

Matériaux constitutifs et revêtements

Boukli Hacène C.

Les tuyaux peuvent être constitués d'un matériau unique ou présenter une structure composite :

- **matériau unique** : il s'agit des fontes et en particulier de la fonte ductile, le poly(chlorure de vinyle) (PVC), le polyéthylène (PE), l'acier et certains bétons non armés. Le plomb est interdit. Dans les réseaux intérieurs, on trouve du cuivre, du métal galvanisé, du PVC ;
- **matériau composite** : le principal est le béton à âme tôle ; il faut également mentionner le polyester renforcé verre (PRV). Les tuyaux en amiante-ciment sont à présent interdits à la pose, et divers tuyaux en PVC renforcé fibre de verre comme le VP ne sont plus produits.

Les tuyaux en matériau unique sont en fait très souvent revêtus intérieurement, voire intérieurement et extérieurement. Les revêtements intérieurs actuels sont à base de ciment ou de résine époxy. À l'extérieur, on trouve souvent des peintures bitumineuses ou époxy.

Raccordements, diamètres, longueurs

On peut également classer les tuyaux en fonction des types de raccordement utilisés selon trois grandes familles.

- **Raccordement par emboîtement** : il y a en général alors un joint assurant l'étanchéité. Les tuyaux en fonte, PVC, béton à âme tôle, PRV sont de ce type. Ces raccordements impliquent presque toujours une surépaisseur par rapport au diamètre extérieur du tuyau ; les techniques de pose par fonçage ou forage ne sont alors pas toujours possibles.
- **Raccordement par soudure** : ces techniques sont réservées aux polyéthylènes (électrosoudages par manchon ou « au miroir »), à l'acier et, parfois, à la partie acier des bétons à âme tôle. En raison de la surépaisseur du manchon, le PE soudé de cette façon se prête mal également aux forages et fonçages.
- **Raccordement par collage** : le PVC en petits diamètres peut également être assemblé par collage. Les tuyaux se présentent le plus souvent en longueurs droites de 6 m, sauf pour les PE qui se présentent en tourets de plusieurs centaines de mètres selon le diamètre. Cette dernière présentation facilite leur utilisation en fonçage ou forage pour les diamètres de 100 à 400 mm.

Tuyaux en fonte

Depuis la fin du XIX e siècle, la fonte a été sans doute un des premiers matériaux de canalisations et un des plus répandus dans le monde pour véhiculer l'eau de distribution publique.

Différents types de **fonte grise** se sont succédés avec des conduites coulées ou centrifugées, dont beaucoup sont encore en service (leur longévité peut dépasser 100 ans). Leur inconvénient principal réside dans leur fragilité vis-à-vis des mouvements de terrain, des coups de bélier et des surcharges occasionnées par les transports routiers dans les voies où elles sont posées. En effet, dans la fonte « grise », le carbone se présentait sous forme de lamelles qui rendaient le matériau cassant (figure 1) .



Figure 01: fonte grise à paillettes de carbone

La **fonte ductile** constitue le matériau moderne actuel ; elle élimine totalement les défauts de la fonte grise. Les particules de graphite y apparaissent comme de petites sphères qui éliminent tout risque de propagation des ruptures (**Figure 02**).

Le matériau n'est plus fragile, mais « ductile » et résistant. La cristallisation du graphite sous forme de sphères est due à l'introduction de magnésium dans une fonte de base de haute qualité.



Figure 02: fonte ductile à graphite sphéroïdal

Différents types de pressions admissibles sont définies par les normes:

— PFA, **pression de fonctionnement admissible** , est la pression interne en régime permanent. Cette pression varie en fonction du diamètre de la conduite et des pièces de raccordement utilisées, de

16 à 64 bar ;

— PMA, **pression maximale admissible** , est la pression supportable de façon sûre en service, y compris le coup de bélier (= 1,2 PFA) ;

— PEA, **pression d'épreuve admissible** , est la pression hydrostatique maximale supportable par un composant nouvellement mis en œuvre pendant un temps relativement court :

$PEA = PMA + 5 \text{ bar en général}$

$PEA = 1,5 \text{ PFA si PFA} = 64 \text{ bar}$

Il ne faut pas confondre ces pressions avec les pressions d'éclatement mesurées par les fabricants . En effet, les pressions d'éclatement mesurées sont en général entre 5 et 8 fois supérieures à la PFA.

Les conduites reçoivent un revêtement interne au mortier de ciment appliqué par centrifugation.

La centrifugation permet actuellement d'obtenir une épaisseur plus constante et une surface plus lisse. On diminue donc les pertes de charges et on limite les dépôts.

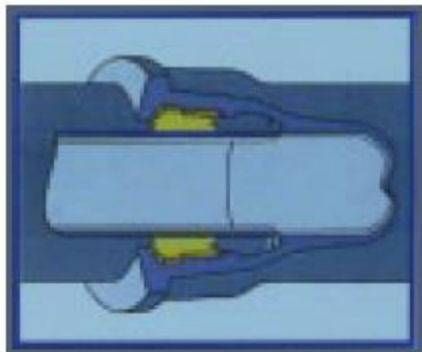
Le revêtement au mortier de ciment n'agit pas que comme une simple barrière physique, il protège la fonte par mécanisme de passivation. Les divers types de gonflement du ciment par l'eau permettent également une autoréparation des éventuelles petites fissures dues au transport, etc.

Dans certains cas d'eaux très agressives, on peut employer un mortier de ciment alumineux. Les raccords et pièces spéciales sont revêtus de peinture bitumineuse ou époxy.

Extérieurement, les conduites en fonte doivent être protégées par une fine couche de zinc projetée d'au moins 130 g/m². Certains fournisseurs améliorent la fiabilité de leurs tuyaux en augmentant cette couche jusqu'à 200 g/m². Le principe de protection est de type actif, par action galvanique du couple fer-zinc. Une protection passive, contre les chocs..., est ensuite obtenue grâce à un enrobage par peinture bitumineuse.

Les longueurs de tuyaux sont assemblées par des joints non verrouillés, verrouillés ou à brides. Les joints verrouillés permettent une autobutée des canalisations, évitant des massifs en béton lourds, encombrants et longs à réaliser. Les joints les plus couramment utilisés sont (figure 3) :

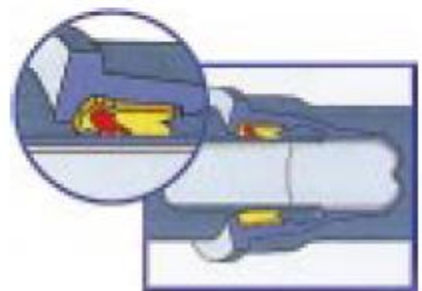
- le joint express (verrouillé ou non) ;
- le joint standard (verrouillé ou non) ;
- les joints automatiques verrouillés ;
- le joint à brides (fixe ou orientable).



(a) joint standard DN 60 à 2000



(b) joint express DN 60 à 1000

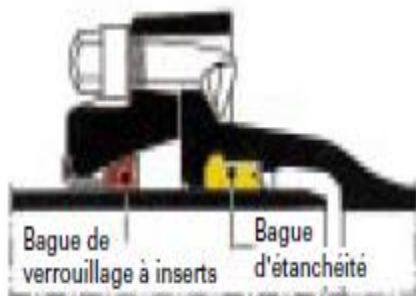


(c) joint standard VI DN 60 à 300

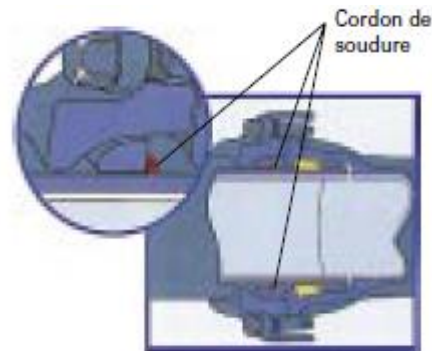
(d) joint universal standard Vi
DN 350 à 600



(e) joint express Vi DN 60 à 300



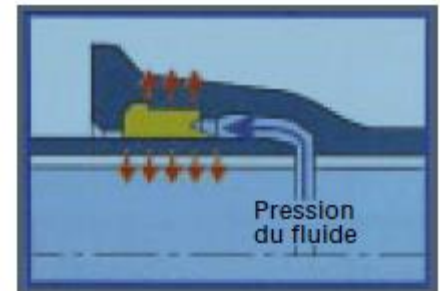
(f) joint standard Vi DN 350 à 600



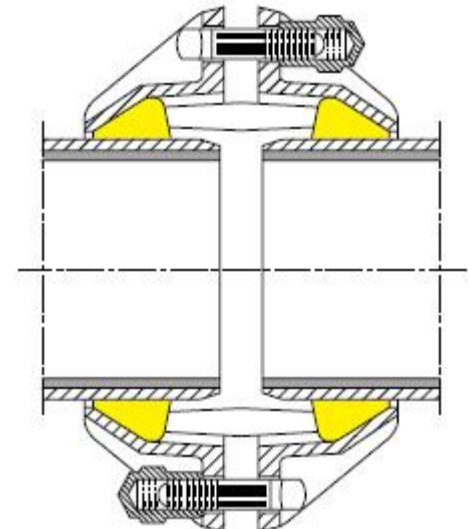
(g) joint automatique verrouillé à
cordon de soudure



(h) joint à brides (rondelle à
inserts métalliques)
au-delà de Ø 700 mm,
on utilise des brides fixes



(i) action de la pression du fluide
sur la bague de joint



(j) joint GGS

Figure 03: Différents types de joints

Les diamètres courants vont de 60 à 1 200 mm, la gamme de 80 à 600 mm étant la plus utilisée pour les réseaux d'eau potable.

Cependant des diamètres allant jusqu'à 2 000 mm peuvent être fournis.

Les pièces spéciales comprennent les coudes, tés, cônes, manchons droits, bouts d'extrémité, plaques pleines, etc.

Tuyaux en acier

L'acier se prête à la fabrication de conduites de très grand diamètre (3 000 mm et plus). Il résiste bien aux efforts de flexion.

Les bons tuyaux en acier reçoivent également un revêtement intérieur en mortier de ciment centrifugé, conforme pour l'eau potable.

Dans certains cas particuliers, on peut remplacer ce revêtement par des mortiers synthétiques, en résines époxy... à condition que les matériaux soient de qualité alimentaire.

Extérieurement, les meilleurs tubes actuels (figure 04) reçoivent un revêtement tricouche :

- une couche de résine époxy appliquée par poudrage électrostatique ;
- un adhésif copolymère appliqué par extrusion ;
- une troisième couche en polyéthylène également appliqué par extrusion

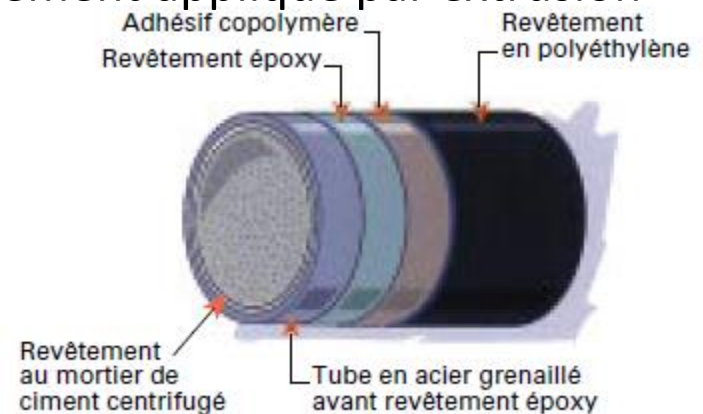


Figure 04: Tuyau en acier : constitution

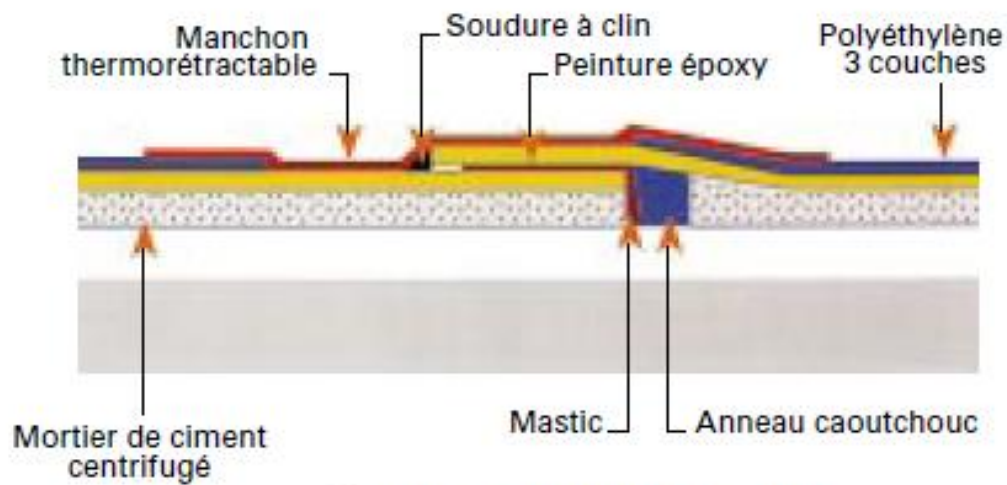
Certains terrains imposent des revêtements particuliers en polypropylène, résine époxy ou bitumineux.

Par ailleurs, certaines contraintes de pose ou de terrain conduisent à utiliser des tuyaux avec un revêtement externe de mortier de ciment armé de fibres plastiques, dit revêtement antiroche.

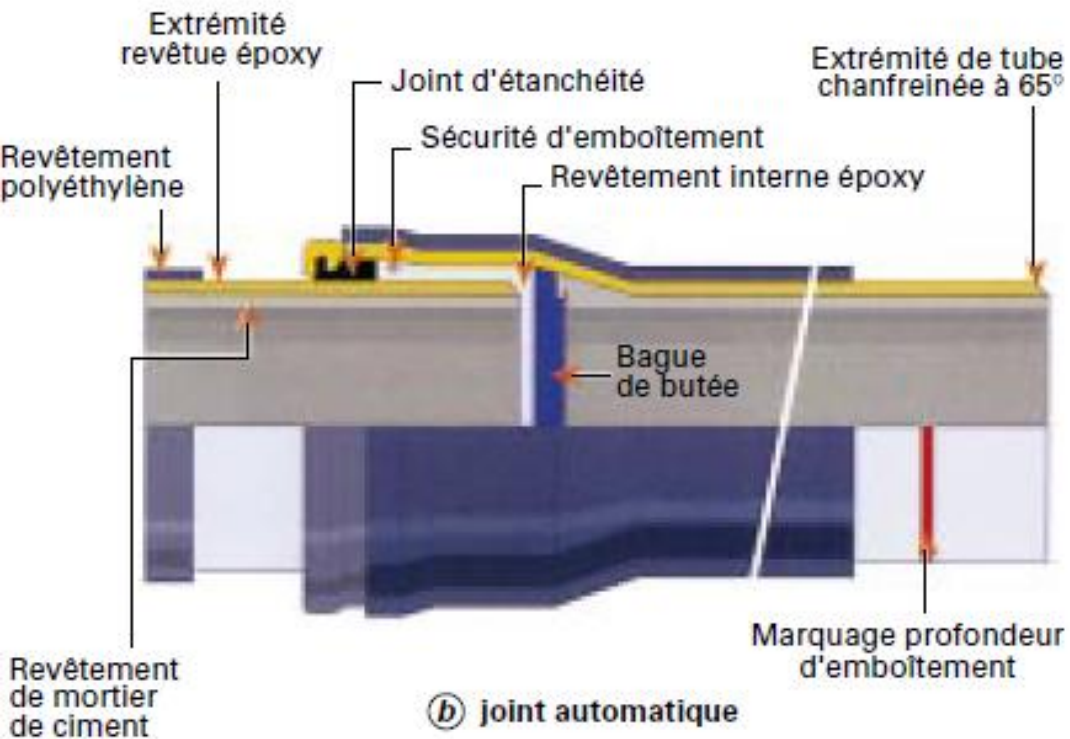
Les assemblages se font avec ou sans soudure.

Assemblage avec soudure (figure 05) :

- joint à emboîtement avec mastic de qualité alimentaire à l'intérieur, entre l'anneau de caoutchouc de la tulipe et l'extrémité mâle de l'autre tuyau, et soudure extérieure ;
- soudure bout à bout pour les diamètres supérieurs à 450 mm, ce qui nécessite de reconstituer le revêtement intérieur au droit de la soudure.



(a) joint à emboîtement et soudure



(b) joint automatique

Figure 05: Joints avec soudure pour canalisations en acier

Assemblage sans soudure (figure 06) :

- joint automatique à emboîtement jusqu'au diamètre 300 mm ;
- joints de type mécanique à assemblage par brides, manchons d'accouplement, etc.

Dans certains terrains et/ou selon l'environnement, il faut protéger les conduites – particulièrement celles en acier carboné – contre les courants électriques. On utilise alors les techniques de **protection cathodique (figure 07)**

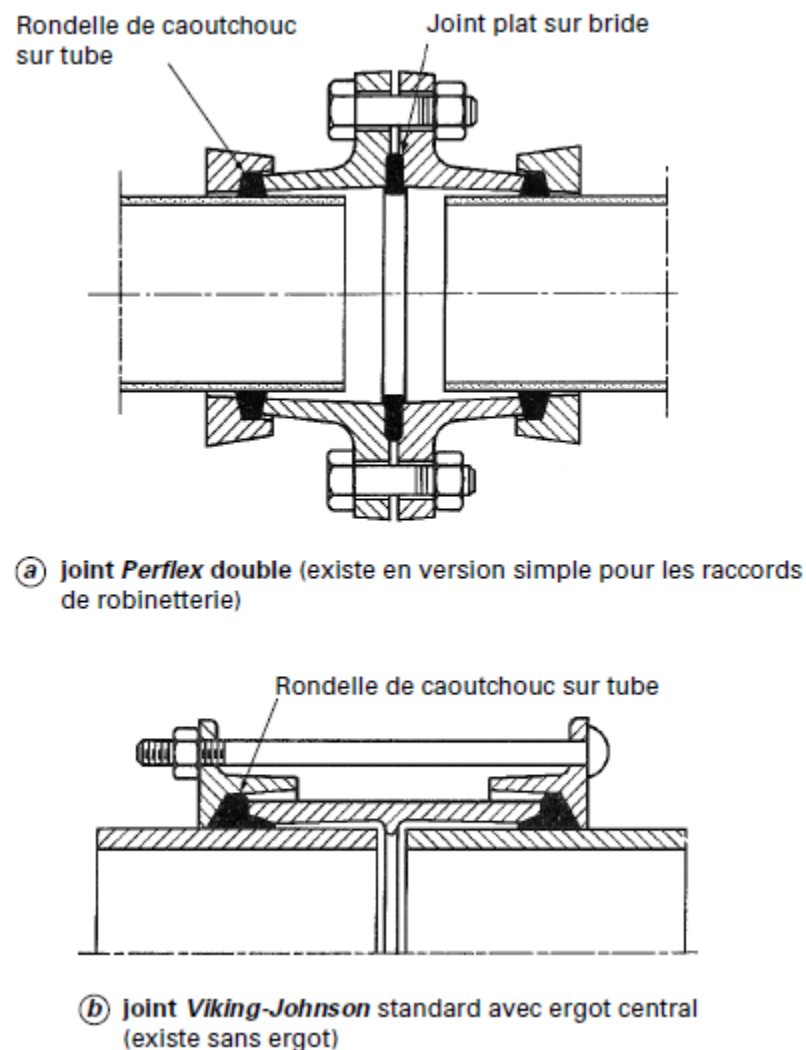


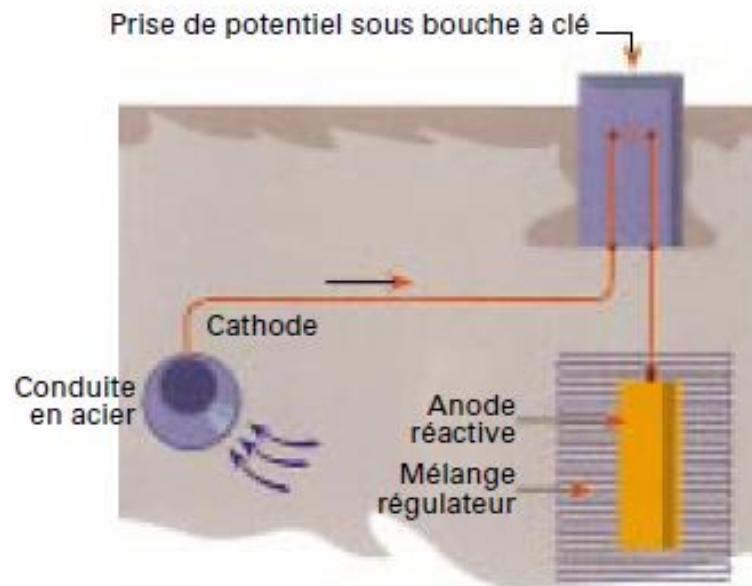
Figure 06: Joints mécaniques pour canalisations en acier

- **anode réactive (ou sacrificielle) : on constitue une pile dont la force électromotrice soit telle que l'acier y agisse comme cathode ; l'anode sera alors à base d'aluminium, de magnésium ou de zinc ;**
- **soutirage de courant : on relie la conduite au pôle négatif d'une source de courant continu ; le pôle positif est relié à une masse métallique enterrée sacrifiée. Dans le cas des courants vagabonds, générés par des rails par exemple, on peut drainer le courant et le soutirer si nécessaire.**

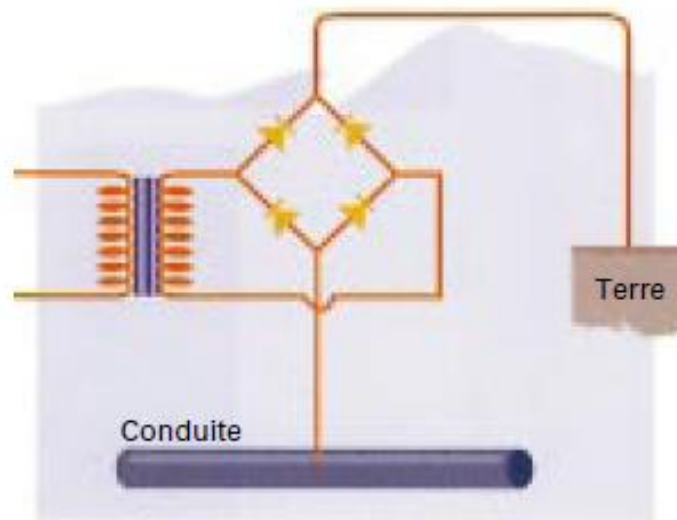
Il existe aussi une norme concernant la « protection électrochimique contre la corrosion », précisant les protections passives (divers revêtements) et la protection active ou « protection cathodique ».

Dans les terrains agressifs, une protection cathodique s'impose , elle ajoute ses effets à ceux des revêtements. Des techniques appropriées sont utilisées pour éviter la détérioration des revêtements lors des soudures qui, elles-mêmes, doivent recevoir une protection après coup.

Des pièces spéciales sont fabriquées par façonnage de tôlerie et soudure, avec la même diversité que pour les tuyaux de fonte.



(a) protection cathodique par anode réactive



(b) protection cathodique par soutirage de courant

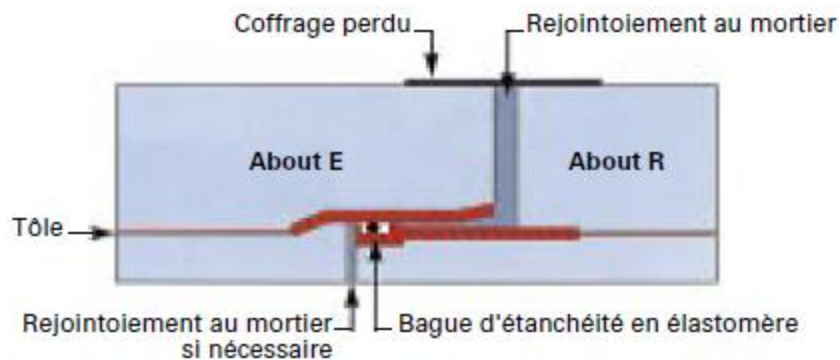
Figure 07: Protection cathodique des conduites en acier

Tuyaux en béton armé

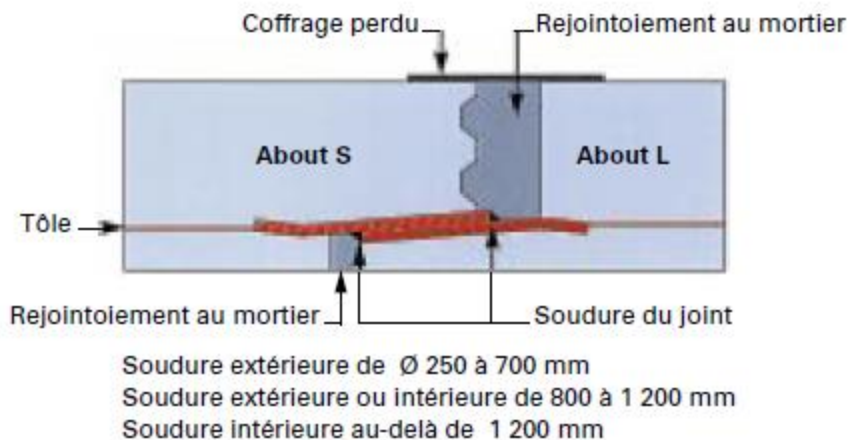
Les tuyaux en béton armé centrifugé ou vibrés ne sont guère plus utilisés pour les réseaux d'eau potable. On en rencontre encore en service dans le cas de pressions assez faibles.

Le tuyau à âme en tôle d'acier et double revêtement intérieur et extérieur en béton armé est de plus en plus utilisé notamment dans les gros diamètres en raison de son prix relatif, de sa passivité, de sa faible corrosivité, de son autoportance, de son aptitude aux techniques de pose sans tranchée, par fonçage ou microtunnelage, et de sa longévité.

Dans les conditions extrêmes d'agressivité et/ou de corrosivité de l'eau ou du terrain, des ciments spéciaux peuvent être utilisés et on peut avoir recours à des revêtements internes et/ou externes spéciaux comme pour les autres matériaux de canalisations. On peut même envisager une protection cathodique sur l'âme en tôle. Les tuyaux en béton armé sont assemblés par les joints des figures 08 et 09.



(a) joint souple ER



(b) joint soudé SL

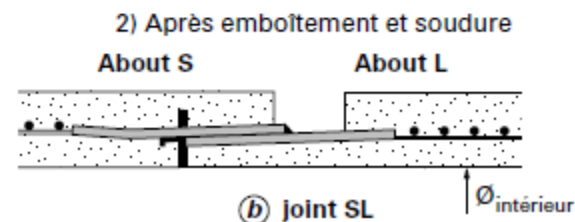
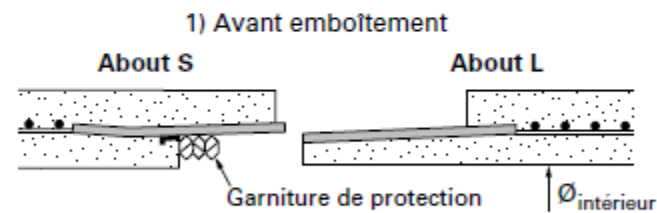
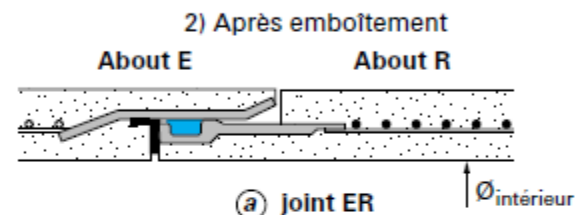
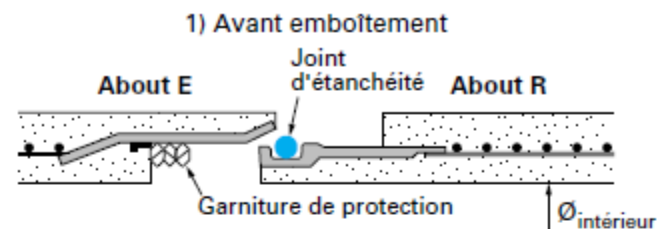


Figure 09: Tuyaux à âme en tôle. Principe des joints ER et SL

Lors de la fabrication d'un tuyau à âme en tôle (figure 10), on distingue deux étapes:

Fabrication de l'âme en tôle et de l'armature : l'âme en tôle est fabriquée à partir de tôles d'acier cintrées et soudées longitudinalement ou hélicoïdalement. Elle se termine par des plats d'abouts permettant l'assemblage des tuyaux entre eux par joints soudés ou joints à garniture en élastomère. L'armature est fabriquée par enroulement hélicoïdal d'un fil d'acier à un pas constant.

Mise en œuvre du béton : elle se fait suivant deux procédés :

- par centrifugation pour le revêtement intérieur et par projection du revêtement extérieur, procédé donnant des qualités exceptionnelles de finition ;
- par moulage et vibration des bétons intérieurs et extérieurs en une seule opération, technique plus rapide et donc moins coûteuse.

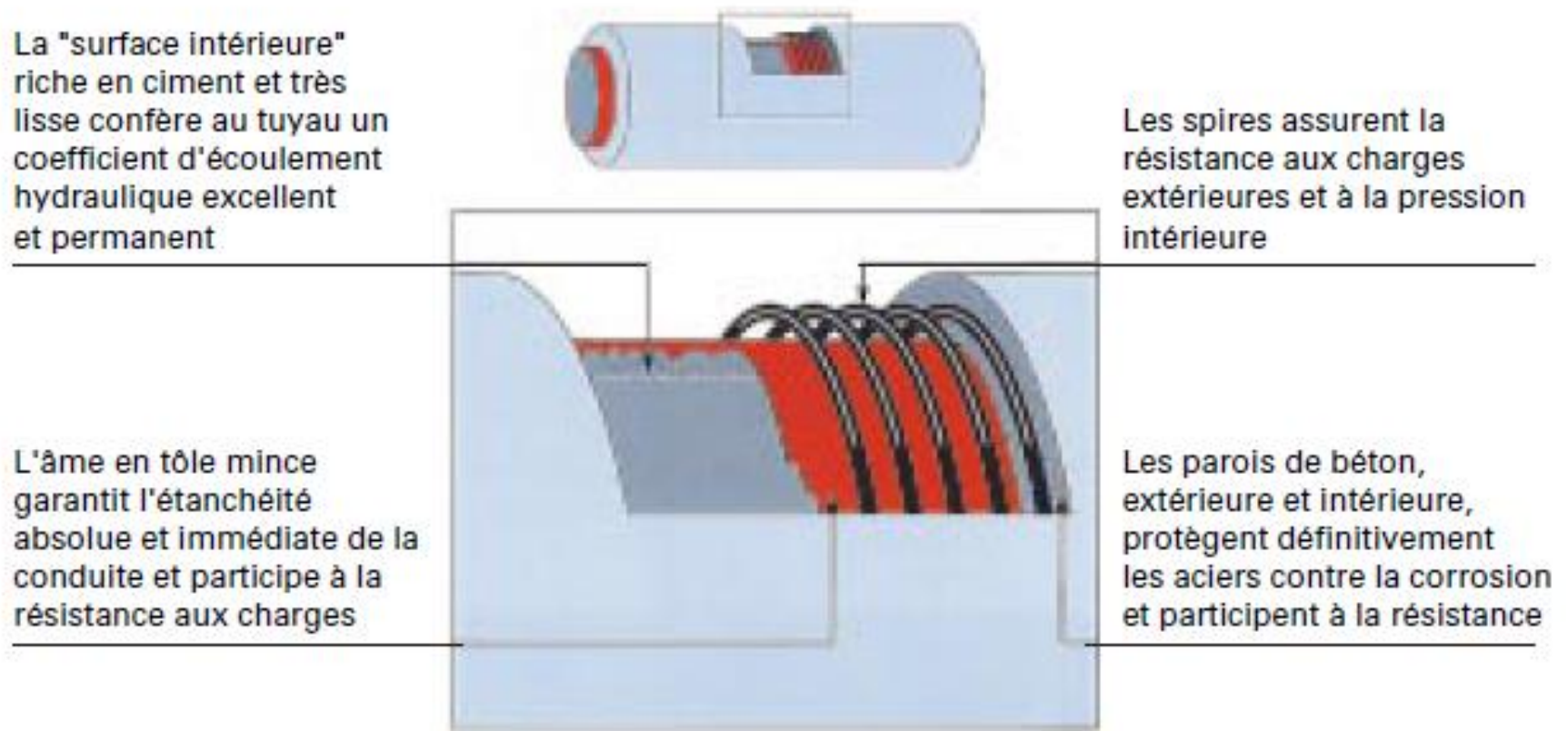


Figure 10: Tuyau en béton armé : constitution

Les diamètres varient de 250 à 4 000 mm.

Jusqu'au diamètre 1 250 mm, la longueur des tuyaux est le plus souvent de 6 m. Elle est de 5 m jusqu'au diamètre 1 800 mm et diminue en fonction du diamètre jusqu'à 2 m pour le 4 000 mm.

Tuyaux en amiante-ciment

Ces tuyaux ne sont plus fabriqués, comme tous les anciens produits en amiante-ciment, pour des raisons réglementaires. Rappelons que l'amiante dans l'air peut provoquer des maladies graves au niveau pulmonaire. Toutefois, aucune étude sérieuse n'a, à ce jour, mis en évidence une quelconque toxicité pour l'homme dans le cas d'ingestion de fibres d'amiante ; l'OMS précise que les fibres d'amiante dans l'eau « ne présentent pas de risque pour la santé humaine ».

On trouve des diamètres de 80 à 800 mm, à bout lisse, assemblés par des joints de type à manchon ; les pièces spéciales sont celles des tuyaux en fonte.

Tuyaux en matière plastique

Ce sont, à l'aube du XXI^e siècle, les tuyaux qui dominent le marché du petit et moyen diamètres en raison de leur faible rugosité, de leur inertie, des facilités de pose adaptées à chaque type et d'un coût global (produit + pose) généralement intéressant. On distingue :

- les poly(chlorures de vinyle) (PVC), rigides ;
- les polyéthylènes (PE), plus ou moins souples ;
- les tuyaux composites, rigides, assez peu utilisés ;
- les autres matériaux plastiques (ABS, polypropylènes, etc.), utilisés surtout dans les installations privées industrielles nécessitant des caractéristiques spéciales.

Poly(chlorure de vinyle)

Si les diamètres prévus vont de 20 à 800 mm, on utilise surtout le PVC entre 50 et 400 mm. Les petits diamètres sont souvent l'apanage du PE. Il existe plusieurs séries de pressions nominales : 6, 10, 16, et 25 bar. Les réseaux d'eau font le plus souvent appel aux séries 10 et 16 bar. Le PVC résiste bien à la corrosion et il présente une forte inertie électrique. Sa tenue mécanique sous chaussées en ville et sa longévité dans le temps se sont avérées très satisfaisantes.

Les tuyaux sont de type à bout lisse et emboîtement avec joints en élastomère (figure 11) ; leur longueur normale est de 6 m.



Figure 11: Raccord à joint élastomère

Le PVC traditionnel est de type non plastifié, et il est le résultat d'une polymérisation amorphe non orientée.

Les nouveaux PVC font appel à des polymérisations orientées, améliorant les qualités de résistance et de fiabilité. On utilise principalement l'orientation biaxiale qui produit des polymères dits biorientés (figure 12).

Il existe aussi des PVC-C, c'est-à-dire « surchlorés », qui tendent notamment à supplanter l'acier inoxydable dans les installations d'ozone (certaines études mettant en avant une possible porosité de l'acier inoxydable à l'ozone dans le temps).

Remarque : certains fabricants intègrent dans l'âme des tubes de la « matière première secondaire » provenant de bouteilles en PVC ainsi recyclées.

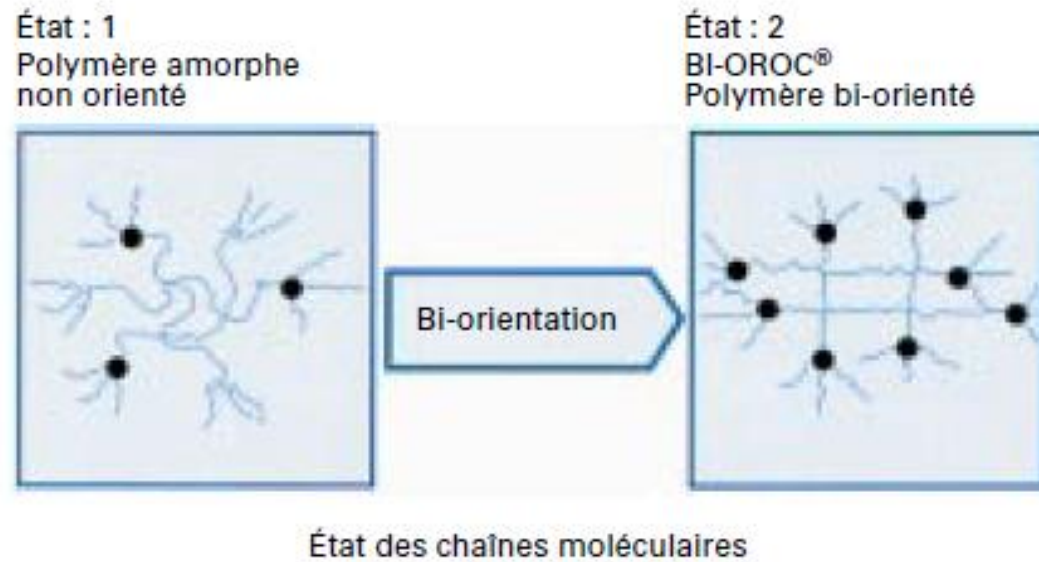


Figure 12: Polymérisation du poly(chlorure de vinyle)

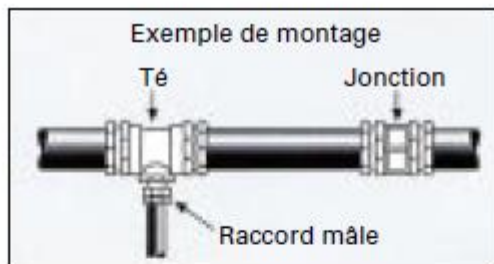
Polyéthylène

Le polyéthylène est un polymère thermoplastique, non cassant, plus ou moins souple, résistant aux chocs, et fortement inerte chimiquement.

Pour les tuyaux d'eau potable, on ne doit faire appel qu'à du polyéthylène pur (non recyclé), avec 2 % environ de noir de carbone et moins de 1 % d'adjuvant. Le stockage doit se faire au sec, à température inférieure à 60°C et à l'abri des rayons ultraviolets.

On trouve des tuyaux en PE 100 (haute densité, appelé PEHD), en PE 80 (moyenne densité, appelé PEMD) et en PE 32 (basse densité, appelé PEBD). On trouve également des PE 63 et PE 40, ainsi que du PEBDL (basse densité linéaire) alliant la flexibilité du PEBD aux performances du PEMD.

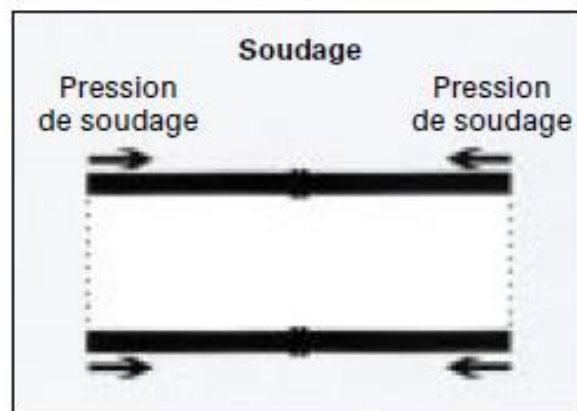
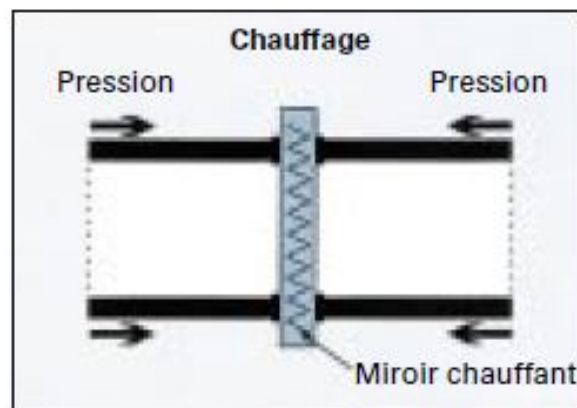
Les PE existent couramment dans les diamètres allant du D 20 mm au D 63 mm pour les branchements, en couronnes ou en longueurs droites, en PN 10 ou PN 16 (PN : pression nominale) ; les raccordements se font par joints mécaniques ou par électrosoudage (figure 13). De D 75 mm à D 500 mm, on trouve des PN 10, 12,5 et 16 conditionnés en tourets (figure 14) ou en longueurs droites pour les plus gros diamètres ; les raccordements se font par électrosoudage ou par soudage bout à bout (appelé soudage « au miroir ») (figure 13). On peut même aller jusqu'au D 800 mm.



(a) raccords mécaniques pour PE



(b) Électrosoudage sur PE



(c) soudage bout à bout (dit "au miroir") sur PE

Figure 13: Raccordements des tuyaux en polyéthylène

Les tuyaux en PE ont une bonne flexibilité puisqu'on les trouve en couronnes ou en tourets jusqu'au D 160 mm. Ils s'adaptent donc bien au terrain et, en raison d'une part, du faible nombre de raccordements au kilomètre et, d'autre part, de raccordements sans surépaisseur, ils se prêtent particulièrement aux nouvelles contraintes de pose sans tranchée ouverte.

Ceci améliore également l'étanchéité du réseau. La conduite étant autobutée, on supprime quasiment tout massif de butée. L'inertie chimique du tuyau évite les dissolutions ou abrasions de métaux même si l'eau n'est pas parfaitement équilibrée.

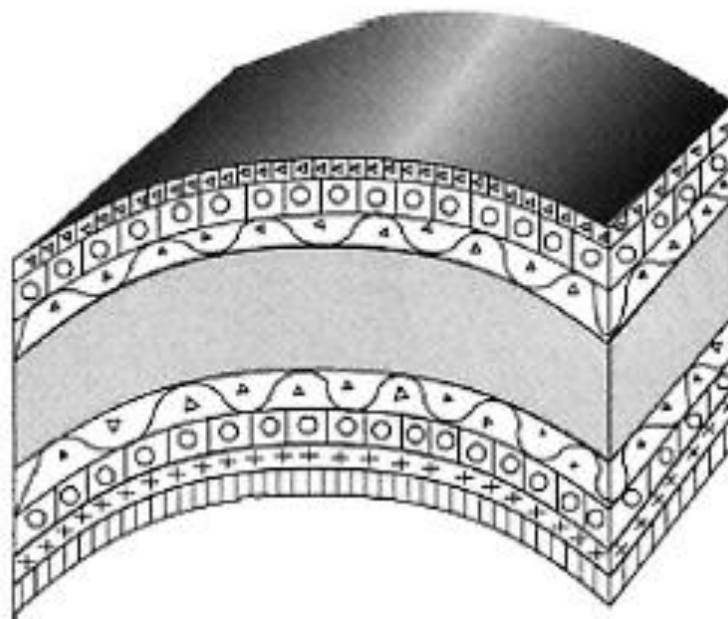


Figure 14: Touret de polyéthylène D 110 mm

Tuyaux composites

On trouve encore dans les réseaux des tuyaux composés d'une âme de PVC et d'une frette en fil de verre imprégné de résine polyester, ajoutant aux qualités du PVC une très grande résistance mécanique.

Actuellement, on fabrique par centrifugation des tuyaux en PRV (polyester renforcé verre), composés de résine de polyester thermodurcissable, de fibre de verre et de sable. Ces tuyaux multicouches (figure 15) comportent également des couches protectrices extérieures et intérieures. L'assemblage se fait en principe par manchons. De faible masse, ces tuyaux ont un faible coefficient de rugosité et de dilatation ; ils présentent une bonne résistance au gel, aux températures élevées et aux ultraviolets. Leur prix ne les rend pas toujours compétitifs.



- △ Couche protectrice extérieure
- Renfort (fibres de verre, résine polyester)
- △▽ Couche intermédiaire (fibres de verre, résine polyester, sable)
- Noyau (fibres de verre, résine polyester, sable)
- + Couche barrière
- ||||| Liner

Figure 15: Constitution d'un tuyau PRV

Autres matériaux plastiques

On trouve d'autres types de tuyaux de la famille des thermoplastiques parmi les canalisations reconnues « alimentaires », possédant des caractéristiques spécifiques qui les font plus utiliser dans les usines de production d'eau et pour des installations industrielles non enterrées que dans des réseaux d'eau potable enterrés classiques. Citons :

- les polypropylènes nervurés, résistant aux chocs et à des températures comprises entre -20°C et $+90^{\circ}\text{C}$;
- les ABS (acrylonitrile butadiène styrène) gris, existant en PN 16, à joints collés, classés antichoc et résistant à une gamme de températures entre -40 et $+80^{\circ}\text{C}$.

Vos questions???