

CONCEPTION ET SÉLECTION D'UNE CONDUITE SOUS PRESSION EN PLASTIQUE

BULLETIN TECHNIQUE

1. INTRODUCTION

Les conduites d'eau potable sous pression sont faites de nombreux matériaux différents. Pour les réseaux d'aqueducs municipaux, on utilise le plus souvent du polychlorure de vinyle (PVC), de la fonte ductile (GS), du polyéthylène haute densité (PEHD), de l'acier ou du béton. Pour choisir le bon matériau, et la bonne classe, il faut d'abord connaître les conditions d'utilisation du réseau et les forces et faiblesses de chaque matériau.

Le remplacement de l'infrastructure actuelle coûterait probablement des milliards de dollars. L'âge moyen des conduites remplacées de nos jours est de 50 ans. En comparaison, les conduites en plastique demeurent fiables et efficaces tout au long de leur cycle de vie, que l'on estime à au moins 100 ans, pourvu que l'on utilise la bonne classe de matériau. Les concepteurs doivent donc tenir compte de la durée de vie des conduites en plastique lorsqu'ils choisissent un matériau pour un projet financé par les deniers publics.

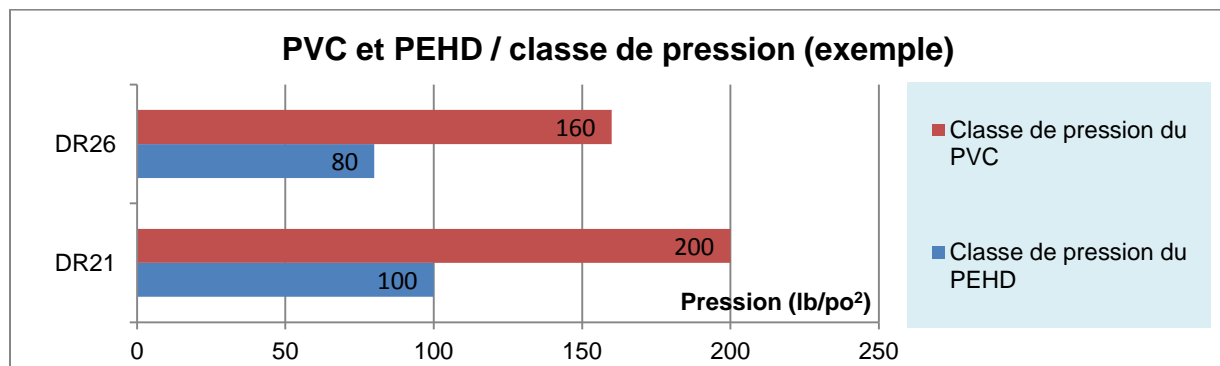
2. CLASSES DE CONDUITES SOUS PRESSION

La classe de pression (PC) permanente d'une conduite en thermoplastique est une fonction de la tension de charge maximale et de l'épaisseur de la paroi de la conduite, que l'on exprime par l'équation ISO suivante :

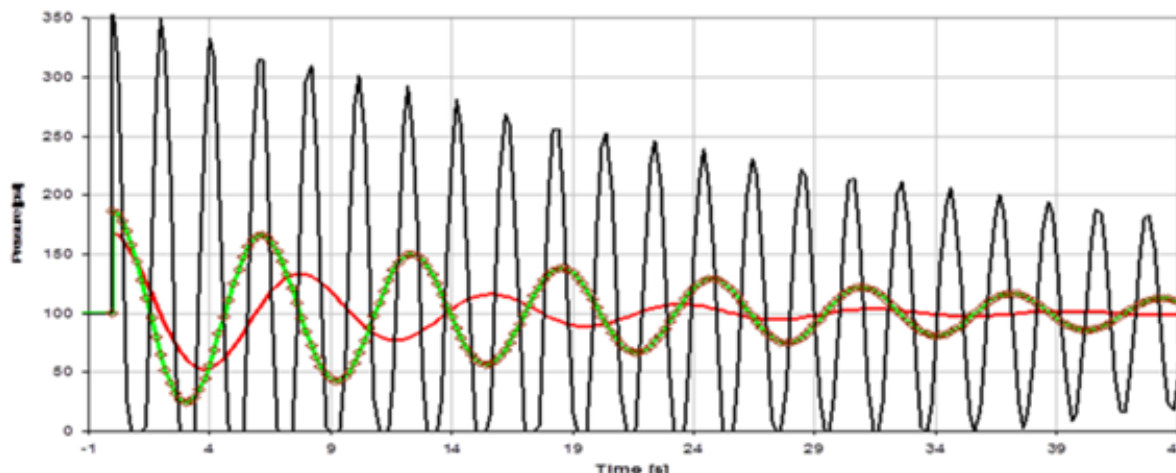
$$PC = \frac{2 \times HDS}{DR - 1}$$

HDS = Tension caractéristique de calcul de l'eau à 73 °F (lb/po²)

DR = Rapport de dimension = $\frac{\text{Diamètre extérieur de la conduite}}{\text{Épaisseur minimale de la paroi}} = \frac{OD}{t_{min}}$



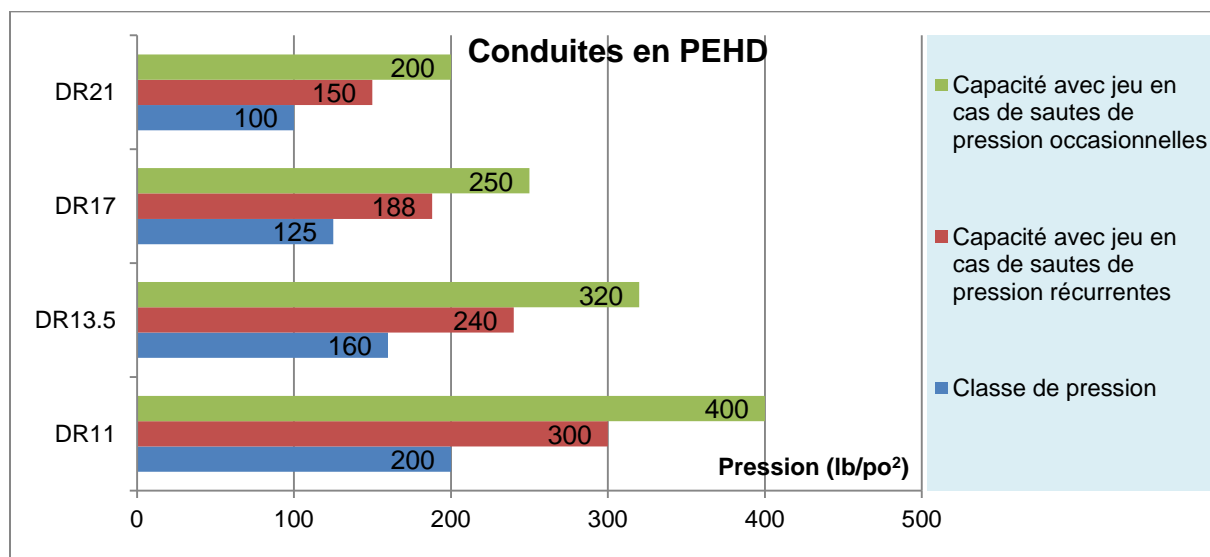
Le concepteur ne peut pas choisir le type de conduite ou de matériau en se fiant uniquement à la classe de pression recommandée pour l'application. Il doit aussi tenir compte des variations de pression du réseau occasionnées par des événements comme le démarrage ou l'arrêt d'une pompe, et l'ouverture ou la fermeture des vannes.



Étant donné les variations dynamiques de la vitesse d'écoulement, le profil de pression d'une conduite dépend énormément du matériau; il est donc presque impossible de retrouver « la même » classe de pression sur des conduites de matériaux différents. Comme la capacité à supporter des pressions causées par des événements dynamiques varie d'un matériau à l'autre, la classe de pression ne peut servir de critère de sélection à elle seule.

Conduites en PEHD

La classe de pression des conduites en polyéthylène laisse un jeu pour les sautes de pression. Il correspond à 50 % de la classe de pression pour les sautes de pression récurrentes (fonctionnement normal des vannes et des pompes) et à 100 % de la classe de pression pour les sautes occasionnelles (défaillances imprévues du réseau).



Conduites en PVC

Les conduites en PVC n'offrent aucun jeu pour les sautes de pression récurrentes, mais en ont un, correspondant à 60 % de la classe de pression, pour les sautes de pression occasionnelles. L'utilisateur doit donc calculer l'ampleur des sautes de pression prévues pour vérifier que, combinées à la pression de service, elles ne dépassent pas la classe de pression de la conduite.

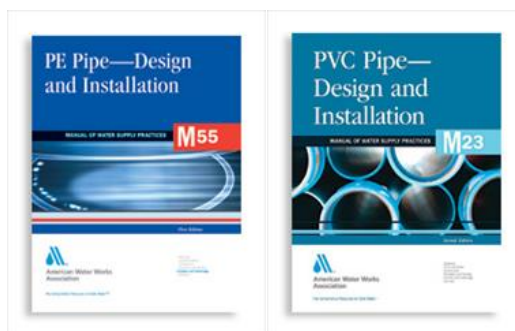
3. SAUTES DE PRESSION

Les sautes de pression (aussi appelées « coups de bélier » ou « perturbations hydrauliques ») des réseaux d'acheminement des liquides sont causées par une variation soudaine de la vitesse d'écoulement, pouvant être générée par l'activation des vannes, le démarrage ou l'arrêt des pompes, une coupure de courant, etc.

Les sautes de pression se divisent généralement en deux catégories : occasionnelles ou récurrentes.

- Les sautes de pression occasionnelles sont le résultat d'un événement peu fréquent, généralement un dysfonctionnement comme une coupure de courant ou une défaillance du système (pompe grippée, tige de manœuvre défectueuse, soupape de décharge défaillante).
- Les sautes de pression récurrentes, quant à elles, se produisent fréquemment et sont inhérentes à la conception et au fonctionnement du réseau de conduites (démarrage ou arrêt normal des pompes, ouverture ou fermeture normale des vannes).

Pour calculer l'ampleur d'une saute de pression, il faut interrompre complètement l'écoulement à vitesse maximale (équation de Joukowsky), ce qui fournit une bonne base à l'évaluation de ce type d'événement, surtout quand on sait que les conditions d'utilisation peuvent varier énormément durant le cycle de vie de la conduite. Les guides **M55 PE Pipe—Design and Installation** et **M23 PVC Pipe—Design and Installation** de l'AWWA préconisent tous les deux cette méthode d'analyse.



L'ampleur de la saute de pression causée par une variation soudaine de la vitesse de l'écoulement est une fonction de la variation de la vitesse, de la rigidité (module) de la conduite et de la résistance à la compression (module de compression) du liquide.

$$P_s = a \left(\frac{\Delta v}{2,31g} \right)$$

P_s = Saute de pression (lb/po²)

Δv = Variation de la vitesse (pi/s)

g = Accélération gravitationnelle (32 pi/s²)

a = Vitesse de l'onde (pi/s)

$$a = \frac{4660}{\sqrt{1 + \frac{K_{bulk}(DR - 2)}{Ed}}}$$

K_{bulk} = Module de compression du liquide (300 000 lb/po² pour l'eau à 73 °F)

Ed = Module dynamique instantané du matériau (150 000 lb/po² pour le PEHD et 400 000 lb/po² pour le PVC)

DR = Rapport de dimension

Comme le liquide en circulation est généralement de l'eau, les seules variables sont le module de la conduite et la vitesse d'écoulement prévue.

La vitesse d'écoulement prévue nécessaire au calcul des sautes de pression est généralement disponible dans les normes de conception municipales des réseaux d'aqueduc.

Dans le cadre de son **Technical Report on Fatigue of Plastic Water Pipe**, Jana a étudié 57 municipalités nord-américaines (principalement aux États-Unis) pour en arriver à la conclusion que la vitesse d'écoulement moyenne était de 6,7 pi/s (2 m/s) en situation normale et de 11,6 pi/s (3,5 m/s) en situation de lutte contre l'incendie. De son côté, le **Water Distribution Operator Training Handbook** de l'AWWA parle plutôt d'un seuil de fonctionnement normal de 5 pi/s (1,5 m/s) pouvant augmenter en situation de lutte contre l'incendie.

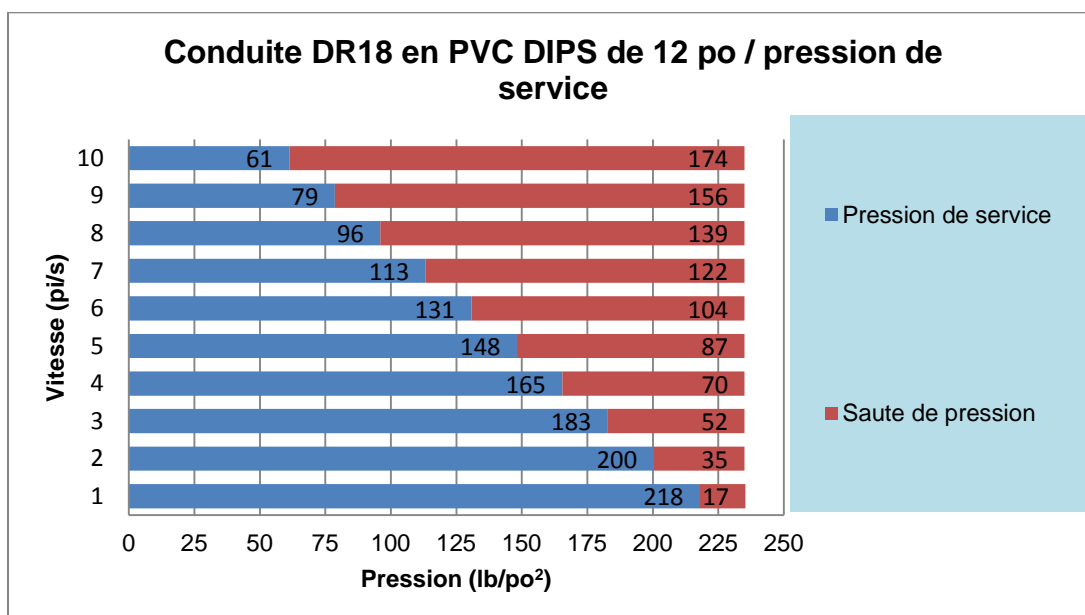
Selon l'échantillon de plans d'écoulement des municipalités canadiennes, la vitesse maximale ne devrait pas excéder 5 pi/s (1,5 m/s) en situation normale et environ 8 pi/s (2,4 m/s) à 16,2 pi/s (5 m/s) en situation de lutte contre l'incendie.

Exemple : Pression de service et évaluation des sautes de pression d'une conduite DR18 en PVC DIPS de 12 po et d'une conduite DR17 PE4710 en PEHD DIPS de 12 po

Dimensions :

	DR17 en PEHD DIPS de 12 po	DR18 en PVC DIPS de 12 po
Diamètre extérieur de la conduite (po)	13,20	13,20
Diamètre intérieur de la conduite (po)	11,55	11,65
Aire de l'orifice (pi²)	0,73	0,74

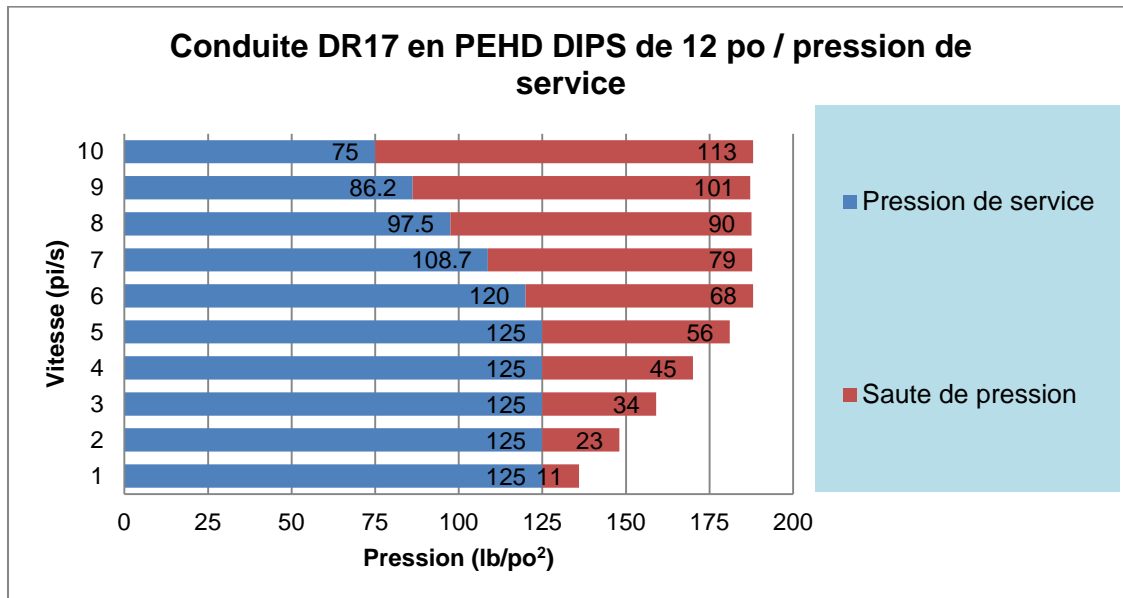
La classe de pression publiée par le fabricant pour une conduite DR18 en PVC est de 235 lb/po². Toutefois, ce chiffre ne tient pas compte du jeu pour les sautes de pression récurrentes potentielles. Par conséquent, le concepteur doit d'abord calculer l'ampleur maximale des sautes de pression. La pression de service et la saute de pression réunies ne doivent pas excéder la classe de pression de la conduite.



Dans une conduite DR18 en PVC de 12 po, interrompre un écoulement d'une vitesse de 5 pi/s peut causer une saute de pression de 87 lb/po². La pression de service de la conduite en PVC ne doit donc pas dépasser 148 lb/po² (235 lb/po² – 87 lb/po² = 148 lb/po²).

Dans une conduite DR18 en PVC de 12 po, interrompre un écoulement d'une vitesse de 8 pi/s peut causer une saute de pression de 139 lb/po². La pression de service de la conduite en PVC ne doit donc pas dépasser 96 lb/po² (235 lb/po² – 139 lb/po² = 96 lb/po²).

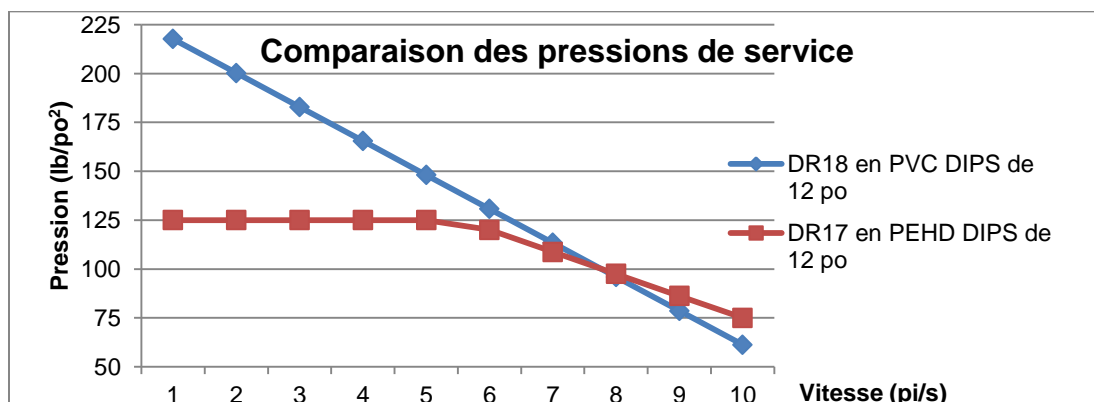
La classe de pression publiée par le fabricant pour une conduite PE4710 DR17 est de 125 lb/po². La capacité maximale, jeu compris, en cas de sautes de pression est de 187,5 lb/po² (1,5 x PC = 1,5 x 125 lb/po²). Le jeu est donc de 62,5 lb/po² (187,5 lb/po² – 125 lb/po²).



Dans une conduite DR17 en PEHD de 12 po, interrompre un écoulement d'une vitesse de 5 pi/s peut causer une saute de pression de 56 lb/po². Comme la saute de pression prévue de 56 lb/po² est inférieure au jeu de 62,5 lb/po², la pression de service tolérée de 125 lb/po² n'a pas à être réduite.

Dans une conduite DR17 en PEHD de 12 po, interrompre un écoulement d'une vitesse de 8 pi/s peut causer une saute de pression de 90 lb/po². Comme la saute de pression prévue est supérieure au jeu de 62,5 lb/po², la pression de service tolérée ne doit pas dépasser 97,5 lb/po² (187,5 lb/po² – 90 lb/po² = 97,5 lb/po²).

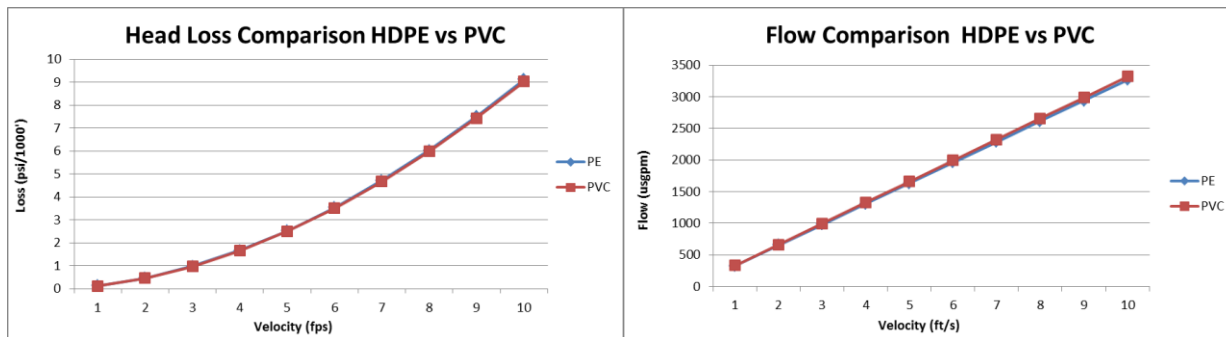
Le graphique suivant illustre la pression de service de conduites en PVC et en PEHD selon les vitesses d'écoulement utilisées dans les exemples précédents.



Lorsque la vitesse prévue est inférieure à 5,5 pi/s, la pression de service est égale à la classe de pression du PEHD (125 lb/po²). Mais lorsque la vitesse prévue est supérieure à 5,5 pi/s, la pression de service est inférieure à la classe de pression du PEHD.

Plus la vitesse d'écoulement augmente, plus la pression de service d'une conduite en PVC est inférieure à la classe de pression. À partir de 7,5 pi/s, la pression de service des conduites en PVC est inférieure à celle des conduites en PEHD.

Voici une illustration du débit d'écoulement (gal/min) et de la perte de charge hydraulique d'une conduite DR18 en PVC DIPS de 12 po et d'une conduite DR17 en PEHD DIPS de 12 po. Les résultats sont semblables. En fait, la courbe du PEHD est dissimulée derrière celle du PVC. Rien d'étonnant puisque le coefficient de rugosité « C » des deux matériaux est de 150 et que les deux conduites ont un diamètre intérieur et un rapport de dimension comparables.



4. RÉSISTANCE PRÉVUE À LA FATIGUE

On mesure la résistance à la fatigue par le nombre de sautes qu'une conduite en plastique peut tolérer avant de subir une rupture par fatigue. Pour traduire ce nombre en résistance, le concepteur ou l'utilisateur du réseau doit fournir une estimation de la fréquence des sautes de pression.

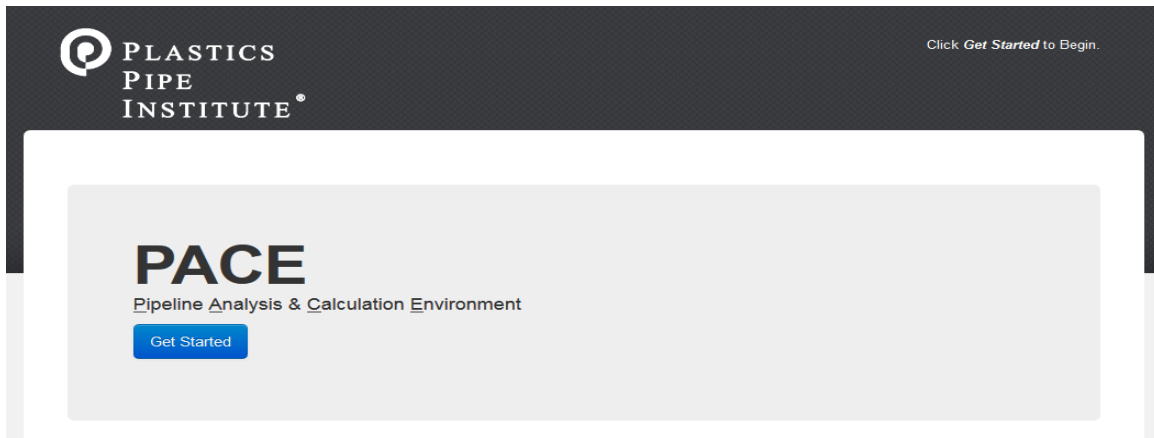
Selon des recherches empiriques approfondies menées dans le cadre du **Technical Report on Fatigue of Plastic Water Pipe** de Jana, les matériaux en polyéthylène actuels (PE4710, PE100) ne sont pas influencés par la charge cyclique. Ce mode de défaillance ne semble pas se produire en service. Il est tout de même possible de calculer la résistance à la fatigue. D'ailleurs, une évaluation périodique de la fatigue du polyéthylène saura confirmer la résistance exceptionnelle de ce matériau.

Le PVC est reconnu pour sa vulnérabilité aux ruptures par fatigue. Les fabricants recommandent aux utilisateurs de vérifier si le rapport de dimension convient à la tâche (selon la pression de service; pression nominale moins saute de pression) pour éviter une rupture par fatigue.

Pour en savoir plus sur la résistance à la fatigue et les vitesses d'écoulement, consulter le **Technical Report on Fatigue of Plastic Water Pipe** de Jana (<https://www.plasticpipe.org/pdf/mid-fatigue-plastic-water-pipe-01-12-12.pdf>).

5. PPI-PACE

Le Plastic Pipe Institute offre un outil de conception Web conçu pour aider les concepteurs et les propriétaires à choisir les matériaux de leurs réseaux de distribution et d'aqueduc. Le PPI-PACE (<http://ppipace.com/>) facilite le calcul préliminaire de la pression de service, des sautes de pression et de la résistance à la fatigue.



Cet outil suit la procédure de conception de normes bien établies et acceptées en matière de distribution d'eau (ANSI/AWWA C150/151, ANSI/AWWA C900, ANSI/AWWA C901, ANSI/AWWA C905, ANSI/AWWA C906, ANSI/ASTM D2241).

Exemple de conception :

Conduites : DR17 PE4710 en PEHD DIPS de 12 po, DR18 en PVC DIPS (CIOD) de 12 po et PC350 en GS DIPS de 12 po

Pression de service : 70 lb/po²

Vitesse prévue des sautes récurrentes : 5 pi/s

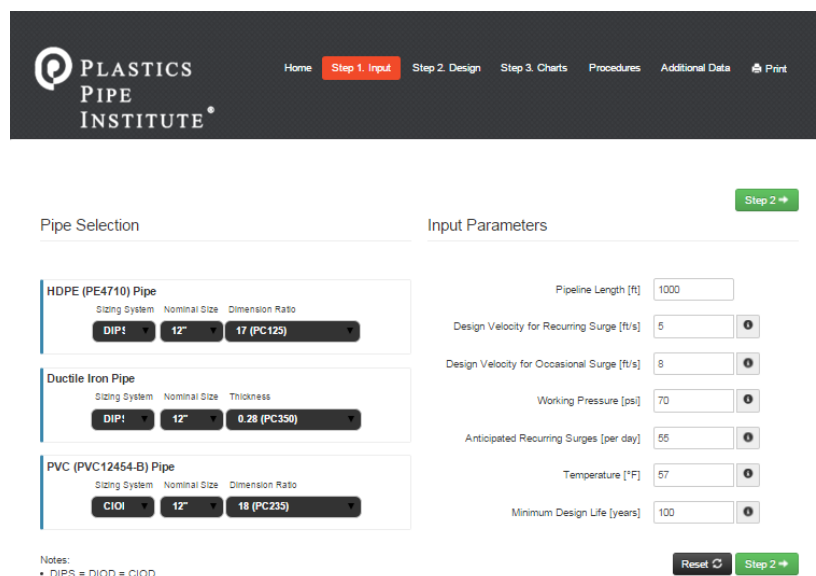
Vitesse prévue des sautes occasionnelles : 8 pi/s

Température : 57 °F

Durée de vie prévue : 100 ans

Sautes récurrentes prévues : 55 cycles par jour, ou environ 2 millions de cycles sur 100 ans

Étape 1 : Entrée des données



Home **Step 1. Input** Step 2. Design Step 3. Charts Procedures Additional Data Print

Step 2 →

Pipe Selection

Input Parameters

HDPE (PE4710) Pipe

Sizing System	Nominal Size	Dimension Ratio
DIP1	12"	17 (PC125)

Ductile Iron Pipe

Sizing System	Nominal Size	Thickness
DIP1	12"	0.28 (PC350)

PVC (PVC12454-B) Pipe

Sizing System	Nominal Size	Dimension Ratio
CIOD	12"	18 (PC235)

Notes:

- DIPS = DIOD = CIOD

Reset Step 2 →

Pipeline Length [ft] 1000

Design Velocity for Recurring Surge [ft/s] 5

Design Velocity for Occasional Surge [ft/s] 8

Working Pressure [psi] 70

Anticipated Recurring Surges [per day] 55

Temperature [°F] 57

Minimum Design Life [years] 100

Par défaut, le PPI-PACE évalue la vitesse des sautes récurrentes à 4 pi/s; le logiciel n'accepte que les valeurs de 4 à 8 pi/s.

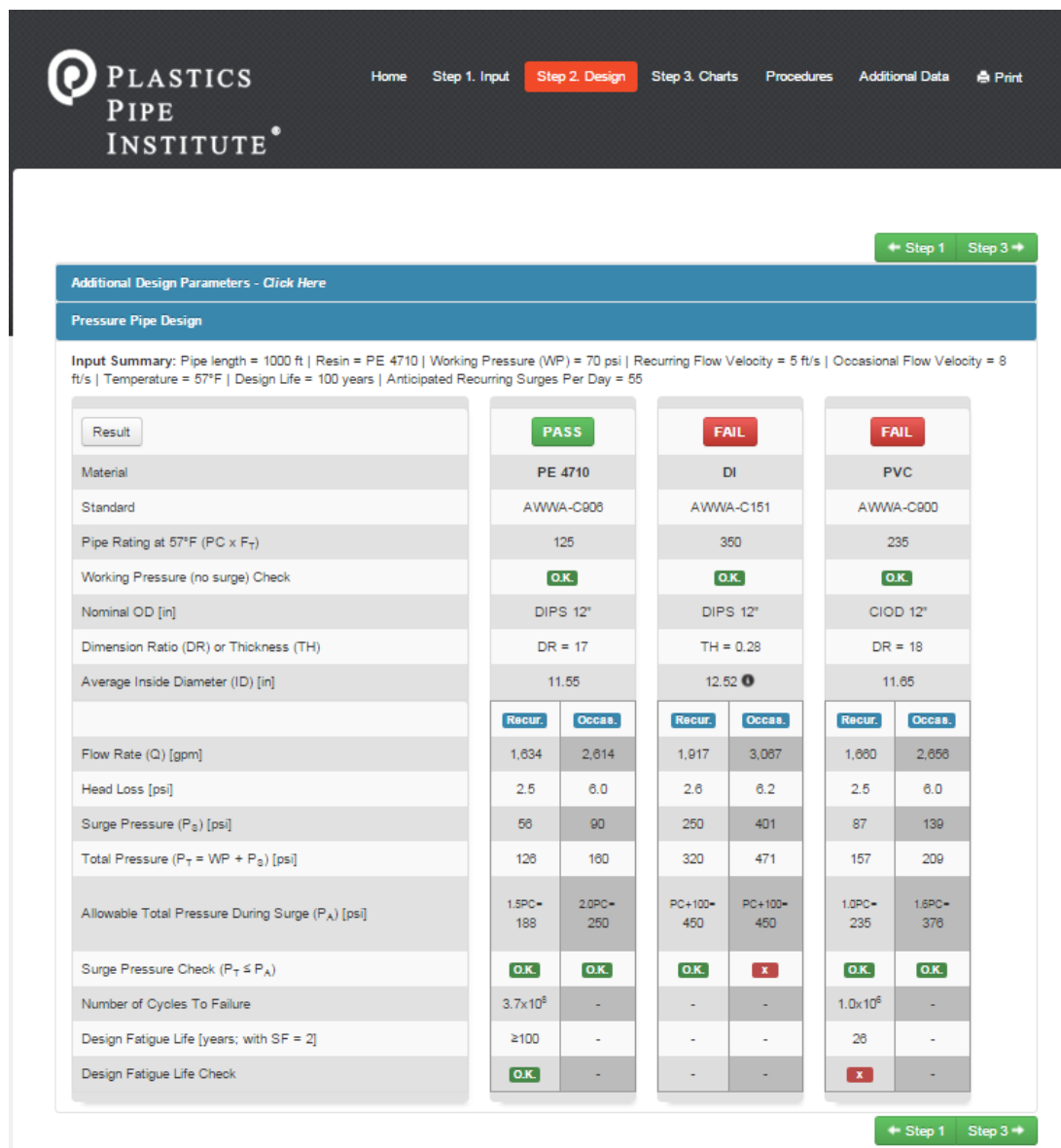
Par défaut, le PPI-PACE évalue la vitesse des sautes occasionnelles à 8 pi/s; le logiciel n'accepte que les valeurs de 5 à 15 pi/s.

Par défaut, le PPI-PACE évalue la pression de service à 70 lb/po², soit la pression de service moyenne aux États-Unis. Le jeu minimal du logiciel est de 40 lb/po².

Par défaut, le PPI-PACE évalue les sautes de pression prévues à 55 cycles par jour selon les normes AWWA C900-07 et AWWA C905-10 (annexe B/exemple de conception), soit environ 1 million de cycles pendant 50 ans et environ 2 millions de cycles pendant 100 ans. L'utilisateur doit entrer le chiffre approprié.

Par défaut, le PPI-PACE évalue la température à 57 °F, soit la température moyenne de l'eau aux États-Unis; le logiciel n'accepte que les valeurs de 40 à 100 °F.

Étape 2 : Conception



PLASTICS PIPE INSTITUTE

Home Step 1. Input **Step 2. Design** Step 3. Charts Procedures Additional Data Print

← Step 1 Step 3 →

Additional Design Parameters - [Click Here](#)

Pressure Pipe Design

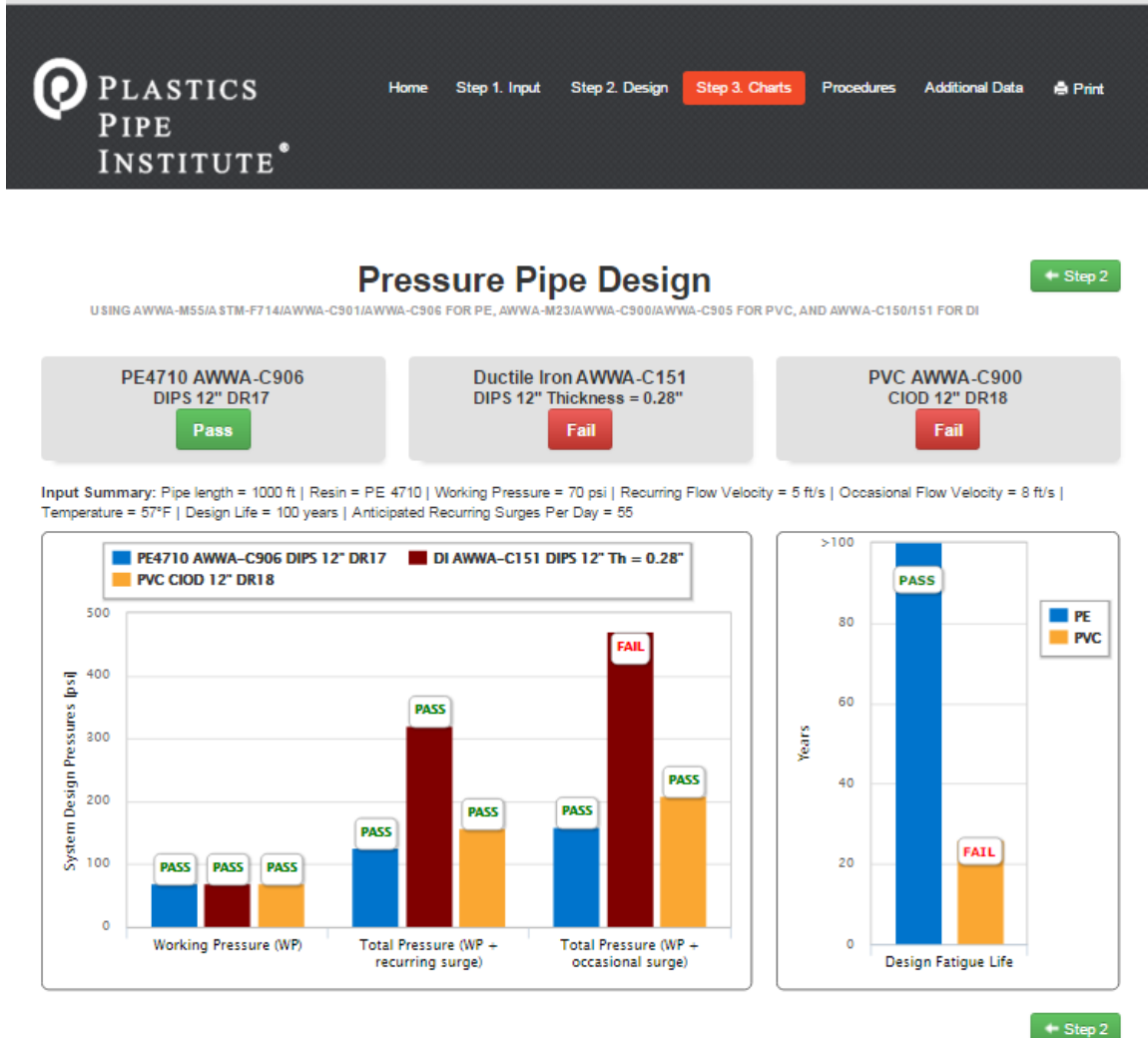
Input Summary: Pipe length = 1000 ft | Resin = PE 4710 | Working Pressure (WP) = 70 psi | Recurring Flow Velocity = 5 ft/s | Occasional Flow Velocity = 8 ft/s | Temperature = 57°F | Design Life = 100 years | Anticipated Recurring Surges Per Day = 55

Result	PASS		FAIL		FAIL	
	Recur.	Occas.	Recur.	Occas.	Recur.	Occas.
Material	PE 4710		DI		PVC	
Standard	AWWA-C908		AWWA-C151		AWWA-C900	
Pipe Rating at 57°F (PC x F _T)	125		350		235	
Working Pressure (no surge) Check	O.K.		O.K.		O.K.	
Nominal OD [in]	DIPS 12"		DIPS 12"		CIOD 12"	
Dimension Ratio (DR) or Thickness (TH)	DR = 17		TH = 0.28		DR = 18	
Average Inside Diameter (ID) [in]	11.55		12.52		11.85	
Flow Rate (Q) [gpm]	1,634	2,614	1,917	3,067	1,660	2,656
Head Loss [psi]	2.5	6.0	2.6	6.2	2.5	6.0
Surge Pressure (P _S) [psi]	56	90	250	401	87	139
Total Pressure (P _T = WP + P _S) [psi]	126	160	320	471	157	209
Allowable Total Pressure During Surge (P _A) [psi]	1.5PC = 188	2.0PC = 250	PC+100 = 450	PC+100 = 450	1.0PC = 235	1.6PC = 376
Surge Pressure Check (P _T ≤ P _A)	O.K.	O.K.	O.K.	X	O.K.	O.K.
Number of Cycles To Failure	3.7x10 ⁸	-	-	-	1.0x10 ⁸	-
Design Fatigue Life [years; with SF = 2]	≥100	-	-	-	26	-
Design Fatigue Life Check	O.K.	-	-	-	X	-

← Step 1 Step 3 →

On calcule la résistance à la fatigue du PVC par la méthode fournie dans l'annexe B de l'AWWA C900 et C905 avec un coefficient de sécurité de 2:1. Celle du PEHD est déterminée par la courbe fournie dans le *Final report of Pipeline Innovation Contract to UKWIR* (Marshall, G.P., Brogden, S., 1997) avec un coefficient de sécurité de 2:1. Celle du GS n'est pas disponible dans le PPI-PACE puisque ce matériau n'est pas considéré comme vulnérable à la fatigue. La seule chose à vérifier, c'est la pression maximale tolérée. La « bonne conduite » est celle qui répond aux exigences d'écoulement, de pression de service et de résistance à la fatigue prévus.

Étape 3 : Graphiques



Rapport imprimé

Calculated Results

Standard	AWWA-C906		AWWA-C151		AWWA-C900	
Resin	PE4710		DI		PVC12454-B	
Pipe Rating at 57°F	125		350		235	
Working Pressure (no surge) Check	OK		OK		OK	
Nominal OD [in]	DIPS 12		DIPS 12		CIOD 12	
Dimension Ratio / Thickness	17		0.28		18	
Average Inside Diameter [in]	11.55		12.52		11.65	
	Recur.	Occas.	Recur.	Occas.	Recur.	Occas.
Flow Rate [gpm]	1,634	2,614	1,917	3,067	1,660	2,656
Head Loss [psi]	2.5	6.0	2.6	6.2	2.5	6.0
Surge Pressure [psi]	56	90	250	401	87	139
Total Pressure [psi]	126	160	320	471	157	209
Allow. Total Press. (with surge) [psi]	188	250	450	450	235	376
Surge Pressure Check	OK	OK	OK	x	OK	OK
Number of Cycles To Failure	3.7 x 10 ⁸		N/A		1.0 x 10 ⁶	
Design Fatigue Life [years; SF = 2]	>100		N/A		26	
Design Fatigue Life Check	OK		N/A		x	

6. Conclusions

La classe de pression varie énormément selon le matériau de la conduite. Les concepteurs ne devraient donc pas s'y fier aveuglément. Comme il en a été question dans le présent bulletin technique, la classe de pression recommandée pour le PEHD (et le PVC) doit être calculée selon les méthodes de conception de l'AWWA propres à chaque matériau.

Infra Pipe Solutions Ltd.

6507 Mississauga Road

Mississauga (Ontario)

Canada L5N 1A6

Tél. : 905 858-0206

866.594.7473

Télec. : 905 858-0208

Web : www.infrapipes.com