dipra

Association de recherche sur les tuyaux en fonte ductile

Résistance et **durabilité** pour la **vie**MD

CONCEPTION

Conception de système de retenue Tuyau en fonte ductile

Septième édition

Dernière révision :
Janvier 2017

Avant-propos

Publiée en 1984, la première édition de la brochure Thrust Restraint Design for Ductile Iron Pipe présentait les méthodes suggérées de conception de système de retenue contre les forces de poussée pour les tuyaux en fonte ductile enfouis.

Le comité technique de DIPRA a révisé l'édition de 1984 et a approuvé les révisions aux méthodes de conception suggérées, lesquelles ont été incorporées à la deuxième édition publiée en 1986.

Cette deuxième édition a été révisée par le comité technique de DIPRA en 1988, ayant pour résultat que des révisions éditoriales intégrées à l'édition de 1989.

En 1991, le comité technique de DIPRA a révisé l'édition de 1989. Cet examen a intégré des classes de pression et un tuyau de 60 et de 64 pouces de diamètre. De plus, les sujets suivants ont été traités dans la troisième édition publiée en 1992 :
1. Chevauchement des longueurs retenues
2. Combinaison de massifs d'ancrage (butées) et de joints retenus
3. Tuyau dans une gaine
4. Excavations futures

La troisième édition a été révisée en 1996. La révision s'est traduite par une clarification de l'équation utilisée pour déterminer la longueur retenue pour un té, de même que l'ajout d'une section qui traite de toutes les déviations combinées verticales. Une clarification dans la force unitaire de frottement pour le tuyau standard à revêtement asphaltique par rapport au tuyau avec gaine de polyéthylène, et l'ajout du terme « résistance de frottement unitaire » (F_f), ont aussi été inclus. La quatrième édition a été publiée en 1997.

La cinquième édition a été publiée en 2002. Elle comprenait : 1) l'ajout d'une mise en garde concernant la conception des massifs d'ancrage gravitaires lorsqu'un tronçon n'est pas horizontal; 2) l'ajout de graviers fins et de mélanges de gravier et de sable au tableau des paramètres du sol; 3) des mises en garde ont été ajoutées concernant la façon d'analyser les joints retenus qui se chevauchent et dont les angles de coude atteignent presque 90 degrés et; 4) l'élimination de l'annexe A (valeurs pour F_s, $(F_s)_b$ et R_s), et l'annexe B (tableaux de conception des joints retenus pour les coudes horizontaux). Les annexes A et B ont été éliminées en raison de la grande utilisation du programme de conception de système de retenue contre la poussée de DIPRA qui peut générer les données qui y étaient contenues. Ce programme est disponible à partir du site de DIPRA à http://www.dipra.org.

La cinquième édition a été révisée en 2006, ayant pour résultat des révisions éditoriales et des changements apportés au format qui ont été intégrés à l'édition de 2006.

Des hypothèses conservatrices et un facteur de sécurité explicite ont été employés pour assurer une conception offrant un facteur de sécurité général adéquat. Afin de faciliter l'utilisation de ces méthodes de conception suggérées, les types de sols ont été divisés en grandes catégories ayant des caractéristiques très différentes. Étant donné que les conditions du sol varient considérablement, toute personne utilisant ce document doit réaliser des tests de sol pour s'assurer que les bons paramètres de conception ont été choisis pour le type de sol présent à l'emplacement du projet. Pour tout projet donné, la responsabilité de l'utilisation appropriée des équations et autres données fournies dans ce document incombe à l'ingénieur-concepteur. Lors de l'utilisation d'un tuyau avec joints retenus, consulter les membres de DIPRA pour connaitre les méthodes d'installation appropriées.

Table des matières

Conception 3

Force de poussée 4

Pression de conception 6

Structure tuyau-sol 6

Butées de béton 6

Joints retenus 8

Coudes horizontaux 9

Force de frottement unitaire, F_s 10

Gaine de polyéthylène 10

Force unitaire à l'appui, R_s 11

Coudes verticaux vers le bas 14

Coudes verticaux vers le haut 14

Tés 15

Réduits 16

Bouchons 16

Chevauchement des longueurs retenues 17

Déviation verticale à angle égal 17

Coudes combinés horizontaux à angle égal 18

Coudes combinés verticaux à angle égal 19

Longueur retenue 20

Considérations concernant le choix du remblayage 20

Combinaison de massifs d'ancrage (butées) et de joints retenus 20

Tuyau dans une gaine 20

Excavations futures 20

Joints non retenus avec déflexions 20

Programme informatique 21

Méthode de calcul de la longueur retenue 21

Légende 22

Références 22

Tableaux

1. Forces d'appui horizontales 7

2. Dimensions et poids unitaires du tuyau et de l'eau 12

3. Valeurs suggérées pour les paramètres du sol et la constante de réduction, K_n 13

4. Tableau de classification des sols 13

Figures

1. Joint à emboîtement 3

2. Force intérieure équilibrée 4

3. Force de poussée 4

4. Force de poussée pour configurations variées 5

5. Massif d'ancrage 6

6. Massif d'ancrage gravitaire 8

7. Coude horizontal/vertical vers le haut 9

8. Forces unitaires normales sur le tuyau 10

9. Norme ANSI/AWWA C150/A21.50 Conditions de pose 12

10. Coudes verticaux vers le bas 14

11. Tés 15

12. Réduits 16

13. Bouchons 16

14. Déviation verticale à angle égal 17

15. Coudes combinés horizontaux à angle égal 18

16. Coudes combinés verticaux à angle égal 19

Conception

Les tuyaux en fonte ductile et les accessoires sont le plus souvent raccordés à l'aide de joints à emboîtement (figure 1) ou des joints mécaniques. Ni l'un ni l'autre de ces joints ne fournit une retenue assez importante, autre que la friction, pour empêcher la séparation longitudinale. Les tests ont montré que cette résistance frictionnelle dans le joint était imprévisible, variant largement selon les conditions d'installation et d'autres facteurs. Par conséquent, les joints doivent être considérés comme n'offrant aucune contrainte longitudinale lors de la conception.

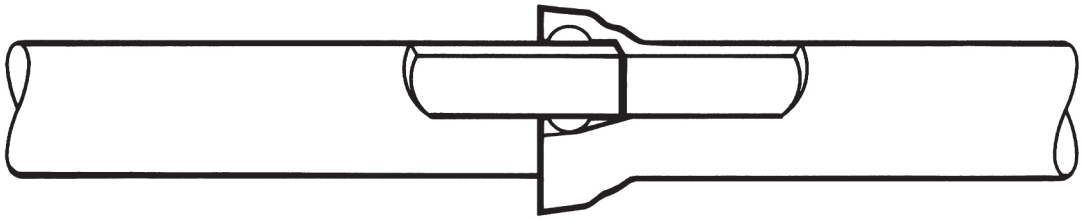
À de nombreux endroits d'un réseau souterrain ou de surface, la configuration du réseau a pour résultat un déséquilibre des forces hydrostatiques ou hydrodynamiques qui peuvent entraîner une séparation des joints, à moins que ceux-ci soient retenus.

En général, ces forces hydrostatiques et hydrodynamiques déséquilibrées sont appelées **forces de poussée**. Dans la plage de pressions et de vitesses d'écoulement que l'on retrouve dans les ouvrages de distribution d'eau potable ou d'évacuation des eaux usées, les forces de poussée hydrodynamiques sont généralement peu importantes par rapport aux forces de poussées hydrostatiques et elles sont par conséquent habituellement ignorées. Autrement dit, les forces de poussée se produisent à n'importe quel point du réseau où il y a un changement de direction ou un embranchement. Par conséquent, des forces de poussée seront présentes au niveau des coudes, réduits, déviations, tés, Y, bouchons et vannes.

L'équilibrage des forces de poussée dans les réseaux souterrains s'accomplit généralement par des butées ou massifs d'ancrage gravitaires, des systèmes de retenue ou des combinaisons de ces méthodes. Vous trouverez dans ces pages une présentation générale sur la nature des forces de poussée ainsi que les approches suggérées pour la conception de massifs d'ancrage et de systèmes de retenue visant à équilibrer ces forces. Les approches de conception suggérées se basent sur des principes reconnus de la mécanique des sols.

FIGURE 1

Joint à emboîtement



Force de poussée

La pression hydrostatique interne agit de manière perpendiculaire à un plan avec une force égale à la pression (P) multipliée par la surface (A) du plan. Tous les éléments de ces forces agissant radialement dans un tuyau sont équilibrés par la tension circonférentielle de la paroi du tuyau. Les éléments axiaux qui agissent sur un plan perpendiculaire au tuyau dans une section droite de ce dernier sont équilibrés intérieurement par la force qui agit sur chaque côté du plan (figure 2).

Toutefois, considérons le cas d'un coude, comme montré à la figure 3. Les forces PA agissant de manière axiale sur chaque branche du coude ne sont pas équilibrées. La somme vectorielle de ces forces est représentée par T. Il s'agit de la force de poussée. Afin de prévenir toute séparation des joints, une réaction égale et opposée à T doit être appliquée.

FIGURE 2

Force intérieure équilibrée

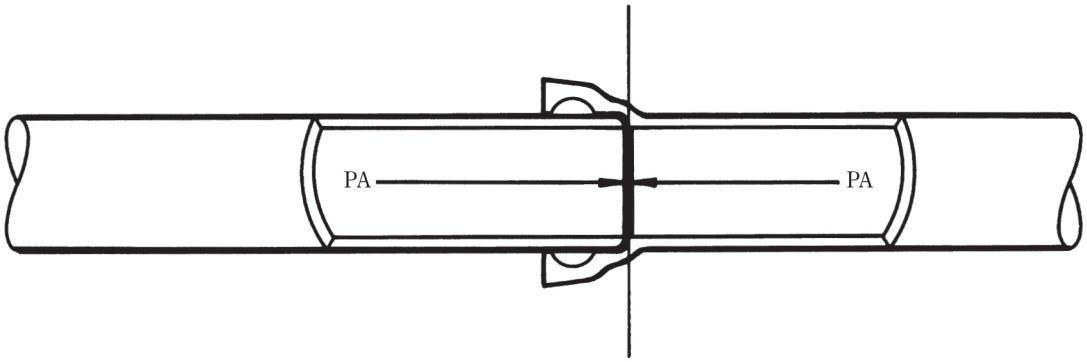
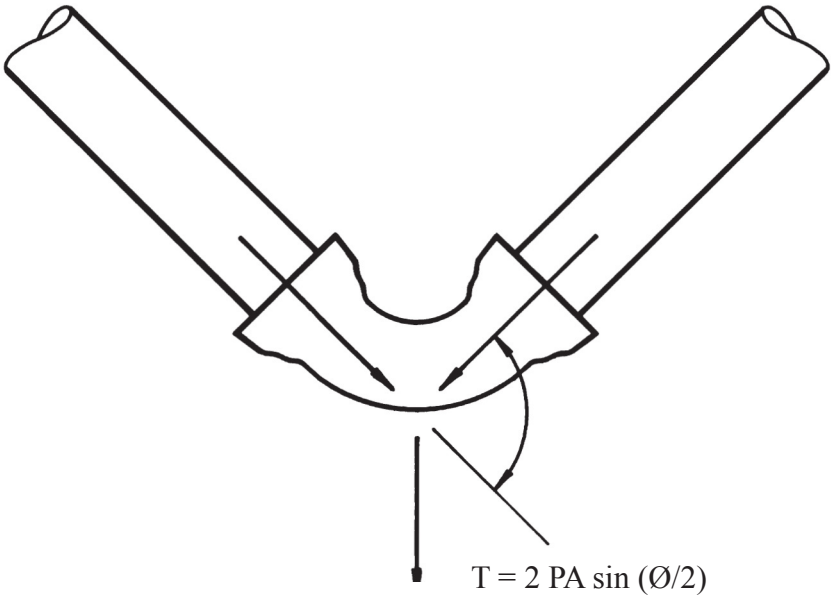


FIGURE 3

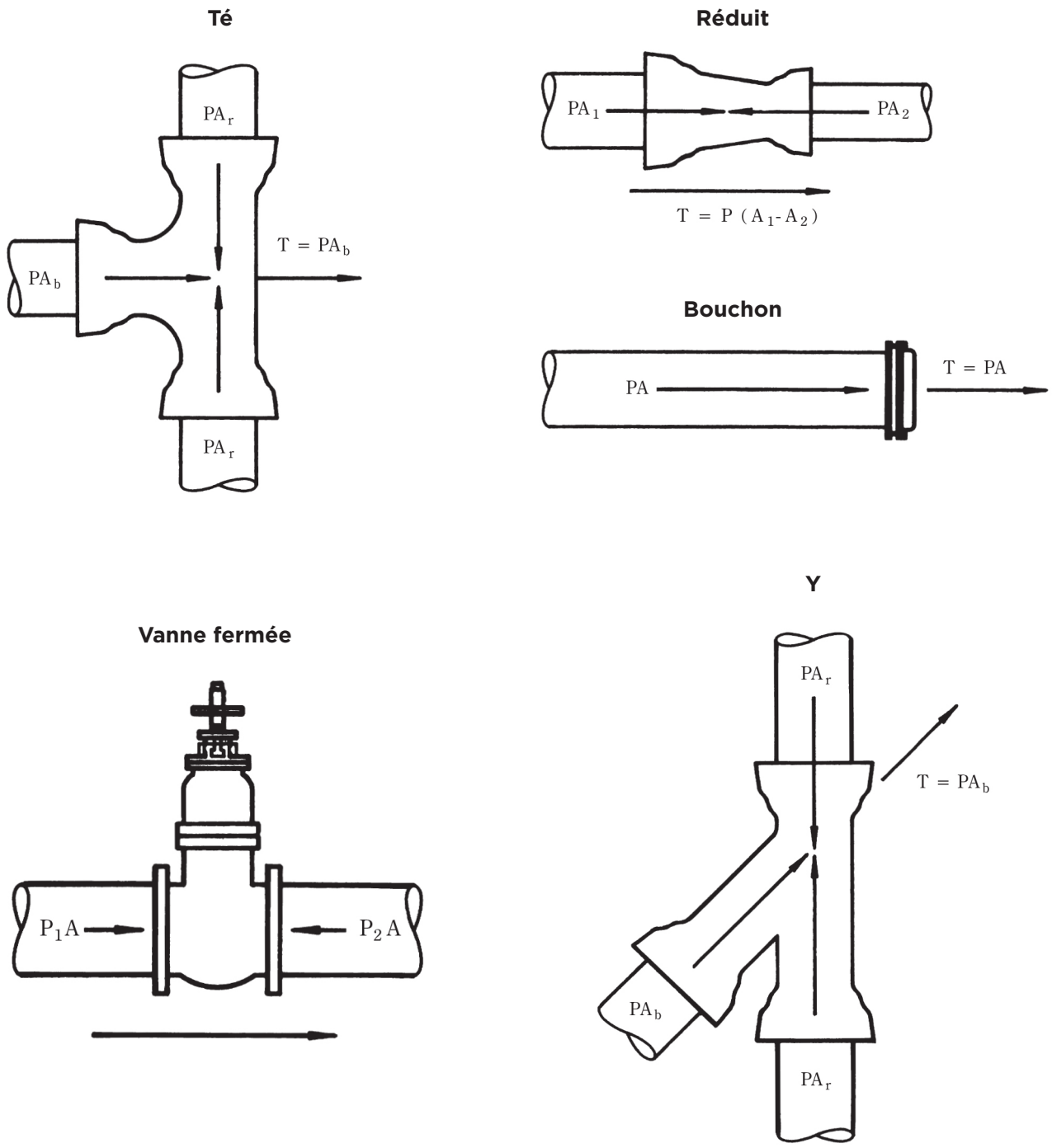
Force de poussée



La figure 4 illustre la force de poussée nette qui s'exerce pour d'autres accessoires. Dans chaque cas, la valeur de T peut être obtenue par l'addition vectorielle des forces axiales.

FIGURE 4

Force de poussée pour configurations variées



Pression de conception

La pression de conception P, est la pression maximale à laquelle le réseau sera soumis, en tenant compte de la vulnérabilité de la relation tuyau-sol lorsque que la pression prévue est appliquée. Dans la plupart des cas, il s'agira de la pression d'essai du tuyau, appliquée peu après l'installation lorsque la relation tuyau-sol est normalement le plus vulnérable.

Structure tuyau-sol

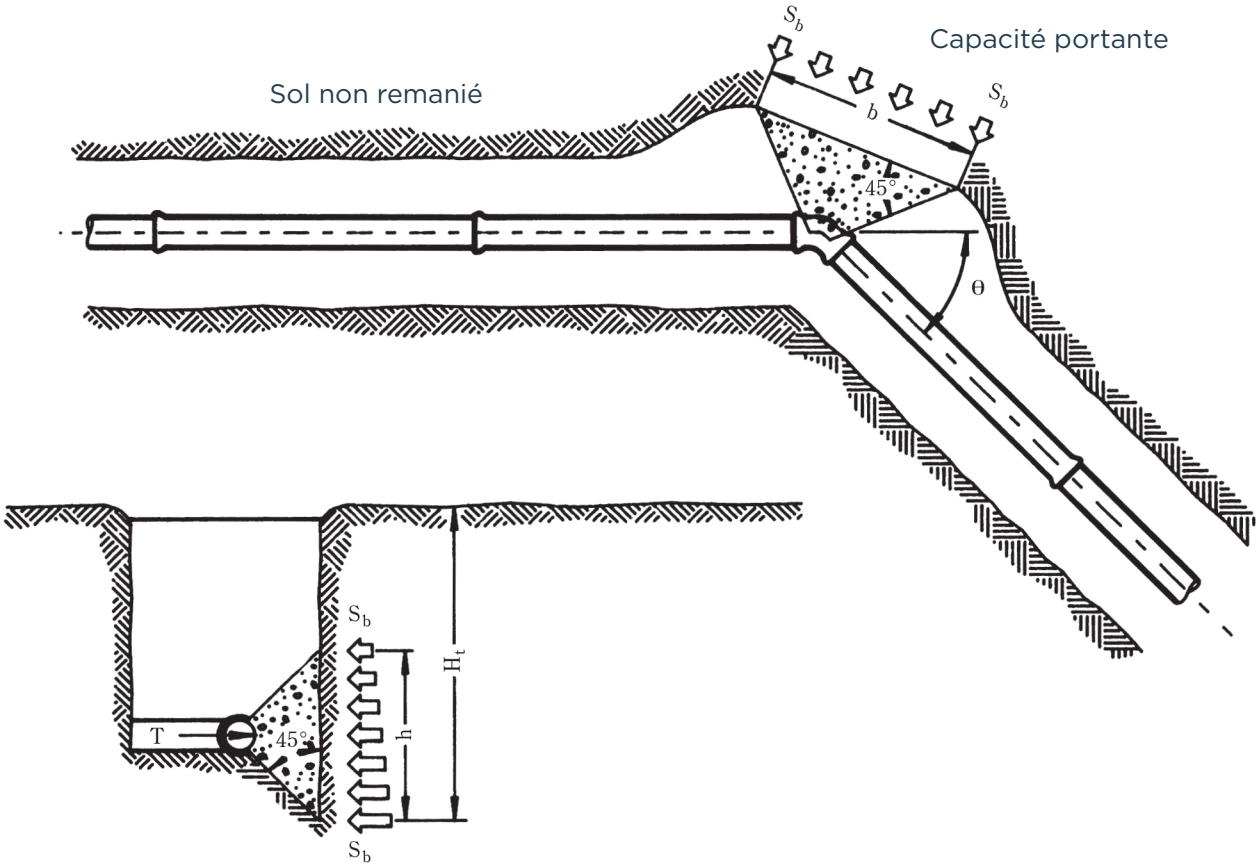
En ce qui concerne les réseaux enfouis, la retenue contre la poussée est obtenue en transférant la force de poussée à la structure du sol à l'extérieur du tuyau. La conception a pour but de distribuer les forces de poussée à la structure du sol de telle sorte que les joints retenus ne subissent aucun dommage et qu'aucune séparation ne survient au niveau des joints non retenus.

Butées de béton

L'une des méthodes les plus courantes pour fournir une résistance aux forces de poussée est d'utiliser une butée de béton. La figure 5 illustre une butée sur un coude horizontal. La résistance est fournie en transférant la force de poussée au sol par la plus grande surface portante de la butée de manière à ce que la pression résultante contre le sol ne dépasse pas la capacité portante horizontale du sol. La conception du massif d'ancrage (butées) consiste à déterminer la zone portante appropriée du massif pour un ensemble de conditions particulières. Les paramètres utilisés lors de la conception comprennent la taille du tuyau (diamètre), la pression de conception, l'angle du coude (ou la configuration du raccord concerné) et la capacité portante horizontale du sol.

FIGURE 5

Massif d'ancrage



Les éléments suivants sont des critères généraux entrant dans la conception d'une butée de béton.

- La surface portante doit être, dans la mesure du possible, placée contre un sol non remanié. Dans le cas où cela s'avère impossible, le remblayage entre la surface portante et le sol non remanié doit être compacté à au moins 90 % de la densité obtenue lors de l'essai standard Proctor.
- La hauteur de la butée (h) doit être égale ou inférieure à la moitié de la profondeur totale jusqu'à la base de la butée (H_t), mais pas inférieure au diamètre du tuyau (D).
- La hauteur de la butée (h) doit être choisie de manière à ce que la largeur calculée de la butée (b) varie entre une et deux fois la hauteur.

TABLEAU 1
Forces d'appui horizontales

Sol	*Force d'appui S_b (lb/pi²)
Terre boueuse	0
Argile molle	1 000
Silt	1 500
Sable silteux	3 000
Sable	4 000
Argile sablonneuse	6 000
Argile dure	9 000

*Bien que les valeurs des forces d'appui ci-dessus aient été utilisées avec succès dans la conception de massifs d'ancrage et qu'elles soient considérées comme étant conservatrices, leur précision dépend totalement d'une identification et d'une évaluation précises du sol. L'ingénieur-concepteur est responsable du choix de la bonne force d'appui pour un type de sol particulier.

La surface portante de la butée est

$$A_b = hb = \frac{S_f T}{S_b}$$

Alors, pour un coude horizontal,

$$b = \frac{S_f\, 2\, PA \sin(ø/2)}{h\, S_b} \quad (1)$$

où S_f représente un facteur de sécurité (habituellement 1,5 pour la conception d'un massif d'ancrage). Une approche similaire peut être utilisée pour concevoir des blocs de butée résistant aux forces de poussée au niveau des tés, des bouchons, etc. Le tableau 1 fournit les valeurs typiques de capacités portantes horizontales conservatrices pour différents types de sol.

À la place des valeurs de capacité portante du sol montrées au tableau 1, un concepteur pourrait choisir d'utiliser la contrainte de butée de Rankine (P_p) calculée ou une autre valeur de la capacité portante du sol basée sur les propriétés réelles du sol.

Des butées gravitaires peuvent être utilisées pour résister à la poussée vers le haut pour les coudes verticaux. Pour une butée gravitaire, le poids de la butée est la force qui fournit l'équilibre avec la force de poussée. Le problème de la conception est donc de calculer le volume nécessaire de la butée d'une densité connue. La composante verticale de la force de poussée dans le tableau 6 de la page 8 est équilibrée par le poids de la butée.

On peut facilement démontrer que T_y = PA sin Ø. Puis, le volume nécessaire du bloc est

$$V_g = \frac{S_f\, PA \sin ø}{W_m} \quad (2)$$

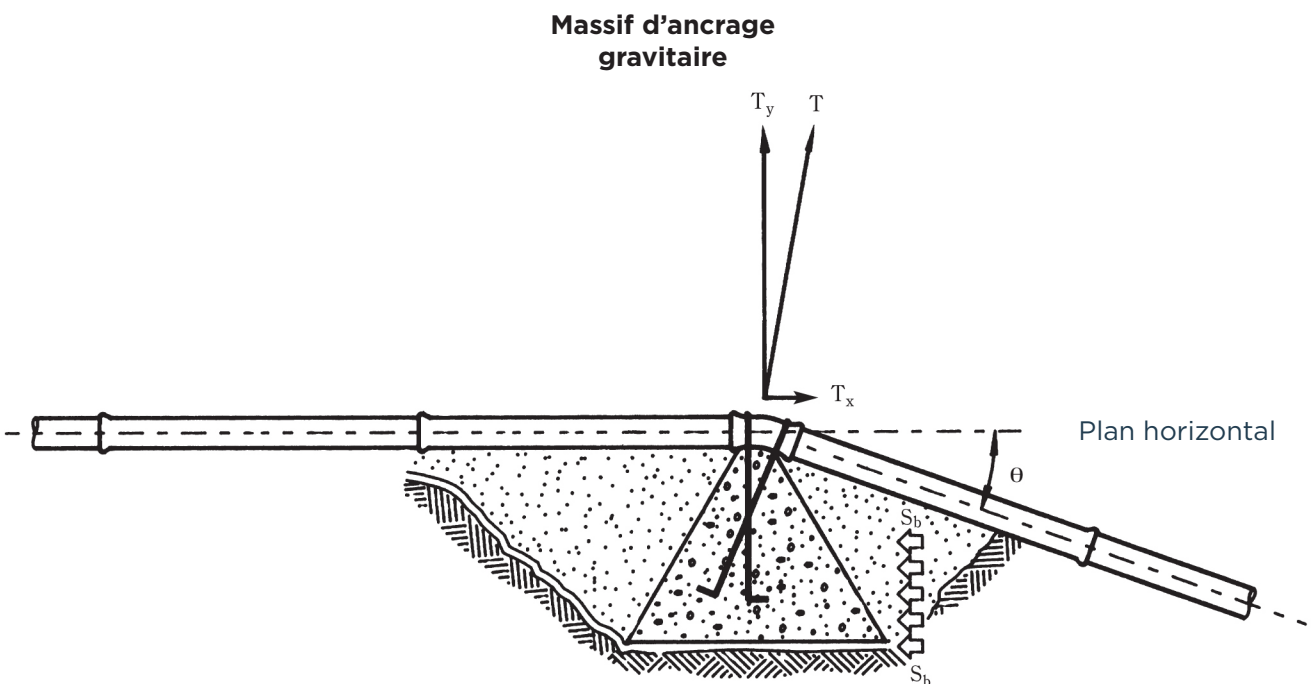
où W_m = densité du matériau de la butée. Ici, la composante horizontale de la force de poussée

$$T_x = PA\,(1\text{-}\cos ø)$$

doit faire l'objet d'une résistance du côté droit de la butée contre le sol. Une analyse de cet aspect suivra, comme dans la section sur les butées ci-dessus.

Les calculs de V_g et de T_x pour les orientations différentes que celles dans lesquelles un tronçon est horizontal doivent refléter cette géométrie particulière.

FIGURE 6



Joints retenus

L'utilisation de joints retenus constitue un autre moyen de fournir une retenue contre la poussée. Un joint retenu est un type particulier de joint à emboîtement ou mécanique conçu de manière à fournir une retenue longitudinale. Les systèmes à joints retenus fonctionnent de manière similaire aux butées, car la réaction avec le sol de la section retenue du tuyau a pour résultat d'équilibrer les forces de poussée.

L'objectif de la conception d'un système à joints retenus est de déterminer la longueur de tuyau qui doit être retenu de chaque côté du centre d'une force de poussée. Cette évaluation dépend de la taille du tuyau, de la pression interne, de la profondeur de couverture, des caractéristiques du sol qui entourent le tuyau et de la présence ou de l'absence d'une gaine de polyéthylène autour du tuyau. Le texte qui suit décrit la méthode permettant d'atteindre cet objectif. Comme dans la plupart des problèmes d'ingénierie, la nature exacte de l'interaction du tuyau retenu et du sol est extrêmement complexe. Les limites des capacités à mesurer les paramètres réels et le peu de connaissances disponibles sur la nature précise de l'interaction tuyau-sol exigent que la méthode de conception se base sur différentes suppositions. Celles-ci, employées dans la méthode de conception suivante, sont conservatrices dans tous les cas.

Ce fait, associé au facteur de sécurité employé dans la méthode a pour résultat une conception sécuritaire doublée d'un facteur adéquat de sécurité.

L'équation de conception proposée pour les coudes horizontaux (équation 3, page 9) et les paramètres de sol suggérés (tableau 2, page 12) sont issus d'une méthode de conception proposée à l'origine par Carlsen.[1] La méthode de conception de Carlsen se fondait exclusivement sur des considérations théoriques et se limitait à des conditions de tranchées bien compactées. La méthode de conception modifiée présentée ici est le résultat d'essais de grande portée réalisés sur un tuyau en fonte ductile de 12 po (300 mm) avec coudes de 45 et 90 degrés, enfoui dans un sol d'argile.[2] Les données générées par ces tests et les données disponibles tirées des études de modélisation avec un tuyau de 2 po (50 mm) enfoui dans le sable[3] confirment le conservatisme de la méthode de conception actuelle. Les études futures dans ce domaine devraient être consacrées aux réseaux de conduites de large diamètre, en ayant comme

objectif de confirmer ce conservatisme.
La force de poussée doit être restreinte ou équilibrée par la réaction de la section de tuyau retenu avec le sol qui l'entoure. La source des forces de retenue a deux aspects : tout d'abord, la friction statique qui existe entre la section de tuyau et le sol, et deuxièmement, la retenue fournie par le tuyau qui appuie contre la terre de remblayage latérale le long de chaque tronçon du coude. On suppose que ces deux forces dépendent de la longueur retenue L de chaque côté du coude et qu'elles agissent dans la direction opposée de la force de poussée (c.-à-d. directement à l'opposé du mouvement du coude).

Coudes horizontaux (figure 7)

La figure 7 représente un schéma d'une section retenue de tuyau où L est la longueur du tuyau retenu de chaque côté du coude. La résistance de frottement de la section est montrée comme étant une force répartie de valeur unitaire F_f. La résistance de frottement totale de chaque côté du coude est alors $F_f L \cos(Ø/2)$.

Nous ne prétendons pas que la figure 7 représente le comportement tuyau-sol réel pour tous les types de tranchées et toutes les conceptions de joints retenus disponibles. Les variations dans la façon dont les différents joints retenus répondent aux charges, de même que les variables du sol et des installations font en sorte qu'une représentation théorique précise est difficile. L'approche présentée, qui comprend des facteurs de sécurité, est une méthode générale, pratique et conservatrice de conception de retenue, qui a été validée par les résultats d'essais disponibles et les nombreux systèmes installés.

La résistance à l'appui est montrée comme étant une force répartie ayant une valeur unitaire maximale de R_s au niveau du coude, diminuant de manière linéaire à 0 à L. L'hypothèse se base sur le fait que la résistance à l'appui (résistance passive dans le sol) est proportionnelle à la déformation ou au mouvement. À mesure que les joints retenus reçoivent une charge, un mouvement maximal se produira au niveau du coude. La résistance à l'appui totale estimée de chaque côté du coude est $1/2 R_s L \cos(Ø/2)$.

L'équation équilibrée du schéma est alors

$$PA \sin(Ø/2) = F_f L \cos(Ø/2) + 1/2 R_s L \cos(Ø/2)$$

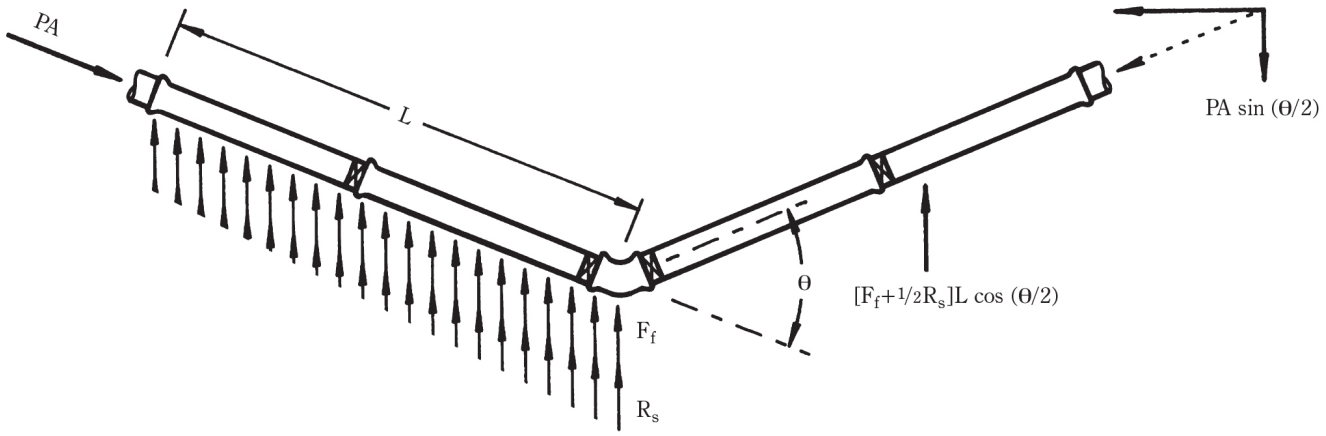
En employant un facteur de sécurité calculé pour L,

$$L = \frac{S_f \, PA \tan(Ø/2)}{F_f + 1/2 R_s} \quad (3)$$

S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1,5)

FIGURE 7*

Coude horizontal



*Le schéma d'équilibre s'applique aussi au coude vertical vers le haut.
$F_f = F_s$; Pour les tuyaux standards à revêtement asphaltique
$F_f = 0{,}7\ F_s$; Pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène

Force de frottement, F_s

Une force de frottement statique agissant sur un corps est égale en importance à la force exercée jusqu'à une valeur maximale. Dans l'analyse traditionnelle, la friction statique maximale est proportionnelle à la force normale entre les surfaces qui créent la friction. La constante de proportionnalité, appelée dans ce cas le coefficient de friction, dépend de la nature des surfaces. Le travail empirique de Potyondy indique que, dans le cas d'une friction existant entre le sol et le tuyau, la force dépend aussi de la cohésion du sol.[4]

Par conséquent,

$$F_s = A_p C + W \tan \delta$$

où

$C = f_c C_s$

A_p = aire portante du tuyau sur le sol

$\delta = f_\varphi \varphi$

$A_p = \frac{\pi D'}{2}$ (pour les coudes, supposons que la moitié de la circonférence des 2 tuyaux appuie contre le sol)

$= \pi D'$ (pour les tronçons en T, les bouchons, et les réduits, supposons que la circonférence complète du tuyau appuie contre le sol)

Les valeurs de cohésion du sol (C_s) et l'angle de friction interne du sol (φ) doivent être connus ou estimés pour une installation particulière. Les valeurs f_c et f_φ sont relatives aux types de sol et aux types de matériaux. Le tableau 3 présente les valeurs conservatrices de ces paramètres pour les tuyaux en fonte ductile pour sept catégories générales de sols saturés.

La force normale unitaire W est donnée par

$$W = 2 W_e + W_p + W_w$$

où la poussée des terres (W_e) est considérée comme étant la charge de prisme sur le tuyau en livres. La poussée des terres est doublée pour tenir compte des forces agissant sur le dessus et le dessous du tuyau (voir la figure 8). Le poids unitaire du tuyau et de l'eau ($W_p + W_w$) est fourni dans le tableau 2 à la page 12.

Puis,
pour les coudes :

$$F_s = \frac{\pi D'}{2} C + (2W_e + W_p + W_w) \tan \delta \quad (4a)$$

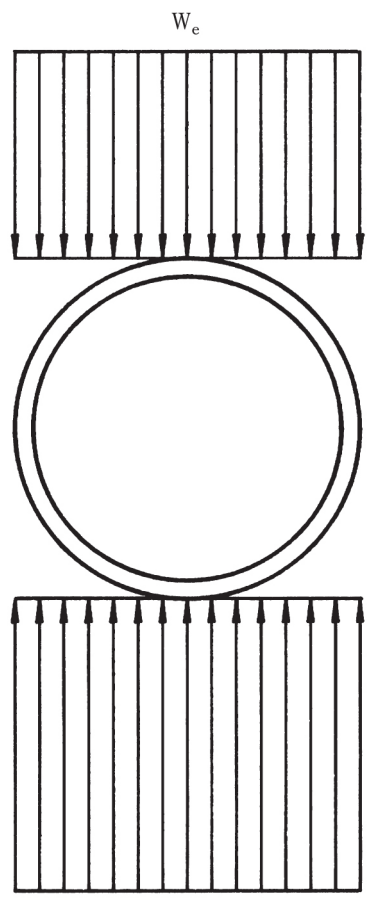
pour les raccordements en T, les bouchons et les réduits :

$$(F_s)_b = \pi D' C + (2W_e + W_p + W_w) \tan \delta \quad (4b)$$

Des installations extraordinaires peuvent avoir des charges sur les tuyaux et une résistance de frottement qui sont inférieures à celles calculées par ces équations, comme le montre la figure 7. De telles conditions doivent être prises en compte lors de la conception.

FIGURE 8

Forces unitaires normales sur le tuyau



Gaine de polyéthylène

Les données expérimentales limitées suggèrent que les forces de frottement (F_s) et $(F_s)_b$ doivent être multipliés par un facteur de 0,70 pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène afin de déterminer la valeur appropriée de F_f à utiliser dans les équations.

Force à l'appui R_s

La résistance latérale maximale, R_s, au niveau du coude, est limitée de manière à ne pas dépasser une distribution rectangulaire de la pression passive des sols de Rankine, P_p, laquelle est généralement inférieure à la capacité du sol de résister au mouvement du tuyau. La pression passive des sols se définit généralement par la pression horizontale à laquelle la structure du sol résistera sans rupture en cisaillement. La pression horizontale de la fondation aura pour résultat une déformation de la structure du sol. La résistance offerte par le sol de fondation augmente avec la déformation ou la contrainte pour des pressions inférieures à la pression passive des sols. Dans les sols dont la densité dépasse l'indice de porosité critique (cette condition s'observe généralement dans un sol stable, non remanié et dans un remblai compacté à environ 80 % ou plus de l'indice de densité standard Proctor), le mouvement ou la déformation qui se produit dans le développement complet de la pression passive du sol est relativement minime par rapport au mouvement possible ou disponible au niveau du coude dans les systèmes à joints retenus de type à emboîtement ou mécaniques des tuyaux en fonte ductile.

La pression passive du sol pour un sol particulier est obtenue par la formule de Rankine :

$$P_p = \gamma H_c N_\varphi + 2C_s \sqrt{N_\varphi} \qquad (5)$$

où :
P_p = pression passive du sol (lb/pi²)
γ = densité du sol de remblayage (lb/pi³)
H_c = profondeur moyenne par rapport à la surface du plan de résistance en pied (centre d'un tuyau ou centre de la surface portante d'une butée) (pi)
C_s = cohésion du sol (lb/pi²)
N_φ = $\tan^2 (45° + \varphi/2)$
φ = angle de friction interne du sol (deg.)

Comme expliqué plus haut, la pleine pression passive du sol, P_p, peut être développée avec un mouvement minime dans les sols bien compactés. Pour certaines conditions standards de pose (voir la figure 9) des tuyaux en fonte ductile, la valeur de calcul de la pression passive du sol doit être modifiée par un facteur K_n visant à garantir qu'aucun mouvement excessif ne se produira. Par conséquent,

$$R_s = K_n P_p D' \qquad (6)$$

Les valeurs déterminées de manière empirique pour K_n figurent au tableau 3. Dans ce contexte, la valeur choisie pour K_n dépend de la compaction obtenue dans la tranchée, des matériaux de remblayage et du sol non remanié.

Afin de faciliter le travail du concepteur, DIPRA a mis au point un programme informatique - Conception de système de retenue pour les tuyaux en fonte ductile - pour aider à effectuer les calculs pour la plupart des configurations de joints retenus. Il est basé sur les sept types de sols et les paramètres suggérés dans le tableau 3. Les valeurs suggérées des paramètres indiqués dans le tableau 3 sont conservatrices; toutefois, DIPRA ne peut garantir que ces valeurs correspondront aux conditions réelles d'un chantier en particulier.

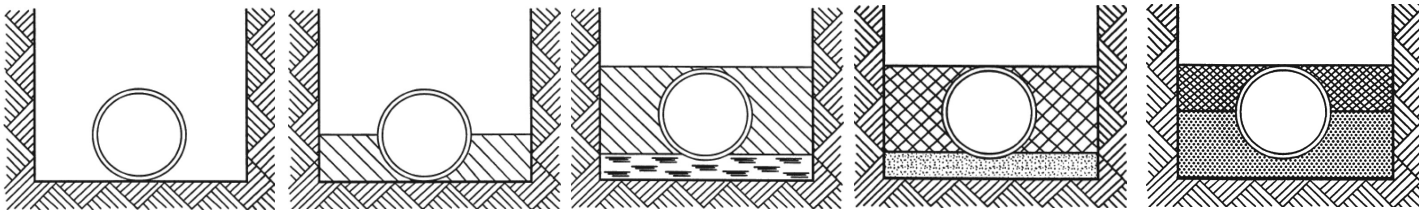
TABLEAU 2
Dimensions et poids unitaires du tuyau et de l'eau

Diamètre nominale du tuyau (po)	Classe pression	Diamètre extérieur du tuyau, D' (pi)	Surface de section transversale du tuyau, A (po²)	W_p (lb/pi)	W_p (lb/pi)	$W_p + W_w$* (lb/pi)
3	350	0,33	12,3	10	4	14
4	350	0,40	18,1	12	6	18
6	350	0,58	37,3	18	13	31
8	350	0,75	64,3	24	24	48
10	350	0,93	96,7	30	37	67
12	350	1,10	136,8	39	53	92
14	250	1,28	183,8	47	72	119
16	250	1,45	237,7	57	94	151
18	250	1,63	298,6	66	119	185
20	250	1,80	366,4	78	147	225
24	200	2,15	522,7	93	212	305
30	150	2,67	804,2	123	329	452
36	150	3,19	1 152	163	473	636
42	150	3,71	1 155,2	206	642	848
48	150	4,23	2 026,8	261	838	1 099
54	150	4,80	2 602,1	325	1 078	1 403
60	150	5,13	2 981,2	371	1 237	1 608
64	150	5,47	3 387	410	1 407	1 817

*Basé sur le tuyau de classe pression minimale avec revêtement intérieur de mortier de ciment. La différence de $W_p + W_w$ pour les autres classes de pression de tuyau n'est normalement pas importante par rapport à ces calculs et ces valeurs peuvent être utilisées prudemment quelle que soit la classe de pression du tuyau. Toutefois, le concepteur peut utiliser les poids réels du tuyau pour une conception optimale, si désiré.

FIGURE 9

Conditions de pose d'un tuyau en fonte ductile de la norme ANSI/AWWA C150/A21.50



Type 1*
Tranchée à fond plat.†
Remblai lâche.

Type 2
Tranchée à fond plat.†
Remblai légèrement consolidé jusqu'à la ligne centrale du tuyau.

Type 3
Tuyau installé dans un sol lâche d'au moins 4 po (10 cm)
Remblai légèrement consolidé jusqu'au-dessus du tuyau.

Type 4
Tuyau installé dans le sable, le gravier ou la pierre broyée à une profondeur équivalant à 1/8 du diamètre du tuyau, 4 po (10 cm) au minimum. Remblai compacté jusqu'au-dessus du tuyau. (À environ 80 % de l'indice standard Proctor, AASHTO T-99.)§ (Voir le tableau 1 pour les remarques.)

Type 5
Tuyau installé jusqu'à son centre dans un matériau granulaire compacté, ** à 4 po (10 cm) au minimum sous le tuyau. Matériau granulaire compacté ou au choix‡ jusqu'au-dessus du tuyau. (À environ 90 % de l'indice standard Proctor, AASHTO T-99.)§

* Pour un tuyau de 14 po (350 mm) de diamètre et plus, il faut envisager l'utilisation de conditions de pose autres que celles de type 1.
† Le terme « fond plat » se définit par « terre non remaniée ».
‡ Les termes « sol lâche » ou « matériau choisi » se définissent par un « sol d'origine déblayé de la tranchée, exempt de roches, de matières étrangères et de terre gelée. »
†† AASHTO T-99 « Standard Method of Test for the Moisture-Density Relations of Soils Using a 5.5 lb (2.5 kg) Rammer and a 12 in. (305 mm) Drop. » (Méthode standard d'essai pour les relations humidité-densité des sols à l'aide d'un pilon de 2,5 kg [5,5 lb] et d'une chute de 305 mm [12 po]) Disponible auprès de l'American Association of State Highway and Transportation Officials.
** Les matériaux granulaires sont définis selon le système de classification des sols de l'AASHTO (norme ASTM D3282) ou le système unifié de classification des sols (norme ASTM D2487), sauf que le lit de gravier/remblayage adjacent au tuyau se limite à des particules d'une taille maximale de 2 po (5 cm) selon la norme ANSI/AWWA C600.

TABLEAU 3
Valeurs suggérées pour les paramètres du sol et la constante de réduction, K_n

Sol Désignation*	Sol Description*	φ (deg.)	f_φ	C_s (lb/pi2)	f_c	Y*** (lb/pi3)	K_n Condition de pose A21.50 2	3	4	5
Argile 1	Argile de plasticité moyenne à faible, LL‡<50, <25 % particules grossières § [CL et CL-ML]***	0	0	300	0,50† 0,80	90	0,20	0,40	0,60	0,85
Silt 1	Silt de plasticité moyenne à faible, LL‡<50, <25 % particules grossières§ [ML et ML-CL]***	29	0,50† 0,75	0	0	90	0,20	0,40	0,60	0,85
Argile 2	Argile de plasticité moyenne à faible avec sable ou gravier, LL‡<50, 25-50 % de particules grossières§ [CL]***	0	0	300	0,50† 0,80	90	0,40	0,60	0,85	1,0
Silt 2	Silt de plasticité moyenne à faible avec sable ou gravier, LL‡<50, 25-50 % de particules grossières§ [ML]***	29	0,50† 0,75	0	0	90	0,40	0,60	0,85	1,0
Coh-gran	Sols granulaires cohésifs, >50 % de particules grossières§ [GC et SC]***	20	0,40† 0,65	200	0,40	90	0,40	0,60	0,85	1,0
Sable silteux	Sable ou gravier avec silt, >50 % de particules grossières§ [GM et SM]***	30	0,50† 0,75	0	0	90	0,40	0,60	0,85	1,0
Sable et gravier de bonne qualité	Sable ou gravier propre, >95 % de particules grossières§ [SW, SP et GW]***	36	0,75† 0,80	0	0	100	0,40	0,60	0,85	1,0

* Voir « Considérations concernant le choix du remblayage » à la page 20.
** Par mesure de sécurité, les valeurs pour γ montrées au tableau 3 et utilisées dans cette méthode sont inférieures à celles du poids du sol utilisées pour calculer les poussées des terres dans la norme ANSI/AWWA C150/A21.50. Toutes les autres valeurs dans le tableau 3 supposent des conditions de sol saturé et ont également été sélectionnées par mesure de sécurité.
‡ Limite de liquidité.
§ Les « particules grossières » font référence aux particules retenues par un tamis n° 200.
*** Voir le tableau 4 pour des descriptions plus détaillées des sols.
† Ces valeurs doivent être utilisées pour le type 2 de condition de pose.

TABLEAU 4
Tableau de classification des sols (Adaptation de la norme ASTM D2487†)

Principales divisions			Symboles des groupes	Noms typiques
Sols à gros grains dont plus de 50 % sont retenus sur un tamis n° 200*.	Graviers dont 50 % ou plus de la fraction grossière sont retenus par un tamis n° 4.	Graviers propres	GW	Graviers de bonne granulométrie et mélanges de gravier-sable, peu ou pas d'éléments fins
			GP	Graviers de granulométrie médiocre et mélanges de gravier-sable, peu ou pas d'éléments fins
		Graviers avec éléments fins	GM	Graviers silteux, mélanges de gravier-sable-silt
			GC	Graviers argileux, mélanges de gravier-sable-argile
	Sables dont plus de 50 % de la fraction grossière passent par un tamis n° 4.	Sables propres	SW	Sables de bonne granulométrie et sables graveleux, peu ou pas d'éléments fins
			SP	Sables de granulométrie médiocre et sables graveleux, peu ou pas d'éléments fins
		Sables avec éléments fins	SM	Sables silteux, mélanges de gravier-silt
			SC	Sables argileux, mélanges de sable-argile
Sols à grains fins dont 50 % ou plus passent par un tamis n° 200*.	Silts et argiles dont la limite de liquidité est de 50 % ou moins		ML	Silts inorganiques, sables très fins, farine de roche, sables fins silteux ou argileux
			CL	Argiles inorganiques de plasticité moyenne à faible, argiles graveleuses, argiles sablonneuses, argiles silteuses, argiles maigres
			OL	Silts organiques et argiles silteuses organiques de faible plasticité
	Silts et argiles dont la limite de liquidité est supérieure à 50 %		MH	Silts inorganiques, sables ou silts fins micacés ou à diatomées, silts élastiques
			CH	Argiles inorganiques de forte plasticité, argiles grasses
			OH	Argiles organiques de plasticité moyenne à élevée
Sols hautement organiques			PT	Marais, terre noire et autres sols hautement organiques

† Pour plus de détails sur les critères de classification, consulter la norme ASTM D2487.
* Basé sur le matériel passant à travers un tamis de 75 mm (3 po).

Les équations de conception suivantes pour les coudes verticaux, tés, réduits et bouchons ont été calculées à partir d'hypothèses similaires à celles utilisées dans le calcul de l'équation du coude horizontal (équation 3). L'espace disponible dans la présente brochure ne permet pas une présentation complète des calculs pour tous les raccords et configurations qui existent.

Coudes verticaux vers le bas (figure 10)

Remarque : À des fins de calculs conservateurs, le poids de la terre, du tuyau et de l'eau en opposition directe à la force de poussée est ignoré; toutefois, le poids de la terre, du tuyau et de l'eau est utilisé pour calculer la force de frottement unitaire, F_s.

Cumul des forces dans la direction « Y » :

$$\Sigma F_Y = 0 \text{ Donne}$$

$$2PA \sin(\varnothing/2) - 2F_f L \cos(\varnothing/2) = 0$$

En employant un facteur de sécurité et en calculant la valeur de L,

$$L = \left[\frac{S_f \, PA \tan(\varnothing/2)}{F_f} \right] \quad (7)$$

S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1,5)

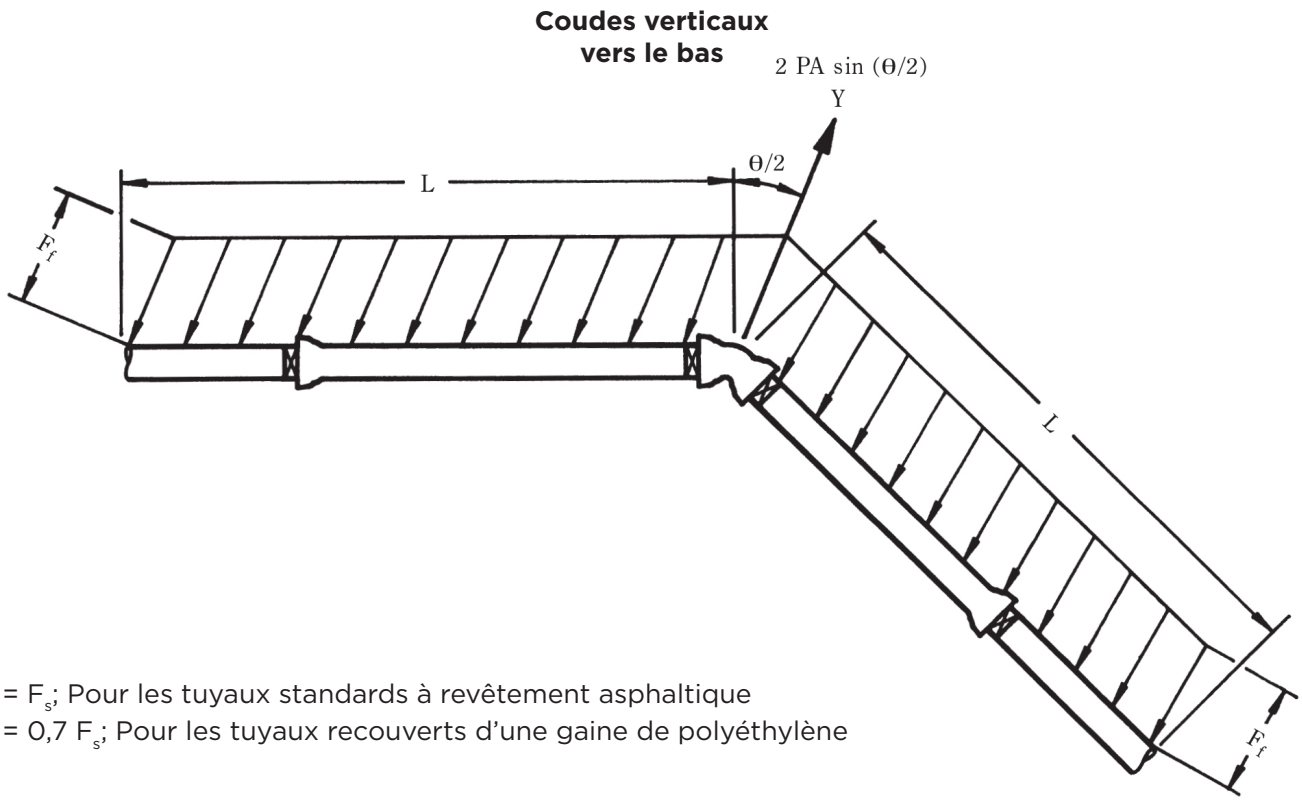
Coudes verticaux vers le haut (figure 7)

$$L = \left[\frac{S_f \, PA \tan(\varnothing/2)}{F_f + 1/2R_s} \right] \quad (8)$$

S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1,5)

Remarques :
1. Le diagramme de la force est identique à celui des coudes horizontaux (voir la figure 7). 2. Dans le présent cas, à mesure que le coude tente de bouger dans la direction de la poussée et contre le fond de la tranchée, les valeurs de K_n doivent être choisies pour refléter les conditions du fond de la tranchée sur lequel repose le tuyau, en supposant que des trous adéquats ont été réalisés pour les extrémités femelles. Dans la plupart des cas, les valeurs des conditions de tranchée de type 4 ou 5 peuvent être utilisées, puisque le fond de la tranchée est normalement relativement peu remanié.

FIGURE 10



$F_f = F_s$; Pour les tuyaux standards à revêtement asphaltique
$F_f = 0{,}7\ F_s$; Pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène

Tés (figure 11)

$$PA_b = L_b F_f + 1/2 R_s L_r$$

En employant un facteur de sécurité et en calculant la valeur de L_b,

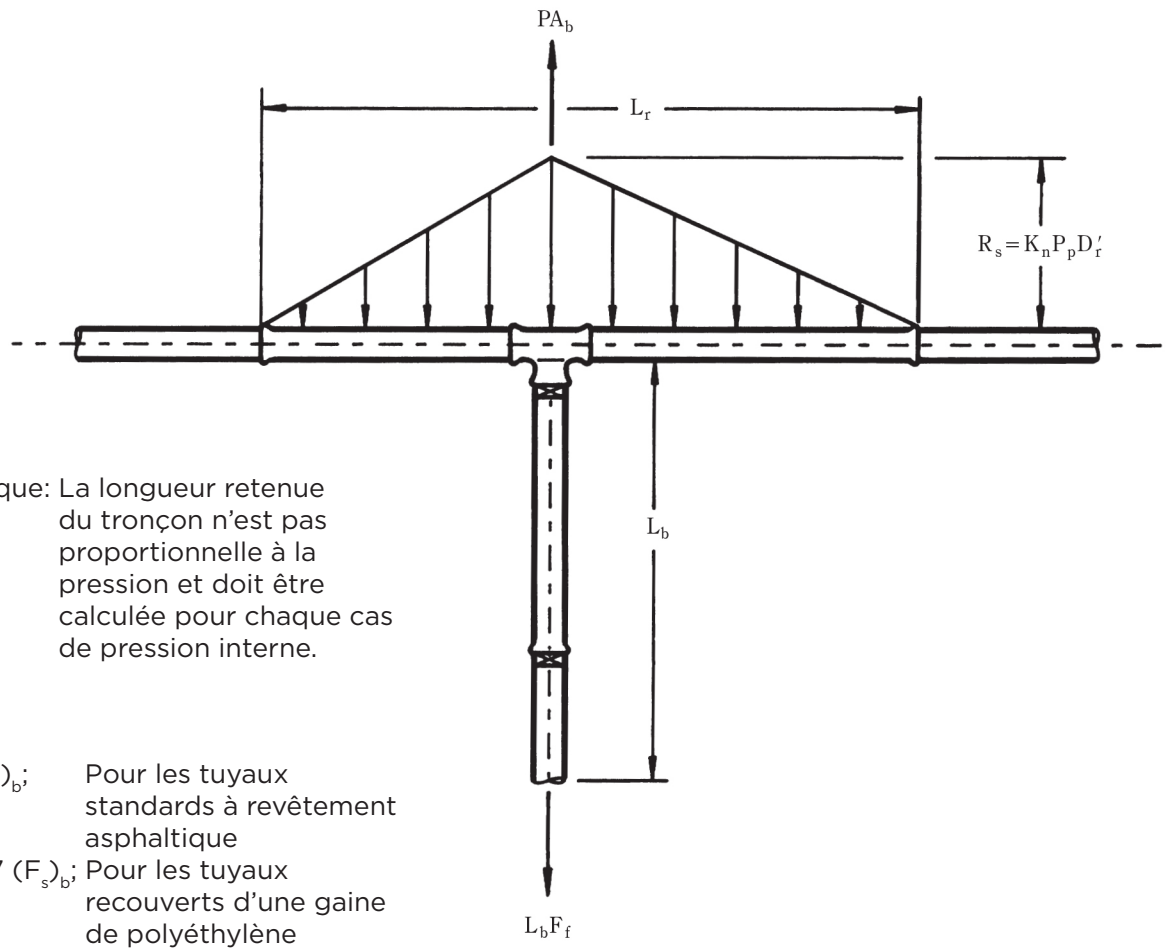
$$L_b = \left[\frac{S_f PA_b - 1/2 R_s L_r}{F_f} \right] \quad (9)$$

$$R_s = K_n P_p D'_r$$

A_b = Zone transversale d'un tronçon (po²)
L_b = Longueur du tronçon (pi) à retenir
L_r = Longueur totale entre les premiers joints de chaque côté du té sur la conduite principale (pi)
D'_r = Diamètre de la conduite principale (pi)
F_f = $(F_s)_b$; Pour les tuyaux standards à revêtement asphaltique
F_f = 0,7 $(F_s)_b$; Pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène
$(F_s)_b$ = Force de frottement unitaire (lb/pi) sur le tronçon
= $\pi D'C + (2W_e + W_p + W_w) \tan \delta$
(utilisée pour les conditions de tronçons en T, de bouchons et les réduits)
S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1,5)

FIGURE 11

Tés



Remarque: La longueur retenue du tronçon n'est pas proportionnelle à la pression et doit être calculée pour chaque cas de pression interne.

$F_f = (F_s)_b$; Pour les tuyaux standards à revêtement asphaltique

F_f = 0,7 $(F_s)_b$; Pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène

Réduits (figure 12)

A_1= Surface transversale du tuyau plus gros
A_2= Surface transversale du tuyau plus petit

$$L_1 = \left[\frac{S_f\, P(A_1 - A_2)}{F_{f1}} \right] \quad (10)$$

S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1,5)

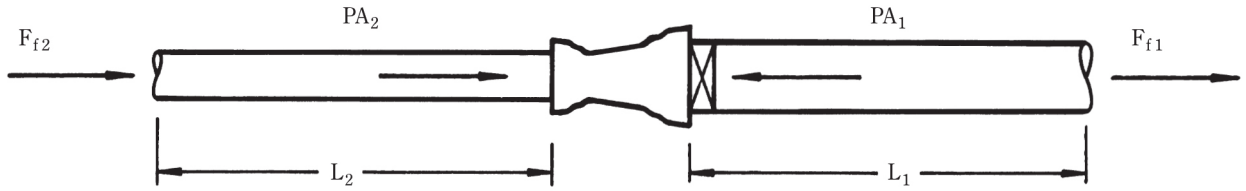
Remarque : Si la longueur de la conduite en ligne droite du côté du petit côté du réduit dépasse

$$L_2 = \left[\frac{S_f\, P(A_1 - A_2)}{F_{f2}} \right] \quad (11)$$

alors, les joints retenus ne sont pas nécessaires.

FIGURE 12

Réduits



$F_{f2} = (F_s)_{b2}$; Pour les tuyaux standards à revêtement asphaltique
$F_{f2} = 0{,}7\ (F_s)_{b2}$; Pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène

$F_{f1} = (F_s)_{b1}$; Pour les tuyaux standards à revêtement asphaltique
$F_{f1} = 0{,}7\ (F_s)_{b1}$; Pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène

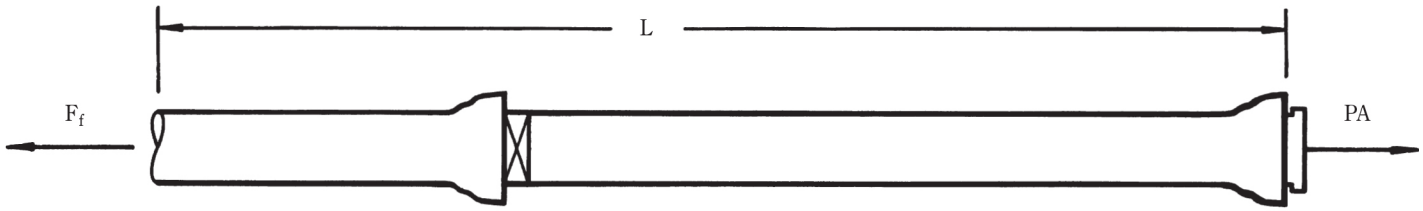
Bouchons (Figure 13)

$$L = \left[\frac{S_f\, PA}{F_f} \right] \quad (12)$$

S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1,5)

FIGURE 13

Bouchons



Ff = (Fs)b; Pour les tuyaux standards à revêtement asphaltique
Ff = 0,7 (Fs)b; Pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène

Chevauchement des longueurs retenues

Dans certaines sections retenues d'une conduite, il est courant d'y trouver des déviations horizontales et verticales. Ces déviations devraient être réalisées avec des coudes du plus petit degré possible afin de minimiser les forces de poussée et la longueur retenue nécessaire. De plus, dans ces configurations, une augmentation de la longueur du segment de la canalisation peut nuire au réseau ou aux structures environnantes en raison d'une déflexion excessive des joints; par conséquent, les joints retenus doivent être complètement allongés (s'il y a lieu) pendant l'installation.

Dans certaines configurations, les raccords peuvent être suffisamment proches les uns des autres pour que les longueurs retenues adjacentes calculées se chevauchent. Dans de telles situations, une approche consiste à :

1) retenir tout le tuyau entre les deux raccords;
2) supposer que la moitié de la longueur retenue du tuyau entre les deux raccords agit pour résister à la force de poussée de chaque raccord et
3) à l'aide des équations appropriées, calculer la longueur retenue supplémentaire nécessaire sur les tronçons extérieurs des raccords.

Voici deux exemples :

Déviation verticale à angle égal (Ø°)* (figure 14)

Pour L_1 :

$$\Sigma F = 0$$

$$[2PA \sin (Ø/2)] = [F_f L \cos (Ø/2)] + [F_f L_1 \cos (Ø/2)]$$

En employant un facteur de sécurité et en calculant la valeur de L_1,

$$L = \frac{S_f\, 2PA \tan (Ø/2)}{F_f} - L \quad (13)$$

Pour L_2 :

$$\Sigma F = 0$$

$$[2PA \sin (Ø/2)] = [F_f L \cos (Ø/2)] + [1/2 R_s L \cos (Ø/2)] + [F_f L_2 \cos (Ø/2)] + [1/2 R_s L_2 \cos (Ø/2)]$$

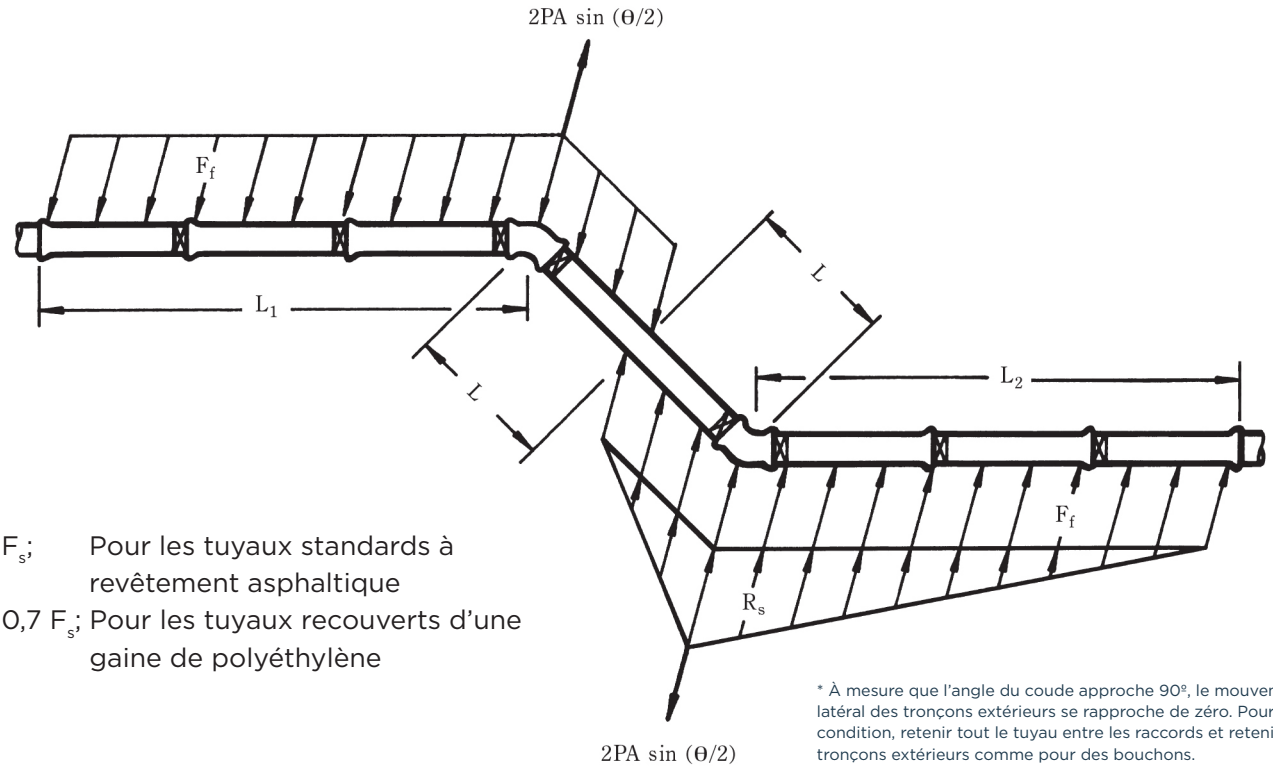
En employant un facteur de sécurité et en calculant la valeur de L_2,

$$L = \frac{S_f\, 2PA \tan (Ø/2)}{F_f + 1/2 R_s} - L \quad (14)$$

S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1,5)

FIGURE 14

Déviation verticale à angle égal (θ°)*



$F_f = F_s$; Pour les tuyaux standards à revêtement asphaltique

$F_f = 0{,}7\ F_s$; Pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène

* À mesure que l'angle du coude approche 90º, le mouvement latéral des tronçons extérieurs se rapproche de zéro. Pour cette condition, retenir tout le tuyau entre les raccords et retenir les tronçons extérieurs comme pour des bouchons.

Coudes combinés horizontaux à angle égal (Ø°)* (figure 15)

Pour L_1 :

$$\Sigma F = 0$$

$$[2PA \sin (Ø/2)] = [F_f L \cos (Ø/2)] + [1/2R_s L \cos (Ø/2)] + [F_f L_1 \cos (Ø/2)] + [1/2R_s L_1 \cos (Ø/2)]$$

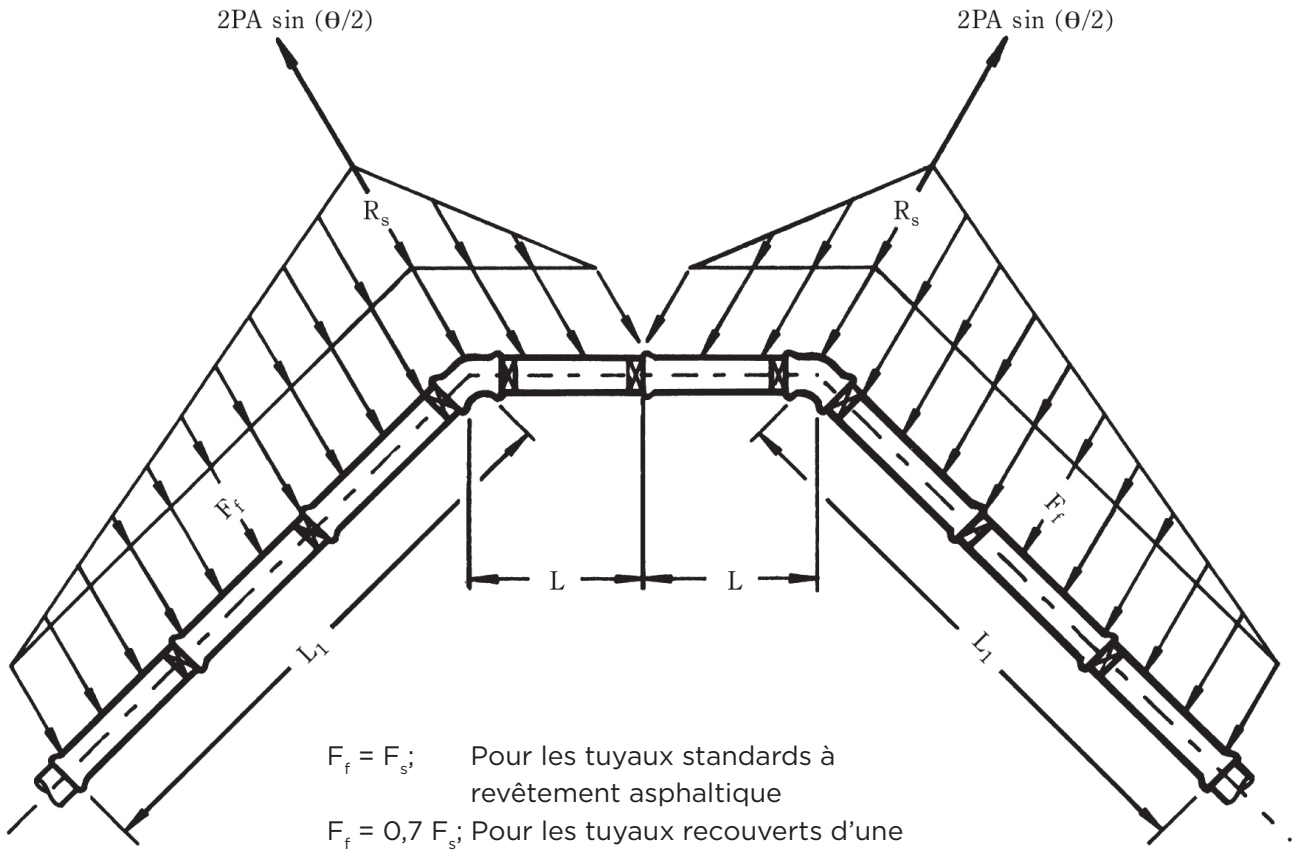
En employant un facteur de sécurité et en calculant la valeur de L_1,

$$L_1 = \frac{S_f\, 2PA \tan (Ø/2)}{F_f + 1/2R_s} - L \quad (15)$$

S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1,5)

FIGURE 15

Coudes combinés horizontaux à angle égal (θ°)*



$F_f = F_s$; Pour les tuyaux standards à revêtement asphaltique

$F_f = 0{,}7\ F_s$; Pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène

* À mesure que l'angle du coude approche 90º, le mouvement latéral des tronçons extérieurs se rapproche de zéro. Pour cette condition, retenir tout le tuyau entre les raccords et retenir les tronçons extérieurs comme pour des bouchons.

Déviations combinées verticales à angle égal (Ø°)* - Sous un obstacle (figure 16)

Des déviations verticales sont fréquemment combinées pour passer une conduite sous un obstacle ou une conduite existante. Si les longueurs retenues nécessaires pour les coudes verticaux vers le haut ne se chevauchent pas, l'ensemble peut alors être traité comme deux déviations verticales individuelles (figure 14). Si les longueurs retenues nécessaires se chevauchent, une approche consiste à :

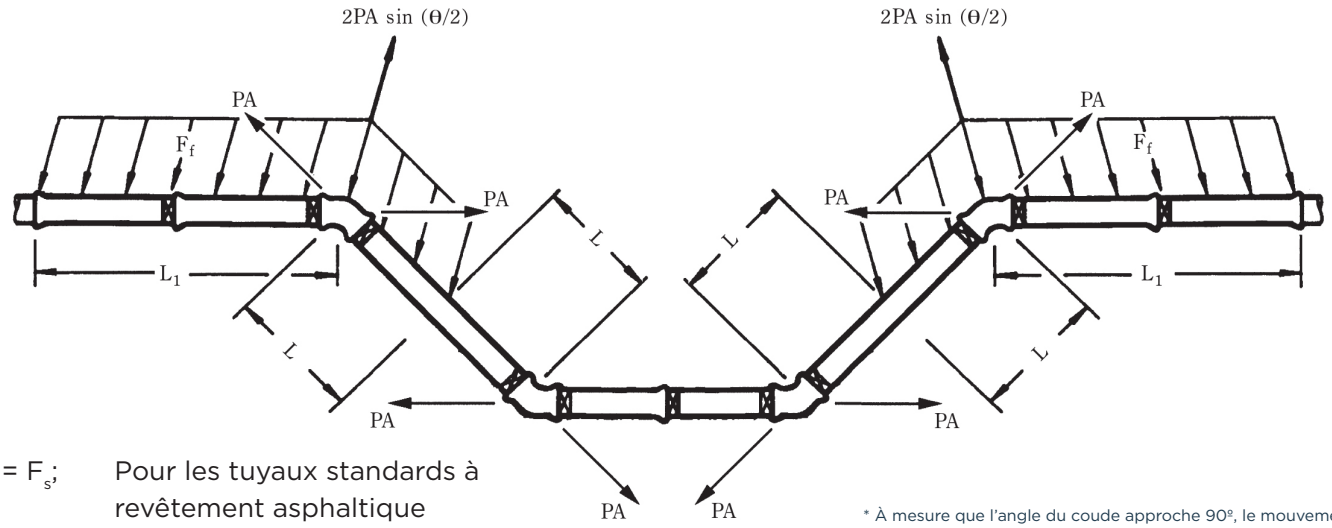
1) retenir tout le tuyau entre les deux raccords aux extrémités;
2) en raison des forces opposées, les forces de poussée des deux raccords centraux (coudes verticaux vers le haut) sont annulées;
3) supposer que la moitié de la longueur retenue entre les coudes verticaux vers le bas et les coudes verticaux vers le haut agissent pour résister à la force de poussée des coudes verticaux vers le bas; et
4) à l'aide des équations appropriées, calculer la longueur retenue supplémentaire nécessaire pour les tronçons extérieurs de la déviation (coudes verticaux vers le bas). L'équation qui en résulte est la même que pour le coude vertical vers le bas dans la déviation simple verticale (équation 13) :

$$L_1 = \frac{S_f\, 2PA \tan(Ø/2)}{F_f} - L \qquad (16)$$

S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1,5)

FIGURE 16

Déviations combinées verticales à angle égal (θ°)*



$F_f = F_s$; Pour les tuyaux standards à revêtement asphaltique

$F_f = 0{,}7\ F_s$; Pour les tuyaux recouverts d'une gaine de polyéthylène

* À mesure que l'angle du coude approche 90º, le mouvement latéral des tronçons extérieurs se rapproche de zéro. Pour cette condition, retenir tout le tuyau entre les raccords et retenir les tronçons extérieurs comme pour des bouchons.

Déviations combinées verticales à angle égal (Ø°)* - Au-dessus d'un obstacle (Figure 16)

Cela peut être analysé de la même manière qu'à la figure 16 avec l'équation suivante :

$$L_1 = \frac{S_f\, 2PA \tan(Ø/2)}{F_f + 1/2R_s} - L \qquad (17)$$

S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1,5)

Remarque : Cette équation s'applique aussi aux déviations combinées horizontales à angle égal (Ø°) – autour d'un obstacle.

Longueur retenue

En pratique, la longueur retenue obtenue sera généralement un multiple de la longueur d'un tuyau individuel (normalement de 18 ou 20 pi [5,5 m ou 6,1 m]). La longueur calculée est la longueur retenue minimale nécessaire de chaque côté du coude. Ainsi, les longueurs obtenues de 0 à 18 ou 20 pieds exigent normalement un joint retenu au raccord, celles de 18 à 36 pieds ou 20 à 40 pieds exigent normalement deux joints retenus, etc.

Considérations concernant le choix du remblayage

Si le tuyau avec joint retenu est placé dans une tranchée dont le matériau de remblayage a des caractéristiques de soutien très différentes de celle du sol d'origine, des considérations spéciales doivent être prises en compte. À mesure de l'augmentation de la pression, le tuyau transmettra une pression passive au remblai qui, à son tour, transmettra cette pression au sol d'origine. Par conséquent, le matériau ayant la plus faible résistance (R_s) doit être utilisé pour déterminer la résistance passive et la force de frottement unitaire (F_s).

Si des joints retenus sont utilisés dans des marécages et des marais où le sol est instable ou dans d'autres situations où la force d'appui du sol est extrêmement faible, le réseau entier doit être retenu afin de fournir une retenue adéquate contre la poussée.

Combinaison de massifs d'ancrage (butées) et de joints retenus

La combinaison de joints retenus et de massifs d'ancrage, conçus indépendamment l'un de l'autre, offre normalement le plus haut niveau de sécurité. Le mélange de systèmes d'ancrage dont les conceptions sont prévues pour résister à un pourcentage de la force de poussée totale est une pratique à proscrire. Les massifs d'ancrage et de tuyau à joints retenus exigent tous deux un faible mouvement avant que leur capacité respective de retenue puisse se développer. Ces mouvements doivent être compatibles pour que la combinaison soit réussie. En raison des incertitudes concernant le degré de compatibilité de ces mouvements, l'approche de conception doit être mûrement réfléchie.

Tuyau dans une gaine

Il est souvent nécessaire d'installer un tuyau à joints retenus dans une gaine. La fonction du tuyau à joints retenus consiste principalement à transférer les forces de poussée à la structure du sol. Par conséquent, si le joint entre les deux tuyaux n'a pas été ancré, la longueur du tuyau retenu à l'intérieur de la gaine ne doit pas être considérée comme faisant partie de la longueur retenue pour équilibrer la force de poussée. Lorsqu'un tuyau retenu est installé dans une gaine, les joints retenus doivent normalement être en complète extension.

Excavations futures

Une préoccupation particulière dont doivent tenir compte les personnes responsables de la conception, l'installation et la maintenance d'un réseau, est la possibilité d'une excavation à proximité d'un tuyau retenu existant et de ses raccords, y compris les excavations parallèles. Étant donné que la fonction habituelle des systèmes de retenue est la transmission des forces de poussée au sol, il est évident que si ce dernier est enlevé ou considérablement perturbé alors que le réseau est sous pression, la sécurité et la stabilité du réseau peuvent être compromises. Ainsi, il semble raisonnable de fermer temporairement les conduites existantes pour effectuer de tels travaux à proximité ou réaliser de telles opérations pendant les périodes où la pression de service est la plus faible. Lorsque cela s'avère peu commode, voire impossible, d'autres dispositions peuvent être prises de manière sécuritaire. Ces précautions peuvent inclure des massifs d'ancrage supplémentaires, une retenue réalisée avec des pieux lestés ou inclinés au point central de la poussée, des ancrages spéciaux ou d'autres méthodes de construction sécuritaires, et innovatrices. Un jugement éclairé en matière de conception doit être exercé dans ces conditions.[2]

Joints non retenus avec déflexions

Les tuyaux en fonte ductile à joints à emboîtement et à joints mécaniques non retenus peuvent présenter des déflexions allant jusqu'à 8 degrés (selon le type de joint et le diamètre du tuyau). Ces joints conviennent à merveille aux réseaux qui doivent contourner des obstacles ou suivre la courbe des rues et des routes. Afin de réduire au minimum les forces de poussée, des déflexions aux joints doivent être utilisées dans la mesure du possible plutôt que des raccords. Dans les systèmes pressurisés, des forces de poussée se développent au niveau des déflexions des joints. Dans la grande majorité des installations, l'interaction sol-tuyau aura pour résultat une sécurité et une stabilité raisonnables des joints. Dans des circonstances exceptionnelles, par exemple, dans des sols instables, la forte pression interne combinée à une couverture très peu profonde peut menacer la sécurité. Dans de telles situations, les principes de résistance à la poussée du sol-tuyau, similaires à ceux présentés dans cette brochure, peuvent être appliqués aux joints non retenus.

Programme informatique

Pour faciliter le travail du concepteur, un programme informatique a été développé, basé sur les méthodes et équations contenues dans cette brochure. Il peut être utilisé pour faire les calculs de force de frottement unitaire et de résistance à la poussée unitaire. De plus, le programme informatique peut servir à simplifier les calculs visant à déterminer la longueur de tuyau retenu qui sera nécessaire. Ce programme est accessible sur le site de DIPRA à http://www.dipra.org.

Méthode de calcul de la longueur retenue

EXEMPLE : Un réseau de 30 po de diamètre en fonte ductile qui sera enfoui sous un remblai granulaire cohésive de six pieds (1,9 m) compacté à 80 % de l'indice de densité standard Proctor jusqu'au-dessus du tuyau (condition de pose 4). La pression utilisée pour le calcul de la retenue contre la poussée est de 150 lb/po². Déterminer la longueur de tuyau retenu nécessaire pour un coude horizontal de 90°.

ÉTAPE 1 : Établir les valeurs connues pour :

$$L = \frac{S_f\, PA \tan(Ø/2)}{F_f + 1/2R_s} \quad (3)$$

Où :
$R_s = K_n P_p D'$
$S_f = 1{,}5$
$P = 150$ lb/po²
$D' = 32/12 = 2{,}67$ pi
$A = 36\pi(D')^2 = 806{,}3$ po²
$Ø = 90°$
$K_n = 0{,}85$ (à partir du tableau 3)
$F_f = F_s$

ÉTAPE 2 : Déterminer la résistance de frottement unitaire, F_s

$$F_s = \frac{\pi D'}{2} C + (2W_e + W_p + W_w) \tan \delta \quad (4a)$$

Où :
$C = f_c C_s = (0{,}40)(200) = 80$ lb/pi²
$f_c = 0{,}40$
$C_s = 200$ lb/pi² } (À partir du tableau 3)
$W_e = H\gamma D' = 6 \times 90 \times 2{,}67 = 1\,442$ lb/pi
$H = 6$ pi de remblai (donnée)
$\gamma = 90$ lb/pi³ (à partir du tableau 3)
$W_p + W_w = 452$ lb/pi (à partir du tableau 2)
$\delta = f_\varphi \varphi = (0{,}65)(20) = 13°$
$f_\varphi = 0{,}65$
$Ø = 20°$ } (À partir du tableau 3)

Alors :

$$F_s = \frac{\pi(2{,}67)(80)}{2} + [2(1442)+452]\tan 13°$$

$F_s = 335{,}5+770{,}2=1\,105{,}7$ lb/pi

ÉTAPE 3 : Déterminer la résistance passive du sol, P_p

$$P_p = \gamma H_c N_\varphi + 2C_s \sqrt{N_\varphi} \quad (5)$$

Où :

$$H_c = H + 1/2D' = 6 + \frac{2{,}67}{2} = 7{,}33 \text{ pi}$$

$$N_\varphi = \tan^2(45 + \varphi/2) = \tan^2\left(45+\frac{20}{2}\right) = 2{,}04$$

Alors :
$P_p = (90)(7{,}33)(2{,}04) + (2)(200)\sqrt{2{,}04}$
$P_p = 1\,345{,}8 + 571{,}3 = 1\,917{,}1$ lb/pi²

ÉTAPE 4 : Substituer les valeurs connues et déterminées dans l'équation 3 indiquée à L'ÉTAPE 1 afin de déterminer la longueur retenue nécessaire.

$$L = \frac{(1{,}5)(150)(806{,}3)\tan(90/2)}{1\,105{,}7 + [1/2\,(0{,}85)(1\,917{,}1)(2{,}67)]}$$

$$L = \frac{181\,417{,}5}{1\,105{,}7+2\,175{,}4}$$

$$L = \underline{\underline{55{,}3 \text{ pi}}}$$

REMARQUE : Le programme informatique de DIPRA, Conception de système de retenue pour les tuyaux en fonte ductile, peut servir à simplifier les calculs visant à déterminer la longueur de tuyau retenu qui sera nécessaire.

Légende

A = Surface de section transversale du tuyau (po^2) = 36π D′ 2 (Voir le tableau 2)

A_p = Surface active de l'extérieur du tuyau (pi^2/pi)

b = Largeur du massif d'ancrage (pi)

C = Cohésion du tuyau (lb/pi^2)

C_s = Cohésion du sol (lb/pi^2) (Voir le tableau 3)

D' = Diamètre extérieur du tuyau (pi) (Voir le tableau 2)

f_c = Rapport de cohésion du tuyau à la cohésion du sol (Voir le tableau 3)

F_f = Résistance unitaire au frottement (lb/pi)

F_s = Force de frottement unitaire en supposant que la moitié de la circonférence du tuyau appuie contre le sol (lb/pi)

$(F_s)_b$ = Force de frottement unitaire en supposant que la circonférence complète du tuyau entre en contact avec le sol (lb/pi)

f_φ = Rapport de l'angle de frottement du tuyau à l'angle de frottement du sol (Voir le tableau 3)

h = Hauteur du massif d'ancrage (pi)

H = Profondeur du remblai jusqu'au-dessus du tuyau (pi)

H_c = Profondeur du remblai jusqu'au centre du tuyau (pi)

H_t = Profondeur au bas du massif d'ancrage (pi)

K_n = Modificateur de condition de tranchée (Voir le tableau 3)

L = Longueur minimale nécessaire de tuyau retenu (pi)

N_φ = tan2 (45° + φ/2)

P = Pression de calcul (lb/po^2)

P_p = Pression passive du sol (lb/pi^2)

R_s = Résistance unitaire à l'appui (lb/pi)

S_b = Force d'appui horizontale du sol (lb/pi^2) (Voir le tableau 1)

T = Force de poussée résultante (lb)

γ = Densité du sol de remblayage (lb/pi^3) (Voir le tableau 3)

W = Force unitaire normale sur le tuyau = 2 W_e + W_p + W_w (lb/pi)

W_e = Charge de prisme de la terre (lb/pi) = γHD′

W_m = Densité du matériau de massif d'ancrage (lb/pi^3)

W_p = Poids unitaire du tuyau (lb/pi) (Voir le tableau 2)

W_w = Poids unitaire de l'eau (lb/pi) (Voir le tableau 2)

Ø = Angle du coude (degrés)

δ = Angle de frottement du tuyau (degrés)

φ = Angle de frottement interne du sol (degrés) (Voir le tableau 3)

S_f = Facteur de sécurité (habituellement 1, 5)

V_g = Volume du massif d'ancrage (pi^3)

Références

1. Carlsen, R.J., « Thrust Restraint for Underground Piping Systems. » *Cast Iron Pipe News*, Automne 1975.
2. Conner, R.C. « Thrust Restraint of Buried Ductile Iron Pipe », Proceedings of Pipeline Infrastructure Conference, Boston, Massachusetts, 6 au 7 juin 1988. Publié par *ASCE*, New York, NY, 1988, p. 218.
3. Recherche de référence de l'U.S. Pipe & Foundry Company (non publiée).
4. Potyondy, J.G., M. Eng., *Skin Friction Between Various Soils and Construction Materials*.
5. ASTM D 2487—Classification of Soils for Engineering Purposes.

Pour plus d'information, contactez DIPRA ou l'un de ses membres.

DIPRA

Une association de fabricants de tuyaux de fonte ductile qui s'engage à maintenir un programme de recherche continu et une offre de services aux professionnels en distribution d'eau potable et d'eaux usées, contribuant ainsi aux plus hautes normes de qualité.

P.O. Box 190306
Birmingham, AL 35219
205 402.8700 Tél.
www.dipra.org

Réseaux sociaux

Tenez-vous au courant des dernières actualités sur les tuyaux de fonte ductile en nous suivant sur Facebook, Twitter, et LinkedIn.

Visitez notre site Web à **www.dipra.org/videos** et cliquez sur l'icône YouTube pour y trouver des vidéos d'information sur la simplicité d'emploi, la résistance et la durabilité, de même que sur les avantages des tuyaux en fonte ductile par rapport à ceux en PVC.

Membres

AMERICAN Ductile Iron Pipe
P.O. Box 2727
Birmingham, Alabama 35202-2727

Canada Pipe Company ULC
1757, Burlington Street East
Hamilton, Ontario Canada L8N 3R5

McWane Ductile
P.O. Box 6001
Coshocton, Ohio 43812-6001

United States Pipe and Foundry Company
Two Chase Corporate Drive
Suite 200
Birmingham, Alabama 35244

Le tuyau de fonte ductile SMART certified

Copyright © 2017 par la Ductile Iron Pipe Research Association

Résistance et **durabilité** pour **la vie**

dipra
Association de recherche sur les tuyaux en fonte ductile