

## Introduction

Le choix des matériaux pour la construction de canalisations est un enjeu majeur, car il influence directement la durabilité et la performance des réseaux. Le besoin de matériaux résistants à la corrosion a conduit au développement de nombreux matériaux qui n'existaient pas auparavant. La relation entre corrosion et matériaux est évidente, la majorité des problèmes de corrosion étant liés à un choix inadapté du matériau.

Dans le processus de sélection des canalisations, plusieurs critères doivent être pris en compte. Outre la résistance à la corrosion, les propriétés mécaniques, les possibilités de mise en œuvre, le coût et la disponibilité des matériaux jouent un rôle déterminant.

Ce chapitre présente les principales caractéristiques des canalisations, leur fabrication, leur stockage et leur transport, ainsi qu'une revue des différents types de tuyaux les plus utilisés : tuyaux en fonte, en acier, en PEHD, en PVC, en béton et en PRV. Chaque matériau possède des propriétés spécifiques qui le rendent plus ou moins adapté à certaines applications et conditions d'exploitation.

## 1. CLASSIFICATION

Dans le domaine hydraulique, on utilise principalement six types de matériaux pour les conduites : la fonte ductile, l'acier, le béton armé, le PVC, le PEHD et le PRV. Les conduites peuvent être classées selon différents critères :

### 1.1. Selon la souplesse (rigidité)

- Conduites rigides (béton armé)
- Conduites souples (PVC, PRV, fonte, acier, PEHD)

### 1.2. Selon la mise en service

- Conduites enterrées
- Conduites superficielles

### 1.3. Selon le matériau

- Métalliques (fonte, acier)
- Non métalliques :
  - ✓ À base de ciment (béton armé)
  - ✓ Plastiques (PVC, PRV, PEHD)

## 2. CRITERES DE CHOIX

Le choix d'un matériau pour une canalisation doit prendre en compte plusieurs facteurs :

- Les conditions topographiques du terrain (type de relief, instabilité du sol, encombrement du sous-sol)

- Les propriétés mécaniques des tuyaux et du sol, afin d’assurer la stabilité de l’ensemble tuyau/sol
- La capacité d’écoulement hydraulique (diamètre, pente, vitesse, coefficient de rugosité, propriétés physico-chimiques du fluide transporté)
- L’érosion et la corrosion, qu’elles soient physico-chimiques ou biologiques
- Les conditions d’installation et de raccordement sur chantier.

### 3. TYPES DE CANALISATIONS

Les conduites se distinguent par leur matériau. On distingue ainsi :

#### 3.1. Matériaux métalliques

##### 3.1.1. Acier

On commercialise environ cinquante-huit (58) nuances d’acier. On distingue trois principales familles :

- **Aciers au carbone** : usage général
- **Aciers faiblement alliés** : haute résistance
- **Aciers fortement alliés** : usages particuliers

##### 3.1.1.1. Caractéristiques

Les tubes en acier sont obtenus :

- soit par laminage à chaud à partir d’un bloc de métal roulé (jusqu’à 400 mm de diamètre),
- soit à partir de tôles roulées et soudées longitudinalement ou en hélice par arc électrique.

Ils sont généralement revêtus :

- **Intérieurement** : mortier de ciment
- **Extérieurement** : divers revêtements de protection

Longueurs : 6 à 14 m

Épaisseur : 3 à 9 mm

Les tubes en acier sont plus souples que ceux en fonte et s’adaptent aux irrégularités du lit des tranchées. Ils ne nécessitent donc pas obligatoirement de joints comme les tuyaux en fonte.

##### 3.1.1.2. Vulnérabilité

Les conduites en acier sont sensibles à la corrosion, notamment au niveau :

- des raccords
- des soudures mal exécutées

La rupture reste rare. Un revêtement adéquat, associé à une protection cathodique bien dimensionnée, assure une longue durée de vie de la conduite.

### 3.1.1.3. Caractéristiques hydrauliques

Les caractéristiques hydrauliques d'un tube en acier dépendent de son revêtement intérieur, généralement en mortier de ciment. Dans la pratique, le coefficient de rugosité est pris comme  $K = 0,1 \text{ mm}$  (Figure 1).



**Figure 1** : Tuyaux en acier

### 3.1.2. Fonte

La fonte est un matériau métallique ferreux très utilisé, contenant entre 2 et 4 % de carbone. Les conduites en fonte sont généralement assez fragiles, peu ductiles et difficilement soudables.

#### 3.1.2.1. Fonte grise

Aussi appelée **fonte à graphite lamellaire (FGL)**, la fonte grise est la plus couramment utilisée pour le moulage. Elle constitue le matériau de référence pour les conduites enterrées, capables de transporter tous types d'eau.

#### 3.1.2.2. Caractéristiques

La fonte semble être le matériau le mieux adapté pour les conduites enterrées. Sa longévité et sa robustesse en font un choix privilégié. Cependant, en raison de sa fragilité, les tuyaux en fonte doivent être manipulés avec précaution.

La fonte utilisée pour les canalisations n'est pas une fonte brute de haut fourneau. Après sa sortie du fourneau, elle est dirigée vers des convertisseurs où elle est déphosphorée et décarburée. Elle est ensuite affinée et sa composition finale est corrigée dans des mélangeurs.

#### 3.1.2.3. Vulnérabilité

La rigidité de la fonte limite sa résistance aux grandes tensions. Elle est donc très sensible aux mouvements de terrain (la conduite travaille en flexion) ainsi qu'aux charges concentrées et aux appuis pointus.

Sa résistance aux chocs est faible, mais elle présente une bonne résistance à la corrosion. À noter que les ruptures dans les conduites en fonte sont toujours transversales.

### 3.1.2.4. Caractéristiques hydrauliques

Les propriétés hydrauliques des tuyaux en fonte dépendent de leur revêtement intérieur, généralement en mortier de ciment. Dans la pratique, les pertes de charge sont calculées en utilisant un coefficient de rugosité  $K = 0,1 \text{ mm}$  (Figure 2).



Figure 2 : Tuyau en fonte

### 3.1.3 Fonte ductile

La fonte ductile, également appelée **fonte à graphite sphéroïdal (FGS)**, est le matériau qui succède immédiatement à la fonte grise (FGL) en termes d'utilisation. L'introduction d'une faible quantité de magnésium dans la fonte grise avant le moulage permet d'éliminer presque tous les risques de rupture.

Ces matériaux présentent des propriétés mécaniques exceptionnelles : ils peuvent supporter des déformations importantes et possèdent une aptitude remarquable à l'étirement avant rupture.

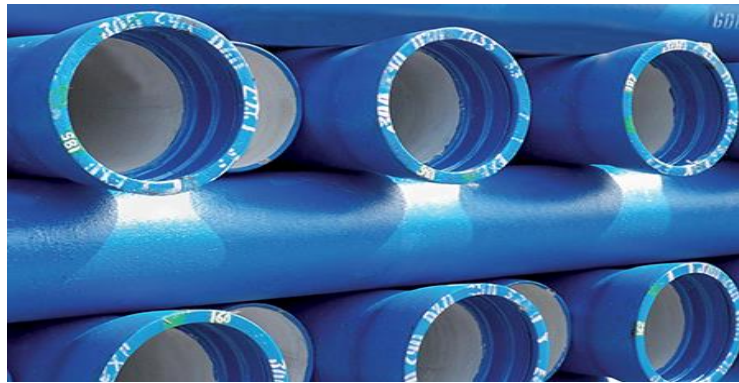
#### 3.1.3.1. Caractéristiques

La fonte ductile a été conçue pour avoir une souplesse proche de celle de l'acier, une grande robustesse, et une bonne résistance aux surcharges et à la corrosion. Elle résiste également mieux à la flexion.

- **Résistance à la traction** : environ 420 MPa
- Lors de la coulée, l'addition de magnésium fait cristalliser le graphite sous forme sphérique, au lieu de lamelles aplaties, ce qui améliore considérablement la résistance mécanique.

#### 3.1.3.2. Vulnérabilité

- Une **mauvaise protection cathodique** peut entraîner des perforations dans la canalisation.
- Les **surpressions**, telles que les coups de bélier, peuvent provoquer des cassures longitudinales et le déboîtement des tuyaux, ainsi que l'aspiration des joints en cas de dépression (Figure 3).



**Figure 3** : Tuyau en fonte ductile

### 3.1.4. Matériaux à base de ciment

#### 3.1.4.1. Béton

Les tuyaux en béton, précontraint ou non, avec ou sans âme en tôle, se répartissent en trois catégories principales :

- Tuyaux avec âme en tôle, avec ou sans précontrainte circonférentielle
- Tuyaux en béton précontraint Frette Béton (FB)
- Tuyaux en béton monolithique

#### 3.1.4.2. Caractéristiques

Les tuyaux en béton armé sont fabriqués en coulant du béton dans un moule centrifugé ou vibré. Ils peuvent être :

- Sans armatures, où
- Armés en acier rond ou en tôle

Ils sont principalement utilisés pour l'adduction d'eau, souvent sous faibles pressions. Ces tuyaux résistent bien aux surcharges et aux attaques corrosives.

#### 3.1.4.3. Vulnérabilité

Les tuyaux en béton présentent généralement :

- Des fissures au niveau des joints
- Une grande sensibilité aux mouvements de terrain et aux charges concentrées
- Une faible résistance aux chocs brutaux

En règle générale, les tuyaux rigides (béton, acier, fonte) partagent des vulnérabilités similaires.

#### 3.1.4.4. Caractéristiques hydrauliques

Les tuyaux en béton offrent de bonnes qualités d'écoulement, similaires à celles des tuyaux en fonte et en acier avec revêtement en ciment. Dans la pratique, on adopte un coefficient de rugosité  $K = 0,1 \text{ mm}$  (Figure 4).



**Figure 4 :** Tuyaux en Béton

### **3.1.5. Matériaux organiques**

#### **3.1.5.1. PVC**

Le polychlorure de vinyle (PVC) est un polymère thermoplastique largement utilisé pour la fabrication de conduites. La matière de base utilisée est la résine de PVC non plastifiée (PVC-U), à laquelle sont ajoutés des additifs spécifiques. Ces additifs ne doivent présenter aucun risque toxique, organoleptique, ou microbiologique.

Ils ne doivent pas non plus affecter la résistance mécanique à long terme des tuyaux.

#### **3.1.5.2. Caractéristiques**

##### **3.1.5.3. Vulnérabilité**

Les conduites en PVC présentent généralement :

- Des ruptures longitudinales ou des écrasements localisés
- Une sensibilité aux surpressions, comme les coups de bélier.
- Une sensibilité aux surcharges, en particulier lorsque la conduite est vide
- Une agression chimique possible due à la colle utilisée pour les raccordements.

##### **3.1.5.4. Caractéristiques hydrauliques**

Le faible poids du PVC facilite la manipulation et l'installation. La rugosité intérieure est faible, de l'ordre de 0,01 mm pour des tuyaux neufs, ce qui permet un écoulement hydraulique efficace.



**Figure 5 :** Tuyau en PVC

### 3.1.6. Polyéthylène (PE)

#### 3.1.6.1. Caractéristiques

Les conduites en polyéthylène se subdivisent en :

- PEHD : polyéthylène haute densité
- PEBD : polyéthylène basse densité

Les tubes doivent présenter des surfaces intérieures et extérieures propres et lisses, exemptes de tout défaut pouvant nuire à leur qualité, tels que rayures, piqûres formées par des bulles, grains, criques et soufflures. La couleur des tubes doit être homogène, à l'exception des bandes de repérage éventuelles. En pratique, les tubes sont généralement noirs avec des filets de repérage longitudinaux bleus coextrudés sur la paroi externe.

Chaque tube doit porter un marquage indélébile au minimum tous les mètres, indiquant :

- La norme et l'application
- La marque ou le sigle du fabricant, ou un signe permettant l'identification
- La classification du PE : PE 80 ou PE 100
- Les dimensions nominales : diamètre extérieur × épaisseur (en mm)
- La pression nominale
- La date de fabrication
- Le numéro du lot de fabrication

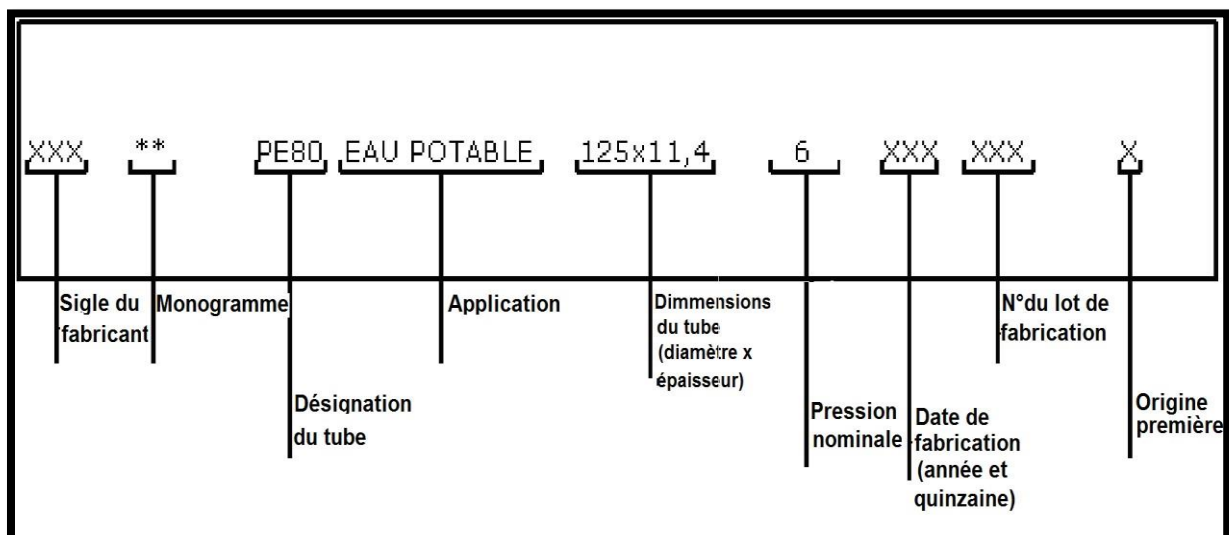


Figure 6 : Marquage de conduites

#### 3.1.6.2. Vulnérabilité

Les conduites en polyéthylène présentent plusieurs sensibilités :

- Sensibles aux surcharges et aux appuis pointus
- Les huiles et graisses peuvent provoquer un gonflement de la conduite
- Les petites fissures et perforations tendent à se propager rapidement

- Les conduites en PE sont perméables aux essences, benzènes, solvants, hydrocarbures chlorés et substances similaires, ce qui peut altérer la qualité de l'eau

### 3.1.6.3. Caractéristiques hydrauliques et physiques

Pour les tuyaux en PEHD neufs, les pertes de charge sont calculées en adoptant un coefficient de rugosité  $K = 0,01$  mm.

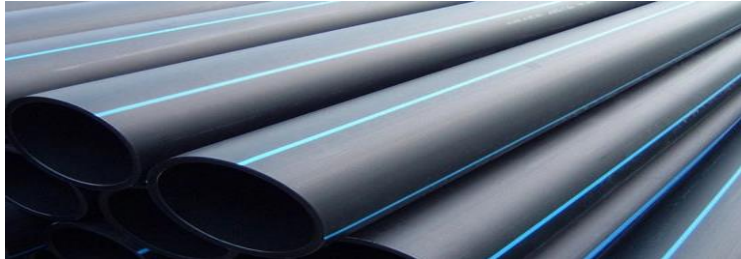


Figure 7 : Tuyaux en PEHD

### 3.1.7. Plastique renforcé de fibre de verre (PRV)

#### 3.1.7.1. Caractéristiques

Les conduites en plastique renforcé de fibre de verre (PRV) sont conçues pour améliorer la résistance des tuyaux et leur permettre de supporter des pressions plus élevées.

Elles possèdent une structure en sandwich, composée de couches superposées :

- **Résine polyester** : agit comme liant
- **Fibres de verre** : assurent le renforcement ou l'armature
- **Sable siliceux** : sert de remplissage

Les diamètres nominaux vont de DN 200 à DN 2400. Ces conduites sont principalement utilisées pour le transport de l'eau, qu'elle soit brute ou potable, sur de longues distances.

La paroi du tuyau PRV se compose de trois couches parfaitement adhérentes entre elles, chacune ayant des caractéristiques spécifiques liées à sa fonction :

- Revêtement interne
- Couche mécaniquement résistante
- Couche externe

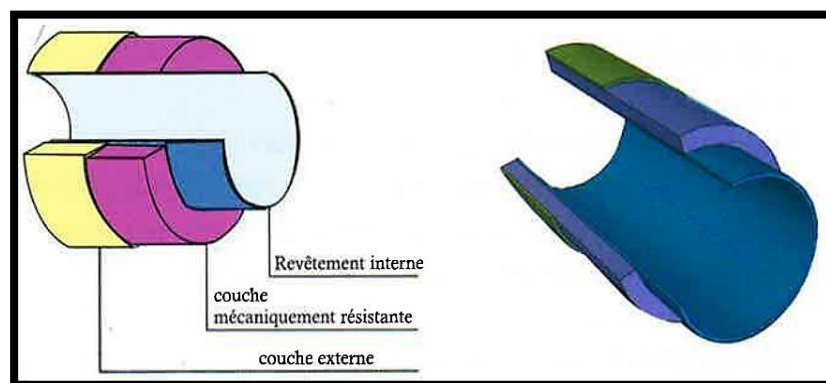


Figure 8 : Les différentes couches du tuyau PRV

### 3.1.7.2. Vulnérabilité

Les conduites PRV présentent certaines sensibilités :

- Sensibles aux surcharges et aux sollicitations concentrées
- Contrairement aux conduites métalliques, elles ne sont pas attaquées par la corrosion

### 3.1.7.3. Caractéristiques hydrauliques

- Le faible poids des tuyaux PRV facilite leur manipulation et installation
- Les éléments de tuyaux peuvent être très longs, ce qui réduit le nombre de raccords nécessaires
- La rugosité intérieure est faible, de l'ordre de 0,01 mm pour des tuyaux neufs (Figure 9), assurant un écoulement hydraulique efficace



**Figure 9** : Tuyau en PRV

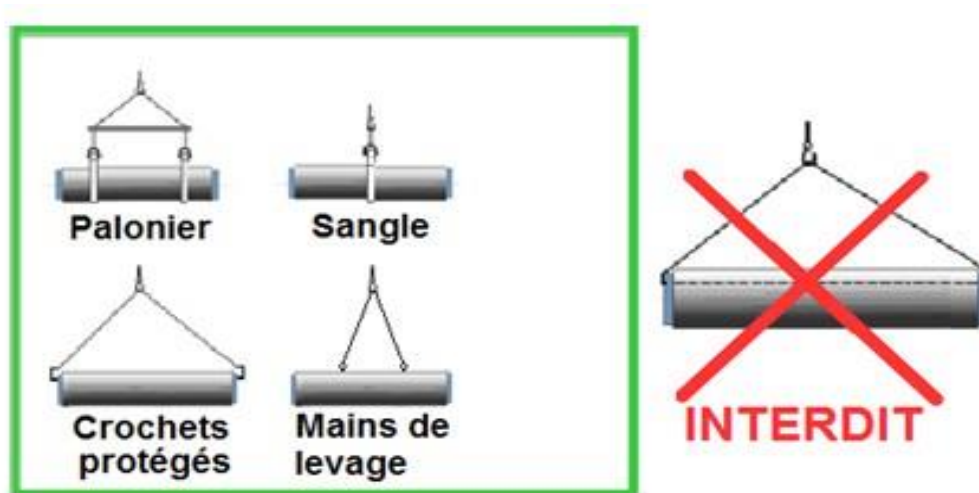
## 4. Recommandations

### 4.1. Manutention

Lors des opérations de manutention, il est essentiel d'éviter tout choc préjudiciable aux revêtements des tuyaux. En particulier :

- Ne pas faire rouler les tuyaux revêtus sur des cailloux ou des surfaces non préparées
- Pour le chargement et le déchargement, utiliser des engins de levage de puissance suffisante
- Les opérations doivent être effectuées avec prudence, en évitant les chocs brutaux, surtout pour les canalisations rigides (fonte, acier, béton)
- Veiller à ne pas endommager les revêtements

Il est interdit de soulever ou de déplacer les tuyaux à l'aide de câbles, chaînes ou tout moyen susceptible de les endommager (Figure 10).



**Figure 10 :** Matériels de levages autorisés pour les tuyaux

## 4.2. Transport

Pour un transport sûr des conduites :

- Les camions découverts doivent être adaptés au transport de tuyaux et équipés d’engins mécaniques appropriés.
- Les montants des camions ou wagons (chemin de fer) et les éventuels intercalaires en bois doivent être matelassés pour protéger les tuyaux.
- Les lits de tubes revêtus peuvent être isolés les uns des autres par des matelas ou anneaux adaptés.
- Éviter le porte-à-faux lors du transport.
- Concevoir des berceaux adaptés sur les remorques de transport.
- Éviter l’empilement des conduites, surtout pour celles qui sont lourdes.

## 4.3. Stockage

Pour un stockage sécurisé des conduites :

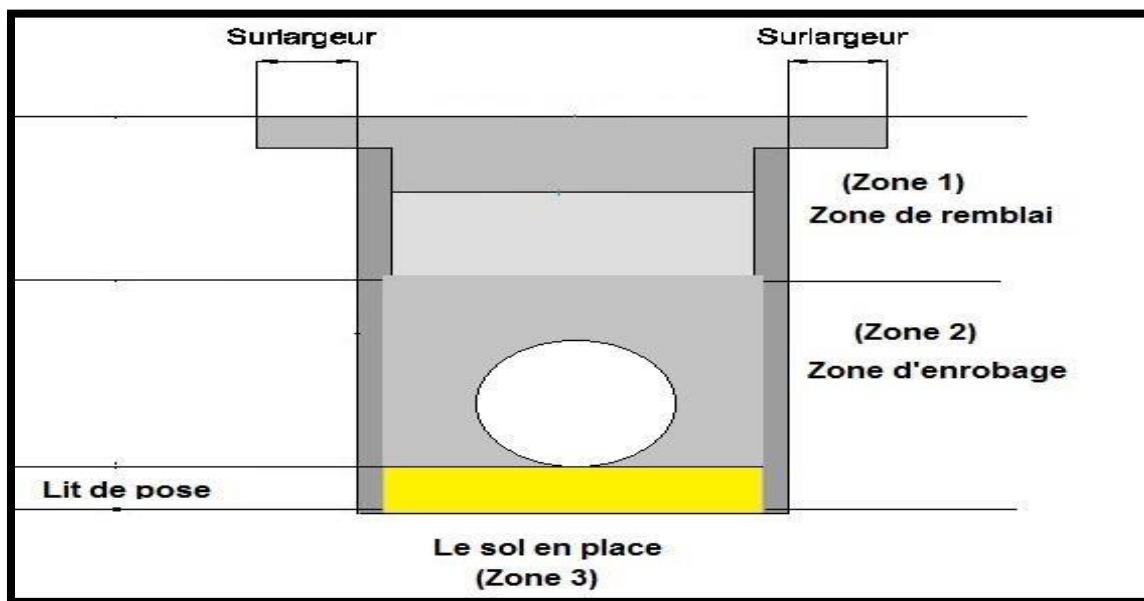
- L’aire de stockage doit être stabilisée, compactée, non inondable et libérée de tout matériau préjudiciable.
- Poser les tuyaux sur des madriers pour éviter tout contact direct avec le sol.
- Rapprocher les appuis pour éviter le fléchissement sous le poids propre des tuyaux.
- Stocker à l’abri couvert, en particulier pour les conduites en acier, afin de protéger les revêtements.

## 4.4. Pose

Avant la pose des conduites, les directives suivantes doivent être respectées :

1. Vérifier l’état des revêtements intérieur et extérieur.

2. Utiliser un engin de levage de puissance et dimensions suffisantes.
3. Les tubes doivent reposer sur des cales en bois à bords arrondis ou, de préférence, sur des sacs de sable.
4. Préparer soigneusement le lit de pose, en éliminant cailloux, appuis pointus et irrégularités.
5. Prévoir un lit de sable d'au moins 10 cm d'épaisseur.
6. Ne jamais laisser tomber la conduite dans la tranchée.
7. Pour les conduites en PVC et PEHD, prévoir des sinuosités pour absorber dilatation et rétrécissement.
8. Remblayer jusqu'à 15 cm au-dessus de la conduite avec de la terre fine.
9. Éviter de poser les conduites en zones à fort trafic et veiller à ce que les tranchées ne dépassent pas 2 m de profondeur pour les tuyaux en PVC et PEHD.
10. Éviter la pose sur des terrains pollués, surtout pour les conduites en PE.



**Figure 11** : Technique de pose des conduites

## 5. Remblai

Dans le remblai, on distingue trois zones principales :

1. Zone de remblai proprement dite (zone 1)
2. Zone d'enrobage (zone 2), constituée de :
  - Le lit de pose
  - L'assise
  - Le remblai latéral

Le remblai initial doit avoir une hauteur minimale de 0,10 m au-dessus du collet et 0,15 m au-dessus de la génératrice supérieure.

### **5.1. Exécution de la zone d'enrobage (zone 2)**

L'assise et les remblais de protection doivent être réalisés avec des matériaux agréés par le maître d'œuvre, compatibles avec les caractéristiques des tuyaux (sable, gravier, tout-venant, etc.).

- L'étude géotechnique précisera si les matériaux extraits peuvent être réutilisés.
- L'entrepreneur doit respecter les conditions de retrait du blindage fixées dans le cahier des charges.

### **5.2. Exécution du lit de pose**

Le lit de pose varie selon le type de terrain :

- Terrain sans eau : couche de sable de concassage. Exceptionnellement, et selon les disponibilités locales, le sable de mer peut être autorisé par le maître d'ouvrage.
- Terrain avec eau : couche de gravillon.
- Terrain rocheux à forte pente : couche de gravillon, avec ou sans eau.
- Terrain sablonneux : aucun lit de pose n'est mis en œuvre.

### **5.3. Exécution de l'assise**

Sauf cas particuliers indiqués dans le cahier des charges :

- Au-dessus du lit de pose et jusqu'à la hauteur de l'axe de la canalisation, le matériau de remblai est tassé sous les flancs de la conduite et compacté pour éviter tout mouvement et assurer l'assise prévue.

### **5.4. Exécution du remblai**

En terrain libre ou en culture :

- Le remblai est réalisé à l'aide d'engins mécaniques, avec des déblais répandus par couches successives et régulières, légèrement damées.
- Le sol du remblai peut provenir des matériaux extraits des déblais, sélectionnés et tamisés (granulométrie < 100 mm), arrosés et compactés par couche de 30 cm maximum.
- Un merlon de 15 cm doit être placé au-dessus de la tranchée.
- La réutilisation de ces matériaux doit être approuvée par le maître d'ouvrage.
- Les matériaux extraits feront l'objet d'essais en laboratoire pour vérifier leur aptitude comme matériaux de remblai.

### **5.5. Remblais sous voirie et rétablissement provisoire des chaussées et trottoirs**

Lorsque la canalisation est placée sous voirie :

- Le remblai peut être réalisé avec les matériaux de déblais si l'étude géotechnique le permet.
- Ces matériaux sont répartis par couches successives, régulières et compactées pour garantir la stabilité.

### **6. Conclusion**

Le choix des matériaux pour les canalisations dépend principalement des conditions d'utilisation et nécessite une étude approfondie des facteurs qui influencent l'état de la conduite pendant son service, ainsi que des caractéristiques propres à chaque matériau.

Du point de vue technico-économique, le matériau idéal est celui qui assure à la fois durabilité, résistance mécanique et compatibilité avec l'environnement. Les praticiens ont montré que la majorité des fuites observées sont dues à des erreurs de pose, notamment pour les conduites en matière plastique, dont les techniques d'installation et d'exploitation ne sont pas toujours maîtrisées.

Par ailleurs, bien que les caractéristiques du sol soient systématiquement prises en compte dans les études, leur utilisation effective lors de la mise en œuvre reste souvent limitée, ce qui peut compromettre la performance et la durabilité des canalisations.