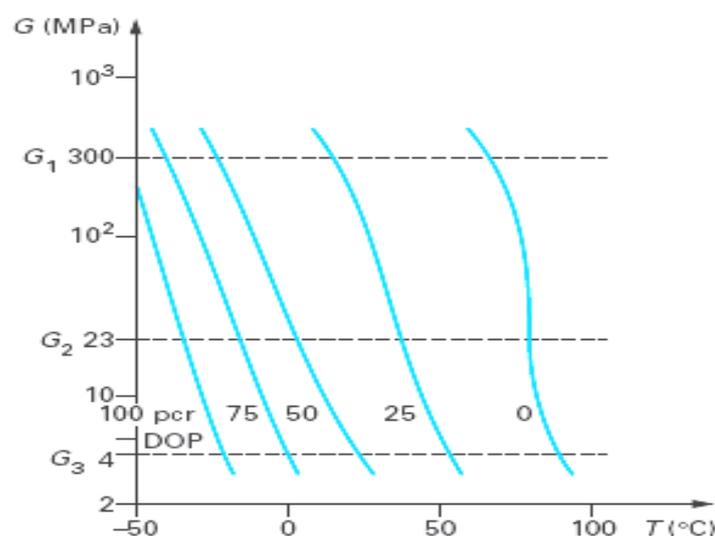
Elle varie environ de 30 à 60 MPa pour les PVC non plastifiés et de 10 à 25 MPa pour la plupart des PVC plastifiés (valeurs dépendant de la vitesse de sollicitation et de la teneur en plastifiant). Pour des produits finis biorientés à base de PVC non plastifié, la contrainte à la rupture en traction peut atteindre 90 MPa.

- **Allongement a la rupture en traction**

Il est de l'ordre de 100 % pour les PVC non plastifiés et de 200 à 400 % pour les PVC plastifiés (valeurs dépendant fortement de la vitesse de sollicitation et de la teneur en plastifiant).

- **Fluage en traction**

La figure I. 3 représente pour différentes contraintes, les courbes de fluage, à 20°C, d'éprouvettes, prélevées dans des plaques obtenues par pressage d'une composition à base de PVC, non plastifiée.



$G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  points caractéristiques définis dans la norme NF ISO 458-2 de septembre 1986.

Les valeurs indiquées au bas des courbes sont les teneurs en **plastifiant DOP** (phtalate de dioctyle), exprimées en pcr (pour cent parties de résine de PVC pur).

Figure III. 3 Courbes de fluage en traction d'un PVC non plastifié

- **Rigidité en torsion**

Cette mesure, effectuée sur un torsiomètre du type Clash et Berg, permet de déterminer, en fonction de la température, du taux et de la nature du plastifiant, l'évolution du module apparent de rigidité en torsion du matériau. A partir du tracé de la courbe  $G = f(T)$ , on déduit 3 températures caractéristiques correspondant aux modules  $G_1 = 300$  MPa,  $G_2 = 23$  MPa et  $G_3 = 4$  MPa .

### III .2.2.3. PROPRIETES THERMIQUES

- **Conductivité thermique** est d'environ  $0,2 \text{ W. m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,
- **Capacité thermique massique**  $e$  est d'environ  $1\,046 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- **Pouvoir calorifique** est d'environ  $5 \cdot 10^{-5}$  à  $8 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  pour les PVC non plastifiés, Il est moins significatif pour les PVC plastifiés.
- **Température de ramollissement Vicat**

C'est la température à laquelle une tige métallique cylindrique de section droite  $1 \text{ mm}^2$  pénètre de 1mm dans le matériau immergé dans un liquide dont la température croît régulièrement de  $50^\circ\text{C}$  par heure. La tige métallique exerce sur le matériau une pression de 49,5 MPa. Mesurée uniquement sur les PVC non plastifiés, la température de

ramollissement Vicat se situe entre 65 et 85 °C. Pour des mélanges de PVC et de PVC chloré elle peut atteindre des valeurs supérieures à 100 °C.

- **Température de fléchissement sous charge**

Souvent traduite de la littérature technique anglo-saxonne par le sigle HDT (heat distortion temperature), elle correspond à la température à laquelle une éprouvette (sous forme de barreau de dimensions normalisées), soumise à l'action fléchissant d'une contrainte de 1,82 MPa et à une élévation régulière de température de 2°C par minute, subit une déformation (ou flèche) conventionnelle. Elle ne s'applique qu'aux PVC non plastifiés. Elle varie de 55 à 70 °C selon, les formulations et peut atteindre 90 °C pour celles contenant du PVC chloré.

- **Sensibilité au froid**

Compte tenu de la diversité des applications, il est difficile de choisir une seule méthode pour caractériser cette propriété et, très souvent, on préfère adopter un essai correspondant à l'utilisation réelle du matériau. Pour les PVC non plastifiés, il convient de prendre un certain nombre de précautions lors de la manipulation ou de l'utilisation des matériaux et objets finis aux températures relativement basses (< – 10 °C). Dans le cas de PVC plastifiés, ce seuil de – 10 °C est sensiblement abaissé et dépend fortement de la nature et du pourcentage de plastifiant incorporé.

### III .2.2.4. PROPRIETES DIELECTRIQUES

Les objets à base de PVC présentent généralement de bonnes propriétés d'isolation électrique. La principale caractéristique mesurée concerne la résistivité transversale, variable selon la formulation. À 23 °C.

### III .2.2.5. PROPRIETES CHIMIQUES

- **Résistance aux agents chimiques**

Le PVC non plastifié possède une excellente résistance à de nombreux produits chimiques, ce qui permet de l'utiliser dans une gamme étendue d'applications où cette qualité revêt une importance primordiale :

- ◇ réservoirs et canalisations utilisés pour le stockage et le transport de produits corrosifs (acides, bases, etc.).
- ◇ canalisations de décharge, ventilateurs d'extraction, hottes.
- ◇ canalisations souterraines pour adduction, drainage et évacuation d'eau, grâce à sa résistance à l'action des sols corrosifs.

En galvanoplastie, l'excellente résistance chimique du PVC rigide est mise à profit pour le revêtement de bacs et d'autres accessoires (tuyaux, soupapes, etc.). Par ailleurs, la résistance aux huiles et graisses du PVC non plastifié revêt une importance essentielle pour la plupart des industries, notamment pour l'industrie automobile. A l'inverse, le PVC non plastifié :

- ◇ Est sensible à certains solvants organiques (aromatiques, cétoniques, chlorés).
- ◇ il est attaqué par le brome et le fluor mais résiste parfaitement au chlore à la température ambiante.

La résistance du PVC plastifié aux agents chimiques varie en fonction du type et de la quantité de plastifiant incorporé dans la composition.

- **Resistance biochimique**

Les objets à base de PVC rigide sont imputrescibles. En revanche, certains PVC plastifiés peuvent être sensibles à l'action de microorganismes : il est alors nécessaire d'incorporer des fongicides dans les formulations.

- **Tenue à la lumière (résistance photochimique)**

S'ils ont été correctement formulés puis transformés, les PVC présentent une bonne résistance au vieillissement naturel, qui peut être encore améliorée par l'addition d'agents de protection anti-UV. Le choix des colorants ou pigments doit être fait en fonction des utilisations et des contraintes d'environnement particulières.

### **III .2. AVANTAGES DES TUYAUX EN PVC**

- Bonne résistance à l'humidité et au feu .
- bonne propriétés élastiques.

- les tuyaux en PVC sont légers, une importante rigidité .
- Le PVC présente deux inconvénients .
- Sensibilité à la lumière (il noircit et devient cassant).
- Fragile aux dépressions, il supporte assez mal les aspirations internes, les coups.

En générale les diamètres des tuyaux en PVC sont Ils sont répartis en trois classes, selon la pression qu'ils sont appelés à supporter : 6, 10, et 16 bars. Ils existent en longueur de 4 à 6m pour les diamètres de 0,60 à 0,400m. La pression d'éclatement peut atteindre 8 à 10 bars [7, 9,11]. Ces tubes sont fabriqués comme produit standard avec une gamme complète de raccords. Ils conviennent particulièrement aux applications telles que la distribution d'eau, les égouts et les canalisations d'évacuation d'eau d'égouts dans des conditions de corrosion élevée, comme celles qui résultent des traitements chimiques. Ce type de tuyau trouve son application dans pratiquement toutes les industries importantes pour le transport des centaines de produits chimiques industriels. Ils peuvent être constitués de (15 à 70) % de fibre de verre, de (0 à 50) % de charge (incluant du sable) et de (30 à 75) % de résine. Ils peuvent aussi contenir de petites quantités d'agents thixotropiques (additifs qui empêchent l'écoulement excessif de résine avant le durcissement), de pigment ou de colorants. Les tuyaux en plastique thermodurcissable existent en deux types principaux :

Le choix entre les principaux types de tuyaux est un vrai souci.

Les événements de casses prématurées sur des branchements en PEHD - Poly Ethylène Haute Densité- (autre matériau polymère mis en oeuvre en longs tuyaux souples de 200 m pour éviter les raccordements et résistant particulièrement bien au vieillissement même à la lumière) ont conduit à réaliser des études pour comprendre les phénomènes de dégradation accélérée, observés en présence de certains désinfectants

Plusieurs questions se posent

1. Quel est l'état actuel du parc de canalisations PVC et PEHD ?
2. comment prédire leur durée de vie en vue de planifier des renouvellements et ainsi améliorer la gestion de l'exploitation des réseaux de distribution d'eau potable ?
3. Pour y répondre, des essais mécaniques sont réalisés lors de cette étude sur des prélèvements de canalisations exploitées depuis 30 ans (échantillon issu d'une portion du réseau où de nombreuses casses et fuites ont été recensées).

### **III.3. Dégradation des réseaux de distribution d'eau**

### III .3.1. INTRODUCTION

La durabilité d'un tuyau est déterminée par les caractéristiques chimiques et physiques de son environnement. Avant toute utilisation des polymères, il est important d'avoir une idée sur le comportement chimique, physique, ainsi que sa durabilité. En effet, le polymère peut subir des modifications ou transformations structurelles dues aux sollicitations de services associées aux sollicitations du milieu environnant.

### III .3.2. VIEILLISSEMENT DES POLYMERES

Le vieillissement est défini par le Comité Européen de Normalisation (CEN) comme étant une dégradation provoquant un processus irréversible qui entraîne un changement significatif dans la structure du matériau. Le changement est classiquement caractérisé par une perte des propriétés initiales (Poids moléculaire, structure moléculaire, résistance à la traction) et/ ou une fragmentation. Quant à la dégradation, elle est affectée par les paramètres environnementaux et se déroule en une ou plusieurs étapes. Cependant, cette définition est un peu erronée, parce qu'elle ne tient pas compte du vieillissement physique qui est un phénomène réversible. Ceci nous conduit à définir deux types de vieillissement.

#### III .3.2.1. Vieillissement physique

Un vieillissement physique est la modification de la morphologie du matériau. Il peut s'effectuer par transfert de masse

- Vieillissement par transfert de masse

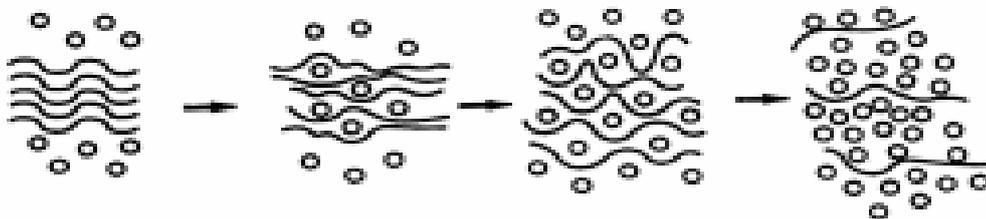


Figure I.4 : Schématisation de la pénétration d'un solvant à l'intérieur d'un système polymère.

La figure I.4 schématise la pénétration d'un solvant dans un système polymère lors de la diffusion du solvant entre les molécules du solvant et les macromolécules en détruisant des liaisons intermoléculaires.

La cohésion du système polymère est par conséquent affaiblie et la mobilité moléculaire augmente. Cela se traduit par une diminution de la contrainte au seuil de l'écoulement et une diminution de la température de transition vitreuse. Ce phénomène est appelé plastification. Une autre conséquence de l'absorption de solvant, visible sur le schéma est le gonflement du polymère. On appellera le taux du gonflement massique la masse de solvant absorbée par rapport à la masse de polymère initiale. Ce gonflement joue sur l'élasticité du polymère. Lorsque le solvant a diffusé dans tout le volume, un équilibre s'installe entre le potentiel d'interaction solvant polymère et l'élasticité du polymère. Cet effet est particulièrement marqué dans le cas où il existe des points de réticulation. Le gonflement est donc un phénomène réversible tant qu'il n'entraîne pas des dommages permanents du réseau polymérique, comme des ruptures de chaînes, des fissurations ou des craquelures.

### /// 3.2.2. Vieillessement chimique

Ce type de vieillissement est caractérisé par une dégradation destructive des liaisons chimiques qui peut provoquer des pertes de molécules ou une élévation du poids moléculaire, cela dépend des facteurs externes. Il faut rappeler qu'une liaison chimique covalente simple est l'association de deux électrons périphériques provenant de deux atomes différents. L'énergie de liaison des différents groupements sont donnés dans le tableau I.4. Quant à la dégradation, elle se produit lorsque l'énergie de sollicitation (énergie apportée par le milieu extérieur) est supérieure à l'énergie de liaison.

Types de liaison	C-C	C-O	C=O	C-N
Valeur algébrique (KJ/mole)	250	295	624	270

Tableau I .4 : Energie de liaisons de différents types de liaisons covalentes

### III.3.2.3. Vieillissement en milieu aérobie

La dégradation est dite photolyse. Elle est plus rapide en présence d'oxygène et réduit les propriétés physiques et mécaniques du matériau. La photo oxydation ne touche que la couche superficielle du polymère. La réaction est contrôlée par la diffusion de l'oxygène Norman et al, en travaillant sur un spécimen type PA 6.6 à une épaisseur de 50  $\mu$ , dans un intervalle de température variant entre 120 ° - 180 °C, ont montré que la structure et la concentration en polymère favorisent la dégradation par thermo oxydation à cause de la présence des groupements  $\alpha$  et  $\beta$  insaturé ce qui produit des radicaux initiaux.

### III.3.2.4. Vieillissement radiochimique

Par définition, les radiations ionisantes sont :

Les radiations électromagnétiques : comme les rayons X, les rayons  $\gamma$ , les rayons  $\beta$  ou les neutrons. Les électrons accélérés qui sont produits dans les multiplicateurs de tension.

Les polymères aromatiques sont bien plus résistants à ce type de vieillissement que les polymères aliphatiques. Sasuga et seguchi l'ont bien vérifié, en mesurant les rendements gazeux du PS (polymère aromatique) et du PE (polymère aliphatique) (voir le tableau I.5). Par contre, d'après les travaux de Brown et al l'hydrophilicité d'un groupement favorise la dégradation radiochimique.

Rendement chimique	Polystyrène	Polyéthylène
G (H2)	0.03	3.9
G(S)	0.01	0.2
G(X)	0.05	01

Tableau I. 5: Rendement radiochimique du polystyrène et du polyéthylène

### II I.3.2.5. Vieillissement par oxydation

L'oxygène est l'un des paramètres le plus destructif du polymère. Il réagit avec les atomes hydrogènes des carbones tertiaires C—H. La vitesse de la réaction V est directement liée à la nature de l'hydrogène arraché. Le tableau I. 6 illustre bien la sensibilité des hydrogènes qui est liée directement à l'énergie de dissociation de la liaison C—H.

Stabilité	Groupement	Energie de liaison (KJ/ mole)
<b>Instable</b>	CH en d'hétéro atome	<377
	CH allylique	<377
	CH tertiaire	= 377 - 382
<b>±Stable</b>	CH secondaire	= 395
<b>Stable</b>	CH primaire	= 406 – 418
	CH aromatique	> 450

Tableau I. 6: Sensibilité des hydrogènes à l'oxydation

Comme la température est un paramètre indissociable, en s'associant avec l'oxygène, une dégradation est appelée thermo oxydation.

### III.3.2.6. Vieillissement thermique

La température est l'un des facteurs déterminant de la dégradation, plus l'énergie thermique apportée est élevée plus une déstabilisation se produit au sein du polymère.

### III.3.2.6. Vieillissement thermique

Comme son nom l'indique, c'est l'effet d'un couplage entre la température et l'oxygène. Lequel est le plus prépondérant ? La température joue un rôle plus important par rapport à l'oxydation. Pour s'en convaincre. On pourrait penser qu'un polymère semi cristallin tel que le PE tient mieux à l'oxydation que le PS totalement amorphe. Il en est rien, le phénomène

d'oxydation va dépendre fortement de la température à laquelle se produit l'oxydation en comparaison avec les températures de transitions vitreuses.

Polymère	Tenue a l'oxygène a 100 °C en heures
Polyéthylène PE	40
Polystyrène PS	10000

Tableau I. 7: Tenue à l'oxygène d'un PE semi cristallin et du PS amorphe à une  $\Theta$  110 °C

### III.3.2.8. Vieillessement mécanique

Un apport d'énergie d'origine mécanique peut affecter le système, plus exactement ; une destruction chimique apparaît sous une contrainte mécanique. Il est très difficile de cerner cette dégradation car des contraintes existent toujours comme lors de l'extrusion du polymère ou ce sont des causes mal définies L'analyse est d'autant plus difficile lorsqu'elle se déroule sur un temps plus long.

## III.3.3. DEGRADATION DE PEHD

### I.3.3.1. Introduction

Des statistiques récentes montrent que plus de 90% des systèmes de distribution de gaz et 60% des systèmes de distribution d'eau nouvellement installés dans le monde entier sont exclusivement faits en polyéthylène en raison de son coût relativement faible, sa facilité d'installation et de sa durabilité à long terme vis-à-vis de la dégradation due aux effets de l'environnement, par rapport aux systèmes à base de cuivre et d'acier. En 2005, parmi les 49 millions de tonnes de PE produites dans le monde entier, approximativement 40% étaient des HDPE.

Les applications des pipes sont très diversifiées car il est possible de les employer pour la construction des réseaux pour transporter des fluides sous pression tels que l'eau potable et le gaz naturel ou pour l'irrigation agricole et aussi dans l'industrie pétrochimique.

### III.3.3.2. Rupture de PEHD

Les polymères ont une large gamme de comportements mécaniques. Fragiles à basse température, ils deviennent plastique puis viscoplastiques, puis encore caoutchouteux et enfin visqueux. Au fur et à mesure que la température augmente, entre  $-20^{\circ}\text{C}$  et  $+20^{\circ}\text{C}$ , un polymère peut passer par tous les états mécaniques. Son module et sa résistance à la traction peuvent varier d'un facteur supérieur à  $10^3$ . L'état mécanique d'un polymère dépend de sa masse moléculaire et de la température, ou plus précisément de l'écart entre sa température et  $T_g$ , température de transition vitreuse.

La relation entre la contrainte et le temps de rupture est schématisée sur la figure I.5 qui illustre les trois modes de défaillance prédominants dans un tube en HDPE (ruptures ductile, fragile et due à la fissuration sous contrainte dans un environnement contrôlé : ESC). Au voisinage de la température ambiante, la courbe présente deux domaines de rupture : la première partie, à forte contrainte pour laquelle la durée de vie est très sensible à la contrainte, correspond au domaine ductile. La seconde partie représente le domaine fragile pour lequel la durée de vie est beaucoup moins sensible à la contrainte.

Les polymères peuvent présenter des dégradations géométriques sous forme de piqûres, vagues, écailles, éraflures, dépressions, dômes, rainures et striages. Ces défauts conduisent à des endommagements catastrophiques qui se terminent avec des ruptures fragiles ou ductiles.

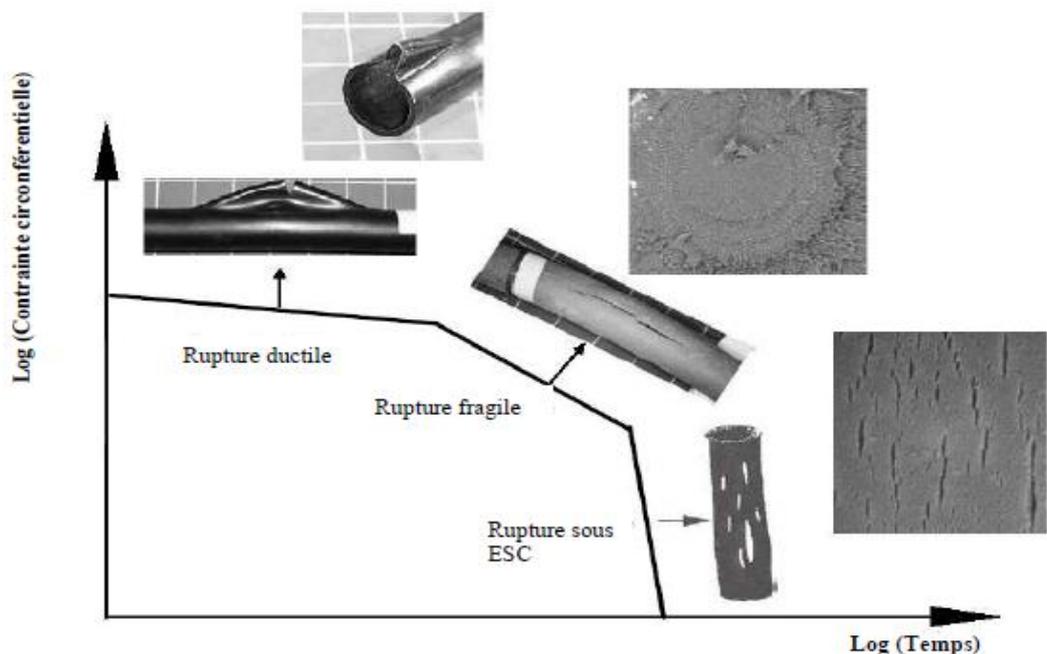


Figure III.5 : Modes de défaillance prédominants dans un tube en HDPE

- **Rupture fragile**

La fragilisation est l'aptitude à se briser sous un effort. Cette propriété est indépendante de la

Résistance. Le comportement fragile se caractérise par une rupture absorbant très peu d'énergie et présentant très peu de déformation plastique durant la propagation (figure I.6) en donnant un aspect plutôt lisse de la rupture. Pour un matériau parfaitement fragile, il y a absence de déformation plastique en tête au delà de la craquelure formée sous l'action d'une contrainte homogène normale. La fissuration se propage par déchirement lorsqu'un effet de flexion se produit dû à un champ de contraintes et fait que la structure du matériau et sa résistance à la fissuration n'évolue pas au cours de la propagation. La ténacité du matériau peut alors être représentée par un paramètre critique unique ( $K_c$  ou  $G_c$ ) comme suggéré par la mécanique de la rupture linéaire élastique.

- **Rupture ductile**

Avant rupture, c'est l'étendue de la déformation plastique qui caractérise les matériaux

Présentant une haute ténacité et des déformations à grandes échelles. Les faciès présentent des

Fibrilles de grandes longueurs (supérieur à  $10 \mu\text{m}$ ). Le comportement ductile est essentiellement observé chez les thermoplastiques (PE, PP). Sous contraintes normales, la rupture se produit par la formation de craquelures liées à l'étirement des chaînes moléculaires dans le sens de l'effort. Les micro vides qui apparaissent durant ce processus sont responsables du blanchiment des fibres.

Pour un matériau ductile, l'augmentation progressive de la déformation plastique en tête

de la fissure au cours de l'amorçage et de la propagation, provoque une augmentation puis une stabilisation de sa résistance à la fissuration. La ténacité du matériau ne peut plus alors être représentée par un paramètre critique unique (KIC ou GIC), mais elle peut l'être par l'une de ses courbes R (KR, GR ou JR). KC et GC représentent respectivement le facteur d'intensité de contrainte critique et le facteur de restitution de l'énergie critique.

Ces matériaux se différencient par leur capacité plus ou moins grande à se déformer selon la configuration de leur arrangement macromoléculaire. Les thermoplastiques, formés de longues chaînes indépendantes non liées entre elles, peuvent être étirés et orientés dans l'axe de l'effort appliqué. Les polymères thermoplastiques sont amorphes ou semi-cristallins selon les conditions de production, de transformation et de sollicitations appliquées (température, niveau et vitesse de chargement). Les niveaux de déformation des chaînes macromoléculaires avant rupture seront plus ou moins importantes et conduisent à des mécanismes de ruptures plus ou moins ductiles.

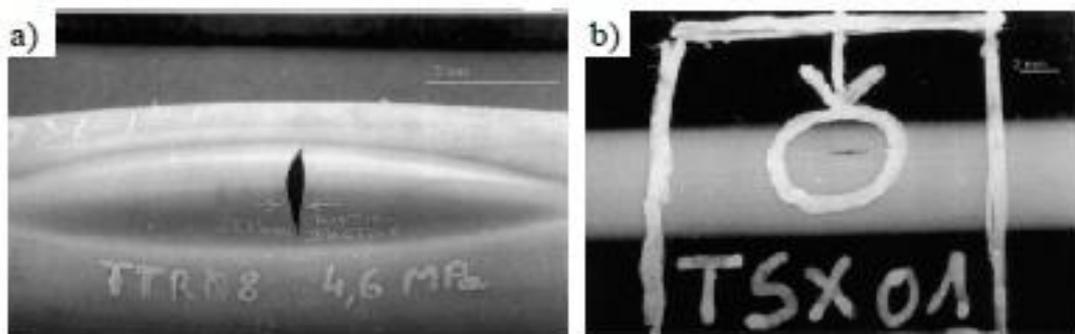


Figure III.6: Rupture de tube en PE sous pression hydrostatique : a) rupture ductile, b) rupture fragile.

### III.3.3.3. Corrosion

La corrosion chimique des canalisations et des ponceaux enterrés peut se produire en présence des sols et des eaux contenant des acides, des alcalis, des sels dissous et des résidus organiques et chimiques industriels ou naturels. Les eaux souterraines, l'eau de surface, l'effluent sanitaire, les pluies acides, les environnements marins et le drainage de mine contiennent de tels contaminants. La corrosion peut se produire dans les régions comportant des précipitations élevées ou des endroits arides. Les principaux matériaux pour la fabrication des tuyaux peuvent être séparés en deux catégories : les matériaux inertes (plastiques et l'argile vitrifiée) et les matériaux non

inertes tel que l'acier (acier = métal ondulé) et le béton. La résistance générale au pH des différents matériaux est représentée par la figure

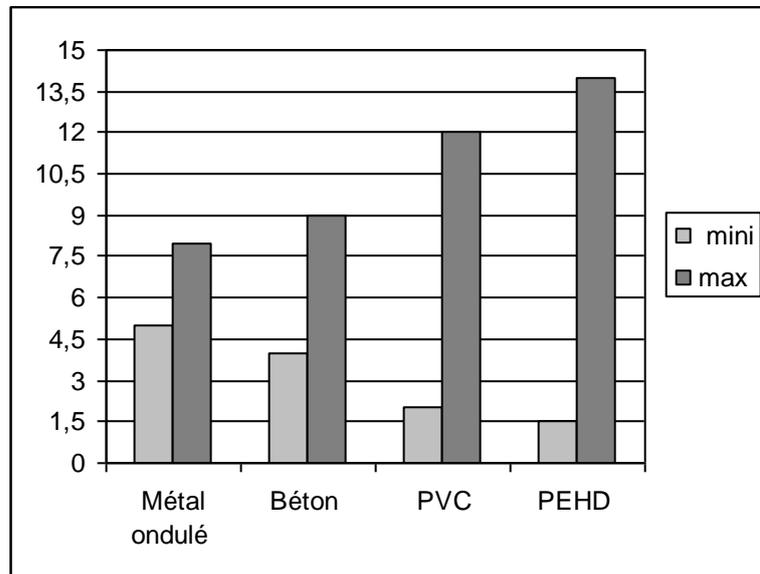


Figure III.7 : Résistances des matériaux à l'agressivité du pH (L'effluent acide)

Réf : PPI (The Plastics Pipe Institute). Washington, DC 2009 USA

Les sulfates, les carbonates et les chlorures dégradent le béton et l'acier. Ce processus est souvent accéléré dans les régions où les cycles gel dégel laissent le matériel ouvert à une pénétration plus profonde par les éléments offensants. De plus, les tuyaux d'acier ou de béton armé sont vulnérables à la corrosion électrochimique des canalisations et des ponceaux lorsque les conditions permettent un effet d'anode et de cathode à l'interne de la structure.

Pour résister à cette dégradation, ces matériaux utilisent des revêtements protecteurs tel que : les enduits métalliques, les enduits d'asphaltes avec et sans fibre et les revêtements en polymère (plastiques). Ces revêtements offrent aux tuyaux d'acier et de béton des mesures de protection du côté de l'eau et du sol contre les agressions des produits chimiques et de corrosion électrochimique.

Souvent, le PE-HD est employé pour remettre en état les tuyaux de béton et d'acier pour ainsi prolonger sa vie dans un environnement corrosif. Des enduits protecteurs en PE sont aussi employés en usine sur certains types de tuyaux d'acier et de béton comme revêtement protecteur intérieur (béton) ou intérieur et extérieur (acier) pour prolonger la vie du tuyau, mais toujours avec un coût supplémentaire à celui du tuyau en PE-HD.

### **Codes de Résistance du PEHD**

- R = Le PE-HD est généralement résistant (Le gonflement est moins que 3%, ou on observe une perte de poids de moins de 0,5%, et l'élongation à la rupture n'a pas changé d'une façon significative).
  
- L = Le PE-HD a une résistance limitée seulement et peut convenir à quelques conditions (Le gonflement est entre 3% et 8%, et / ou la perte observée de poids est entre 0,5% et 5%, et / ou l'élongation à la rupture descend à moins de 50%).
  
- N = Le PE-HD n'a pas de résistance. (Le gonflement est plus de 8%, ou on observe une perte de poids de plus de 5%, et / ou l'élongation à la rupture descend à plus de 50%)

RESISTANCE DU PEHD	23°C	44°C	60°C
Acide nitrique, 0% à 30%	R	R	L
Acide nitrique, 30% à 50%	R à L	N	N
Acide nitrique, > 50%	L à N	N	N
Acide sulfurique, 0% à 70%	R	R	R
Acide sulfurique, 70% à 90%	R	L à N	N
Alcool éthylique, 96%	R	R à L	R
Agents antigel pour véhicule	R	R	R
Carburant Diesel	R	L	L
Carburant essence	R à L	L à N	L à N
Carburant pour avion à réacteur	R	L	-
Eau de mer	R	R	R
Éthane	R	R	R
Fioul	R	L	L
Huile minéral	R	R	R
Huile à moteur	R	R à L	R à L
Huile à moteur deux temps	R	L	L
Liquide de frein	R	R	L
Liquide ou huile hydraulique	R	L	L
Méthanol pur	R	R	R
Pétrole, lourd ou raffiné	R	L	L
Peroxyde hydrogène, aqueux 10% à 90%	R	R	R à L
Eaux d'égout, résidentielles	R	R	R
Sels d'engrais, aqueux	R	R	R
Solution de blanchiment, chlore 5,5% actif	R	R	R
Solution de blanchiment, chlore 12,5% actif	R	N	N
Solution de savon, aqueuse	R	R	R

Tableau III.8 : Résistance chimique du tuyau en PEHD

Réf : PPI (The Plastics Pipe Institute).Washington, DC 20009 USA

### III.3.3.4. Abrasion

L'abrasion est la seconde cause de dégradation des tuyaux à gestion des eaux.

Elle influence la durabilité spécialement lorsque la vitesse de l'écoulement devient élevée. À cette condition, les abrasifs, tels que les pierres ou les débris, peuvent causer un travail mécanique le long de la paroi interne du tuyau pour ainsi créer une usure prématurée de la surface. L'ampleur du problème dépend du type d'abrasif, de la fréquence que l'abrasif est dans le tuyau, la vitesse de l'écoulement, et le type de matériel du tuyau. Des études au Canada, aux États-Unis d'Amérique et en Europe ont démontré que les tuyaux en PE HD

possèdent un niveau de résistance à l'usure par abrasion supérieure aux tuyaux en béton ou en acier. En fait, dans des essais aux États-Unis d'Amérique et en Europe, le PE-HD a démontré des taux d'usure jusqu'à 10 fois moindre que l'acier et le béton

Aux États-Unis d'Amérique, une étude comparative de résistance à l'abrasion a été effectuée en 2003 sous la direction du Dr Lester Gabriel à l'Université California State.

Ce projet a évalué les taux d'usure de deux diamètres : 300mm (12") et 600mm (24"), plus particulièrement des tuyaux de béton et de PE-HD annelé avec paroi intérieure lisse, entre d'autres matériaux, dans des conditions de laboratoire. Nous allons seulement reprendre le diamètre de 300mm pour fin d'exemple.

En accord avec la norme ASTM C76, le tuyau de béton de 300mm (12") de diamètre doit conserver un recouvrement minimum de 13mm (0.5") de béton au-dessus du renfort circulaire en acier et en accord avec la norme AASHTO M294 le tuyau double paroi en PE-HD de 300mm (12") de diamètre doit avoir une épaisseur minimum de 0.9mm de la paroi intérieure. Au Canada, les normes CSA B182.6, B182.8 et NQ 3624-120 exigent une épaisseur minimum de 0.89mm. Les valeurs ci-après ont été prises à titre de perte d'épaisseur permettant d'établir le POINT D'ÉCHEC.

(Tableau I.9) présente la perte d'épaisseur en fonction d'une abrasion avec un pH neutre de 7.0 et avec un pH modérément acide de 4.0.

TEST D'ABRASION (Lester Gabriel)	PH neutre de 7.0		PH modérément acide de 4.0	
	Béton	PE-HD	Béton	PE-HD
Ø nominal 300mm				
Épaisseur initiale de la paroi en mm	54.6	2.8	54.6	2.8
Usure maximum d'épaisseur de paroi	20	0.53	30.5	0.61
Usure requise pour défaillance point d'échec en mm	13	0.89	13	0.89

Degré de défaillance atteint en %	+100	60	+100	69
Inspection visuelle	Les armatures seraient exposées	La paroi présente des marques évidentes d'usure; la paroi n'a aucune perforation.	L'usure est plus importante avec le pH de 4.0 et les armatures seraient exposées	La paroi présente des marques évidentes d'usure; la paroi n'a aucune

Tableau III .9 : Résultats du test d'abrasion (Béton /PEHD)

Réf :Gabriel .L .H .California State Universty, Sacramento, USA

#### Paramètres d'essai :

La section de tuyau a été chargée d'une boue abrasive se composant d'agrégats de quartz broyés et d'eau Les extrémités de la section de tuyau ont été bouchées. Les tuyaux ont été fixés à l'appareillage de culbutage permettant une vitesse moyenne de mouvement de la boue d'environ 0,9 m/s (3 pieds/s). L'agrégat et le pH ont été surveillés durant tout l'essai et ont été ajustés selon les besoins pour garder le plus étroitement possible leurs conditions originales. L'essai a été accompli après un nombre indiqué de rotations. L'effet de la boue a été déterminé en mesurant la perte d'épaisseur de paroi.

#### III.3.3.5. Point d'échec

Le point d'échec d'un matériel est lorsque sa structure est attaquée, soit par la perte de son enduit protecteur et/ou par la diminution d'épaisseur qui provoquera une perte de son intégrité structurale.

MATERIEL	POINT D'ECHEC
Béton armé	Lorsque l'armature est exposée aux agents corrosifs et qu'une partie de son intégrité structurelle est perdue (voir le moment d'inertie du tuyau selon la charge à supporter).
Acier galvanisé	Lorsque l'enduit protecteur est absent et que l'acier est exposé aux agents corrosifs alors l'intégrité structurelle est perdue (voir le moment d'inertie du tuyau selon la charge à supporter).
PVC	Lorsque la perte d'épaisseur atteint une valeur telle que l'intégrité structurelle est perdue (voir le moment d'inertie du tuyau selon la charge à supporter).
PE-HD à double paroi (annelée extérieure et lisse intérieure)	Lorsque la paroi extérieure est atteinte. Il est à noter que la paroi intérieure n'est qu'une infime partie de l'intégrité structurelle du tuyau double paroi. La paroi annelée extérieure est l'élément principal de son intégrité structurale et elle est l'élément permettant la rigidité à la charge.

Tableau I.7 : point d'échec des différents matériaux

En conclusion, avec le temps, l'abrasion peut avoir comme conséquence une perte de force structurelle et/ou une réduction de la qualité hydraulique pendant que l'abrasif enlève graduellement le matériel de la paroi du tuyau. L'abrasion est un précurseur à la corrosion accélérée.

### III.3.4. DEGRADATION DE PVC

Le PVC présente deux inconvénients :

- ◇ Sensibilité à la lumière (il noircit et devient cassant)
- ◇ Fragilité aux dépressions, il supporte assez mal les aspirations internes, les coups de bélier

Différents accessoires permettent des connections, des changements de direction. Ils sont généralement onéreux donc, moins on en utilise, mieux on se porte. D'autant plus qu'ils représentent des freins à l'écoulement de l'eau et que les dépôts solides s'y coincent facilement.

Il s'agit des :

- Coudes et courbes
- Adaptateurs
- Réductions
- Vans

#### **III.3.4.1. Collage PVC**

Les malles collages sur les tuyaux PVC se dégrade est revient des fuites. Les fabricants recommandent l'usage d'un décapant avant l'encollage. Un produit de type acétone permet d'éliminer les produits gras utilisés pour le démoulage du tuyau à la fabrication. On procédera donc de la manière suivante:

1. Décapage des surfaces de contact (avec le produit vendu par le fabricant ou à l'acétone, ou encore par un autre dégraissant),
2. Passages d'un papier de verre très fin pour rayer les surfaces de contact,
3. Encollages généreux au ciment pvc.
4. Emboîtement jusqu'au fond, éventuellement avec un maillet.
5. On évitera les collages de tuyau en eau. Les résultats sont en général désastreux. De la même façon chauffer les tuyaux pour les emboîter n'est pas très recommandé, c'est plutôt du «bricolage ».

#### **III.3.4.2. Tranchées**

La profondeur minimum doit être de 80 cm pour des tuyaux PVC, où ils sont à l'abri des chocs, de la lumière et de malveillances éventuelles. Et ce en tous les points !

La ligne droite étant le plus court chemin entre deux points, on marquera la fouille par des piquets suffisamment rapprochés et posés au cordeau, en essayant autant que possible de conserver une pente uniforme.

En cas de terrain en dévers :

1. La profondeur de la tranchée sera prise à partir du bord inférieur (le plus défavorable...)

2. Le matériel extrait sera rejeté sur le bord supérieur. Il sera donc plus facile de combler
3. La tranchée une fois l'adduction posée.

En cas de terrain à forte pente, il faut impérativement prévoir des installations antiérosives.

Les tranchées vidées de leurs remblais récents par les pluies, les tuyaux décapés, sont des casse-tête très délicats...

Remblayer la tranchée fait également partie intégrante du chantier. Cela ne doit pas

Être fait à la va-vite sans encadrement.

### **III.3.4.3. Résistance chimique**

Dans certaines conditions, les eaux usées domestiques peuvent dégager de l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) qui, par combinaison avec l'oxygène de l'air, conduit à la formation d'acide sulfurique. Ces vapeurs sont très corrosives et notamment vis-à-vis des parois constituées de liants hydrauliques, ciment par exemple, parois dont elles peuvent entraîner de profondes dégradations allant jusqu'à la ruine complète de l'ouvrage. Les canalisations en PVC résistent parfaitement aux émanations d'H<sub>2</sub>S et de ses dérivées. Lorsque la canalisation PVC transporte des fluides industriels, la résistance chimique du tuyau dépend de la nature du fluide véhiculé, de sa température ainsi que de sa concentration. Il est à noter qu'un même produit peut avoir des effets corrosifs très différents selon sa concentration et sa température.

Les tubes en PVC sont insensibles à toute forme de corrosion électrochimique due aux terrains traversés car ils ne comportent aucun élément métallique: pas besoin de protection rapportée d'efficacité douteuse. Les tubes en PVC conviennent pour la majorité des acides forts, solutions aqueuses (à l'exception des oxydants forts). Pour les produits chimiques tels que les esters, les aldéhydes, les cétones, veuillez nous consulter.

### **III.3.4.4. Résistance à l'abrasion**

Le phénomène d'abrasion peut avoir 2 origines:

- ◇ Usure par rayures

- ◇ Usure par chocs. Cette usure est réduite si le matériau de surface est élastique.

L'abrasion est un phénomène complexe qui dépend :

- ◇ du type d'écoulement (laminaire, turbulent)
- ◇ de la nature du fluide abrasif (concentration, dureté, granulométrie,...)
- ◇ de la vitesse de l'écoulement
- ◇ de la nature du tuyau.

La présence de particules abrasives telles que sables et graviers au sein de la veine liquide, n'entraîne aucune usure de la paroi du tube PVC, même lorsqu'une forte pente de la conduite détermine une vitesse élevée de l'écoulement.

Il n'existe pas de méthodes qui permettent de calculer l'usure d'un tuyau en fonction des flux de matériau transités ni de tests qui soient réellement représentatifs de la réalité. Les seuls tests existants sont des tests comparatifs entre différents matériaux. Le plus couramment utilisé est celui de l'Institut Technique de Darmstadt (RFA).

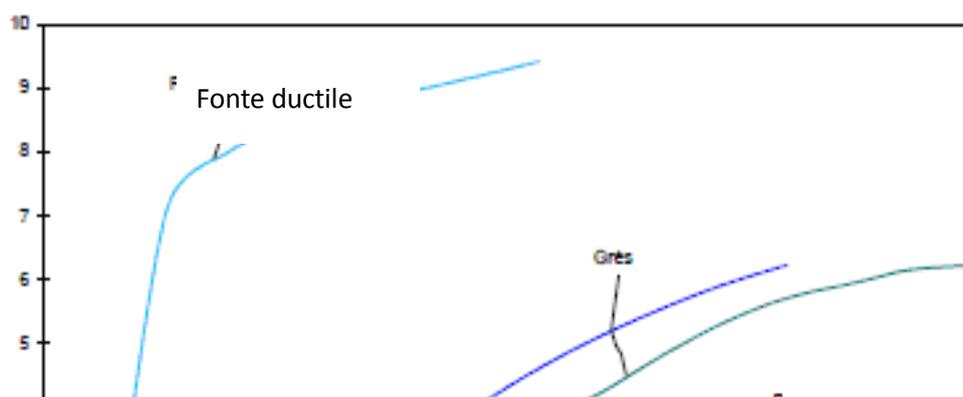
## ▪ Méthodologie de l'essai

Un demi tuyau DN 300 longueur 1 m est basculé autour de son axe à la fréquence de 22 cycles/ mn sur une angulation de +/- 22°. Le matériau abrasif utilisé est un mélange de sable et de gravier de granulométrie 0/30 mm. Le tuyau est ensuite rempli d'eau jusqu'au 2/3 de sa hauteur. Le tuyau est alors soumis à un nombre n de cycles d'oscillations compris entre 10 et 750000. L'abrasion est mesurée par une diminution d'épaisseur.

### ▪ Résultats

Ce test à l'avantage d'être normalisé (norme DIN) et d'être reproductible. Il constate que les meilleurs résultats de résistance à l'abrasion sont obtenus avec les tubes en PVC. (Figure III.7)

Abrasion (mm)



Nombre des cycles

Figure III.7 : Résultats de résistance à l'abrasion Béton

#### **IV .1 . Introduction**

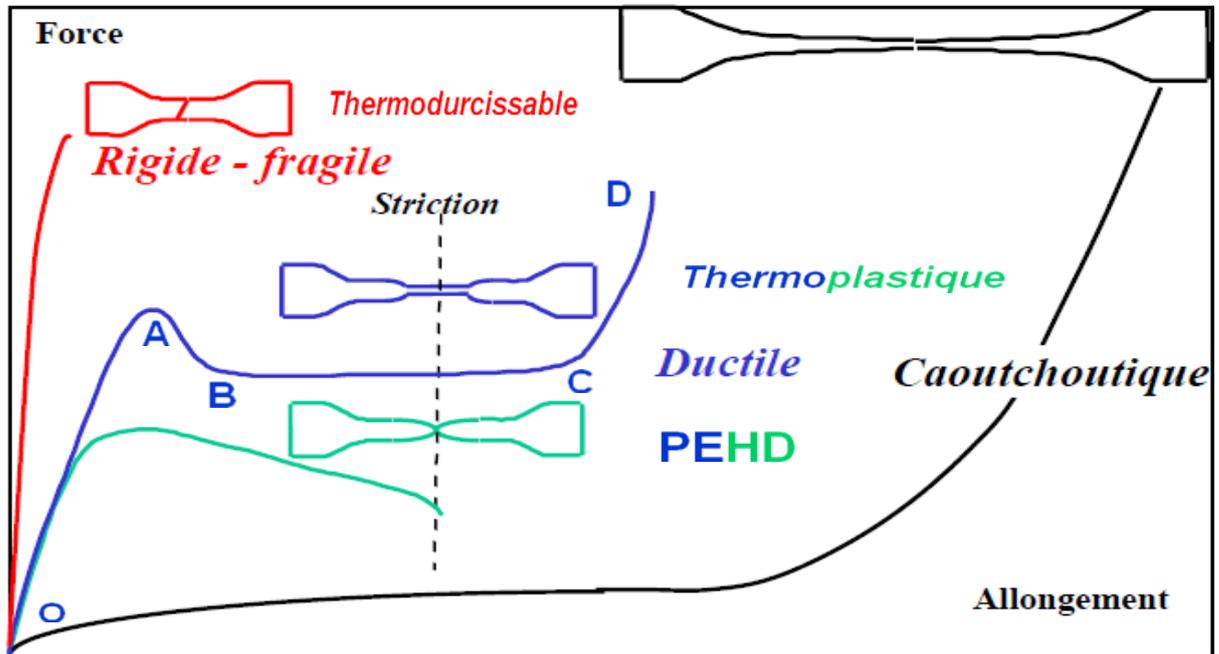
L'essai de traction est un test mécanique statique, il fait partie de la famille des essais indépendants du temps (comme le choc, la dureté,..).

En effet c'est le seul qui procure un état de contrainte uni axial et qui n'exige donc pas une interprétation par le calcul en méthode inverse.

Son succès vient du fait qu'il est aisé à mettre en œuvre et que les résultats obtenus sont très facilement interprétables.

Les essais faits au niveau de la société national de pétrochimie (ENIP) par (AMINA BOUTI, doctorante)

#### IV .2 . Courbes de traction



**Figure. IV .1 : Courbes de traction de différents types de polymères**

OA: Déformation élasticité réversible.

A:Début de la striction, correspond à une déformation hétérogène qui s'amorce par un défaut.

AB : la striction se forme jusqu'à la stabilité.

BC : la striction se propage le long de l'échantillon.

CD : déformation redevient homogène grâce au durcissement liée à l'orientation des chaînes moléculaires dans le sens de l'étirage.

#### IV .3 . Analyses physicochimiques

##### IV .3.1. Densité

La densité déterminée par repérage et comparaison du niveau de l'échantillon stabilisé par rapport aux niveaux de standards, à densité connue, se trouvant en permanence dans la colonne de liquide a gradients de densité.

- **Procédure :**

Un petit échantillon est plongé dans la colonne a gradients, a l'équilibre (15 min), on relève les hauteurs du spécimen et celles des billes au dessus et en dessous.

1. Prendre environ 7g échantillon de PEHD.
2. Faire une plaque a l'aide de la presse.
3. Condition à 23<sup>0</sup> C.
4. Couper un petit morceau et imbiber dans un produit spécial puis le plonger dans la colonne de densité.
5. Lire la hauteur après 15 min puis calculer la densité.

- **Le calcul de la densité se fait par l'équation :**

$$\text{DENSITE (g/cm}^3\text{)} = (y/z) * (b-a) + a$$

Ou : y=distance entre spécimen et le standard a basse densité.

Z= distance entre les deux billes standards.

A =densité de la billes en dessous du spécimen (haute densité).

B= densité de la billes en dessus du spécimen (basse densité).

### **Remarque :**

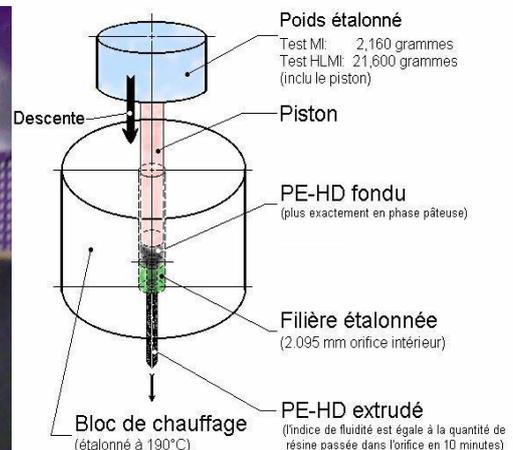
La préparation de l'échantillon se fait dans une presse hydraulique, par fusion et compression de la poudre ou des granulés à 177°C et 100bars. Le liquide formants la colonne de densité a gradients est obtenue par une procédure mélangeant dans une colonne de verre de l'eau et de l'isopropanol de manière a former un gradient de densités.



**Photo. IV.1 : Presse hydraulique**

### ***IV .3.2. Indice de fluidité***

C'est le poids en grammes du polymère extrudé en 10 minutes à travers un orifice de 0.0825 pouces (0.20955 cm) à 190°C lorsqu'il est soumis à une charge de 2160g (ou 21600)



**Photo. IV.2 : Matériel pour mesurer l'indice de fluidité**

### **IV .4. Essai de traction**

Parmi tous les essais mécaniques, l'essai de traction est certainement l'essai le plus fondamental. Il sert à déterminer les principales caractéristiques mécaniques telles que le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement après rupture et le coefficient de striction. Son exécution est facile et les résultats obtenus servent à dimensionner toutes sortes des pièces allant d'un pignon microscopique jusqu'à la structure métallique d'un grand hall.

#### ***IV.4.1. Machines d'essais***

Une machine de traction moderne dispose d'un entraînement électrique réglable pour effectuer des essais simples ou cycliques à vitesse contrôlée. Elle doit être équipée de capteurs de force et d'allongement, ainsi que d'un système d'amarrage. Grâce micro-ordinateurs, le contrôle de l'essai et l'acquisition des données sont



devenus très simples. Des capteurs combinés avec des cartes d'acquisition de données, gérés par des logiciels hautement polyvalents, permettent de contrôler des machines pouvant développer des forces de 100 kN, à l'aide de quelques touches.

Le dispositif de démarrage est composé d'une paire de mordaches ou d'un autre système de fixation adapté à la forme de l'éprouvette (p.ex. : pour éprouvette avec tête filetée ou tête à épaulement). Afin d'éviter tous moments de flexion, il est important que les fixations soient bien orientées et alignées suivant l'axe de traction. Ceci n'est pas toujours facile à réaliser, mais est particulièrement critique lorsqu'on doit mesurer des matériaux fragiles, tels que les céramiques, qui ne peuvent pas s'adapter. De même toute composante de torsion est à éviter.

L'effort est exercé par l'entraînement soit mécanique soit hydraulique sur l'une des fixations.

Un système de réglage assure une vitesse de déformation constante. Ce système permet également d'effectuer des cycles de déformation (p.ex. : vitesse d'accroissement constante, cycles sinusoïdaux, etc.) ou d'imposer la contrainte au lieu de la déformation. Bien que les machines de traction soient rigides, il ne suffit normalement pas de prendre le déplacement de la traverse comme mesure pour l'allongement. Notamment pour des éprouvettes courtes, l'allongement élastique du bâti de la machine et des dispositifs d'amarrage n'est d'habitude pas négligeable par rapport à celui de l'échantillon. Il est en tout cas préférable de fixer un extensomètre aux extrémités de la longueur de mesure et d'utiliser ce signal pour tracer les courbes. Ce signal est indispensable pour régler le déplacement de la traverse lorsqu'on veut effectuer un essai de traction à vitesse de déformation constante, ce qui est le mode d'essai préféré. Comme alternative, on peut régler le déplacement de la traverse de façon à ce que la contrainte de traction ou de compression augmente selon une fonction du temps prédéfinie (fatigue oligocyclique à amplitude de contrainte constante). Un troisième mode de réglage, enfin, constitue le contrôle direct de la vitesse de la traverse. Ce mode s'applique lorsqu'on veut uniquement déterminer la résistance à la traction sans fixation d'un extensomètre.

Dans les anciennes machines, ces rampes et fonctions du temps ont été générées par des circuits électriques analogiques que l'on a dû brancher avant l'essai dans le circuit de réglage.

L'informatique moderne nous permet aujourd'hui de définir des fonctions à volonté. Elles sont stockées sous formes numériques ou calculées au fur et à mesure par un

programme numérique. Le logiciel de contrôle se charge de presque toutes les tâches survenant lors d'un essai, du début jusqu'à la fin des mesures. Le rôle de l'opérateur se réduit au choix du type d'essai à effectuer et à l'échange des éprouvettes. Après le choix du type d'essai, l'opérateur doit entrer les paramètres particuliers pour l'essai prévu. Il s'agit notamment des valeurs pour la force ou le déplacement maximal, le nombre de cycles, ainsi que des paramètres qui déclenchent un arrêt automatique de l'essai. Souvent ces paramètres se laissent charger en bloc, à partir d'un fichier de paramètres ou d'un fichier de configuration que l'on a déjà enregistré lors d'un essai précédent. Avec ces informations, le programme numérique passe à l'initialisation de la machine de traction, des instruments de mesure utilisés pour les signaux reçus du capteur de force et l'extensomètre (voltmètre digital, convertisseur analogue digital). Après l'ouverture d'un fichier qui reçoit les valeurs mesurées et la préparation de l'écran pour l'affichage des courbes et des valeurs désirées, le programme attend, jusqu'à ce que l'opérateur donne le signal pour le départ. Une fois en route, le programme entre dans une boucle qu'il ne quitte que lorsqu'un capteur signale un incident, l'opérateur intervient manuellement ou lorsque une condition de fin d'essai programmée est atteinte. Comme condition de fin d'essai on peut, selon le type d'essai, demander une force ou un déplacement maximal, un nombre de cycles ou surveiller la chute de la contrainte après la rupture. Lors de chaque répétition de cette boucle les signaux des capteurs sont convertis en valeurs digitales, transférés dans la mémoire vive de l'ordinateur, transformés en unités physiques (force, allongement etc.), enregistrés dans le fichier de sortie et envoyés à l'écran pour actualiser l'affichage. En plus la valeur servant au contrôle du déplacement de la traverse est comparée avec la valeur de consigne. La différence entre ces deux valeurs est amplifiée et envoyée au circuit de contrôle du moteur comme signal d'accélération ou de décélération.

Bien que les ordinateurs modernes et leurs systèmes d'exploitation soient devenus très fiables, on ne peut jamais écarter l'éventualité d'une panne (blocage de l'ordinateur, rupture d'un câble électrique, paramètres incompatibles). Dans ce cas, la traverse risque de se déplacer, sans aucun contrôle, avec la dernière vitesse imposée. La perte de l'éprouvette n'est généralement pas grave mais les dégâts qui peuvent se produire à l'extrémité de la course, éventuellement après écrasement de l'extensomètre, risquent d'imposer une fin prématurée à la série des mesures en cours.

Pour éviter ces dégâts, les machines de traction doivent être dotées d'interrupteurs de fin de course qui agissent directement sur l'alimentation du moteur.

Normalement une paire d'interrupteurs est prévue pour la protection de l'extensomètre.

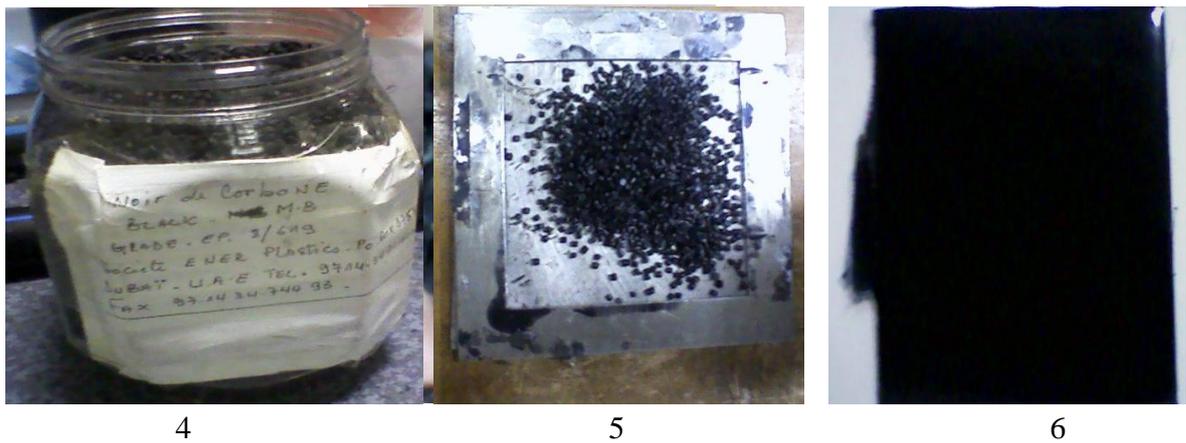


**Photo. IV.3 : Machines d'essais Sun500**

#### ***IV .4.2. Procédé de moulage de lames pour essais de traction***

- a) Remplir le moule de 150\*150\*2 mm de granules de polymère avec une feuille de cellophane entre le moule est le produit.
- b) Porter la pression à 4, 5 kg/cm<sup>2</sup> et maintenir cette valeur, ensuite porter la température à 160°C en 30min.
- c) Une fois que la température demandée a été atteinte maintenir pendant 2 minutes portant la pression 75 atm, et débrancher le chauffage
- d) Continuant le refroidissement à 130° C porter la pression à 125 atm.
- e) Une fois que 115°C ont été atteints, porter la pression à 250 atm et ouvrir immédiatement l'eau de refroidissements.

f) Lorsque la température atteint la température ambiante, enlever la pression et ensuite la lame



**Photo. IV .4 : Procédé de moulage de lames pour essais de traction**

## **IV .5. Les essais**

### **IV .5.1. PEHD grade TR 144**

#### **IV .5.1.1. Propriété générale de PEHD GRADE TR 144**

	ASTM	UNITE	VALEUR	CALCULE	+ NC
Indice de Fluidité	D1238	g/10min	0,16-0,20	0,15	0,22
Densité (23°)	D1505	g /cm <sup>3</sup>	0,9430	0,94	0,95
Dureté	D2240	Shore D	64	58,33	66

**Tableau.IV.1 : Propriété générales de PEHD grade TR 144**

**III .5.1.2. Résultats de l'essai de traction (valeurs moyennes)**

TR 144	$\epsilon$ (%)	Fr (N)	Fe(N)	$\epsilon\epsilon$ (%)	$\sigma_r$ (MPa)	$\sigma_e$ (MPa)
Non chargé	478.39	12.52	270.4	5.90	0.91	19.74
+ NC	348.80	13.96	248.47	6.12	1.14	20.34

**Tableau.IV.2 : Résultats d'essais PEHD grade TR 144**



**Photo. IV .5 : PEHD TR 144 non chargé**



Photo.IV.6 : PEHD TR 144 +NC

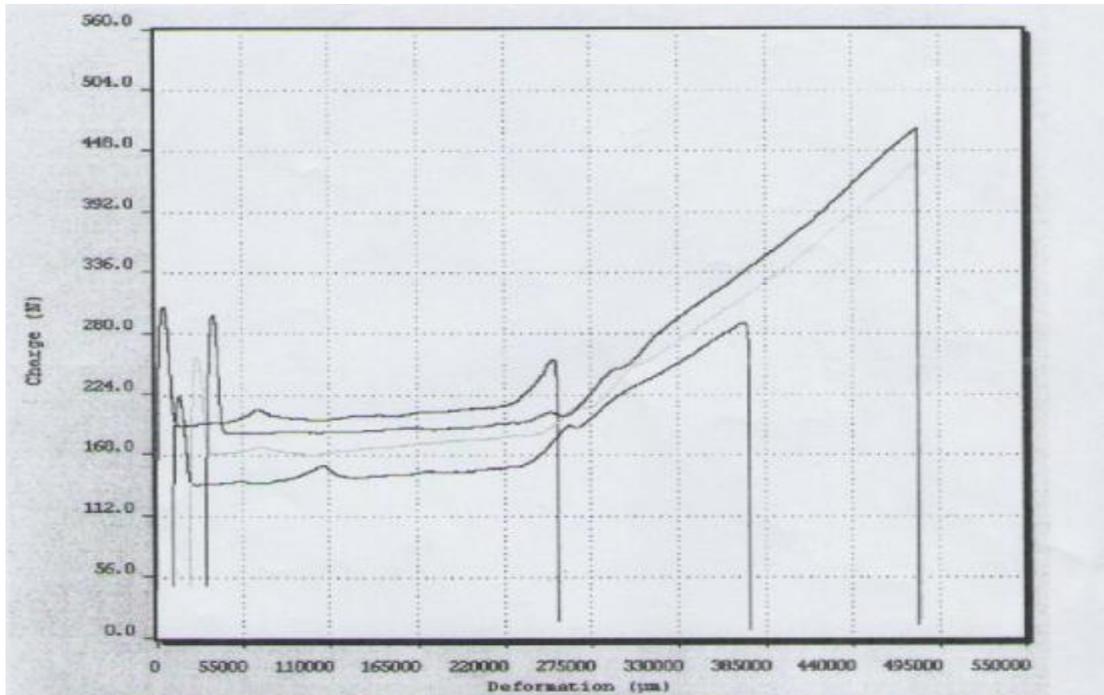
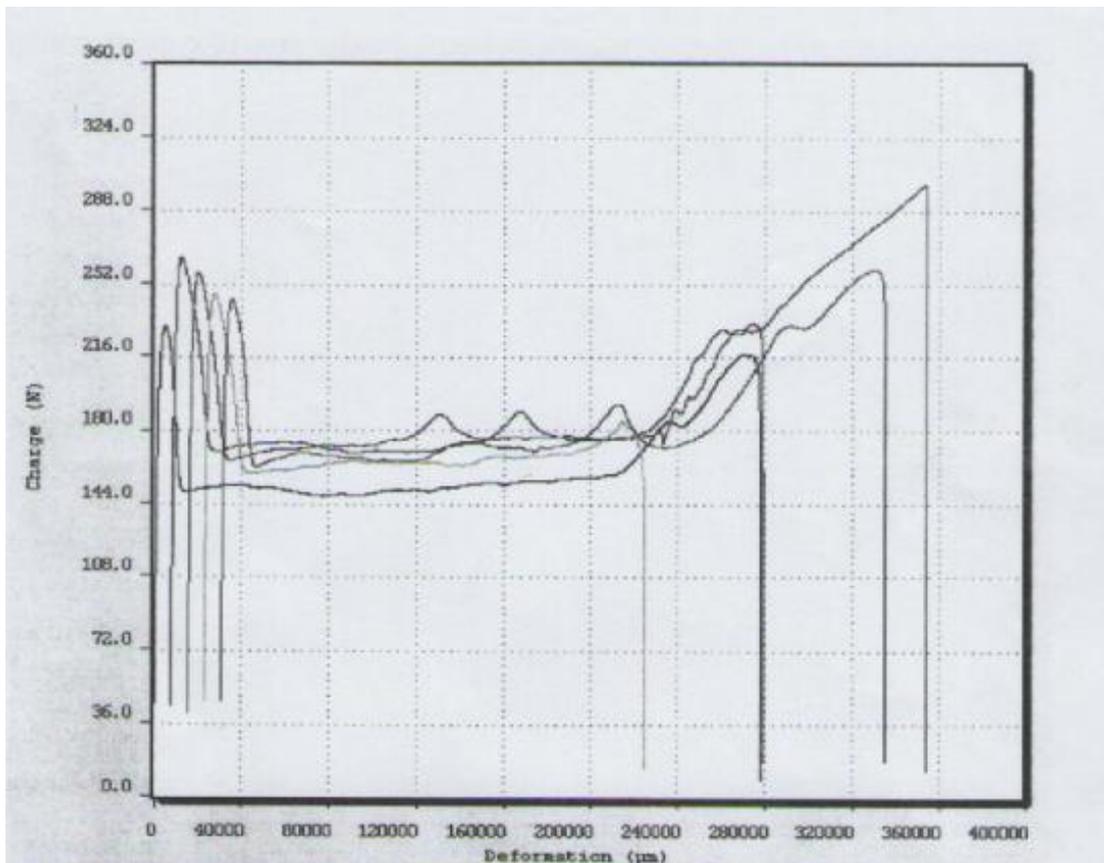


Figure IV.2 : Charge -déformation des éprouvettes en PEHD TR 144

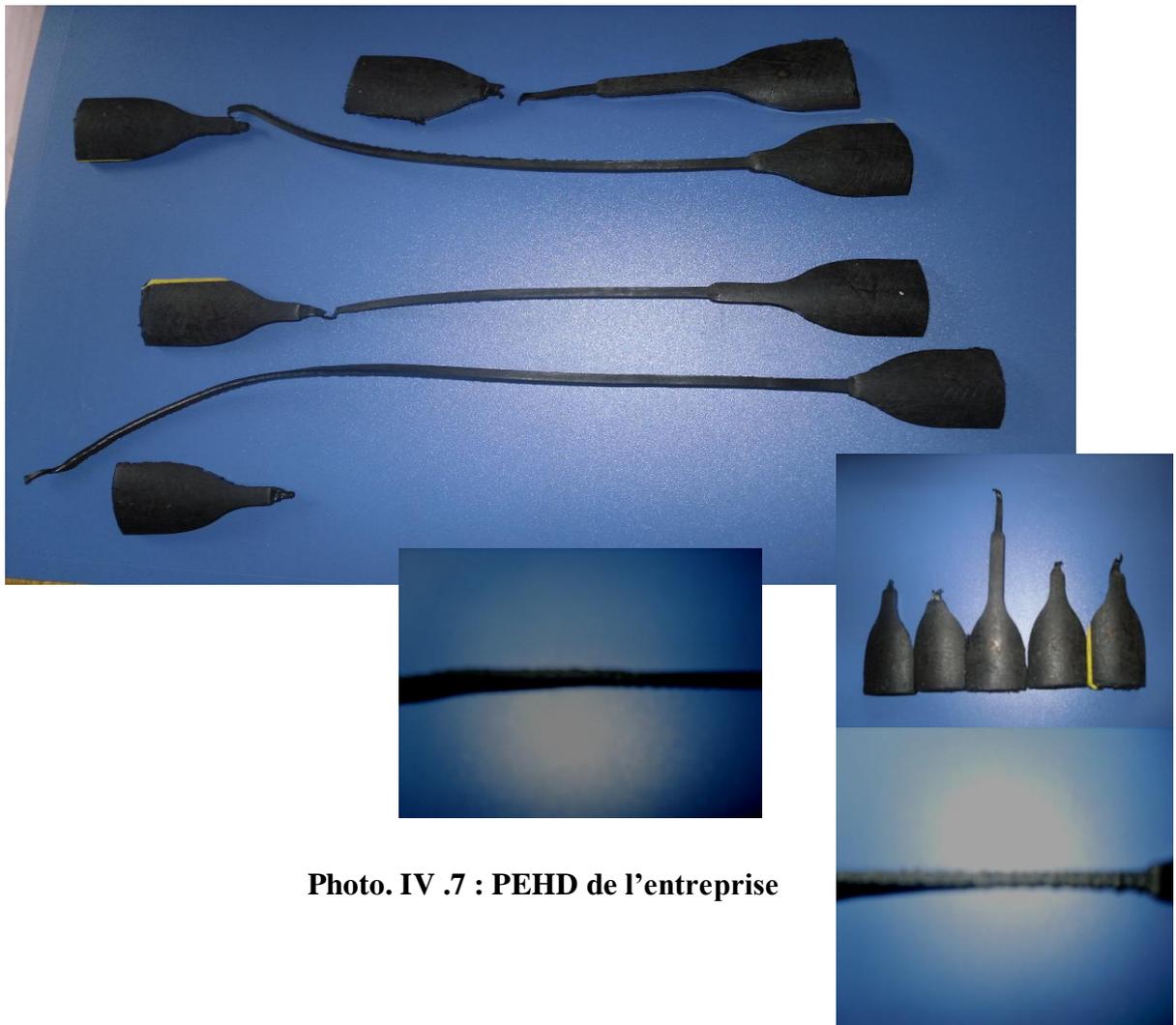


**Figure IV .3 : Charge -déformation des éprouvette en PEHD TR 144+ NC**

**IV .5.2. Résultats d'essais sur des éprouvettes proposées par l'entreprise**

	$\epsilon(\%)$	$F_r(N)$	$F_e(N)$	$\epsilon_e(\%)$	$\sigma_r(MPA)$	$\sigma_e(MPA)$
<b>PEHD entreprise</b>	161.38	16.82	361.4	7.19	0.68	14.60
<b>PVC NOIR</b>	55.58	18.69	170.06	11.10	1.61	14.17
<b>PVC</b>	13.24	13.38	194.77	12.87	1.49	21.68

**Tableau IV.3 : Résultats d'essais sur des éprouvettes de l'entreprise**



**Photo. IV .7 : PEHD de l'entreprise**

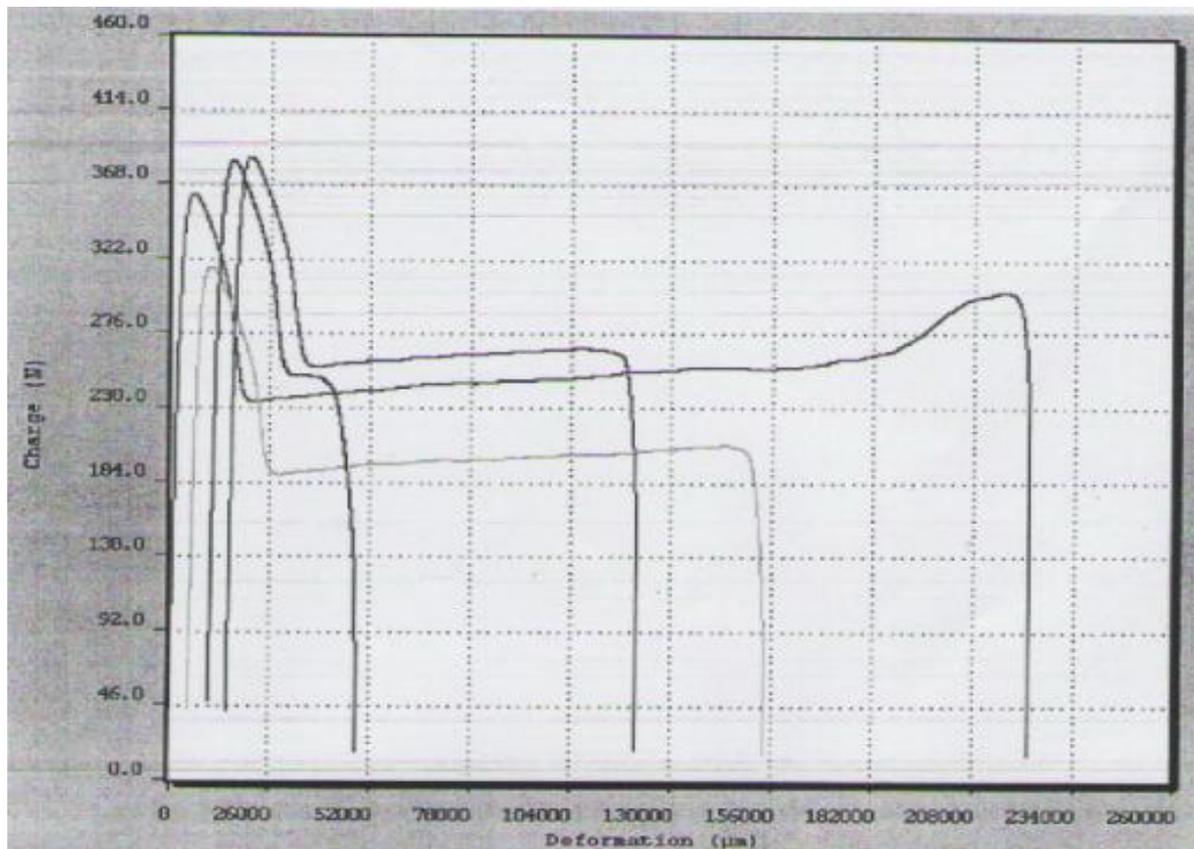
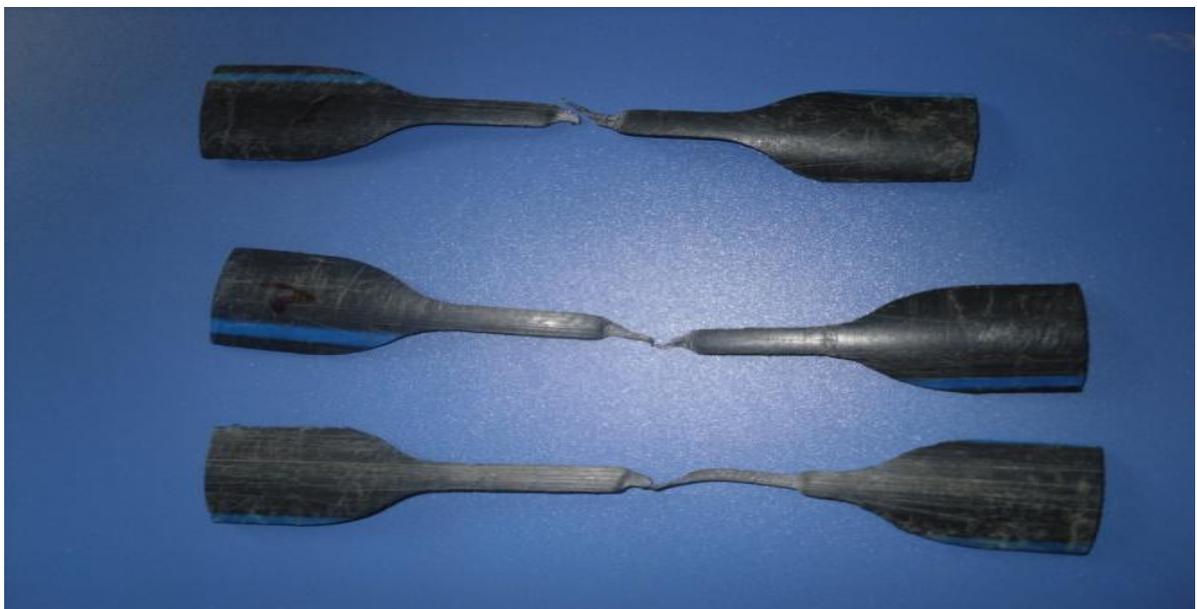
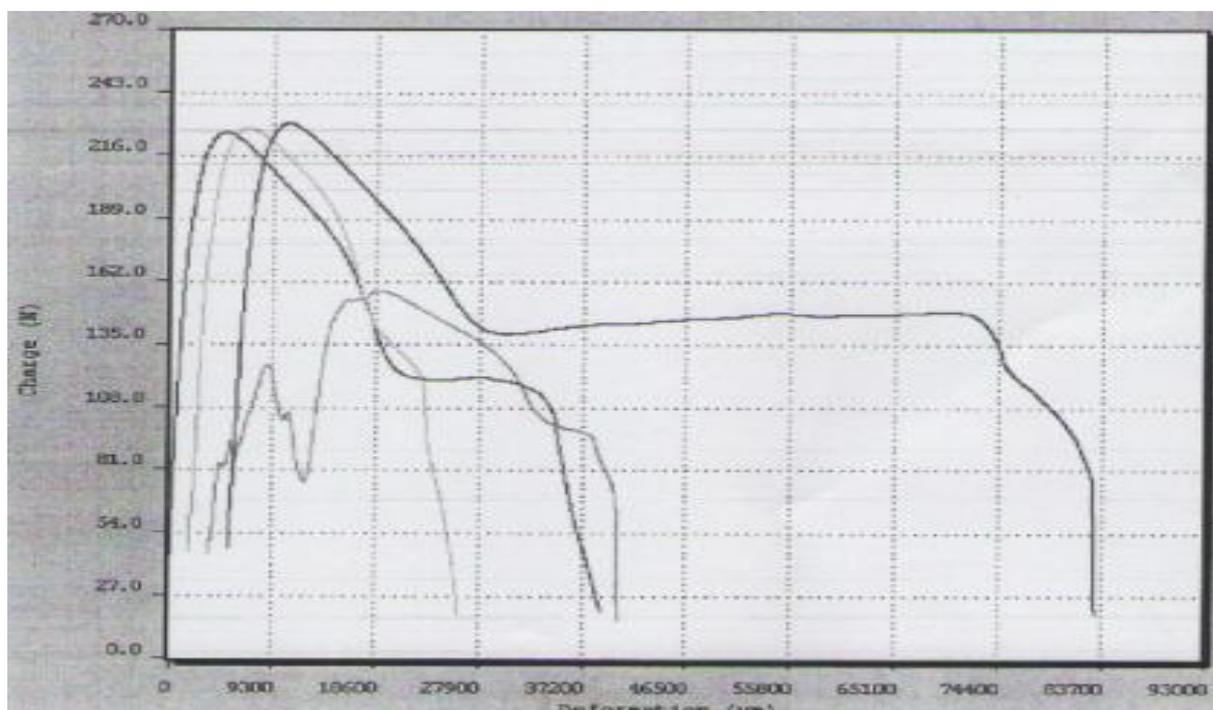


Figure IV.4 : Charge -déformation des éprouvettes en PEHD



**Photo IV.8 : PVC noir (entreprise)**

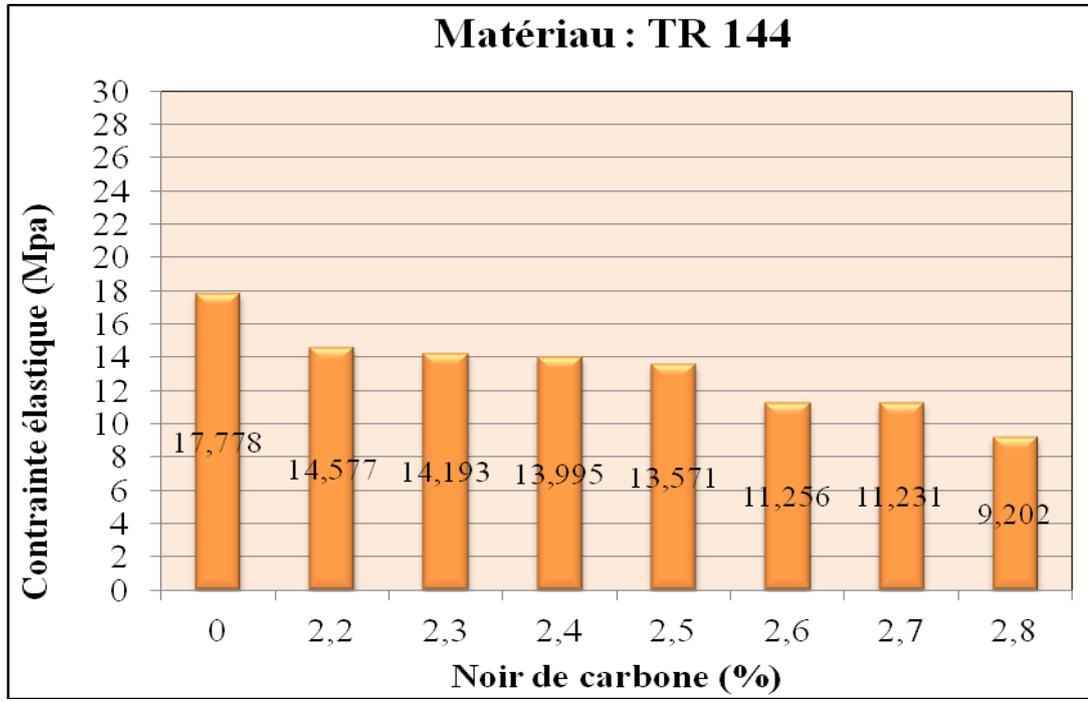


**Figure IV.5 : Charge - déformation des éprouvettes en (PVC noir) de l'entreprise**

**IV .5.3. Récapitulatif des résultats des essais de traction**

Noir de carbone (%)	Contrainte élastique (MPa)	Contrainte d'écoulement (MPa)	Contrainte Striction (MPa)	Module de Young (MPa)
0	17,778	33,473	23,394	0,722
2,2	14,577	27,657	19,873	0,812
2,3	14,193	27,658	19,221	0,953
2,4	13,995	29,165	20,455	0,984
2,5	13,571	27,579	19,846	1,045
2,6	11,256	27,469	20,213	1,14
2,7	11,231	29,251	21,485	1,27
2,8	9,202	28,817	20,73	1,31

**Tableau IV.4 : Récapitulatif des résultats de l'essai de traction**



**Figure IV.6 : Histogramme de la contrainte d'élasticité en fonction du pourcentage de noir de carbone**

La figure IV.6. Montre que la contrainte élastique diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage de noir de carbone

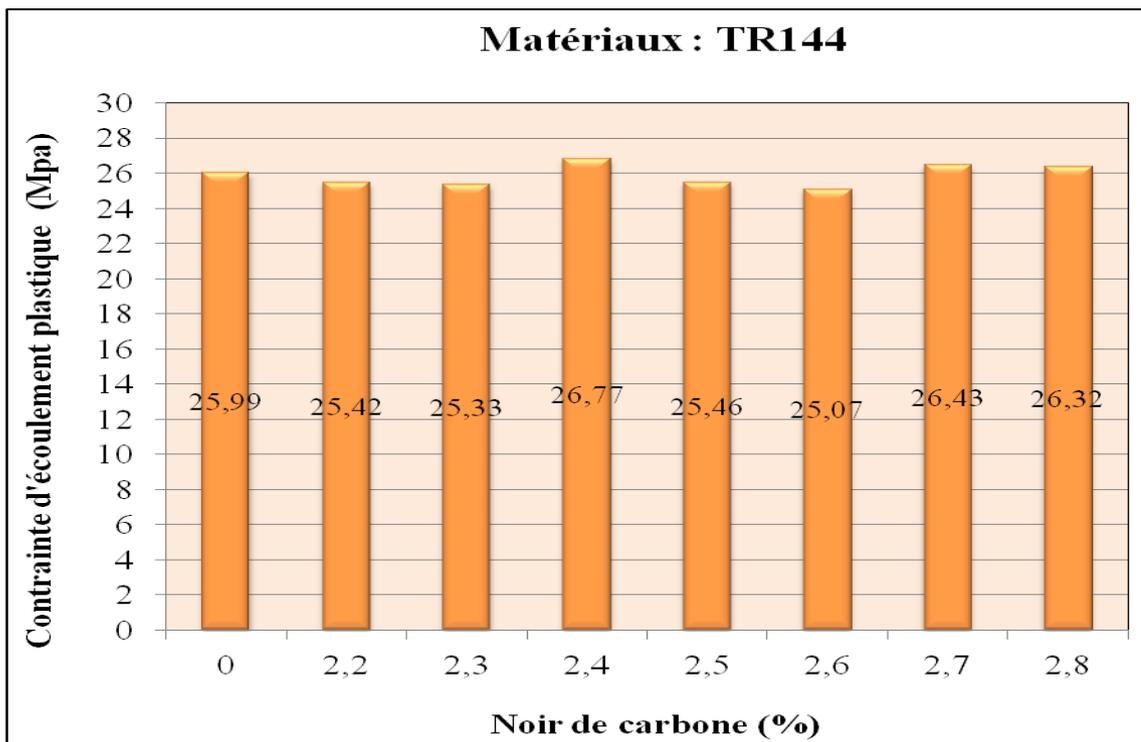


Figure IV.7 : Histogramme de la contrainte d'écoulement en fonction du pourcentage de noir de carbone

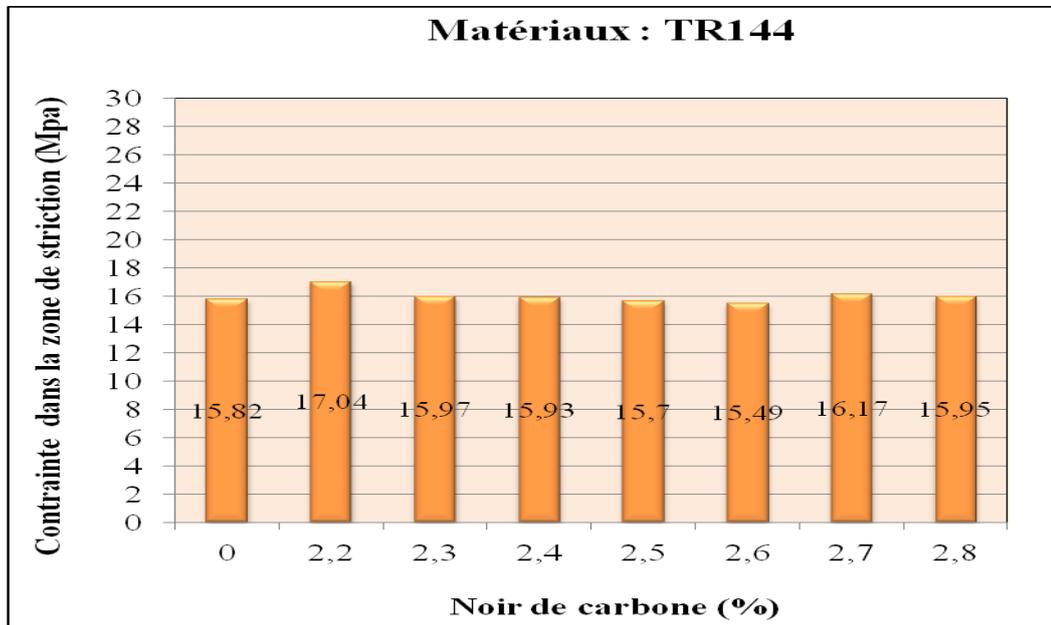


Figure IV.8 : Histogramme de la contrainte au niveau de la striction en fonction du pourcentage de noir de carbone

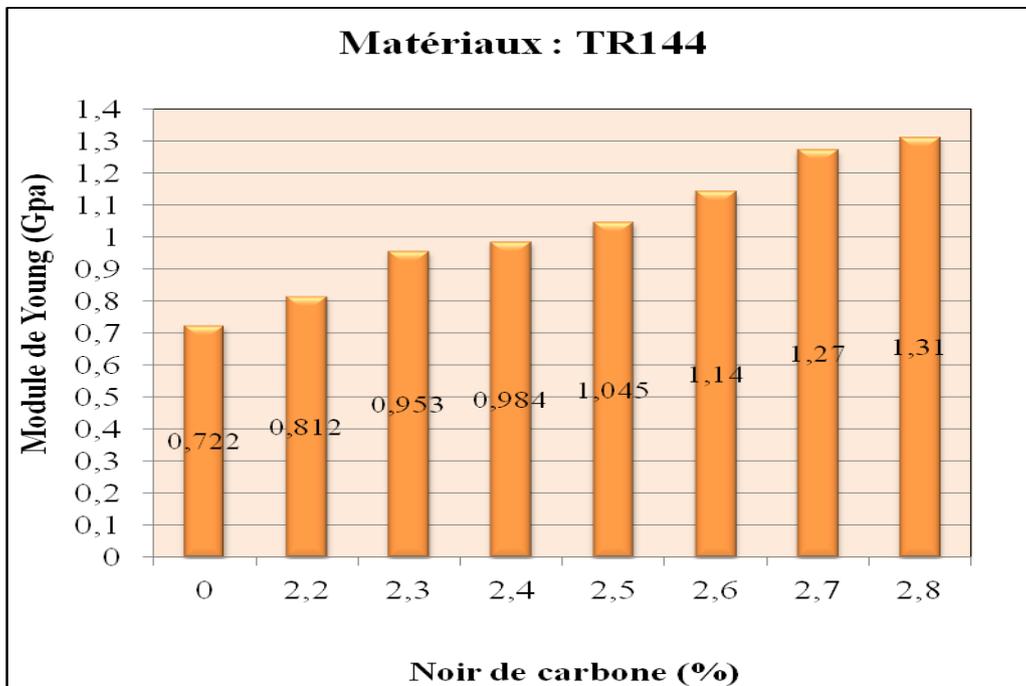


Figure IV.9 : Histogramme du module de Young en fonction du pourcentage de noir de carbone

La figure IV.7. et la figure IV.8 montre que le noir de carbone n'influe pas sur la contrainte d'écoulement et la contrainte au niveau de la striction

La figure IV.9. Montrent que le module de Young augmente en fonction d'augmentation de pourcentage de noir de carbone

## V.1. Etude statistique des résultats de l'essai de traction

### V.1.1 Introduction

La comparaison des moyennes des spécimens pour 3 répétitions concernant les différentes caractéristiques (contrainte élastique, la contrainte d'écoulement, la contrainte de la zone de striction et le module de Young) a été effectuée à l'aide du test d'analyse de la variance à un critère de classification modèle fixe.

Le principe du test de l'analyse de la variance consiste à comparer la valeur  $F_{obs}$ , qui est le rapport du carré moyen obtenu entre les nombres de cycles sur le carré moyen résiduel obtenu dans les nombres de cycles, avec une valeur théorique  $F_{1-\alpha}$  tirée à partir des tables de Fisher pour un niveau de signification ( $\alpha$ ) le plus souvent 5%, 1% ou 0,1% et pour  $K_1$  et  $K_2$  degrés de liberté. Selon que l'égalité des moyennes est rejetée au niveau 0,05 ; 0,01 ou 0,001, on dit conventionnellement que l'écart observé est significatif, hautement significatif ou très hautement significatif. On marque généralement ces écarts d'un, deux ou trois astérisques.

Une autre façon de tester l'égalité des valeurs moyennes est de calculer la probabilité  $p$  de mettre en évidence des différences significatives entre les moyennes en question. Ensuite, on compare la valeur de cette probabilité  $p$  avec le niveau de signification  $\alpha$ . Selon la valeur de  $\alpha$ , on distingue les cas suivants:

1. si  $p > \alpha = 0,05$ , alors il n'existe pas de différences significatives entre les moyennes;
2. si  $p \leq \alpha = 0,05$ , alors il existe des différences significatives entre les moyennes et on note ces différences d'une étoile (\*);
3. si  $p \leq 0,01$ , alors il existe des différences hautement significatives entre les moyennes et on note ces différences de deux étoiles (\*\*);
4. si  $p \leq \alpha = 0,001$ , alors il existe des différences très hautement significatives entre les moyennes et on note ces différences de trois étoiles (\*\*\*)).

Les résultats obtenus par le logiciel **Minitab** sont donnés dans le tableau ci-dessous.

La distribution utilisée est celle de Fischer-Snedecor

$$F = \frac{\chi_{\nu_1}^2}{\nu_1} / \frac{\chi_{\nu_2}^2}{\nu_2}$$

Avec  $\nu_1$  et  $\nu_2$  de degrés de liberté et de densité de probabilité:

$$f(F) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu_1 + \nu_2}{2}\right) \cdot \nu_1^{\frac{\nu_1}{2}} \cdot \nu_2^{\frac{\nu_2}{2}}}{\Gamma\left(\frac{\nu_1}{2}\right) \cdot \Gamma\left(\frac{\nu_2}{2}\right)} \cdot \frac{F^{\left(\frac{\nu_1}{2} - 1\right)}}{(\nu_2 + \nu_1 \cdot F)^{\frac{\nu_1 + \nu_2}{2}}}$$

La probabilité pour que  $F$  soit supérieure à une valeur donnée pourra s'écrire:

$$P(F > F_{\alpha; \nu_1, \nu_2}) = \int_{F_{\alpha; \nu_1, \nu_2}}^{+\infty} f(F) dF$$

Sachant que le résultat est égal à  $\alpha$ .

## V.2 Analyse des résultats de l'essai de traction

→ Contrainte élastique

✘ Le logiciel Minitab donne les résultats suivants :

Somme des

Source	DL	carrés	CM	F	P
C3	7	68,95	9,85	2,64	0,051
Erreur	16	59,77	3,74		
Total	23	128,71			

S = 1,933 R carré = 53,56 % R carré (ajust) = 33,25 %

Nous voyons que P est juste supérieur à 0,05, donc il n'y a pas de différences significatives entre les moyennes. Nous voyons également que le coefficient de corrélation est faible.

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé

Niveau	N	Moyenne	EcTyp	
1	3	12,544	3,917	(-----*-----)
2	3	14,577	2,746	(-----*-----)
3	3	14,193	0,518	(-----*-----)
4	3	13,995	1,866	(-----*-----)
5	3	13,572	0,707	(-----*-----)
6	3	11,276	1,443	(-----*-----)
7	3	11,231	0,530	(-----*-----)
8	3	9,436	0,624	(-----*-----)

--+-----+-----+-----+-----

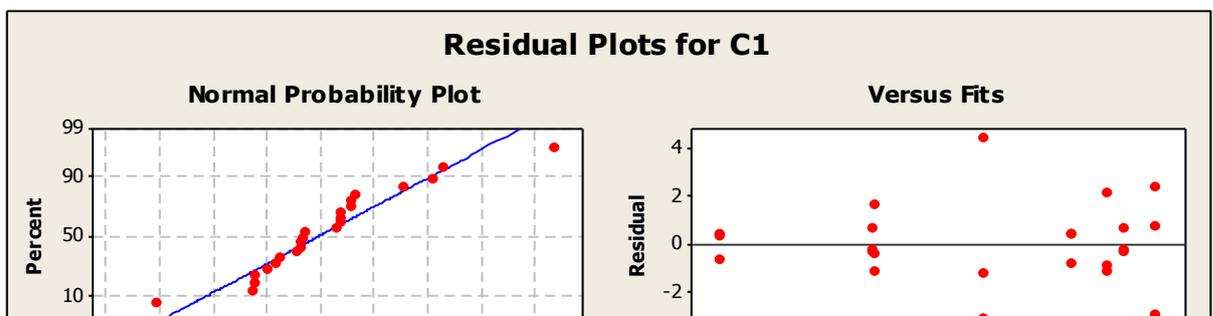
7,5    10,0    12,5    15,0

**Ecart type regroupé = 1,933**

**✘ Modèle linéaire général :**

s = 1    m = 2,5    n = 7,0

Critère	Statistique		DL		
	du test	F	Nombre	Dénominateur	P
De Wilk	0,46435	2,637	7	16	0,051
Lawley-Hotelling	1,15353	2,637	7	16	0,051
De Pillai	0,53565	2,637	7	16	0,051
De Roy	1,15353				



### Résultats pour : Feuille de travail 1

#### ✘ Test de l'égalité des variances

Intervalles de confiance de Bonferroni = 95 % pour les écarts types

C3	N	Inférieur	EcTyp	Supérieur
----	---	-----------	-------	-----------

1	3	1,63089	3,91697	70,0141
---	---	---------	---------	---------

2	3	1,14317	2,74559	49,0762
---	---	---------	---------	---------

3	3	0,21573	0,51813	9,2613
4	3	0,77706	1,86628	33,3589
5	3	0,29448	0,70727	12,6421
6	3	0,60073	1,44280	25,7894
7	3	0,22083	0,53036	9,4800
8	3	0,25973	0,62380	11,1501

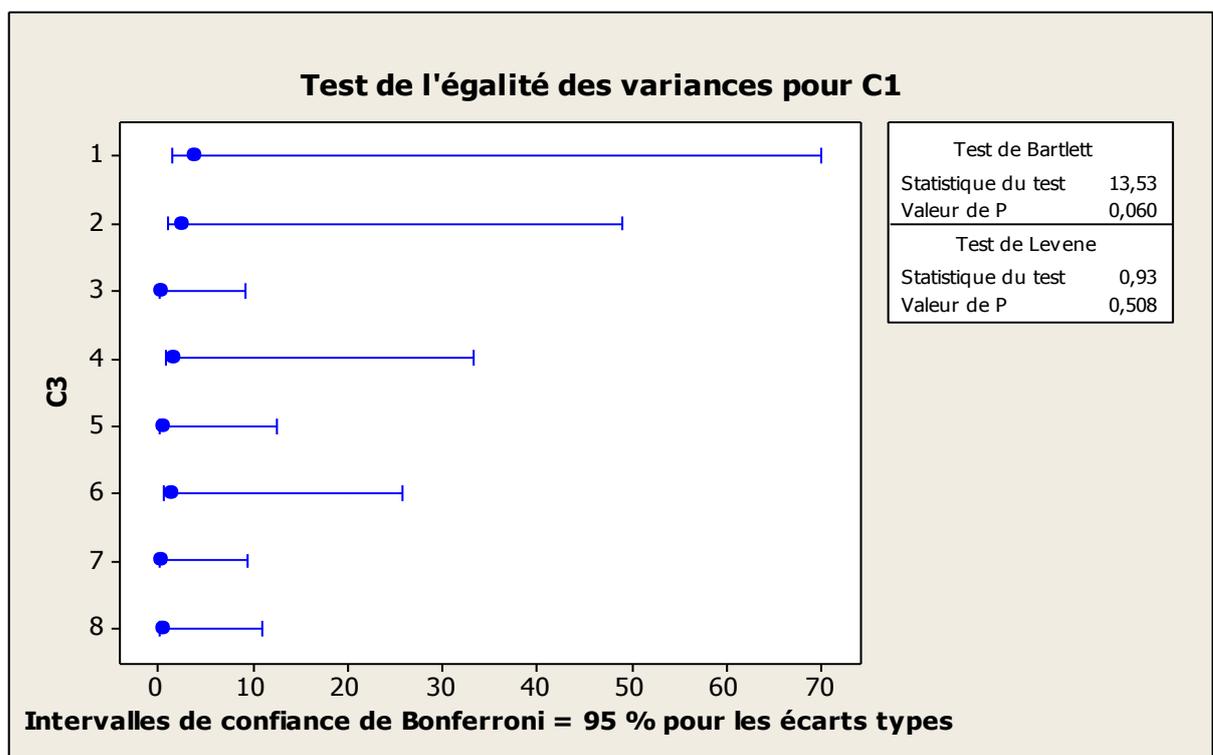
✘ Test de Bartlett (loi normale)

**Résultat du test = 13,53 ; valeur p = 0,060**

✘ Test de Levene (toute loi de distribution continue)

**Résultat du test = 0,93 ; valeur p = 0,508**

Plusieurs tests sont utilisés pour comparer les variances des différents tests. Les échantillons sont supposés obéir à des distributions normales.



→ Contrainte d'écoulement  
Somme des

Source	DL	carrés	CM	F	P
C3	7	23,98	3,43	1,50	0,236
Erreur	16	36,53	2,28		
Total	23	60,50			

S = 1,511 R carré = 39,63 % R carré (ajust) = 13,22 %

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé.

Niveau	N	Moyenne	EcTyp	
1	3	30,668	2,948	(-----*-----)
2	3	27,657	1,612	(-----*-----)
3	3	27,658	1,876	(-----*-----)
4	3	29,165	0,500	(-----*-----)
5	3	27,580	0,184	(-----*-----)
6	3	29,106	0,043	(-----*-----)
7	3	29,252	1,446	(-----*-----)
8	3	28,608	1,038	(-----*-----)

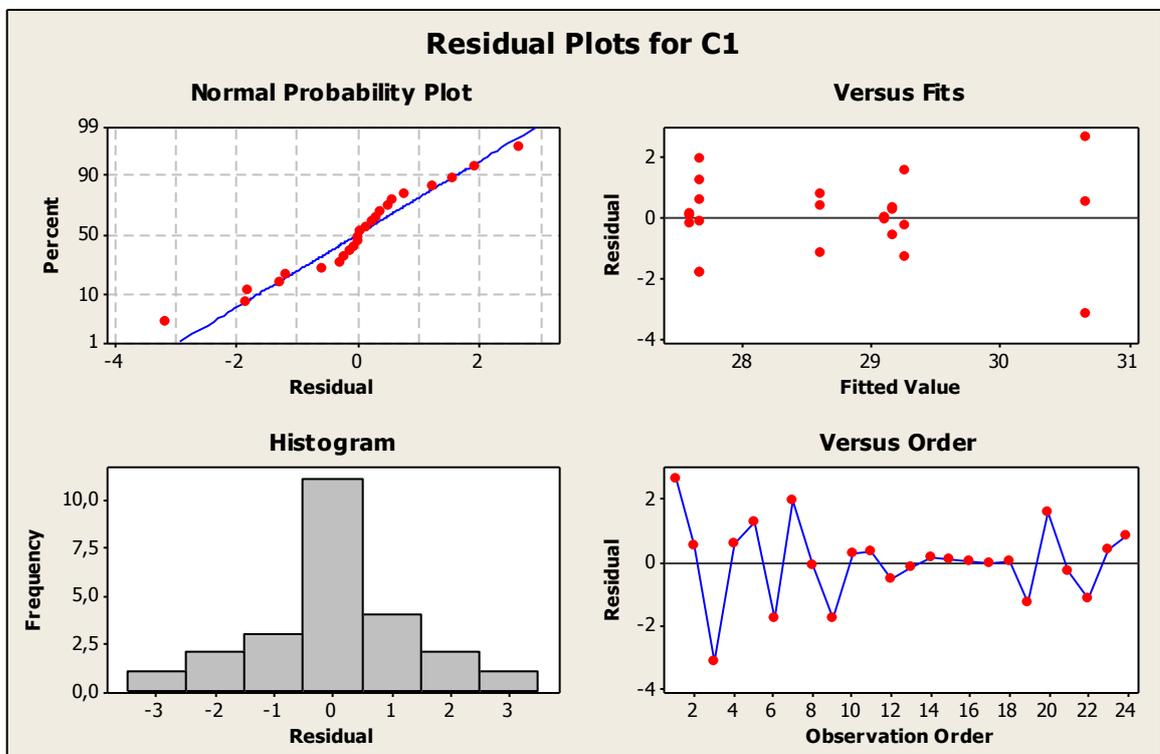
26,0 28,0 30,0 32,0

**Ecart type regroupé = 1,511**

✗ **Modèle linéaire général :**

s = 1 m = 2,5 n = 7,0

Critère	du test	DL		P
		F	Nombre Dénominateur	
De Wilk	0,60370	1,500	7 16	0,236
Lawley-Hotelling	0,65646	1,500	7 16	0,236
De Pillai	0,39630	1,500	7 16	0,236
De Roy	0,65646			



**✘ Test de l'égalité des variances :**

Intervalles de confiance de Bonferroni = 95 % pour les écarts types

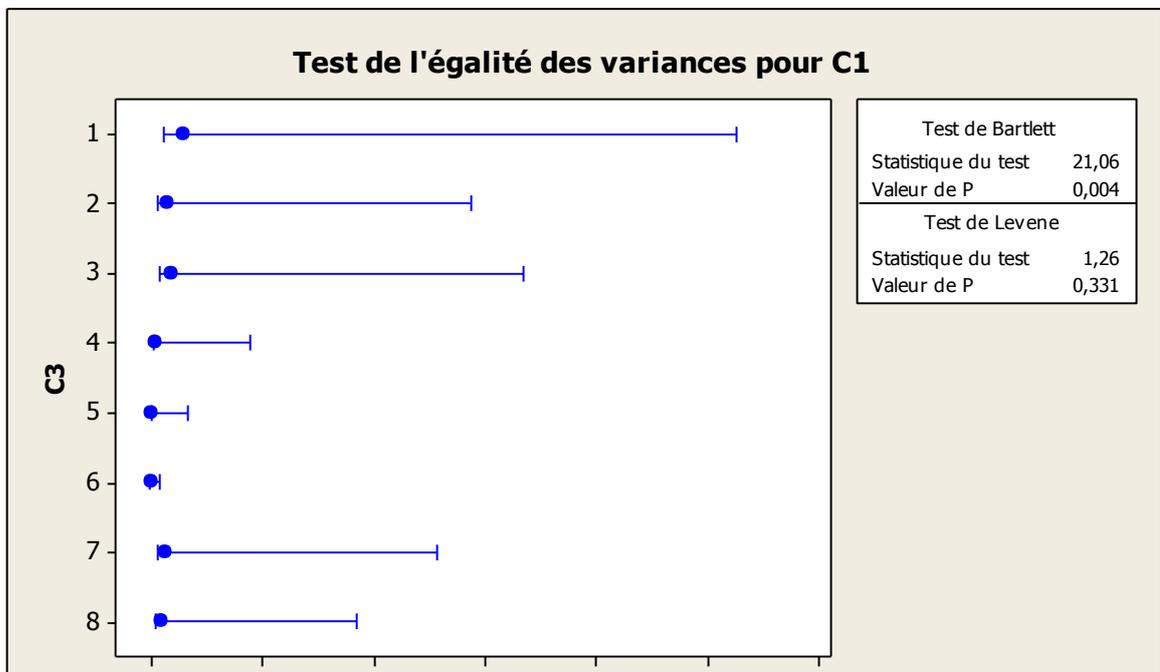
C3	N	Inférieur	EcTyp	Supérieur
1	3	1,22737	2,94782	52,6910
2	3	0,67129	1,61226	28,8184
3	3	0,78122	1,87628	33,5376
4	3	0,20813	0,49988	8,9351
5	3	0,07643	0,18356	3,2811
6	3	0,01774	0,04259	0,7614
7	3	0,60214	1,44617	25,8496
8	3	0,43200	1,03756	18,5459

**✘ Test de Bartlett (loi normale)**

**Résultat du test = 21,06 ; valeur p = 0,004**

**✘ Test de Levene (toute loi de distribution continue)**

**Résultat du test = 1,26 ; valeur p = 0,331**



Nous constatons que les intervalles de confiance à 95% donnent des résultats sensiblement hétérogènes. Ceci est prouvé dans la littérature pour les matériaux polymères.

→ *Contrainte de la zone de striction*

Somme des

Source	DL	carrés	CM	F	P
C3	7	26,01	3,72	2,02	0,115
Erreur	16	29,40	1,84		
Total	23	55,42			

S = 1,356 R carré = 46,94 % R carré (ajust) = 23,73 %

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé

Niveau	N	Moyenne	EcTyp	
1	3	22,543	2,668	(-----*-----)
2	3	19,873	1,790	(-----*-----)
3	3	19,221	1,671	(-----*-----)
4	3	20,455	0,345	(-----*-----)
5	3	19,846	0,402	(-----*-----)
6	3	21,682	0,649	(-----*-----)
7	3	21,485	0,860	(-----*-----)
8	3	20,516	0,380	(-----*-----)

18,0    20,0    22,0    24,0

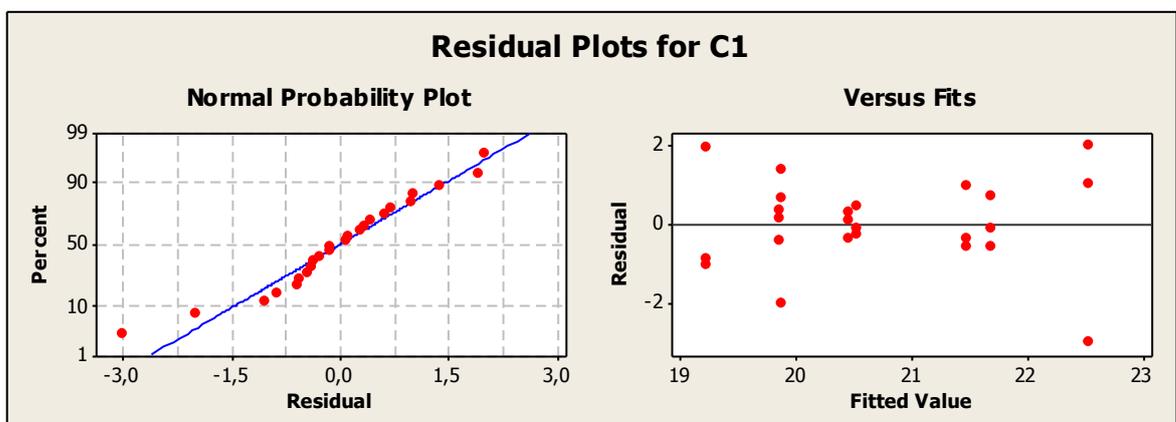
**Écart type regroupé = 1,356**

**✗ Modèle linéaire général :**

MANOVA de C3

s = 1    m = 2,5    n = 7,0

	Statistique	DL		
Critère	du test	F	Nombre	Dénominateur
De Wilk	0,53057	2,022	7	16
Lawley-Hotelling	0,88478	2,022	7	16
De Pillai	0,46943	2,022	7	16
De Roy	0,88478			



**✘ Test de l'égalité des variances :**

Intervalles de confiance de Bonferroni = 95 % pour les écarts types

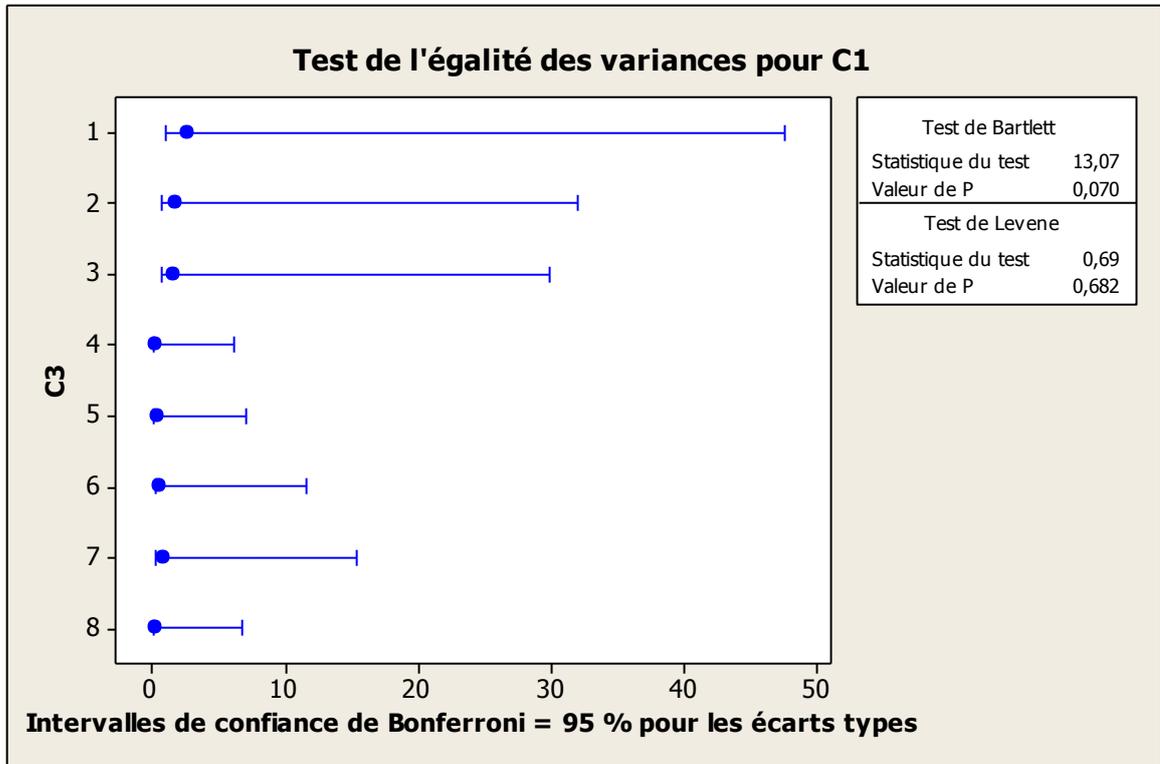
C3	N	Inférieur	EcTyp	Supérieur
1	3	1,11082	2,66790	47,6876
2	3	0,74526	1,78992	31,9940
3	3	0,69578	1,67107	29,8696
4	3	0,14367	0,34505	6,1677
5	3	0,16739	0,40203	7,1861
6	3	0,27042	0,64949	11,6093
7	3	0,35811	0,86009	15,3737
8	3	0,15832	0,38025	6,7968

**✘ Test de Bartlett (loi normale)**

**Résultat du test = 13,07 ; valeur p = 0,070**

✗ Test de Levene (toute loi de distribution continue)

**Résultat du test = 0,69 ; valeur p = 0,682**



→ **Module de Young**

Somme des

Source	DL	carrés	CM	F	P
C3	7	1,021	0,146	0,51	0,811
Erreur	16	4,537	0,284		
Total	23	5,558			

S = 0,5325 R carré = 18,36 % R carré (ajust) = 0,00 %

Limites de confiance = 95 % distinctes pour la moyenne en fonction de l'écart type regroupé

Niveau	N	Moyenne	EcTyp	
1	3	0,8387	0,5126	(-----*-----)
2	3	1,1273	0,2891	(-----*-----)
3	3	0,9530	0,0769	(-----*-----)
4	3	0,9083	0,1520	(-----*-----)
5	3	0,6976	0,6027	(-----*-----)
6	3	1,2497	1,0406	(-----*-----)
7	3	1,2713	0,5797	(-----*-----)
8	3	1,2690	0,3332	(-----*-----)

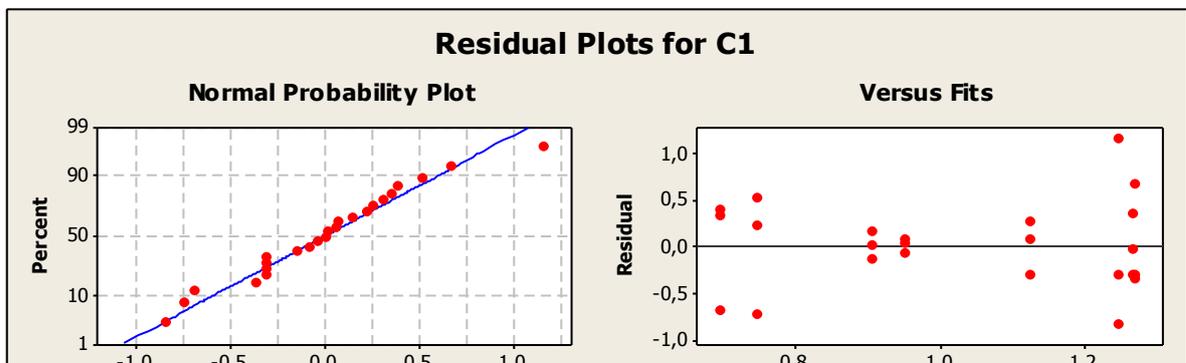
0,50    1,00    1,50    2,00

**Ecart type regroupé = 0,5325**

✘ **Modèle linéaire général :**

s = 1    m = 2,5    n = 7,0

Critère	Statistique		DL		
	du test	F	Nombre	Dénominateur	P
De Wilk	0,80965	0,537	7	16	0,794
Lawley-Hotelling	0,23511	0,537	7	16	0,794
De Pillai	0,19035	0,537	7	16	0,794
De Roy	0,23511				



✘ **Test de l'égalité des variances :**

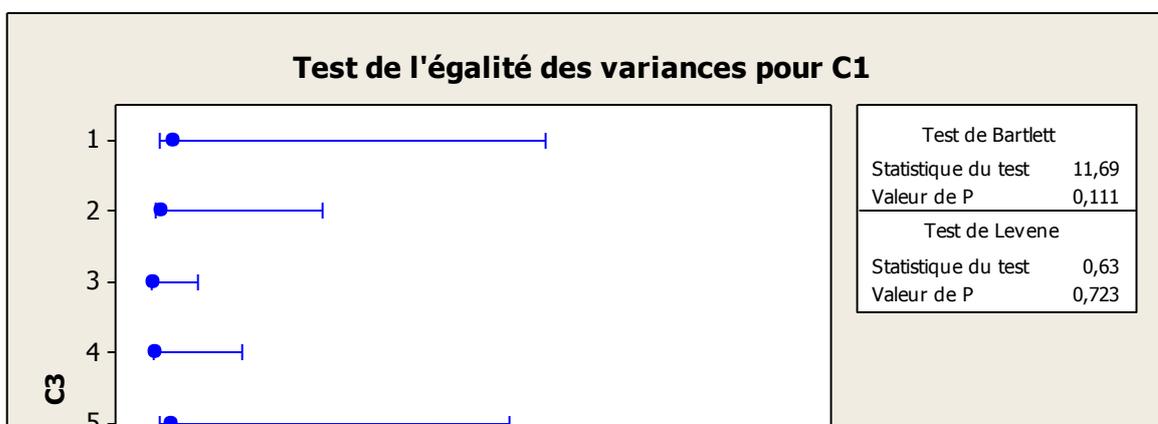
Intervalles de confiance de Bonferroni = 95 % pour les écarts types

C3	N	Inférieur	EcTyp	Supérieur
1	3	0,276029	0,66295	11,8499
2	3	0,120388	0,28914	5,1682
3	3	0,032028	0,07692	1,3749
4	3	0,063288	0,15200	2,7170
5	3	0,250940	0,60269	10,7728
6	3	0,433291	1,04065	18,6011
7	3	0,241353	0,57967	10,3613
8	3	0,138740	0,33322	5,9561

✘ **Test de Bartlett (loi normale)**

**Résultat du test = 11,69 ; valeur p = 0,111**

✘ **Test de Levene (toute loi de distribution continue)**



Egalement pour le module de Young, il n y a pas de différences significatives. L'utilisation de valeurs moyennes n'altère pas la prise de décision à partir de ce paramètre.

## **V.2. Proposition de remplacement de réseaux d'eau**

### **V.2.1. Introduction**

Le vieillissement des réseaux de distribution d'eau ou le déficit d'entretien se manifestent notamment par une augmentation des pertes en réseaux en raison de la dégradation des canalisations. Ces pertes impliquent un accroissement des prélèvements d'eau dans le milieu naturel. Afin d'engager les services publics de l'eau et de l'assainissement dans une démarche de gestion durable du patrimoine, des lois portant engagement national pour l'environnement introduit deux dispositions :

L'obligation, tant pour les services d'eau que d'assainissement, d'établir un descriptif détaillé du patrimoine ;

L'obligation pour les services de distribution d'eau de définir un plan d'actions lorsque les pertes d'eau en réseaux sont supérieures à un seuil fixé par décret.

Le décret relatif à la définition d'un descriptif détaillé des réseaux des services publics de l'eau et de l'assainissement et d'un plan d'actions pour la réduction des pertes d'eau du réseau de distribution d'eau potable vise l'objectif général de 85 % de rendement et d'environ 70 % . En effet, des rendements de 90 à 95 % peuvent être obtenus dans des services desservant les plus importants centres urbains (forte densité de branchements et fortes consommations au kilomètre de réseaux). Quant aux zones rurales, à faible densité de desserte et de consommation, les rendements de réseaux de 75 % sont considérés comme très bons.

Un plan d'actions doit donc être défini en cas de dépassement de ces taux de perte en eau, dans un délai de deux ans suivant l'année au titre de laquelle ce dépassement a été constaté. Pour inciter à la réalisation de descriptifs détaillés des réseaux d'eau et à la maîtrise des pertes d'eau par les réseaux de distribution d'eau, la loi prévoit un dispositif d'incitation par majoration du taux de la redevance « prélèvement » en cas d'absence de descriptif détaillé des réseaux d'eau ou, lorsque les pertes en eau des réseaux sont supérieures aux seuils fixés par le décret susmentionné, en l'absence de plan d'actions pour la réduction de ces pertes en réseaux. Il convient de signaler enfin que l'application de ces mesures permettra :

L'amélioration de la sécurité de la desserte en évitant des interruptions dues à la casse d'un réseau ou à un débit insuffisant de la ressource en période de sécheresse ;

Des économies sur les coûts de traitement de la ressource en eau (les mètres cubes perdus dans le sol en raison des fuites des réseaux ont dû préalablement être traités en usine).

Enfin, des agences de l'eau apportent d'ores et déjà leur appui financier pour la pose de compteurs généraux et la réalisation de recherches de fuites.

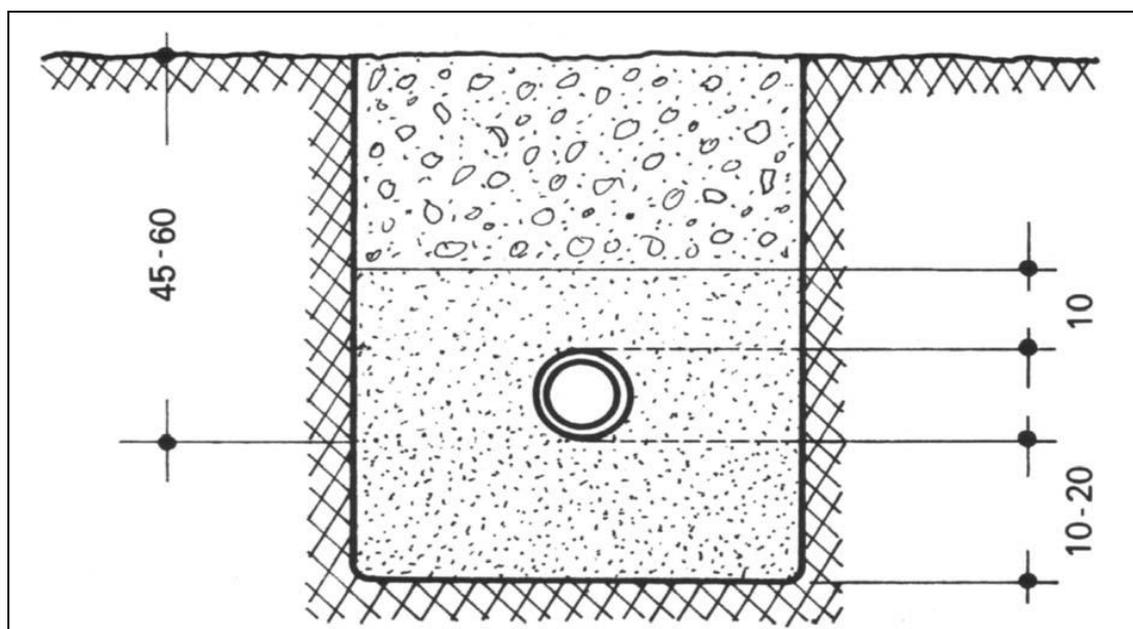
## V.2.2 Modèle mathématique

### → *Profondeurs de fouille*

En présence de charges roulantes ou autres charges permanentes, les tubes PEHD doivent être enterrés à une profondeur minimale de 45 cm.

### → *Largeur de la tranchée*

La largeur de la fouille doit être déterminée en fonction de la profondeur d'enfouissement et du diamètre de la canalisation à mettre en place. Cette largeur doit être suffisante pour permettre l'aménagement correct du fond de la tranchée d'une part, et l'assemblage des éléments de la canalisation d'autre part. En général, la largeur de la tranchée doit être supérieure à 20 cm.



→ **Fond de la tranchée**

Le fond de la tranchée doit être débarrassé des roches de grosse granulométrie, des vestiges de maçonnerie et des affleurements de points durs, puis convenablement dressé suivant la pente prévue au projet.

→ **Lit de pose**

Le fond de la tranchée est recouvert d'un lit de pose de 10-20 cm, dressée suivant la pente prévue au projet et réalisée avec un matériau d'apport propre de granulométrie 0/15 mm. Les déblais, s'ils conviennent, doivent être expurgés des plus gros éléments avant d'être réutilisés.

→ **Remblaiement**

Le remblai directement en contact avec la canalisation, jusqu'à une hauteur uniforme de 10 cm minimum au dessus de la génératrice supérieure, doit être constitué du même matériau que celui du lit de pose.

Compacter le matériau d'enrobage, en prenant soin du calage du tube aux reins, avant de mettre en oeuvre le remblai de couverture.

**Nota :**

Si des courbures se présentent dans le tracé de la conduite, le tube PEHD suit facilement les courbes sans avoir recours à l'utilisation de coudes.

→ **Nettoyage**

Nettoyage et désinfection du réseau : respecter scrupuleusement les consignes du maître d'œuvre.

→ **Essais de réception des réseaux**

L'essai du réseau sous pression hydraulique intérieure est la caution finale donnée par l'entrepreneur au maître d'oeuvre sur la qualité de sa prestation.

Il doit être réalisé dans les conditions prévues au C.C.T.G, ainsi qu'aux conditions d'un éventuel cahier des clauses techniques particulières du contrat.

La présence du maître d'oeuvre ou d'une personne habilitée à signer le procès-verbal est indispensable.

Les épreuves consistent en des mises en pression destinées à contrôler l'étanchéité des conduites.

Compte tenu du module d'élasticité et du coefficient de dilatation du polyéthylène, il est parfois difficile de maintenir dans le temps une pression constante à l'intérieur de la canalisation.

A cette fin, la méthode spécifique au polyéthylène qui est présentée ci-après.

→ ***Facteurs à prendre en compte pour la réalisation des essais***

Les poches d'air résiduelles se dissolvent dans l'eau de façon réversible pendant l'épreuve, et amènent une chute de pression.

Comme dans toute conduite, il faut donc effectuer lentement le remplissage de la conduite, par les points bas du réseau, en ne dépassant pas un débit de 0,1 litre/seconde pour un DN < 90, ou de 0,5 litre/seconde entre un DN 90 et 160, ou 2 litres/seconde à partir de DN 200.

Dans ces conditions, il ne se forme que peu de poches d'air, et la purge aux points hauts, indispensable avant toute mise en pression, en est grandement facilitée.

Il convient de réaliser l'épreuve officielle après la pointe diurne de température, et d'éviter les essais nocturnes : en effet, dans le cas d'un tronçon incomplètement remblayé, ou posé en aérien, si la température ambiante s'élève notablement entre le début et la fin des essais, le tube se dilate davantage que l'eau et la pression peut chuter, d'environ 0,5 à 1 bar pour une variation de 10°C.

Sous l'effet de la pression intérieure, la canalisation en polyéthylène "gonfle" légèrement, avec une augmentation de diamètre qui peut atteindre 1,5 à 2% après quelques heures.

Il est donc nécessaire de la mettre en pression préalablement à l'épreuve officielle, pour éviter que ce phénomène normal n'amène à une erreur de jugement.

Il est recommandé de ne pas tester des tronçons de longueur supérieure à 500m en terrain plat. Dans le cas de réseaux présentant une dénivelée importante, il faudra tester le réseau

par tronçons déterminés, de façon à ce que la pression au point le plus bas de chaque tronçon ne soit pas supérieure à la PN du composant. Afin que cette procédure d'essai soit représentative, il est nécessaire que la pression de 2ème phase soit au moins de 1 bar au point haut du tronçon.

Essais selon le Fascicule 71

Le nouveau Fascicule 71, édition 97, prévoit des conditions spécifiques pour les tubes PE. Il s'agit d'un essai simple et bref au cours duquel on provoque une contrainte dans le tube en polyéthylène en le maintenant à la pression d'épreuve pendant 30 minutes.

L'ouverture de la vanne de réglage réduit la pression à une valeur spécifiée, puis la vanne est refermée.

Une remontée ultérieure de pression dans la conduite démontre l'absence de fuite.

Cet essai simple par "tout ou rien" est représentatif, à condition que le tronçon testé ait été bien purgé d'air.

Les épreuves sont réalisées comme suit :

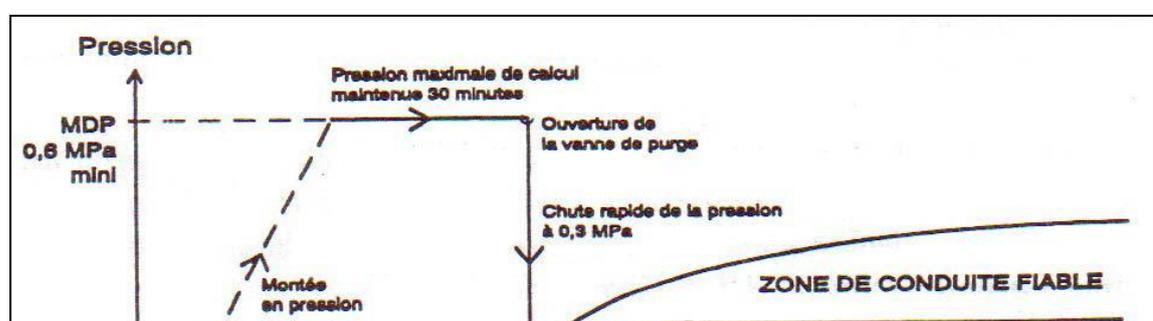
- Applique une pression d'épreuve (STP) égale selon le Fascicule 71 à la pression maximale de calcul (MDP) de la conduite, et au moins égale à 6 bars, et la maintenir 30 minutes en pompant pour l'ajuster.
- Ramener la pression à 3 bars à l'aide de la vanne de purge. Fermer la vanne pour isoler le tronçon à essayer.
- Enregistrer ou noter les valeurs de la pression aux temps suivants :

Entre 0 et 10 minutes : 1 lecture toutes les 2 minutes (5 mesures)

Entre 10 et 30 minutes : 1 lecture toutes les 5 minutes (4 mesures)

Entre 30 et 90 minutes : 1 lecture toutes les 10 minutes (6 mesures)

Les valeurs successivement enregistrées doivent être croissantes puis éventuellement stables, en raison de la réponse viscoélastique du polyéthylène (voir graphique ci-dessous).



On obtient normalement une bonne indication en 90 minutes. Si durant cette période la pression diminue, c'est le signe d'une fuite sur le tronçon : vérifier en priorité tous les assemblages mécaniques avant d'inspecter les soudures.

Toute anomalie constatée doit être rectifiée et l'épreuve recommencée.

Les définitions des pressions sont données ci-après :

- MDP (Maximum Design Pressure) : pression maximale de calcul du réseau ou de la zone de pression fixée par le prescripteur, y compris le coup de bélier et tenant compte des développements futurs
- STP (System Test Pressure) : pression d'épreuve du réseau. Pression hydrostatique appliquée à une conduite nouvellement posée de façon à s'assurer de son intégrité et de son étanchéité
- DP (Design Pressure) : pression de calcul en régime permanent. Pression maximale de fonctionnement du réseau ou de la zone de pression fixée par le projeteur en tenant compte des développements futurs mais non compris le coup de bélier.

### V.2.3. Modèle de couplage

→ **Méthode d'assemblage des tubes PEHD**

Le tube PEHD "BANDE BLEUE" peut s'assembler et se raccorder de trois façons différentes :

- Par raccords de compression : utilisés surtout pour les branchements (Dn 20 au Dn 63)
- Par soudure bout à bout : généralement utilisée à partir du Dn 200
- Par manchons électro-soudables : Dn 20 au Dn 250

### V.2 Assemblage par raccord de compression

Ces raccords sont utilisés dans les domaines de l'adduction d'eau potable sous pression jusqu'à une PN de 16 Bars, essentiellement pour assembler des tubes de petits diamètres (Dn ≤ 63 mm).

**Procédure de mise en oeuvre :**



- ❖ Couper le tube perpendiculairement à son axe à l'aide d'une scie circulaire ou à ruban. Pour obtenir une section droite, il est conseillé d'utiliser des boîtes de guidage spéciales.
- ❖ Eliminer les bavures causées par la découpe à l'intérieur et à l'extérieur des tubes à l'aide d'une lame
- ❖ Chanfreiner les angles aux extrémités à 15-30°. Préparer ce chanfrein avec soin afin d'éviter d'endommager le joint o ring
- ❖ Lubrifier si possible, l'extrémité du tube avec le lubrifiant préconisé, certains produits risquent d'attaquer la bague o ring.
- ❖ Desserrer le collier de serrage du joint sans détacher complètement le corps. Contrôler que les éléments d'étanchéité soient en bonne position

- ❖ Introduire le bout du tube avec soin sans resserrer le collier et pousser le joint jusqu'à l'arrêt au fond du collet
- ❖ Serrer le collier à la main, puis serrer à l'aide d'une clé à chaîne ou à sangle, pour compléter la jonction.

→ **Assemblage par fusion**

Cette technique consiste à assembler les tubes SOTICI PEHD "BLEUE BLEUE" au moyen de raccords électro-soudables (sauf  $\varnothing 20$ , 25 et 32).



- **Equipement:**

L'électro-soudage est une technique simple et efficace ; elle nécessite l'utilisation de matériels spécifiques en bon état général, pour assurer la qualité de l'assemblage.

Désovalisateur : cet outil permet de diminuer l'éventuelle ovalisation du tube dans la zone de soudage.

Outil de grattage : il permet d'éliminer la couche Anti-Contamination du tube à raccorder, sur toute la surface où s'effectuera la soudure. L'outil doit être approprié pour enlever des copeaux et donner une profondeur de grattage uniforme sur toute la surface grattée.

Il doit laisser à nu une surface noire de PEHD, propre et non oxydée.

Coupe-tube : cet outil doit permettre une coupe perpendiculaire à l'axe du tube et ne doit pas l'écraser au cours de la coupe (l'utilisation d'une scie est à proscrire).

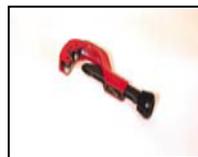
Positionneurs-redresseurs : ces outils doivent permettre pour tous types de raccords, d'aligner les pièces et les tubes, de supprimer les courbes résiduelles pour les tubes en couronne ou en touret, de supprimer les non-alignements, les contraintes dans la zone de soudage et les mouvements intempestifs pendant les temps de soudage et de refroidissement de l'assemblage.

Ceci est une exigence capitale pour garantir la qualité de l'assemblage.

Automate de soudage : l'automate de soudage doit être capable à partir d'une alimentation électrique (secteur ou groupe électrogène), de fournir une énergie régulée définie par le fabricant de raccords.

Groupe électrogène : il doit être choisi pour délivrer la puissance requise pour toute la gamme des raccords (5 kva mini).

Equerres : afin de s'assurer que les coupes sont bien perpendiculaires à l'axe du tube.



**Aligneur**

**Coupe PE**

**Gratte PE**

- **Procédure de mise en oeuvre :**

Les raccords électro-soudables sont des pièces en PE équipées d'une résistance intégrée à la surface interne du raccord qui, après assemblage, se trouve au contact du tube ou de la pièce à raccorder.

Après grattage, nettoyage et positionnement des pièces à raccorder, les bornes de soudage permettent le raccordement de cette résistance à une source d'énergie.

La dissipation, par effet Joule, de la puissance électrique provoque une fusion de surface des deux pièces à assembler assurant, grâce à un mélange intime des deux polyéthylènes, une cohésion et une étanchéité parfaites.

Plusieurs types de raccords existent : manchons, coudes, réductions, tés, collets, prises de branchement, piquages...

La qualité du raccordement exige le respect des règles de mise en oeuvre en utilisant un outillage spécifique (positionneur, grattoir, coupe tube, produit de dégraissage) complément indispensable de l'automate de soudage.

Il existe une gamme complète de raccords à souder par fusion pour l'assemblage des tubes en polyéthylène HD. Pour plus de détails concernant ses raccords et leur procédé de montage, veuillez consulter la documentation technique du fabricant de raccords.

→ ***Assemblage par soudure bout à bout***

Raccordement de tubes sans apport de matière.

Le soudage bout à bout est utilisé pour assembler des tubes et des raccords en polyéthylène d'épaisseurs identiques et d'indices de fluidité compatibles entre eux, sans apport de matière.

Ce procédé consiste à chauffer à l'aide d'un outil (miroir) les extrémités dressées des tubes et/ou des raccords dans des conditions de pression de contact et de températures prédéfinies.

- ***Equipement***

Il est généralement constitué de :

- ❖ Machine de soudage bout à bout équipée de mâchoires destinées à maintenir en position les éléments à souder,
- ❖ Pompe hydraulique permettant le déplacement des mâchoires,
- ❖ Miroir chauffant thermo régulé,
- ❖ Outil pour couper le tube,
- ❖ Outil pour dresser les surfaces (rabot),
- ❖ Générateur électrique.



- **Procédure de mise en oeuvre :**

#### **4- Exigences générales**

La qualité des assemblages dépend notamment de la qualification des soudeurs, de l'adéquation des machines et des dispositifs utilisés, ainsi que du respect des directives de soudage.

#### **5- Préparation de la machine**

- Brancher le miroir de soudage, température réglée à  $210\text{ °C} \pm 10$ ,
- Fixer la mâchoire, correspondant au diamètre des tubes à souder, sur l'appareil de base,
- Fixer les tronçons de tubes dans les mâchoires, en laissant dépasser 30 mm à 40 mm, côté assemblage.

#### **6- Préparation des soudures**

- Les tubes ou les éléments de canalisations à assembler doivent être parfaitement coaxiaux dans les appareils de soudage. Il convient de prendre les mesures appropriées pour que les éléments à raccorder gardent leur mobilité dans le sens longitudinal (par exemple : galets de guidage ou dispositif de suspension).

- Les tubes et éléments de canalisations doivent être fixés de telle sorte que les surfaces coïncident.

L'écart de géométrie doit être éliminé à l'aide de colliers de serrage ; en cas d'impossibilité, il est nécessaire de sectionner le tronçon défectueux.

- Les extrémités des tubes ou des éléments de canalisations à souder doivent être rabotées immédiatement avant le soudage, de telle sorte qu'elles soient parfaitement parallèle. Il convient d'éliminer par un outil de grattage la barrière Anti-Contamination sur une longueur d'un bon centimètre.

La partie polyéthylène noire du tube étant protégée de l'oxydation par la barrière ANTI-CONTAMINATION, il n'est pas nécessaire de la gratter.

- Après avoir passé le rabot et le grattoir, enlever soigneusement les copeaux éventuellement tombés à l'intérieur des tubes. Les surfaces usinées doivent être parfaitement propres ; tout contact avec les mains est à proscrire.

Il est en effet impératif de procéder au nettoyage intérieur et extérieur des tubes avant le soudage. Le désaxage des extrémités des tubes ne doit pas dépasser 1/10e de leur épaisseur.

Pour réaliser une soudure bout à bout au miroir chauffant, les surfaces à assembler sont portées à la température de soudage au moyen d'un miroir chauffant. Les extrémités du tube ainsi ramollies sont assemblées sous pression, après retrait du miroir chauffant.

La température du miroir chauffant pendant le soudage est comprise entre 200 °C et 220 °C.

Dans cette plage, plus l'épaisseur des tubes est importante, plus la température de soudage est faible.

- **Un cycle de soudage comprend 5 phases :**

Epaisseur de la paroi (mm)	Phase 1 (mm) Préchauffage Epaisseur des bourrelets à la fin du chauffage	Phase 2 (secondes) Chauffage	Phase 3 (seconde) Retrait du miroir chauffant durée maximale	Phase 4 (seconde) d'application de la pression jusqu'à la valeur de consigne	Phase 5 (minutes) refroidissement sous pression d'assemblage
4-5	0,5	30-70	3-5	3-6	3-6
5-7	1	70-120	4-6	4-8	6-10
7-12	1,5	120-190	5-8	8-12	10-16
12-19	2	190-250	6-10	10-15	16-24

### **Phase 1 : Préchauffage - égalisation**

Rapprocher les surfaces à souder contre le miroir chauffant, jusqu'à ce qu'elles soient en contact avec celui-ci et parfaitement parallèle.

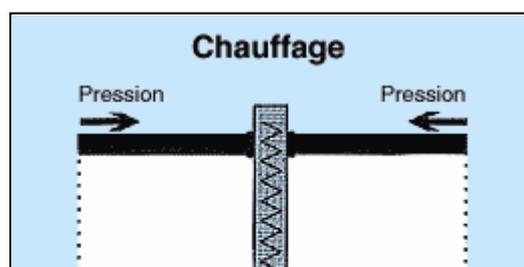
Il se forme alors deux bourrelets périphériques.

La régularité de l'épaisseur des bourrelets permet de savoir si les surfaces à assembler sont en contact en tous points avec le miroir chauffant.

### **Phase 2 : Chauffage**

La chaleur générée par le miroir se diffuse dans les extrémités à souder portant celles-ci à la température de soudage.

La pression pendant le chauffage est réduite à une valeur presque nulle, ce qui garantit un contact régulier des extrémités des tubes contre le miroir chauffant.



### Phase 3 : retrait du miroir

Une fois que les surfaces d'assemblage sont portées à la température adéquate, retirer le miroir chauffant, sans endommager ni salir les surfaces d'assemblage chauffées.

Rapprocher immédiatement les surfaces à assembler.

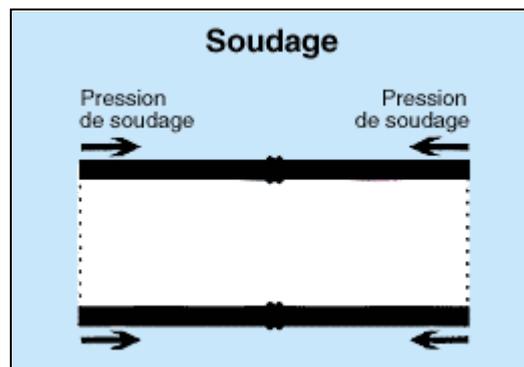
La période d'effacement du miroir doit être la plus réduite possible.

### Phase 4 : assemblage

Rapprocher les surfaces ramollies. L'opération a lieu en deux phases.

Au moment du contact, la vitesse de rapprochement des surfaces à souder doit être pratiquement nulle.

La pression d'assemblage doit croître, si possible linéairement, jusqu'à la valeur de consigne :  $0,15 \pm 0,01 \text{ N/mm}^2$ .



## **Phase 5 : Refroidissement**

Laisser en place l'équipement et maintenir la pression constante afin de respecter les temps de refroidissement indiqués dans le tableau.

À l'issue du refroidissement ouvrir les mâchoires et lâcher la pression de la centrale hydraulique.

Après l'assemblage, le tube présente un double bourrelet périphérique dont l'aspect constitue un élément d'appréciation de l'homogénéité de la soudure.

La formation de bourrelets non identiques peut s'expliquer par une différence de comportement rhéologique entre les deux matériaux assemblés.

### **V.2.4. PROPOSITION**

Le présent paragraphe rappelle les règles essentielles de la mise en œuvre des tubes en polyéthylène utilisés pour les réseaux d'eau potable ou autres fluides.

Le but est d'attirer l'attention du poseur sur les erreurs à ne pas commettre, pouvant affecter la pérennité de l'ouvrage.

## RÉSEAU DURABLE = QUALITÉ DU PRODUIT + CONSEILS SUIVIS

1. Choix du matériel : Marque NF = sécurité certifiée.
2. Respect du produit pendant sa manutention et sa pose.
3. Formation des opérateurs = gage de succès.
4. La qualité de la mise en oeuvre fera la performance du réseau.
5. Tube bien traité = assurance de longévité et de pérennité du réseau.

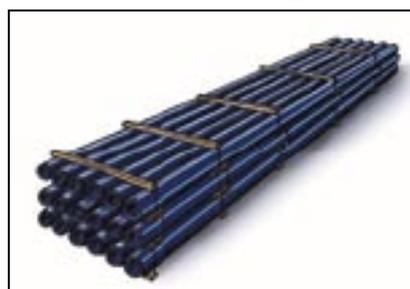
### 1) Conditionnement et stockage

#### ❖ Stockage :

- Eviter le contact direct des tubes avec le sol.
- Débarrasser l'aire de stockage de toutes pierres ou objets pouvant blesser le tube.
- Mettre à l'abri du soleil, en cas de stockage prolongé.

#### ❖ Manutention :

- Utiliser des sangles en nylon.



### Déroulage du touret

#### ❖ Coupe des liens :

- Avant de procéder à la coupe des premiers liens, l'extrémité externe du tube, équipée de sa tête de tirage, doit être arrimée au dispositif de traction.
- Les liens seront coupés couche par couche au fur et à mesure du déroulage.
- L'opérateur chargé de cette tâche se placera obligatoirement entre le touret et la tranchée. Afin d'éviter tous risques d'accidents graves, l'accès aux liens par le côté du touret est à proscrire.
- Le lien assurant la fixation de l'extrémité intérieure du tube sur le touret, ne sera libéré qu'à la fin du déroulage, après avoir immobilisé le tube.



## Organisation du chantier

### 2) Mise en place

#### a) Fond de fouille :

Le fond de la fouille doit être propre, sans pierre ou point dur. Mettre en place le tube sur un lit de sable d'une épaisseur d'au moins 10 cm (ne pas utiliser de matériaux concassés).



**b) Tube :**

- Respecter les rayons de courbure.
- Les changements de direction, horizontaux ou verticaux, s'effectuent par courbure dont le rayon R doit être supérieur à 25 fois le diamètre du tube.
- Réaliser des ondulations pour compenser le retrait et la dilatation.
- Pour une variation de température de 20°C, la variation de longueur est de 40 cm pour 100 mètres.

DN

R > 25 DN - SDR 11

R > 30 DN - SDR 13,6

R > 35 DN - SDR 17

- Utiliser les matériels adaptés et indispensables.
- Choisir la technique selon le diamètre du tube :
- S'assurer de la disponibilité des outils et outillages préconisés par le fabricant de raccord
- Dans tous les cas : mètre, crayon et marqueur adaptés au PE.
- Pour les raccords mécaniques : clés spécifiques et/ou dynamométriques, grattoir adapté.
- Pour les raccords électrosoudables :
- Positionneur - redresseur.
- Grattoir.
- Pour le nettoyage, utiliser du "solvant dégraissant" sous forme de lingettes prêtes à l'emploi.
- désovalisateur.

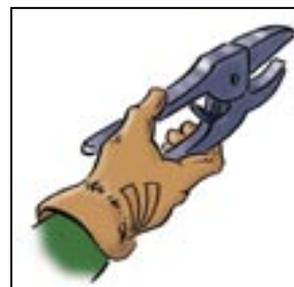
- Automate de soudage et groupe électrogène.
- Pour le soudage bout à bout : machines et accessoires.

### 3) Préparation du raccordement

- Mettre en oeuvre dans une fouille propre
- Respecter les consignes
- Coupe d'équerre avec coupe tube
- Grattage avec un outil rotatif
- Pour le soudage : grattage, solvant dégraissant, maintien des tubes en alignement jusqu'au refroidissement = utiliser un positionneur – redresseur



Coupe tube guillotine pour  
diamètre supérieur à 63 mm



Coupe tube sécateur pour  
diamètre inférieur ou égal à 63 mm

### 4) Pose sans tranchée

#### ❖ Forage

##### → Forage dirigé

Le forage dirigé permet d'enterrer une canalisation en limitant au minimum la gêne pour les riverains dans le respect de l'environnement. Alors que les techniques de tranchées sont réservées à la pose en campagne, le forage dirigé peut, lui, être utilisé en zone urbaine. Issue et dérivée des forages pétroliers, cette technique fait appel à l'utilisation d'un matériel spécifique et permet de réaliser des travaux impossibles à réaliser autrement ou très coûteux (par exemple : passage sous une rivière).

→ **Principe**

La technique du forage dirigé se décompose en deux étapes :

- La réalisation du trou pilote,
- L'alésage et tirage simultané du tube.

→ **Le trou pilote**

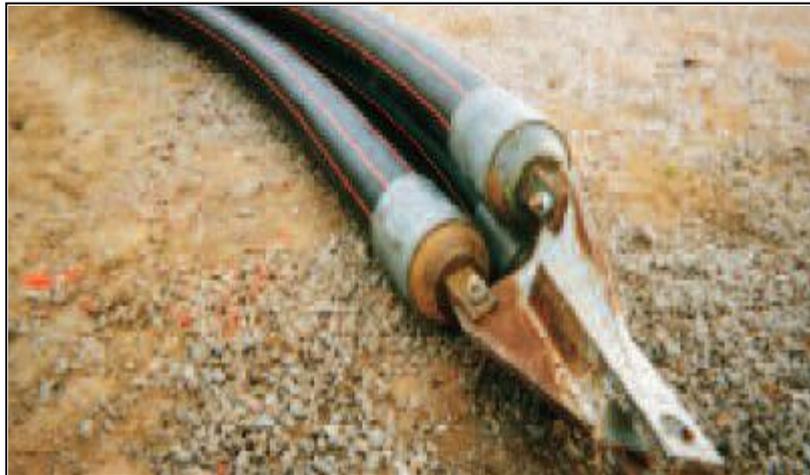
Une tête de forage, adaptée au terrain que l'on pénètre, est amenée en rotation et poussée, combinée ou avec des tiges métalliques rigides qui se vissent les unes dans les autres. Simultanément à cette poussée rotation, de la « bentonite » (mélange thixotropique de boue, argile, eau, plastifiant) est injectée au niveau de la tête de forage ce qui permet la lubrification de l'outil tout en consolidant le trou. Elle permettra également par la suite le passage de l'alésage en rendant malléable la zone du forage.

La profondeur, la direction et l'inclinaison de la tête sont communiquées à la surface par une sonde émettrice incorporée dans l'outil. L'opérateur peut ainsi contrôler en permanence la direction du forage et procéder aux modifications éventuelles de trajectoire en jouant sur l'angle d'inclinaison de la tête directement à partir de la foreuse.



**L'alésage et le tirage**

Quand la tête de forage ressort à l'extrémité du trou pilote, un « tunnel » d'environ 10 cm de diamètre a donc été créé qu'il suffit « d'élargir » en ramenant en sens inverse, vers la foreuse, le train de tige à l'extrémité duquel un « élargisseur » a été installé (1,2 à 1,5 fois le diamètre de la canalisation à installer).



Immédiatement derrière cet aléteur, le tube PE est accroché et donc tiré vers la foreuse en même temps que le trou se fait. Il peut arriver qu'en raison de la nature du terrain, plusieurs alésages progressifs soient nécessaires.

C'est bien sûr lors du dernier tirage que le tube est placé et tracté jusqu'aux puits d'entrée.

→ **Précaution**

Ce travail est toujours assuré par des professionnels dotés d'un matériel approprié au travail envisagé. Il dépend :

- de la longueur de la canalisation à mettre en place,
- de la nature du terrain,
- du diamètre du trou à réaliser.

Dans tous les cas une étude préalable de la composition du terrain est nécessaire, ainsi que la connaissance et la localisation des canalisations existantes.

→ **Domaines d'application**

- Gaines pour passage de câbles électriques
- Gaines pour passage de fibres optiques
- Tubes pour le Gaz
- Tubes pour l'Eau potable
- Tubes pour l'Assainissement (sous pression)
- Dépollution
- Chauffage urbain...

→ **Types de tubes**

Le choix des tubes est essentiel pour la bonne réalisation du travail. D'une façon générale il est préconisé des tubes de SDR 11 qui offrent de bonnes caractéristiques aux efforts de traction lors de la pose.

Pour les chantiers de petite longueur et n'offrant pas de difficultés particulières, des tubes de SDR 13,6 peuvent être utilisés. Pour les diamètres supérieurs à 160 qui ne permettent pas la livraison sur touret, il est nécessaire d'utiliser des longueurs droites qui seront soudées bout à bout. Si les efforts de traction risquent d'être importants, des tubes PE 100 sont préconisés, en conservant le même SDR.

**Force de traction admissible pour tube PEHD pour usage sous pression**

$$\text{Force traction} = \frac{14 \pi D^2}{\text{SDR}} \times \frac{1}{30} \text{ en décanewton}$$

(D'après ISO/TC 138 Code de pratiques N 163 F)

Pour les utilisations de tubes en fourreaux, l'usage a montré qu'il est possible de multiplier ces valeurs par deux. Il faut cependant rester prudent compte tenu des risques d'ovalisation pouvant résulter de l'opération de tirage.

Forces exprimées en décanewtons pour usage fourreaux			
Diamètre ext	SDR 13.6	SDR 11	SDR 9
90	1700	2100	2600
110	2600	3200	3900
125	3300	4100	5000
160	5500	6800	8300
180	6900	8600	10500
200	8600	10600	13000
225	10900	13400	16400
250	13400	16600	20300
280	16900	20800	25500
315	21300	26400	32300
355	27100	33500	41000
400	34400	42600	52100
450	43600	53900	65900
500	53800	66600	81400
560	67600	83500	102100
630	85500	105700	129300

#### b) - Fusées

Réservée aux petites distances, la pose à la fusée est couramment utilisée. Elle offre l'avantage d'un matériel simple et peu encombrant, idéal pour la réalisation de petits branchements sans ouvrir la chaussée.

#### Principe

Un tube d'acier muni d'une tête de forage adaptée au terrain, avance sous l'effet d'un marteau pneumatique à l'intérieur de ce tube appelé

« Fusée ». Le tube Polyéthylène est fixé à l'arrière de la fusée au moyen d'un dispositif de maintien.

Il est tiré au fur et à mesure de l'avancement de l'outil de forage.

### → **Rénovation**

#### **a) - Tubage de canalisation avec vide annulaire**

Rénovation ou renforcement des réseaux et des branchements sans ouverture de tranchée en mettant à profit les avantages du PE :

- Conditionnement en grande longueur
- Souplesse
- Légèreté
- Insensibilité à la corrosion

#### **1) Principe**

Poser, dans la conduite existante utilisée comme fourreau, un tube PE conditionné en grandes longueurs sur touret, sur couronne ou en barres préalablement assemblées.

#### **2) Technique de tubage**

Les avantages des techniques résident dans l'économie et le gain de temps qu'elles procurent (peu de terrassements) ainsi que la moindre gêne occasionnée aux riverains. Les limitations à la mise en oeuvre sont les suivantes :

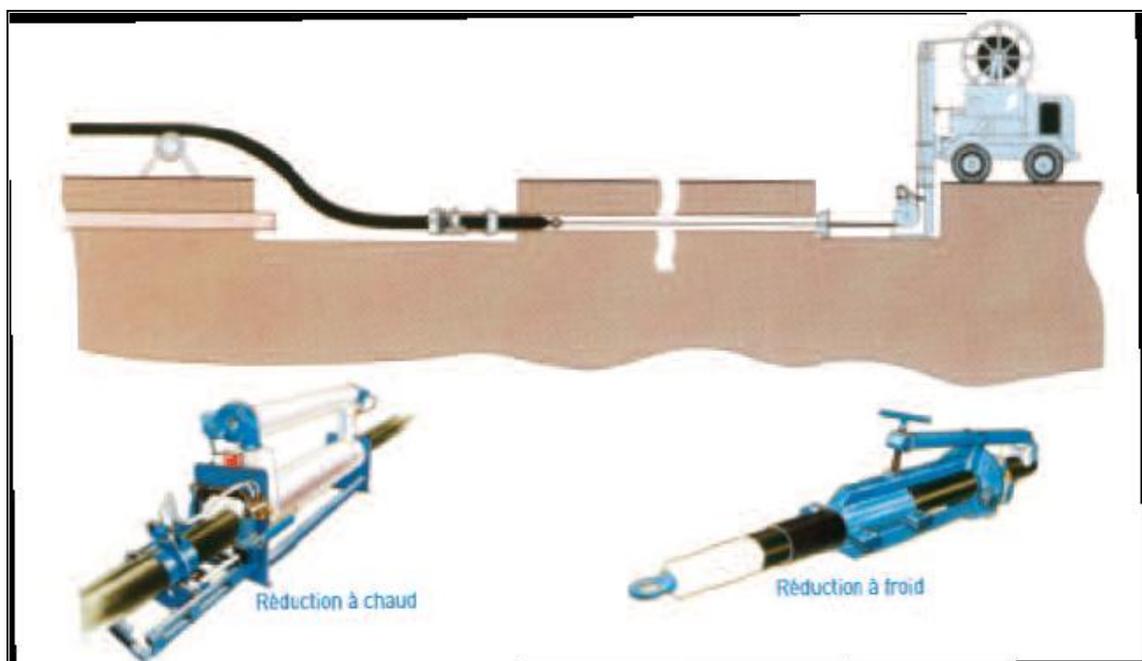
- Le diamètre intérieur utile de la conduite à tuber.
- La présence d'éléments réduisant la section de passage (branchements pénétrants par exemple)
- La propreté de la conduite à tuber.

Usuellement il est retenu que le diamètre extérieur du tube en PE est égal au maximum à 2/3 du diamètre intérieur du fourreau. D'une manière générale, les dimensions relatives du tube PE et du fourreau sont fonction du débit à assurer et de la perte de charge admissible.

### 3) Réalisation des travaux

Les phases principales sont les suivantes :

- 1- Isolement et nettoyage du tronçon à tuber.
- 2- Passage de l'aiguille du câble de traction.
- 3- Mise en place des protections et introduction du tube PE.



- 4- Réalisation des jonctions. Elles sont réalisées sur un tube libéré des contraintes dues au tirage.

Si les extrémités de la partie tubée doivent être raccordées sur des canalisations en place, autres qu'en Polyéthylène, il est impératif d'installer un dispositif qui compense la dilatation et le retrait du tube PE.

5- Essais.

6- Reprise des branchements.

#### **4) Essais**

Il convient de procéder aux essais de résistance mécanique et d'étanchéité habituels.

#### **b) - Autres techniques de rénovation**

D'autres techniques de rénovation des réseaux mettant en oeuvre des tubes en Polyéthylène sont utilisées pour des canalisations, jusqu'au diamètre 1000.

##### **Sage linier**

Cette technique consiste à insérer dans une conduite en place un tube en Polyéthylène de diamètre temporairement réduit de manière qu'une fois ce tube installé, il reprenne son diamètre initial en se plaquant sur la paroi interne de la canalisation à rénover. C'est parce que le Polyéthylène possède des propriétés bien particulières (viscoélasticité et aptitude au fluage) que cette technique de Swage lining peut être mise en oeuvre : étirement sans modification de ses propriétés mécaniques, chauffage puis refroidissement sans destruction de la structure moléculaire du matériau, puis retour à son état initial.

#### **3) Principe d'exécution**

##### **2.1 .Ce procédé consiste :**

- À réduire préalablement avant l'introduction le diamètre du PE (de 7 à 15%) par un passage en filière conique :
  - à froid pour les diamètres < à 250 mm
  - à chaud à 80°C pour les diamètres < 250 mm ;
- À introduire par tirage avec un effort de traction constant le tube en Polyéthylène dans la canalisation existante pour maintenir cette réduction avec un allongement d'environ 4 % ;
- À relâcher la conduite qui reprend son diamètre initial en moins de 24 heures en se plaquant sur la paroi de l'ancienne conduite.

#### **4) Avantages**

**Pour la conduite rénovée :**

- Pas de vide annulaire,
- Faible réduction de la section de passage,
- Utilisation de tubes PE dont les caractéristiques dimensionnelles sont généralement usuelles,
- Le revêtement interne de la conduite réhabilitée peut-être auto structurant ou ne pas l'être,
- La préparation des tronçons se fait en surface avec soudure classique au miroir.

#### **4) Remplacement place pour place par extraction**

Ce procédé consiste à extraire par tirage les canalisations en fonte grise de diamètre 60 à 150 mm et à les remplacer par des tubes en Polyéthylène de même diamètre ou d'un diamètre nominal supérieur (pouvant aller jusqu'à 250 mm).

#### **6) Principe d'exécution**

La canalisation en fonte grise est extraite par tronçon de 10 à 30 mètres par application d'une force de 30 à 60 tonnes transmise par des câbles et des vérins hydrauliques.

Au fur et à mesure de l'extraction, le tuyau en fonte grise est brisé et la nouvelle conduite en PE est simultanément tractée.

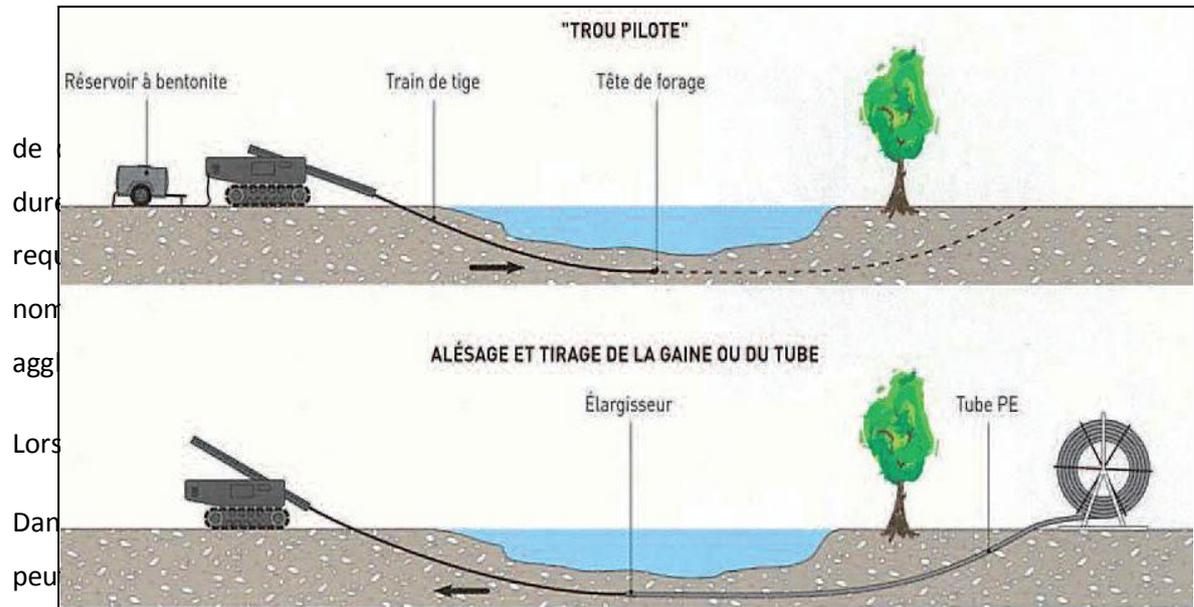
#### **6) Tube PE replié**

Cette technique consiste à insérer dans la conduite à rénover un tube en Polyéthylène plié en forme de U puis « regonflé » de façon à ce que le tube reprenne sa forme initiale en étant plaqué sur la paroi interne de la canalisation en place.

#### **8) Avantages de ces divers procédés**

- Conservation du tracé de la canalisation en service,

- Réduction des nuisances de chantier et par conséquent diminution des gênes occasionnées aux riverains.
- Rapidité de mise en oeuvre en milieu urbain.



1. L'étanchéité d'un réseau dépend initialement de sa conception et de la qualité de sa réalisation
2. L'amélioration et le maintien d'un bon rendement dépendent notamment de son équipement (quantité, qualité)
3. Le maintien d'un bon rendement représente un travail quotidien de suivi et régulier d'intervention (localisation)
4. L'amélioration du rendement dépend de la nature du matériau
5. Dans la deuxième partie nous nous sommes intéressés au comportement mécanique des matériaux utilisés

🚧 L'étude du comportement en traction a mis en évidence que les PEHD, ayant un comportement assez semblable en traction, peuvent se comporter très différemment quant ils sont rechargés.

🚧 A partir du diagnostic du réseau et à la base de donnée des statistiques on peut faire :

- ❖ Renouvellement des parties critiques de réseau.
- ❖ Créer les cahiers des charges des travaux d'extensions des réseaux.
- ❖ Déterminer le meilleur type de matériau (PEHD).
- ❖ Améliorer les techniques de gestions.

❖ Améliorer les techniques de maintenance

Plusieurs voies de recherche seront intéressantes pour de travaux ultérieurs :

1. L'analyse microstructurale sur des fibres PE HD pour vérifier leurs comportements en fonction de la concentration en noir de carbone et Pour aller plus loin, il faudrait analyser par traitement d'image au cours de la sollicitation en traction, pour observer les étapes du processus de rupture *in situ*.