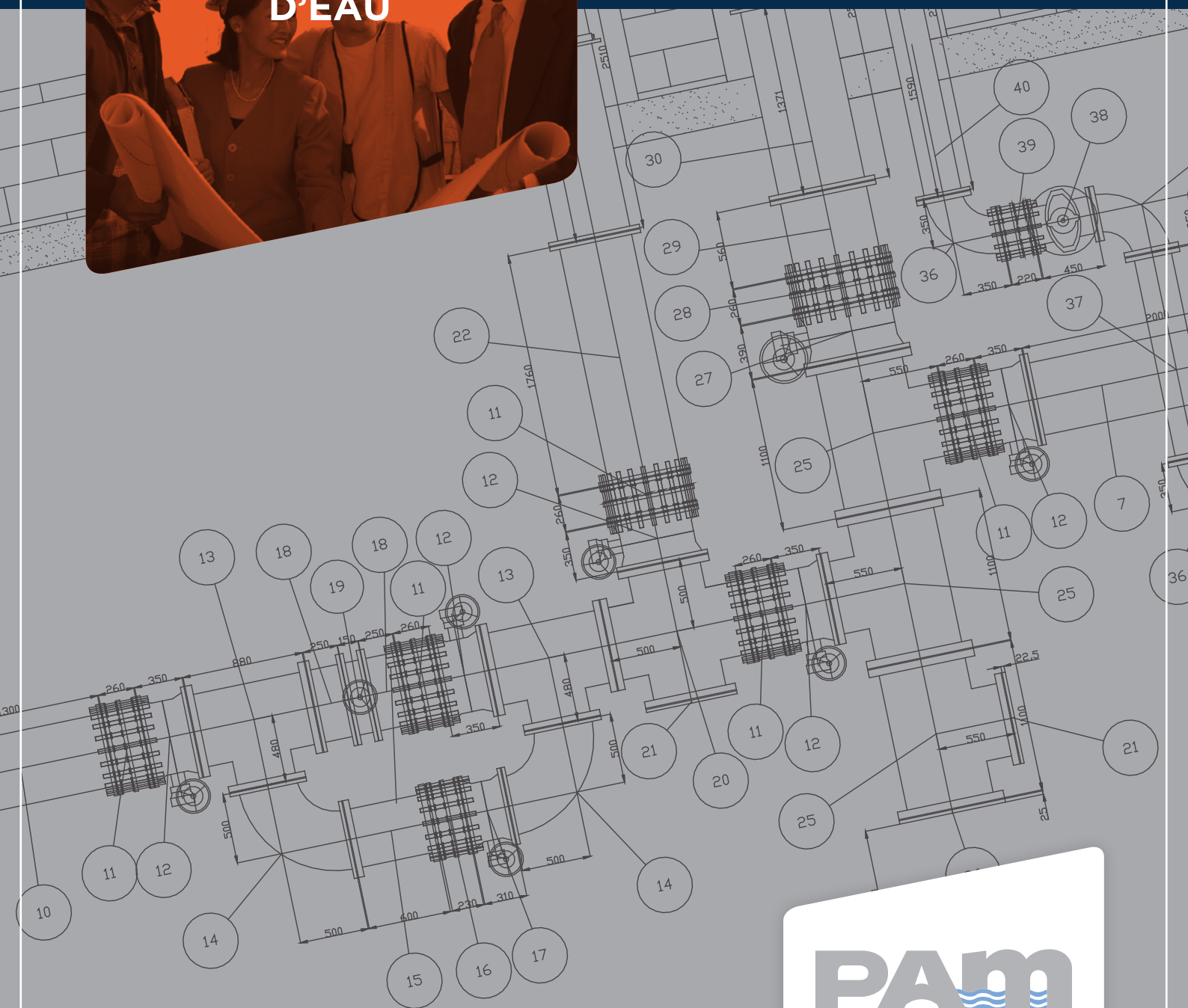


GUIDE

DE CONCEPTION
DES INSTALLATIONS
D'ADDUCTION ET
DISTRIBUTION
D'EAU

POUR CANALISATIONS
EN FONTE DUCTILE



SOLUTIONS DURABLES POUR L'EAU

SOMMAIRE

Cycle de l'eau

Besoins, ressources en eau.....	p.3
Eaux destinées à la consommation humaine.....	p.6
Eaux agressives ou corrosives.....	p.7
Diamètre (choix).....	p.9
Profil en long.....	p.14
Pertes de charge	p.16

Pression et déviation angulaire au joint

Pression (terminologie).....	p.30
Pression de fonctionnement admissible (PFA) des tuyaux et raccords (bar).....	p.33
PMA et PEA en fonction de la PFA (bar)	p.37
Classe de pression des raccords.....	p.37
Verrouillage	p.39
Calcul des longueurs à verrouiller	p.43
Butées (massifs)	p.45
Coefficients de sécurité.....	p.48
Coups de bélier.....	p.49
Déviation angulaire au joint.....	p.52

Environnement autour de la canalisation

Sols (caractéristiques mécaniques).....	p.54
Terrains instables.....	p.55
Terrassement.....	p.57
Agressivité des sols	p.61
Hauteurs de couverture.....	p.63
Comportement aux charges.....	p.67

Référentiels normatifs et qualité

Normes produits et normes annexes.....	p.69
Matériaux en contact avec de l'eau destinée à la consommation humaine.....	p.70

Développement durable

Transport et pose	p.71
Analyse de cycle de vie	p.72
Coût global de possession	p.73

LE CYCLE DE L'EAU

Besoins, ressources en eau

Le dimensionnement d'un réseau doit prendre en considération :

- les besoins en eau, estimés par des méthodes statistiques ou analytiques,
- les ressources en eau, évaluées à partir des données hydrogéologiques et hydrologiques propres à chaque région.

Évaluation des besoins en eau**Volume**

Le volume d'eau nécessaire à l'alimentation d'une collectivité dépend :

- de l'importance et du caractère des localités à desservir,
- des besoins municipaux, agricoles et industriels,
- des habitudes de la population.

En général, on prévoit les quantités moyennes suivantes par habitant et par jour :

- 144,6 litres/habitant/jour, soit 52,79 m³/habitant/an (consommation domestique) ;
- 157,7 m³/abonné/an (consommation totale : domestique et non domestique).

Source guide ONEMA Observatoire des services publics d'eau et d'assainissement : panorama des services et de leurs performances (données 2014).

Il convient, dans tous les cas, de calculer les réseaux d'adduction et de distribution en tenant compte des perspectives de développement urbain à long terme de la collectivité.

La présence d'établissements collectifs ou à caractère industriel doit être prise en compte, les valeurs moyennes des besoins étant les suivantes pour quelques exemples courants :

- écoles : 100 litres par élève et par jour,
- abattoirs : 500 litres par tête de bétail,
- laiteries, beurseries, fromageries : 5 litres par litre de lait traité,
- hôpitaux : 400 litres par lit,
- vinification : 2 litres par litre de produit obtenu,
- défense incendie : réserve de 120 m³ minimum pouvant alimenter un poteau de DN 100 pendant 2 heures (NF S 62-200 - Août 2009 - Poteaux et bouches d'incendie - Règles d'installation, de réception et de maintenance). Certains services de protection contre l'incendie peuvent exiger davantage,
- industries : à étudier cas par cas.

Il est indispensable de disposer d'une part, d'une marge de sécurité pour tenir compte des oublis ou des inexactitudes affectant les renseignements obtenus, et d'autre part, du rendement effectif du réseau.

Le rendement d'un réseau est :

$$r = \frac{\text{Volume facturé}}{\text{Volume produit}}$$

$$\text{Besoin brut en eau} = \frac{\text{Besoin net}}{r} \times K_{\text{sec}} \times K_{\text{col}}$$

LE CYCLE DE L'EAU

Besoins, ressources en eau

■ Débit

Cas de collectivités (grand nombre d'abonnés)

Les besoins en débit sont évalués en pointes journalières et pointes horaires. Un réseau de distribution est généralement dimensionné pour faire transiter les débits de pointe horaire.

$$Q_p = K_j \times K_h \times \frac{V_{j\text{moyen}}}{24} \text{ (m}^3/\text{h)}$$

où :

$$V_{j\text{moyen}} = \frac{V_{\text{annuel}} \text{ (m}^3\text{)}}{365} : \text{consommation journalière moyenne dans l'année}$$

$$K_h = \frac{V_{h\text{max}}}{V_{j\text{max}}} \times 24 : \text{coefficient de pointe horaire}$$

$$K_j = \frac{V_{j\text{max}}}{V_{j\text{moyen}}} : \text{coefficient de pointe journalier}$$

$V_{h\text{max}}$: volume utilisé pendant l'heure de plus forte consommation dans la journée de plus forte consommation (m³/heure).

$V_{j\text{max}}$: volume utilisé le jour de plus forte consommation de l'année (m³/jour).

Cas des immeubles collectifs (faible nombre d'abonnés)

Les besoins en débit sont évalués non pas en fonction du nombre de consommateurs, mais du nombre d'appareils (lavabos, éviers, wc, etc.) pondéré par un coefficient de simultanéité de fonctionnement :

$$Q = k \cdot n \cdot q$$

où :

q : débit unitaire d'un appareil

n : nombre d'appareils ($n > 1$)

k : coefficient probable de simultanéité (non significatif pour les grandes valeurs de n),

$$\text{avec : } k = \frac{1}{\sqrt{n-1}}$$

■ Exemple simple n°1

Hypothèses

- Collectivité semi-rurale :
Bourg actuel : 1 500 habitants
Lotissements : 1 000 habitants (horizon 25 ans)
- Volume annuel facturé : 75 000 m³
- Rendement estimé du réseau : $r = 75 \%$
- Coefficients de pointe estimés : $K_j = 2,5$; $K_h = 1,8$

Calculs et résultats

- Volume annuel futur :

$$V_{\text{futur}} = 75\,000 + (0,2 \times 1\,000 \times 365) = 148\,000 \text{ m}^3$$

(estimation de la consommation journalière par habitant : 200l)

LE CYCLE DE L'EAU

$$K_{\text{col}} = \frac{V_{\text{futur}}}{V_{\text{actuel}}} = \frac{148\,000}{75\,000} = 1,97$$

- Sécurité pour incertitude des données : 20 % ($K_{\text{sec}} = 1,2$)

$$\text{• Besoin brut annuel : } B = \frac{V_{\text{actuel}}}{r} \times K_{\text{col}} \times K_{\text{sec}} = 236\,000 \text{ m}^3$$

$$\text{• Débit moyen journalier futur : } Q_{\text{mjf}} = \frac{236\,000}{365} = 647 \text{ m}^3$$

$$\text{• Débit de pointe horaire futur : } Q_p = K_j \times K_h \times \frac{Q_{\text{mjf}}}{24} = 121 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dans cet exemple, une canalisation d'adduction de ce village devra être dimensionnée pour assurer un débit de 121 m³/h, à l'horizon 25 ans.

■ Exemple simple n° 2

Hypothèses

- Immeuble collectif :
10 appartements
7 appareils par appartement
Débit unitaire moyen d'un appareil : 0,1 l/s

Calculs et résultats

Le surpresseur alimentant cet immeuble, par exemple, devra pouvoir surpresser un débit $Q = k \cdot n \cdot q$ où :

$$k = \frac{1}{\sqrt{(7 \times 10) - 1}} = 0,12$$

$$Q = 0,1 \times 70 \times 0,12 = 0,84 \text{ l/s}$$

Évaluation des ressources en eau

L'eau peut être captée en profondeur (nappes souterraines, sources) ou en surface (cours d'eau, lacs, barrages, etc.).

Dans tous les cas, il faut étudier de façon précise l'hydrologie, en particulier les régimes hydrographiques et hydrogéologiques des points de captage, dont le rendement peut être très variable au cours de l'année.

Une série de mesures par jaugeage des sources ou des cours d'eau, ou des essais de pompage en nappe, effectués sur une longue période, permettent de déterminer statistiquement l'évolution des débits, donc des volumes disponibles, notamment en période d'étiage.

Dans le cas d'un cours d'eau dont le débit est insuffisant (période d'étiage), il est alors nécessaire de créer une réserve par la construction d'un barrage ou d'une retenue collinaire.

Lorsque l'on ne dispose pas de résultats de mesures, on peut estimer le débit d'un cours d'eau à l'exutoire à l'aide de différentes méthodes adaptées à la topographie et l'hydrologie de son bassin versant.

LE CYCLE DE L'EAU

Eaux destinées à la consommation humaine

Réglementation européenne

Directive du Conseil de l'Union Européenne 98/83/CE relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine, du 3 novembre 1998 modifiée.

L'objectif de la directive est de protéger la santé des personnes des effets néfastes de la contamination des eaux destinées à la consommation humaine en garantissant la salubrité et la propreté de celles-ci.

Ces garanties sont approuvées si :

- les eaux ne contiennent pas un nombre ou une concentration de micro-organismes, de parasites ou de toutes autres substances constituant un danger potentiel pour la santé des personnes,
- les eaux sont conformes aux exigences minimales concernant les paramètres décrits par la directive.

Pour cela, elle fixe deux groupes d'exigences minimales :

- paramètres **microbiologiques** (Escherichia coli, Entérocoques),
- paramètres **chimiques** (cuivre, nickel, etc.).

La directive donne également des paramètres indicateurs, notamment :

- conductivité : 2500 µS/cm à 20 °C
- concentration en ions hydrogène : $\geq 6,5$ et $\leq 9,5$ Unités pH
- ammonium : 0,50 mg/L
- chlorures : 250 mg/L
- sulfates : 250 mg/L

La directive stipule les exigences minimales auxquelles les états membres doivent répondre dans leurs réglementations nationales. Les états membres prennent eux-mêmes les mesures nécessaires pour assurer la salubrité et la propreté des eaux destinées à la consommation humaine.

Transpositions françaises

En France, la directive a été transposée par le décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001 modifié et par l'arrêté du 11 janvier 2007.

L'arrêté reprend et met à jour les exigences minimales issues de la directive et ajoute des paramètres **organoleptiques** (couleur, odeur, saveur, turbidité...), ainsi que des paramètres indicateurs de **radioactivité** (tritium, DTI...).

Il établit les références de qualité suivantes pour les eaux destinées à la consommation humaine :

- conductivité :
 - ≥ 180 et $\leq 1\,000$ µS/cm à 20 °C
 - ≥ 200 et $\leq 1\,100$ µS/cm à 25 °C
- concentration en ions hydrogène : $6,5 \leq \text{Unités pH} \leq 9$
- équilibre calco-carbonique : les eaux doivent être à l'équilibre calco-carbonique ou légèrement incrustantes
- ammonium : 0,10 mg/L
- chlorures : 250 mg/L
- sulfates : 250 mg/L

La qualité des eaux délivrées aux consommateurs, et donc sa conformité à la réglementation, résulte de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement (milieu d'origine, qualité des eaux brutes, traitement de l'eau, transport en canalisation, appareils hydrauliques, installations extérieures, ...).

Pour les exigences spécifiques concernant les canalisations voir le chapitre MATÉRIAUX EN CONTACT AVEC L'EAU DESTINÉE A LA CONSOMMATION HUMAINE page 70.

LE CYCLE DE L'EAU

Eaux agressives ou corrosives

*Les eaux véhiculées dans les réseaux peuvent présenter des caractéristiques physico-chimiques très différentes. Une eau peut être caractérisée par sa corrosivité (propension à attaquer les métaux non revêtus) et son agressivité (envers les matériaux à base de ciment). Les canalisations **PAM** comportent des revêtements intérieurs qui leur permettent de véhiculer les différents types d'eaux rencontrées.*

Le comportement d'une eau envers les métaux ferreux et les produits à base de ciment dépend de nombreux facteurs : minéralisation, teneur en oxygène, conductivité électrique, pH, équilibre calco-carbonique, température, etc.

Deux principaux types d'eau sont à prendre en compte :

- les eaux corrosives, pouvant attaquer le métal non revêtu,
- les eaux agressives envers les matériaux à base de ciment.

Eaux corrosives

Définition

Certaines eaux attaquent les canalisations métalliques non revêtues intérieurement. Les réactions chimiques produisent de l'hydroxyde ferreux, puis ferrique, puis entraînent la formation de nodules, voire de tubercules, pouvant à terme diminuer la section de la canalisation et augmenter les pertes de charge de manière significative.



Réalité du phénomène

On rencontre ce phénomène dans les anciennes conduites sans cimentation intérieure. Aujourd'hui, les conduites en fonte ductile **PAM** sont revêtues intérieurement de mortier de ciment, de polyuréthane ou de Ductan*, ce qui élimine ce risque.

* en savoir plus :

<http://www.pamline.fr/produits/recherche-multi-criteres/catalogue-annexes/reponses-techniques/solutions-techniques-pam/revetements/revetements-interieurs/revetement-ductan>

A noter que la corrosion par les eaux destinées à la consommation humaine est un processus généralement lent. Les normes de potabilité recommandent la distribution d'eaux non corrosives et non agressives, garantissant à la fois la permanence de la qualité des eaux et la protection des canalisations et des installations publiques et privées.

Voir EAUX DESTINÉES A LA CONSOMMATION HUMAINE page 6.

LE CYCLE DE L'EAU

Eaux agressives ou corrosives

Eaux agressives

Définition

L'agressivité d'une eau se définit comme la propension de celle-ci à attaquer des matériaux renfermant du calcium (exemple: liants hydrauliques). Selon l'analyse chimique, la minéralisation, le pH et la température de l'eau véhiculée, trois cas peuvent se présenter :

- une eau à l'équilibre calco-carbonique n'entraîne à une température donnée, ni attaque, ni précipitation de carbonate de calcium,
- une eau incrustante (ou entartrante) a tendance à déposer des sels de calcium (carbonate...) sur la paroi intérieure des canalisations,
- une eau agressive peut attaquer certains éléments constitutifs du mortier de ciment comportant du calcium (chaux, silicates ou silico-aluminates de calcium).

Mesure

La détermination de l'agressivité se fait sur la base d'analyses d'eaux, soit au moyen de graphiques ou d'abaques permettant de situer l'eau examinée par rapport à la courbe d'équilibre, soit plus simplement, par programme informatisé. Ce moyen rapide permet de caractériser l'eau, en particulier à différentes températures, et de calculer le CO_2 agressif ainsi que des indices caractéristiques comme par exemple l'indice de saturation de L'ANGELIER, qui correspond à la différence entre le pH réel de l'eau et le pH de saturation.

Réalité du phénomène

La réglementation sur la qualité des eaux destinées à la consommation humaine demande que ces eaux ne soient ni agressives ni corrosives. Voir EAUX DESTINÉES À LA CONSOMMATION HUMAINE page 6.

Toutefois, étant donné la grande variété des eaux transportées, il est possible de rencontrer des eaux faiblement minéralisées (eaux douces), pouvant attaquer les matériaux en contact avec elles ainsi que des eaux corrosives et/ou agressives.

PAM dispose de programmes informatiques permettant d'apprécier l'agressivité des eaux afin de choisir le type de revêtement intérieur (mortier de ciment ou revêtement PUR).

Consultez votre représentant Saint-Gobain PAM Canalisation local pour plus d'information.

LE CYCLE DE L'EAU

Diamètre (choix)

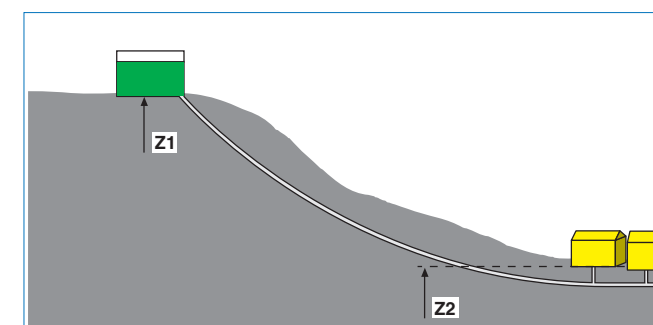
Le choix du diamètre d'une canalisation sous pression se fait en tenant compte :

- des paramètres hydrauliques (débit, pertes de charge, vitesse) pour une adduction gravitaire,
- des paramètres hydrauliques et économiques optimaux (coût du pompage et amortissement des installations) pour une adduction par refoulement.

En fonction des conditions de service, il y a lieu de quantifier les risques éventuels de coups de bélier, de cavitation et d'abrasion, et de mettre en œuvre les protections adaptées.

Adduction gravitaire

Définition



L'adduction gravitaire est le mode d'adduction qui permet, à partir d'un stockage d'eau naturel ou artificiel situé à la cote Z_1 , d'alimenter par une conduite en pression tous les points à desservir situés à des cotes $Z_2 < Z_1$, sans apport d'énergie.

Principe de dimensionnement

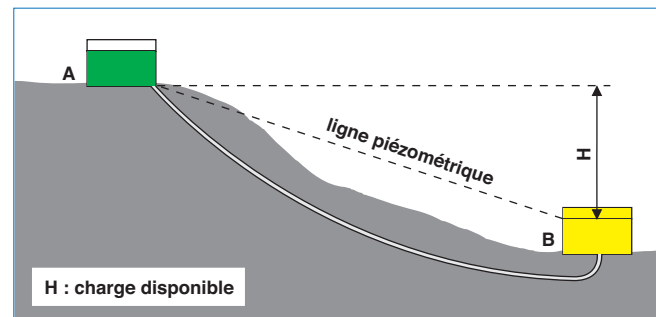
Caractéristiques du réseau

- Q : débit fonction des besoins (en m^3/s)
- débit de pointe en distribution ou débit d'incendie
 - débit moyen en adduction
- j : perte de charge unitaire (en m/m)
- V : vitesse de l'eau dans la canalisation (en m/s)
- ID : diamètre intérieur de la canalisation (en m)
- L : longueur de la canalisation (en m).

LE CYCLE DE L'EAU

Diamètre (choix)Caractéristiques topographiques

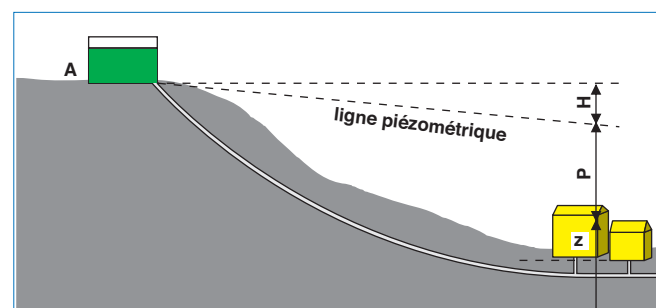
Pour le calcul, on se place dans le cas le plus défavorable.



- Adduction d'un réservoir A vers un réservoir B :

H = cote du niveau minimal dans A – cote du trop plein de B

Par sécurité, on prend parfois pour niveau minimal de A son radier.



- Distribution

H : hauteur correspondant à la différence entre le niveau minimal dans le réservoir A et la cote $(z + P)$.

P : pression minimale de distribution au point le plus haut.

z : cote NGF (Nivellement Général de la France) de ce point.

Formules

Sachant que : $Q = \frac{\pi ID^2}{4} \times V$

la formule de DARCY s'écrit : $j = \frac{\lambda V^2}{2gID} = \frac{8\lambda Q^2}{\pi^2 g ID^5}$

λ , fonction de (k, v, ID) , est déduit de la formule de COLEBROOK, dans laquelle $k = 0,1$ mm (rugosité).

Pour plus de détails, voir PERTES DE CHARGE page 16.

Détermination de ID

La perte de charge unitaire maximale est : $j = \frac{H}{L}$

Le DN peut être déterminé :

- par calcul, en résolvant le système d'équations constitué par les formules de DARCY et COLEBROOK, (calcul par itérations impliquant des moyens informatiques) ;
- par lecture directe des tables de pertes de charge.
Voir PERTES DE CHARGE (TABLES) page 18.

Exemple

Débit : $Q = 30$ l/s

Longueur : $L = 4\,000$ m

Charge disponible : $H = 80$ m

$$j = \frac{H}{L} = \frac{80}{4\,000} = 0,02 \text{ m/m} = 20 \text{ m/km}$$

La table indique qu'il faut choisir le DN 150 avec :

vitesse : $V = 1,7$ m/s

perte de charge : $j = 19,244$ m/km.

LE CYCLE DE L'EAU

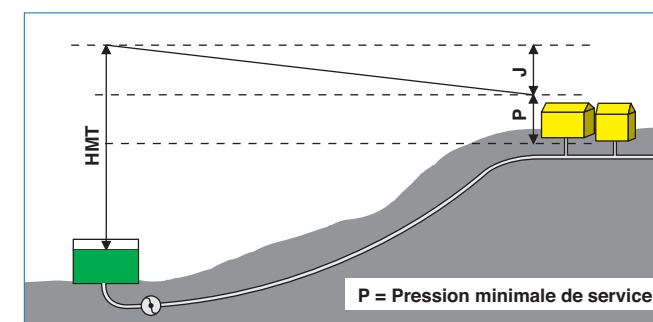
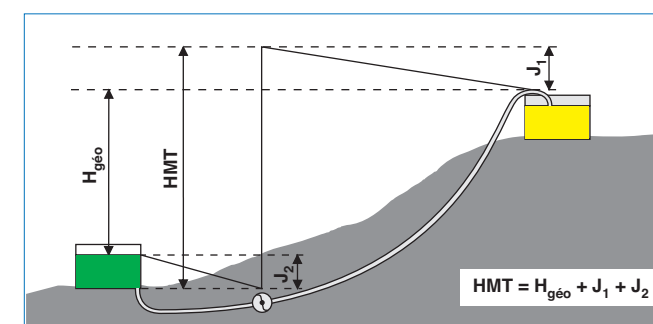
Diamètre (choix)

l/s	DN 150		
	j (m/km)		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,1 mm	
24,00	11,092	12,552	1,36
26,00	12,867	14,627	1,47
28,00	14,766	16,857	1,58
30,00	16,790	19,244	1,70
32,00	18,937	21,787	1,81
34,00	21,208	24,485	1,92
36,00	23,602	27,339	2,04
38,00	26,119	30,348	2,15
40,00	28,785	33,513	2,26
42,00	31,520	36,833	2,38
44,00	34,404	40,309	2,49
46,00	37,409	43,940	2,60

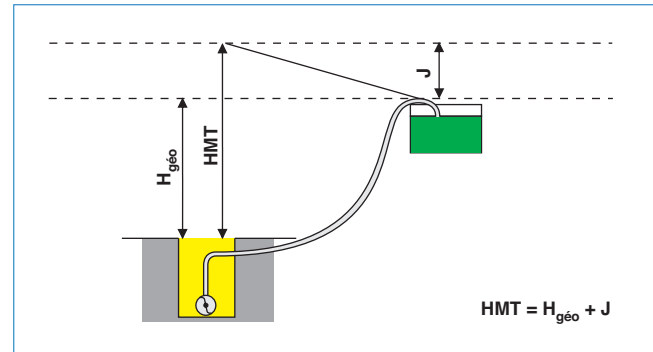
exemple de calcul

Adduction par refoulement

Définition

Distribution par surpressionAdduction par refoulement depuis un réservoir

LE CYCLE DE L'EAU

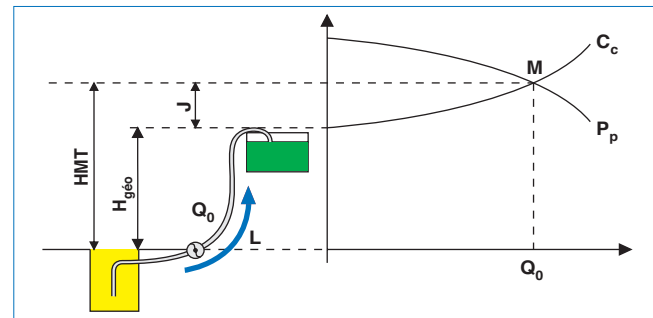
Diamètre (choix)Adduction par refoulement depuis un forage

Il est fréquent que le captage ou le stockage soit à une altitude insuffisante pour respecter les conditions de pression requises. Il faut alors fournir au fluide l'énergie nécessaire pour rendre possible la distribution.

On appelle :

- **hauteur géométrique ($H_{\text{géo}}$)** la différence d'altitude entre le plan d'eau de pompage et le lieu à alimenter,
- **hauteur manométrique totale (HMT)** la hauteur géométrique augmentée des pertes de charge totales liées à l'aspiration et au refoulement, et, le cas échéant, de la pression résiduelle minimale de distribution (voir figures données à titre d'exemples).

Principe de dimensionnement

Résolution graphique

- C_c : caractéristique de la canalisation
- H : $H_{\text{géo}} + J$ $J = f(Q^2)$
- P_p : caractéristique de la pompe
- M : point de fonctionnement

Nota : résolution valable pour des niveaux d'aspiration et de refoulement constants.

Dans le cas contraire, il faut étudier l'enveloppe constituée par les courbes extrêmes.

Dimensionnement hydraulique

Comme précédemment :

$$J = j L$$

$$j = \frac{\lambda V^2}{2 g D}$$

λ est fonction de v , k , D .

En refoulement, il faut tenir compte des courbes caractéristiques du réseau et des pompes, et s'assurer qu'en fonction du DN choisi, le point de fonctionnement M corresponde au débit demandé Q_0 .

LE CYCLE DE L'EAU

Diamètre (choix)Dimensionnement économique

Le diamètre économique est calculé en tenant compte :

- des frais de pompage, la puissance étant donnée par la formule suivante :

$$P = 0,0098 \times \frac{Q \times HMT}{r}$$

où

- P : puissance à fournir à l'arbre de la pompe (kW)
- Q : débit (l/s)
- HMT : hauteur manométrique totale (m)
- r : rendement pompe-moteur,
- de l'amortissement des installations (station de pompage et canalisation).

On utilise généralement deux méthodes, selon l'importance du projet.

Application

Petits projets

On applique la formule de VIBERT, valable pour les petits et moyens DN, et les longueurs faibles :

$$D = 1,456 \left(\frac{ne}{f} \right)^{0,154} \times Q^{0,46}$$

où

- D : diamètre économique
- f : prix de la conduite posée en €/kg
- Q : débit en m^3/s
- n : durée de pompage en h
- e : prix du kWh en €.

Le coefficient 1,456 tient compte d'un taux d'amortissement de 8% pendant 50 ans.

Le DN choisi doit être identique ou immédiatement supérieur au diamètre D .

Précautions

Grands projets

Pour les grandes longueurs et les diamètres importants, il faut effectuer une étude économique détaillée. Le diamètre retenu sera celui correspondant à un coût annuel minimal (amortissement de l'investissement + frais de pompage).

La vitesse varie de façon importante avec le diamètre.

En plus des pertes de charge, il convient par conséquent de vérifier sa compatibilité avec les phénomènes éventuels de :

- coups de bélier,
- cavitation,
- abrasion

LE CYCLE DE L'EAU

Profil en long

L'air est néfaste au bon fonctionnement d'une canalisation sous pression. Sa présence peut entraîner :

- une réduction du débit d'eau,
- un gaspillage d'énergie,
- une amplification des phénomènes transitoires (coups de bélier).

Une série de précautions simples lors de l'établissement du profil de la conduite permet de s'en prémunir.

Origine de l'air dans les canalisations

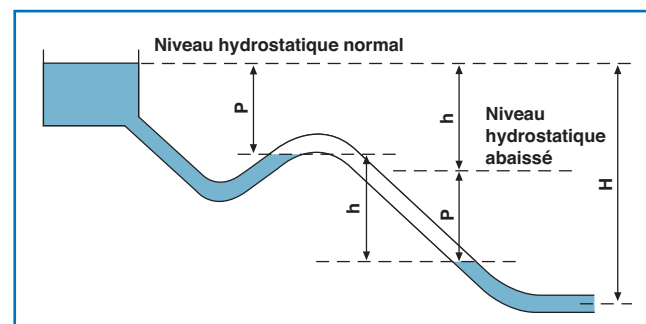
L'introduction d'air dans une canalisation peut avoir lieu principalement :

- lors du remplissage consécutif à un essai hydrostatique (ou une vidange) par suite du nombre insuffisant des appareils de purge,
- au voisinage des crépines lorsque les conduites d'aspiration ou les garnitures des pompes ne sont pas étanches,
- par dissolution dans l'eau sous pression puis dégazage lorsque la pression diminue (l'air se rassemble alors aux points hauts du profil).

Effet de l'air dans les canalisations

L'air est néfaste au bon fonctionnement d'une canalisation. Les poches d'air se concentrent aux points hauts sous l'action de la pression amont, elles se déforment et leurs extrémités dénivellent.

Cas d'une conduite gravitaire



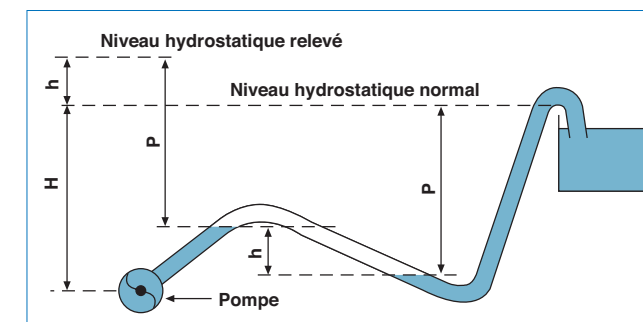
La poche d'air transmet à sa face aval la pression statique P qui règne sur sa face amont; le niveau hydrostatique baisse. La pression d'utilisation H est réduite d'une quantité h correspondant à la différence de niveau entre les extrémités de la poche d'air et équivalent à la colonne d'eau manquante.

Dynamiquement, on conçoit qu'aux approximations près des pertes de charge dues aux turbulences éventuelles qui s'établissent à cet endroit, on retrouve cette perte de pression, le débit se trouvant parallèlement réduit.

LE CYCLE DE L'EAU

Profil en long

Cas d'une conduite de refoulement



De la même façon qu'en gravitaire, la présence d'une poche d'air est néfaste au bon rendement d'une installation de refoulement : c'est dans ce cas une augmentation de pression h (hauteur h de la colonne d'eau supplémentaire à élever) que la pompe devra fournir en plus de la pression H pour compenser l'augmentation de charge due à la poche d'air, le niveau hydrostatique étant relevé de cette valeur. A débit égal, la dépense d'énergie se trouve accrue dans les mêmes proportions.

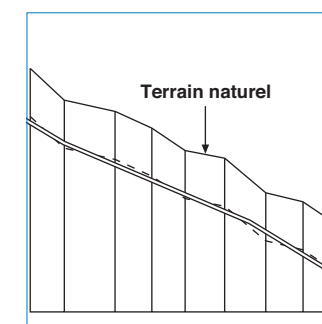
D'autre part, lorsqu'une conduite est insuffisamment purgée, ces inconvénients se répètent à chaque point haut. Leurs effets s'ajoutent et le rendement de la canalisation diminue. Cette diminution est parfois imputée à tort à d'autres causes, telles que la diminution de rendement des pompes ou l'entartrage des tuyaux. Il suffit de purger la conduite de manière correcte pour qu'elle retrouve aussitôt sa capacité d'écoulement normale.

Enfin, d'importantes poches d'air risquent de se trouver entraînées par le courant en dehors des points hauts. Leur déplacement, compensé par l'appel brusque d'un volume d'eau équivalent, provoque alors de violents coups de bélier.

En conclusion, si les points hauts ne sont pas purgés d'une façon permanente :

- le débit d'eau est réduit,
- de l'énergie est gaspillée,
- des coups de bélier peuvent se produire.

Recommandations pratiques



Le tracé de la canalisation doit être établi de manière à faciliter le rassemblement de l'air en des points hauts bien déterminés, où sont installés les appareils assurant son évacuation.

Il convient de prendre les précautions suivantes :

- Donner de la pente à la canalisation pour faciliter la montée de l'air (la conduite idéale est à pente constante : 2 à 3 mm/m représente la pente minimale souhaitable).
- Eviter de multiplier à l'excès les changements de pente par suite du relief du terrain surtout pour les grands diamètres nominaux.

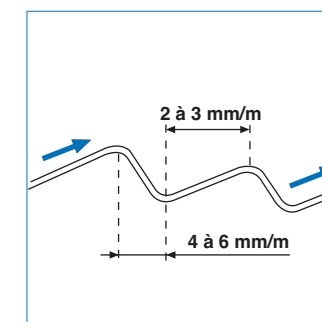
- Quand le profil est horizontal, créer autant que possible des points hauts et des points bas artificiels, afin d'obtenir une pente de :

- 2 à 3 mm/m dans les parties montantes,
- 4 à 6 mm/m dans les pentes descendantes.

Un tel profil, à montées lentes et descentes rapides facilite le rassemblement de l'air aux points hauts tout en s'opposant à l'entraînement éventuel des poches d'air. Le profil inversé est déconseillé.

- Installer :

- un appareil d'évacuation d'air à chaque point haut,
- un appareil de vidange à chaque point bas.



LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge

Les pertes de charge sont des pertes d'énergie hydraulique essentiellement dues à la viscosité de l'eau et au frottement de celle-ci contre les parois.

Elles ont pour conséquence :

- une chute de pression globale au bas d'un réseau gravitaire,
- une dépense d'énergie supplémentaire de pompage en refoulement. Pour choisir le diamètre d'une canalisation en fonte ductile revêtue intérieurement de mortier de ciment, on prend généralement un coefficient de rugosité $k = 0,1 \text{ mm}$.

Formules

Formule de DARCY

La formule de DARCY est la formule générale pour le calcul des pertes de charge :

$$J = \frac{\lambda}{D} \frac{V^2}{2g} = \frac{8 \lambda Q^2}{\pi^2 g D^5}$$

J : pertes de charge (en m de charge de fluide par m de tuyau)

λ : coefficient de pertes de charge

D : diamètre intérieur du tuyau (en m)

V : vitesse du fluide (en m/s)

Q : débit (en m³/s)

g : accélération de la pesanteur (en m/s²)

Formule de Colebrook-White

La formule de COLEBROOK-WHITE est maintenant universellement utilisée pour déterminer le coefficient de pertes de charge :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71 D} \right)$$

$$\text{Re} = \frac{VD}{\mu} \text{ (Nombre de REYNOLDS)}$$

μ : viscosité cinématique du fluide à la température de fonctionnement (en m²/s)

k : rugosité de surface équivalente de la paroi du tuyau (en m) ; à noter qu'elle n'est pas égale à la hauteur des inégalités de surface ; c'est une dimension fictive relative à la rugosité de surface, d'où le terme "équivalent".

Les deux termes de la fonction logarithmique correspondent :

- pour le premier terme $\left(\frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right)$, à la partie des pertes de charge dues au frottement intérieur du fluide sur lui-même ;

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge

- pour le second terme $\left(\frac{k}{3,71 D} \right)$, à la partie des pertes de charge causées par le frottement du fluide contre

la paroi du tuyau ; pour des tuyaux idéalement lisses ($k = 0$), elle est nulle et la perte de charge est simplement due au frottement du fluide.

Formule de Hazen-William

$$V = 0,355 C D^{0,63} J^{0,54}$$

C : coefficient dépendant de la rugosité et du diamètre du tuyau.

Rugosité de surface des revêtements intérieurs au mortier de ciment

Les revêtements intérieurs au mortier de ciment centrifugé ont une surface lisse et régulière. Une série d'essais ont été réalisés pour évaluer la valeur k de la rugosité de surface des tuyaux fraîchement revêtus intérieurement de ciment ; une valeur moyenne de 0,03 mm a été trouvée, ce qui correspond à une perte de charge supplémentaire de 5 à 7 % (selon le diamètre du tuyau) par rapport à un tuyau parfaitement lisse avec une valeur de $k = 0$ (calculée avec une vitesse de 1 m/s).

Toutefois, la rugosité de surface équivalente d'une canalisation ne dépend pas seulement de la régularité de la paroi du tuyau, mais également et surtout du nombre de coudes, de tés et de branchements, ainsi que des irrégularités du profil de la canalisation. L'expérience a montré que $k = 0,1 \text{ mm}$ est une valeur raisonnable dans le cas des canalisations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine. Dans le cas de grandes conduites comportant un faible nombre de raccords par kilomètre, k peut être légèrement inférieur (0,06 à 0,08 mm).

A ce stade, trois remarques peuvent être faites sur les pertes de charge des canalisations d'eau fonctionnant sous pression :



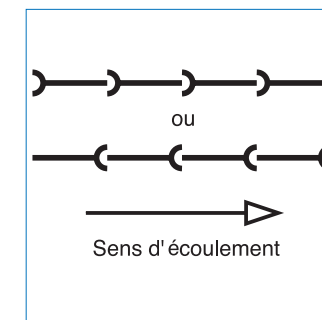
Les pertes de charge correspondent à l'énergie qu'il faut fournir pour que l'eau circule dans la canalisation. Elles sont constituées de **la somme de 3 termes** :

- a - le frottement de l'eau sur elle-même (lié à sa viscosité),
- b - le frottement de l'eau sur la paroi du tuyau (lié à la rugosité),
- c - les modifications locales de l'écoulement (coudes, joints,).



C'est le **frottement de l'eau sur elle-même** (terme a) qui constitue en pratique l'**essentiel des pertes de charge**. Le frottement de l'eau sur les parois (terme b), **qui seul dépend du type de tuyau**, est beaucoup plus faible : au plus 7 % du terme a pour un tuyau en fonte cimenté ($k = 0,03 \text{ mm}$).

Les modifications locales de l'écoulement (terme c) jouent également un rôle faible par rapport au terme a) : c'est pourquoi les emboîtures des tuyaux peuvent être orientées indifféremment dans les deux sens.



Le diamètre intérieur réel de la canalisation joue un rôle considérable :

- à débit donné (cas général), chaque % de moins sur le diamètre, c'est 5 % de plus sur les pertes de charge,
- à charge donnée (conduites gravitaires), chaque % de moins sur le diamètre, c'est 2,5 % de moins sur le débit obtenu.

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge

Evolution dans le temps

Une série d'enquêtes faites aux Etats-Unis sur des canalisations anciennes et récentes en fonte, revêtues intérieurement de mortier de ciment, a donné des valeurs de C (selon la formule de HAZEN-WILLIAM) pour une large gamme de diamètres de tuyaux et de temps de service.

Le tableau ci-après récapitule ces résultats et donne des valeurs de C converties en valeurs équivalentes k (dans la formule de COLEBROOK- WHITE).

Remarque

Dans certains cas de transport d'eau brute chargée à faible écoulement, l'expérience montre que quelle que soit la nature du matériau de canalisation, il faut tenir compte d'une augmentation de k au cours du temps.

Ces résultats concernent différents types de revêtements intérieurs ciment, et des eaux provenant de zones géographiques très étendues.

- 
- On peut en conclure que :

 - les canalisations revêtues intérieurement de mortier de ciment assurent une grande capacité d'écoulement, constante dans le temps,
 - une valeur globale de $k = 0,1 \text{ mm}$ constitue une hypothèse raisonnable et sûre pour le calcul des pertes de charge à long terme des tuyaux revêtus intérieurement de mortier de ciment et destinés au transport d'eau destinée à la consommation humaine.

DN	Année de l'installation	Âge lors de la mesure	Valeur du coefficient C (Hazen-William)	Valeur de k Colebrook-White
		années		
150	1941	0	145	0,025
		12	146	0,019
		16	143	0,060
250	1925	16	134	0,148
		32	135	0,135
		39	138	0,098
300	1928	13	134	0,160
		29	137	0,119
		36	146	0,030
300	1928	13	143	0,054
		29	140	0,075
		36	140	0,075
700	1939	19	148	0,027
		25	146	0,046
700	1944	13	148	0,027
		20	146	0,046

(Journal AWWA - Juin 1974)

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge (tables)

Tables de pertes de charge établies pour des canalisations en fonte ductile revêtues intérieurement de mortier de ciment.

- Hypothèses de calcul retenues :
- conduite pleine d'eau,
 - DN 40 à 2 000,
 - coefficient de rugosité : $k = 0,03 \text{ mm}$ et $k = 0,1 \text{ mm}$,
 - viscosité cinématique de l'eau : $\nu = 1,301 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$,
 - température de l'eau : $T = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pour les canalisations BLUTOP® revêtues intérieurement de DUCTAN, les hypothèses de calcul retenues sont les suivantes :

- conduite pleine d'eau
- DN/OD (Diamètre extérieur) 75, 90, 110, 125, 140 et 160
- coefficient de rugosité :
 - $k = 0,01 \text{ mm}$
 - $k = 0,05 \text{ mm}$ (en incluant pertes de charge singulières)
- viscosité cinématique de l'eau : $\nu = 1,301 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$,
- température de l'eau : $T = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge (tables)

Q	DN 60			DN 80			DN 100		
	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
1,50	6,184	6,763	0,53						
1,60	6,943	7,620	0,57						
1,70	7,743	8,524	0,60						
1,80	8,582	9,478	0,64						
2,00	10,379	11,529	0,71						
2,20	12,333	13,775	0,78						
2,40	14,442	16,213	0,85						
2,60	16,705	18,843	0,92	4,128	4,486	0,52			
2,80	19,120	21,665	0,99	4,717	5,145	0,56			
3,00	21,688	24,679	1,06	5,342	5,846	0,60			
3,20	24,407	27,884	1,13	6,002	6,591	0,64			
3,40	27,277	31,280	1,20	6,697	7,378	0,68			
3,60	30,296	34,868	1,27	7,427	8,208	0,72			
3,80	33,465	38,646	1,34	8,193	9,081	0,76			
4,00	36,782	42,615	1,41	8,993	9,996	0,80	3,044	3,294	0,51
4,20	40,248	46,775	1,49	9,827	10,953	0,84	3,324	3,604	0,53
4,40	43,861	51,125	1,56	10,696	11,954	0,88	3,615	3,929	0,56
4,60	47,622	55,666	1,63	11,599	12,996	0,92	3,917	4,266	0,59
4,80	51,531	60,397	1,70	12,536	14,081	0,95	4,230	4,617	0,61
5,00	55,586	65,319	1,77	13,508	15,208	0,99	4,555	4,982	0,64
5,20	59,787	70,431	1,84	14,513	16,377	1,03	4,890	5,359	0,66
5,40	64,136	75,733	1,91	15,551	17,589	1,07	5,236	5,750	0,69
5,60	68,630	81,225	1,98	16,624	18,843	1,11	5,594	6,154	0,71
5,80	73,270	86,908	2,05	17,730	20,139	1,15	5,962	6,571	0,74
6,00	78,055	92,781	2,12	18,869	21,477	1,19	6,341	7,002	0,76
6,20	82,986	98,844	2,19	20,042	22,858	1,23	6,731	7,445	0,79
6,40	88,063	105,096	2,26	21,248	24,280	1,27	7,131	7,902	0,81
6,60	93,284	111,539	2,33	22,488	25,745	1,31	7,543	8,372	0,84
6,80	98,650	118,172	2,41	23,761	27,252	1,35	7,965	8,855	0,87
7,00	104,162	124,995	2,48	25,067	28,801	1,39	8,398	9,352	0,89
7,20	109,817	132,008	2,55	26,406	30,391	1,43	8,842	9,861	0,92
7,40	115,618	139,211	2,62	27,778	32,024	1,47	9,296	10,384	0,94
7,60	121,563	146,604	2,69	29,183	33,699	1,51	9,761	10,920	0,97
7,80	127,652	154,187	2,76	30,620	35,416	1,55	10,236	11,469	0,99
8,00	133,885	161,960	2,83	32,091	37,175	1,59	10,722	12,031	1,02
8,20	140,263	169,922	2,90	33,595	38,976	1,63	11,219	12,606	1,04
8,40	146,784	178,075	2,97	35,131	40,819	1,67	11,726	13,194	1,07
8,60				36,700	42,704	1,71	12,243	13,795	1,09
8,80				38,302	44,631	1,75	12,772	14,410	1,12
9,00				39,937	46,600	1,79	13,310	15,037	1,15
9,50				44,166	51,707	1,89	14,703	16,663	1,21
10,00				48,599	57,075	1,99	16,160	18,371	1,27
10,50				53,234	62,705	2,09	17,683	20,160	1,34
11,00				58,073	68,598	2,19	19,270	22,031	1,40
11,50				63,114	74,752	2,29	20,922	23,983	1,46
12,00				68,356	81,169	2,39	22,639	26,017	1,53
12,50				73,801	87,847	2,49	24,420	28,133	1,59
13,00				79,447	94,788	2,59	26,264	30,330	1,66
13,50				85,294	101,990	2,69	28,173	32,608	1,72
14,00				91,342	109,454	2,79	30,146	34,968	1,78
15,00				104,040	125,167	2,98	34,283	39,931	1,91
16,00							38,674	45,220	2,04
17,00							43,318	50,834	2,16
18,00							48,216	56,773	2,29
19,00							53,366	63,037	2,42
20,00							58,768	69,626	2,55
21,00							64,422	76,539	2,67
22,00							70,327	83,778	2,80
23,00							76,482	91,341	2,93

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge (tables)

Q	DN 125			DN 150			DN 200		
	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)
	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm		k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	
7,00	2,832	3,070	0,57						
7,50	3,209	3,490	0,61						
8,00	3,607	3,936	0,65						
8,50	4,027	4,408	0,69						
9,00	4,469	4,906	0,73	1,844	1,984	0,51			
9,50	4,931	5,429	0,77	2,034	2,193	0,54			
10,00	5,415	5,977	0,81	2,232	2,412	0,57			
10,50	5,920	6,552	0,86	2,438	2,641	0,59			
11,00	6,445	7,151	0,90	2,653	2,880	0,62			
11,50	6,992	7,777	0,94	2,876	3,129	0,65			
12,00	7,559	8,428	0,98	3,107	3,388	0,68			
12,50	8,147	9,104	1,02	3,347	3,656	0,71			
13,00	8,756	9,806	1,06	3,595	3,935	0,74			
13,50	9,385	10,533	1,10	3,852	4,224	0,76			
14,00	10,035	11,285	1,14	4,116	4,522	0,79			
14,50	10,705	12,063	1,18	4,389	4,830	0,82			
15,00	11,396	12,867	1,22	4,669	5,149	0,85			
15,50	12,107	13,695	1,26	4,958	5,477	0,88			
16,00	12,838	14,549	1,30	5,255	5,814	0,91	1,297	1,389	0,51
16,50	13,590	15,429	1,34	5,560	6,162	0,93	1,371	1,471	0,53
17,00	14,362	16,333	1,39	5,873	6,519	0,96	1,448	1,555	0,54
17,50	15,154	17,263	1,43	6,194	6,887	0,99	1,526	1,641	0,56
18,00	15,966	18,219	1,47	6,523	7,264	1,02	1,606	1,729	0,57
18,50	16,799	19,199	1,51	6,861	7,651	1,05	1,688	1,820	0,59
19,00	17,651	20,205	1,55	7,206	8,047	1,08	1,772	1,913	0,60
19,50	18,524	21,237	1,59	7,559	8,454	1,10	1,858	2,008	0,62
20,00	19,416	22,293	1,63	7,920	8,870	1,13	1,945	2,105	0,64
20,50	20,329	23,375	1,67	8,289	9,296	1,16	2,035	2,204	0,65
21,00	21,262	24,482	1,71	8,665	9,732	1,19	2,126	2,306	0,67
21,50	22,214	25,614	1,75	9,050	10,177	1,22	2,219	2,410	0,68
22,00	23,187	26,772	1,79	9,443	10,633	1,24	2,314	2,516	0,70
22,50	24,180	27,955	1,83	9,843	11,098	1,27	2,411	2,624	0,72
23,00	25,192	29,163	1,87	10,252	11,573	1,30	2,510	2,734	0,73
23,50	26,224	30,397	1,91	10,668	12,057	1,33	2,611	2,847	0,75
24,00	27,277	31,655	1,96	11,092	12,552	1,36	2,713	2,962	0,76
26,00	31,684	36,942	2,12	12,867	14,627	1,47	3,141	3,443	0,83
28,00	36,408	42,633	2,28	14,766	16,857	1,58	3,599	3,959	0,89
30,00	41,448	48,728	2,44	16,790	19,244	1,70	4,085	4,510	0,95
32,00	46,802	55,226	2,61	18,937	21,787	1,81	4,600	5,096	1,02
34,00	52,471	62,128	2,77	21,208	24,485	1,92	5,144	5,717	1,08
36,00	58,454	69,432	2,93	23,602	27,339	2,04	5,717	6,372	1,15
38,00				26,119	30,348	2,15	6,317	7,063	1,21
40,00				28,758	33,513	2,26	6,946	7,788	1,27
42,00				31,520	36,833	2,38	7,604	8,548	1,34
44,00				34,404	40,309	2,49	8,289	9,342	1,40
46,00				37,409	43,940	2,60	9,003	10,172	1,46
48,00				40,537	47,726	2,72	9,744	11,035	1,53
50,00				43,786	51,668	2,83	10,514	11,934	1,59
55,00							12,559	14,332	1,75
60,00							14,777	16,946	1,91
65,00							17,168	19,777	2,07
70,00							19,731	22,823	2,23
75,00							22,465	26,085	2,39
80,00							25,370	29,564	2,55
85,00							28,446	33,258	2,71
90,00							31,692	37,167	2,86

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci.

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge (tables)

Q	DN 250			DN 300			DN 350		
	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)
	(l/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	k = 0,10 mm	k = 0,10 mm
30,00	1,377	1,483	0,61						
32,00	1,549	1,673	0,65						
34,00	1,730	1,874	0,69						
36,00	1,921	2,086	0,73	0,792	0,844	0,51			
38,00	2,121	2,309	0,77	0,874	0,934	0,54			
40,00	2,330	2,543	0,81	0,960	1,027	0,57			
42,00	2,549	2,788	0,86	1,049	1,125	0,59			
44,00	2,776	3,044	0,90	1,142	1,227	0,62			
46,00	3,013	3,310	0,94	1,238	1,334	0,65			
48,00	3,258	3,588	0,98	1,339	1,445	0,68			
50,00	3,513	3,876	1,02	1,442	1,559	0,71	0,682	0,726	0,52
52,00	3,776	4,176	1,06	1,550	1,679	0,74	0,732	0,781	0,54
54,00	4,049	4,486	1,10	1,661	1,802	0,76	0,785	0,838	0,56
56,00	4,331	4,807	1,14	1,776	1,930	0,79	0,838	0,897	0,58
58,00	4,621	5,139	1,18	1,894	2,062	0,82	0,894	0,958	0,60
60,00	4,920	5,482	1,22	2,016	2,198	0,85	0,951	1,021	0,62
62,00	5,229	5,836	1,26	2,141	2,338	0,88	1,010	1,085	0,64
64,00	5,546	6,200	1,30	2,270	2,483	0,91	1,070	1,152	0,67
66,00	5,872	6,575	1,34	2,402	2,631	0,93	1,132	1,220	0,69
68,00	6,207	6,961	1,39	2,538	2,784	0,96	1,196	1,290	0,71
70,00	6,550	7,358	1,43	2,677	2,942	0,99	1,261	1,363	0,73
72,00	6,902	7,766	1,47	2,820	3,103	1,02	1,328	1,437	0,75
74,00	7,264	8,185	1,51	2,967	3,269	1,05	1,397	1,513	0,77
76,00	7,634	8,614	1,55	3,116	3,438	1,08	1,467	1,591	0,79
78,00	8,012	9,054	1,59	3,270	3,612	1,10	1,539	1,670	0,81
80,00	8,400	9,505	1,63	3,427	3,790	1,13	1,612	1,752	0,83
85,00	9,406	10,680	1,73	3,834	4,254	1,20	1,802	1,965	0,88
90,00	10,467	11,922	1,83	4,262	4,744	1,27	2,002	2,189	0,94
95,00	11,583	13,232	1,94	4,713	5,260	1,34	2,213	2,425	0,99
100,00	12,752	14,609	2,04	5,184	5,802	1,41	2,433	2,673	1,04
105,00	13,976	16,053	2,14	5,677	6,371	1,49	2,662	2,932	1,09
110,00	15,253	17,565	2,24	6,192	6,965	1,56	2,902	3,204	1,14
115,00	16,584	19,144	2,34	6,727	7,586	1,63	3,151	3,487	1,20
120,00	17,969	20,790	2,44	7,284	8,232	1,70	3,410	3,782	1,25
125,00	19,407	22,504	2,55	7,862	8,905	1,77	3,679	4,088	1,30
130,00	20,899	24,285	2,65	8,460	9,604	1,84	3,957	4,406	1,35
135,00	22,444	26,134	2,75	9,080	10,329	1,91	4,245	4,736	1,40
140,00	24,043	28,049	2,85	9,721	11,080	1,98	4,542	5,078	1,46
145,00	25,695	30,032	2,95	10,383	11,856	2,05	4,849	5,431	1,51
150,00				11,066	12,659	2,12	5,166	5,796	1,56
155,00				11,770	13,488	2,19	5,492	6,173	1,61
160,00				12,495	14,343	2,26	5,828	6,561	1,66
165,00				13,240	15,224	2,33	6,173	6,961	1,71
170,00				14,007	16,131	2,41	6,528	7,373	1,77
175,00				14,794	17,064	2,48	6,892	7,796	1,82
180,00				15,602	18,023	2,55	7,266	8,231	1,87
185,00				16,431	19,008	2,62	7,649	8,678	1,92
190,00				17,281	20,019	2,69	8,041	9,136	1,97
195,00				18,151	21,056	2,76	8,443	9,606	2,03
200,00				19,042	22,119	2,83	8,855	10,088	2,08
210,00				20,886	24,323	2,97	9,706	11,086	2,18
220,00							10,594	12,131	2,29
230,00							11,520	13,223	2,39
240,00							12,484	14,361	2,49
250,00							13,485	15,546	2,60
260,00							14,523	16,777	2,70
270,00							15,599	18,055	2,81
280,00							16,712	19,379	2,91

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge (tables)

Q	DN 400			DN 450			DN 500		
	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)
	(l/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	k = 0,10 mm	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	k = 0,10 mm
65,00	0,575	0,612	0,52						
70,00	0,659	0,702	0,56						
75,00	0,747	0,799	0,60						
80,00	0,841	0,902	0,64	0,474	0,503	0,50			
85,00	0,940	1,010	0,68	0,530	0,564	0,53			
90,00	1,044	1,125	0,72	0,588	0,627	0,57			
95,00	1,153	1,245	0,76	0,650	0,694	0,60			
100,00	1,267	1,371	0,80	0,713	0,764	0,63	0,428	0,453	0,51
105,00	1,385	1,504	0,84	0,780	0,837	0,66	0,467	0,496	0,53
110,00	1,509	1,642	0,88	0,850	0,913	0,69	0,509	0,542	0,56
115,00	1,638	1,786	0,92	0,922	0,993	0,72	0,552	0,588	0,59
120,00	1,772	1,935	0,95	0,997	1,075	0,75	0,597	0,637	0,61
125,00	1,911	2,091	0,99	1,075	1,161	0,79	0,643	0,688	0,64
130,00	2,055	2,253	1,03	1,155	1,251	0,82	0,691	0,740	0,66
135,00	2,204	2,420	1,07	1,239	1,343	0,85	0,741	0,795	0,69
140,00	2,357	2,594	1,11	1,324	1,438	0,88	0,792	0,851	0,71
145,00	2,516	2,773	1,15	1,413	1,537	0,91	0,845	0,909	0,74
150,00	2,679	2,958	1,19	1,504	1,639	0,94	0,899	0,969	0,76
155,00	2,847	3,149	1,23	1,598	1,744	0,97	0,955	1,031	0,79
160,00	3,020	3,345	1,27	1,695	1,852	1,01	1,013	1,094	0,81
165,00	3,198	3,548	1,31	1,794	1,964	1,04	1,072	1,160	0,84
170,00	3,380	3,756	1,35	1,896	2,079	1,07	1,132	1,227	0,87
175,00	3,568	3,971	1,39	2,001	2,196	1,10	1,195	1,296	0,89
180,00	3,760	4,191	1,43	2,108	2,317	1,13	1,259	1,368	0,92
185,00	3,957	4,417	1,47	2,218	2,442	1,16	1,324	1,440	0,94
190,00	4,159	4,648	1,51	2,331	2,569	1,19	1,391	1,515	0,97
195,00	4,366	4,886	1,55	2,446	2,699	1,23	1,459	1,592	0,99
200,00	4,577	5,129	1,59	2,564	2,833	1,26	1,529	1,670	1,02
210,00	5,014	5,634	1,67	2,807	3,110	1,32	1,674	1,832	1,07
220,00	5,471	6,161	1,75	3,061	3,399	1,38	1,825	2,002	1,12
230,00	5,946	6,712	1,83	3,326	3,701	1,45	1,982	2,179	1,17
240,00	6,440	7,286	1,91	3,601	4,016	1,51	2,145	2,363	1,22
250,00	6,953	7,883	1,99	3,886	4,344	1,57	2,314	2,555	1,27
260,00	7,485	8,504	2,07	4,182	4,684	1,63	2,489	2,753	1,32
270,00	8,035	9,148	2,15	4,488	5,036	1,70	2,671	2,960	1,38
280,00	8,605	9,815	2,23	4,804	5,401	1,76	2,858	3,173	1,43
290,00	9,193	10,506	2,31	5,131	5,779	1,82	3,051	3,394	1,48
300,00	9,800	11,219	2,39	5,468	6,170	1,89	3,251	3,622	1,53
310,00	10,426	11,956	2,47	5,815	6,573	1,95	3,456	3,857	1,58
320,00	11,071	12,716	2,55	6,173	6,988	2,01	3,668	4,100	1,63
330,00	11,734	13,499	2,63	6,541	7,417	2,07	3,885	4,350	1,68
340,00	12,416	14,306	2,71	6,919	7,857	2,14	4,109	4,607	1,73
350,00	13,117	15,136	2,79	7,307	8,311	2,20	4,338	4,872	1,78
360,00	13,836	15,989	2,86	7,705	8,777	2,26	4,574	5,144	1,83
370,00	14,574	16,865	2,94	8,114	9,255	2,33	4,815	5,423	1,88
380,00				8,533	9,747	2,39	5,062	5,709	1,94
390,00				8,962	10,250	2,45	5,316	6,003	1,99
400,00				9,401	10,767	2,52	5,575	6,304	2,04
420,00				10,310	11,837	2,64	6,111	6,928	2,14
440,00				11,259	12,958	2,77	6,671	7,581	2,24
460,00				12,249	14,129	2,89	7,255	8,263	2,34
480,00							7,862	8,974	2,44
500,00							8,493	9,714	2,55
520,00							9,147	10,483	2,65
540,00							9,825	11,282	2,75
560,00							10,526	12,109	2,85
580,00							11,251	12,965	2,95

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge (tables)

Q	DN 600			DN 700			DN 800		
	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)
	(l/s)	k = 0,03 mm k = 0,10 mm		k = 0,03 mm k = 0,10 mm	k = 0,03 mm k = 0,10 mm				
160,00	0,417	0,443	0,57						
170,00	0,466	0,496	0,60						
180,00	0,517	0,552	0,64						
190,00	0,571	0,611	0,67						
200,00	0,628	0,673	0,71	0,296	0,313	0,52			
210,00	0,687	0,737	0,74	0,324	0,343	0,55			
220,00	0,748	0,805	0,78	0,353	0,375	0,57			
230,00	0,812	0,875	0,81	0,383	0,407	0,60			
240,00	0,878	0,949	0,85	0,414	0,441	0,62			
250,00	0,947	1,025	0,88	0,446	0,476	0,65			
260,00	1,018	1,104	0,92	0,480	0,512	0,68	0,251	0,265	0,52
270,00	1,092	1,186	0,95	0,514	0,550	0,70	0,269	0,284	0,54
280,00	1,168	1,271	0,99	0,550	0,589	0,73	0,287	0,304	0,56
290,00	1,247	1,358	1,03	0,587	0,629	0,75	0,306	0,325	0,58
300,00	1,327	1,449	1,06	0,625	0,671	0,78	0,326	0,346	0,60
310,00	1,411	1,542	1,10	0,664	0,714	0,81	0,346	0,368	0,62
320,00	1,496	1,638	1,13	0,704	0,758	0,83	0,367	0,390	0,64
330,00	1,584	1,737	1,17	0,745	0,804	0,86	0,388	0,414	0,66
340,00	1,675	1,839	1,20	0,787	0,850	0,88	0,410	0,438	0,68
350,00	1,768	1,943	1,24	0,830	0,898	0,91	0,433	0,462	0,70
360,00	1,863	2,051	1,27	0,875	0,947	0,94	0,456	0,487	0,72
370,00	1,960	2,161	1,31	0,921	0,998	0,96	0,479	0,513	0,74
380,00	2,060	2,274	1,34	0,967	1,050	0,99	0,504	0,540	0,76
390,00	2,163	2,390	1,38	1,015	1,103	1,01	0,528	0,567	0,78
400,00	2,267	2,509	1,41	1,064	1,157	1,04	0,554	0,594	0,80
420,00	2,483	2,755	1,49	1,165	1,270	1,09	0,606	0,652	0,84
440,00	2,709	3,013	1,56	1,270	1,388	1,14	0,660	0,712	0,88
460,00	2,944	3,281	1,63	1,379	1,510	1,20	0,717	0,774	0,92
480,00	3,189	3,561	1,70	1,493	1,638	1,25	0,776	0,839	0,95
500,00	3,442	3,853	1,77	1,611	1,771	1,30	0,837	0,907	0,99
520,00	3,705	4,155	1,84	1,733	1,909	1,35	0,900	0,977	1,03
540,00	3,977	4,469	1,91	1,860	2,053	1,40	0,965	1,050	1,07
560,00	4,259	4,794	1,98	1,990	2,201	1,46	1,033	1,125	1,11
580,00	4,550	5,131	2,05	2,125	2,354	1,51	1,102	1,203	1,15
600,00	4,850	5,478	2,12	2,265	2,513	1,56	1,174	1,284	1,19
620,00	5,159	5,837	2,19	2,408	2,676	1,61	1,248	1,367	1,23
640,00	5,477	6,208	2,26	2,556	2,845	1,66	1,324	1,452	1,27
660,00	5,805	6,589	2,33	2,707	3,018	1,71	1,403	1,540	1,31
680,00	6,142	6,982	2,41	2,863	3,197	1,77	1,483	1,631	1,35
700,00	6,488	7,386	2,48	3,024	3,381	1,82	1,566	1,724	1,39
720,00	6,843	7,801	2,55	3,188	3,569	1,87	1,650	1,820	1,43
740,00	7,207	8,228	2,62	3,357	3,763	1,92	1,737	1,918	1,47
760,00	7,581	8,666	2,69	3,529	3,962	1,97	1,826	2,019	1,51
780,00	7,963	9,115	2,76	3,706	4,166	2,03	1,917	2,122	1,55
800,00	8,355	9,575	2,83	3,887	4,375	2,08	2,010	2,228	1,59
850,00				4,358	4,920	2,21	2,252	2,503	1,69
900,00				4,855	5,497	2,34	2,507	2,795	1,79
950,00				5,377	6,105	2,47	2,775	3,102	1,89
1 000,00				5,925	6,744	2,60	3,056	3,425	1,99
1 050,00				6,500	7,415	2,73	3,351	3,764	2,09
1 100,00				7,099	8,118	2,86	3,658	4,119	2,19
1 150,00				7,725	8,853	2,99	3,978	4,490	2,29
1 200,00							4,312	4,876	2,39
1 250,00							4,658	5,278	2,49
1 300,00							5,017	5,696	2,59
1 350,00							5,389	6,130	2,69
1 400,00							5,774	6,579	2,79
1 450,00							6,172	7,045	2,88

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge (tables)

Q	DN 900			DN 1000			DN 1100		
	j (m/km)*			j (m/km)*			j (m/km)*		
(l/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)
340,00	0,231	0,244	0,53						
360,00	0,257	0,272	0,57						
380,00	0,284	0,301	0,60						
400,00	0,312	0,331	0,63	0,187	0,197	0,51			
420,00	0,341	0,363	0,66	0,204	0,215	0,53			
440,00	0,372	0,396	0,69	0,222	0,235	0,56			
460,00	0,403	0,431	0,72	0,241	0,255	0,59			
480,00	0,436	0,467	0,75	0,261	0,277	0,61	0,164	0,173	0,51
500,00	0,470	0,504	0,79	0,281	0,299	0,64	0,177	0,186	0,53
520,00	0,506	0,543	0,82	0,303	0,322	0,66	0,190	0,201	0,55
540,00	0,542	0,583	0,85	0,324	0,345	0,69	0,204	0,215	0,57
560,00	0,580	0,625	0,88	0,347	0,370	0,71	0,218	0,231	0,59
580,00	0,619	0,668	0,91	0,370	0,395	0,74	0,233	0,246	0,61
600,00	0,659	0,712	0,94	0,394	0,421	0,76	0,248	0,262	0,63
620,00	0,701	0,758	0,97	0,419	0,448	0,79	0,263	0,279	0,65
640,00	0,743	0,805	1,01	0,444	0,476	0,81	0,279	0,296	0,67
660,00	0,787	0,853	1,04	0,470	0,504	0,84	0,295	0,314	0,69
680,00	0,832	0,903	1,07	0,497	0,534	0,87	0,312	0,332	0,72
700,00	0,878	0,955	1,10	0,524	0,564	0,89	0,329	0,351	0,74
720,00	0,925	1,007	1,13	0,552	0,595	0,92	0,347	0,370	0,76
740,00	0,974	1,061	1,16	0,581	0,627	0,94	0,365	0,390	0,78
760,00	1,023	1,117	1,19	0,610	0,659	0,97	0,383	0,410	0,80
780,00	1,074	1,174	1,23	0,641	0,693	0,99	0,402	0,431	0,82
800,00	1,126	1,232	1,26	0,671	0,727	1,02	0,421	0,452	0,84
850,00	1,261	1,383	1,34	0,752	0,816	1,08	0,471	0,507	0,89
900,00	1,403	1,544	1,41	0,836	0,910	1,15	0,524	0,565	0,95
950,00	1,552	1,712	1,49	0,925	1,008	1,21	0,579	0,626	1,00
1 000,00	1,709	1,890	1,57	1,017	1,112	1,27	0,637	0,690	1,05
1 050,00	1,872	2,076	1,65	1,114	1,221	1,34	0,698	0,757	1,10
1 100,00	2,043	2,270	1,73	1,216	1,335	1,40	0,761	0,828	1,16
1 150,00	2,221	2,473	1,81	1,321	1,454	1,46	0,827	0,901	1,21
1 200,00	2,406	2,685	1,89	1,431	1,578	1,53	0,895	0,977	1,26
1 250,00	2,599	2,905	1,96	1,545	1,707	1,59	0,966	1,057	1,32
1 300,00	2,798	3,134	2,04	1,663	1,840	1,66	1,040	1,139	1,37
1 350,00	3,004	3,372	2,12	1,785	1,979	1,72	1,116	1,225	1,42
1 400,00	3,218	3,618	2,20	1,911	2,123	1,78	1,194	1,313	1,47
1 450,00	3,438	3,872	2,28	2,041	2,272	1,85	1,276	1,405	1,53
1 500,00	3,666	4,135	2,36	2,176	2,425	1,91	1,359	1,499	1,58
1 550,00	3,901	4,407	2,44	2,314	2,584	1,97	1,446	1,597	1,63
1 600,00	4,142	4,687	2,52	2,457	2,748	2,04	1,534	1,698	1,68
1 650,00	4,391	4,976	2,59	2,604	2,916	2,10	1,626	1,801	1,74
1 700,00	4,647	5,274	2,67	2,755	3,090	2,16	1,720	1,908	1,79
1 750,00	4,909	5,580	2,75	2,910	3,268	2,23	1,816	2,018	1,84
1 800,00	5,179	5,894	2,83	3,069	3,452	2,29	1,915	2,131	1,89
1 850,00	5,456	6,217	2,91	3,232	3,640	2,36	2,016	2,247	1,95
1 900,00	5,739	6,549	2,99	3,400	3,834	2,42	2,120	2,365	2,00
1 950,00				3,571	4,032	2,48	2,227	2,487	2,05
2 000,00				3,747	4,235	2,55	2,336	2,612	2,10
2 100,00				4,110	4,657	2,67	2,561	2,871	2,21
2 200,00				4,489	5,098	2,80	2,797	3,142	2,31
2 300,00				4,885	5,559	2,93	3,042	3,425	2,42
2 400,00							3,298	3,720	2,53
2 500,00							3,563	4,028	2,63
2 600,00							3,838	4,347	2,74
2 700,00							4,124	4,679	2,84
2 800,00							4,419	5,022	2,95

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge (tables)

Q	DN 1200			DN 1400			DN 1500		
	j (m/km)*			j (m/km)*			j (m/km)*		
(l/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)	k = 0,03 mm	k = 0,10 mm	V (m/s)
600,00	0,162	0,171	0,53						
650,00	0,188	0,198	0,57						
700,00	0,215	0,228	0,62						
750,00	0,244	0,259	0,66						
800,00	0,275	0,293	0,71	0,130	0,137	0,52			
850,00	0,308	0,329	0,75	0,145	0,153	0,55			
900,00	0,342	0,366	0,80	0,161	0,170	0,58	0,115	0,121	0,51
950,00	0,379	0,406	0,84	0,178	0,189	0,62	0,128	0,134	0,54
1 000,00	0,416	0,447	0,88	0,196	0,208	0,65	0,140	0,148	0,57
1 050,00	0,456	0,490	0,93	0,215	0,228	0,68	0,153	0,162	0,59
1 100,00	0,497	0,536	0,97	0,234	0,249	0,71	0,167	0,177	0,62
1 150,00	0,540	0,583	1,02	0,254	0,270	0,75	0,181	0,192	0,65
1 200,00	0,584	0,632	1,06	0,275	0,293	0,78	0,196	0,208	0,68
1 250,00	0,630	0,683	1,11	0,296	0,317	0,81	0,212	0,225	0,71
1 300,00	0,678	0,736	1,15	0,319	0,341	0,84	0,228	0,242	0,74
1 350,00	0,728	0,791	1,19	0,342	0,366	0,88	0,244	0,260	0,76
1 400,00	0,779	0,848	1,24	0,366	0,392	0,91	0,261	0,278	0,79
1 450,00	0,831	0,907	1,28	0,390	0,420	0,94	0,279	0,297	0,82
1 500,00	0,886	0,968	1,33	0,416	0,447	0,97	0,297	0,317	0,85
1 550,00	0,942	1,031	1,37	0,442	0,476	1,01	0,315	0,338	0,88
1 600,00	0,999	1,096	1,41	0,469	0,506	1,04	0,334	0,359	0,91
1 650,00	1,059	1,162	1,46	0,496	0,536	1,07	0,354	0,380	0,93
1 700,00	1,120	1,231	1,50	0,525	0,568	1,10	0,374	0,402	0,96
1 750,00	1,182	1,301	1,55	0,554	0,600	1,14	0,395	0,425	0,99
1 800,00	1,246	1,374	1,59	0,584	0,633	1,17	0,416	0,449	1,02
1 850,00	1,312	1,448	1,64	0,615	0,667	1,20	0,438	0,473	1,05
1 900,00	1,380	1,524	1,68	0,646	0,702	1,23	0,460	0,497	1,08
1 950,00	1,449	1,603	1,72	0,678	0,738	1,27	0,483	0,522	1,10
2 000,00	1,519	1,683	1,77	0,711	0,775	1,30	0,507	0,548	1,13
2 100,00	1,665	1,849	1,86	0,779	0,851	1,36	0,555	0,602	1,19
2 200,00	1,818	2,023	1,95	0,850	0,930	1,43	0,605	0,658	1,24
2 300,00	1,977	2,204	2,03	0,924	1,013	1,49	0,658	0,716	1,30
2 400,00	2,142	2,394	2,12	1,001	1,099	1,56	0,712	0,777	1,36
2 500,00	2,314	2,591	2,21	1,080	1,189	1,62	0,769	0,841	1,41
2 600,00	2,492	2,795	2,30	1,163	1,283	1,69	0,828	0,906	1,47
2 700,00	2,677	3,008	2,39	1,248	1,379	1,75	0,888	0,974	1,53
2 800,00	2,867	3,228	2,48	1,337	1,480	1,82	0,951	1,045	1,58
2 900,00	3,065	3,456	2,56	1,428	1,583	1,88	1,016	1,118	1,64
3 000,00	3,268	3,691	2,65	1,522	1,691	1,95	1,083	1,194	1,70
3 100,00	3,478	3,934	2,74	1,620	1,801	2,01	1,152	1,271	1,75
3 200,00	3,694	4,185	2,83	1,720	1,915	2,08	1,223	1,352	1,81
3 300,00	3,917	4,444	2,92	1,823	2,033	2,14	1,296	1,435	1,87
3 400,00				1,928	2,154	2,21	1,371	1,520	1,92
3 500,00				2,037	2,279	2,27	1,448	1,607	1,98
3 650,00				2,206	2,472	2,37	1,567	1,743	2,07
3 800,00				2,380	2,673	2,47	1,691	1,885	2,15
3 950,00				2,562	2,882	2,57	1,819	2,032	2,24
4 100,00				2,750	3,099	2,66	1,952	2,184	2,32
4 250,00				2,944	3,323	2,76	2,090	2,342	2,41
4 400,00				3,144	3,555	2,86	2,232	2,505	2,49
4 550,00				3,351	3,795	2,96	2,379	2,674	2,57
4 700,00							2,530	2,848	2,66
4 850,00							2,685	3,027	2,74
5 000,00							2,845	3,212	2,83
5 150,00							3,010	3,403	2,91
5 300,00							3,179	3,599	3,00

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge (tables)

Q	DN 1600			DN 1800			DN 2000		
	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)	j (m/km)*		V (m/s)
	(l/s)	k = 0,03 mm k = 0,10 mm		k = 0,03 mm k = 0,10 mm	k = 0,03 mm k = 0,10 mm				
1 100,00	0,122	0,128	0,55						
1 200,00	0,143	0,151	0,60						
1 300,00	0,166	0,176	0,65	0,094	0,098	0,51			
1 400,00	0,190	0,202	0,70	0,107	0,113	0,55			
1 500,00	0,216	0,230	0,75	0,122	0,128	0,59			
1 600,00	0,244	0,260	0,80	0,137	0,145	0,63	0,082	0,086	0,51
1 700,00	0,273	0,292	0,85	0,154	0,162	0,67	0,092	0,096	0,54
1 800,00	0,304	0,325	0,90	0,171	0,181	0,71	0,102	0,107	0,57
1 900,00	0,336	0,360	0,94	0,189	0,200	0,75	0,113	0,119	0,60
2 000,00	0,369	0,397	0,99	0,208	0,221	0,79	0,124	0,131	0,64
2 100,00	0,404	0,436	1,04	0,227	0,242	0,83	0,136	0,144	0,67
2 200,00	0,441	0,476	1,09	0,248	0,265	0,86	0,148	0,157	,0,70
2 300,00	0,479	0,518	1,14	0,269	0,288	0,90	0,161	0,170	0,73
2 400,00	0,519	0,562	1,19	0,291	0,312	0,94	0,174	0,185	0,76
2 500,00	0,560	0,608	1,24	0,314	0,337	0,98	0,188	0,200	0,80
2 600,00	0,603	0,655	1,29	0,338	0,364	1,02	0,202	0,215	0,83
2 700,00	0,647	0,705	1,34	0,363	0,391	1,06	0,216	0,231	0,86
2 800,00	0,692	0,755	1,39	0,388	0,419	1,10	0,232	0,247	0,89
2 900,00	0,739	0,808	1,44	0,414	0,448	1,14	0,247	0,265	0,92
3 000,00	0,788	0,863	1,49	0,441	0,478	1,18	0,263	0,282	0,95
3 100,00	0,838	0,919	1,54	0,469	0,509	1,22	0,280	0,300	0,99
3 200,00	0,889	0,977	1,59	0,498	0,540	1,26	0,297	0,319	1,02
3 300,00	0,942	1,036	1,64	0,528	0,573	1,30	0,315	0,338	1,05
3 400,00	0,997	1,097	1,69	0,558	0,607	1,34	0,333	0,358	1,08
3 500,00	1,053	1,161	1,74	0,589	0,642	1,38	0,351	0,379	1,11
3 650,00	1,139	1,258	1,82	0,637	0,696	1,43	0,380	0,410	1,16
3 800,00	1,229	1,360	1,89	0,687	0,752	1,49	0,409	0,443	1,21
3 950,00	1,322	1,466	1,96	0,739	0,810	1,55	0,440	0,477	1,26
4 100,00	1,418	1,576	2,04	0,793	0,870	1,61	0,472	0,512	1,31
4 250,00	1,518	1,689	2,11	0,848	0,932	1,67	0,505	0,549	1,35
4 400,00	1,621	1,806	2,19	0,906	0,997	1,73	0,539	0,587	1,40
4 550,00	1,727	1,928	2,26	0,965	1,063	1,79	0,574	0,626	1,45
4 700,00	1,836	2,053	2,34	1,025	1,132	1,85	0,610	0,666	1,50
4 850,00	1,949	2,182	2,41	1,088	1,203	1,91	0,647	0,707	1,54
5 000,00	2,065	2,315	2,49	1,152	1,276	1,96	0,685	0,750	1,59
5 200,00	2,224	2,498	2,59	1,241	1,376	2,04	0,737	0,809	1,66
5 400,00	2,390	2,689	2,69	1,333	1,481	2,12	0,792	0,870	1,72
5 600,00	2,561	2,886	2,79	1,428	1,589	2,20	0,848	0,933	1,78
5 800,00	2,737	3,090	2,88	1,526	1,701	2,28	0,906	0,999	1,85
6 000,00	2,920	3,301	2,98	1,627	1,816	2,36	0,966	1,066	1,91
6 200,00				1,731	1,936	2,44	1,027	1,136	1,97
6 400,00				1,839	2,059	2,52	1,091	1,208	2,04
6 600,00				1,949	2,186	2,59	1,156	1,282	2,10
6 800,00				2,063	2,317	2,67	1,223	1,359	2,16
7 000,00				2,180	2,451	2,75	1,292	1,437	2,23
7 200,00				2,300	2,589	2,83	1,363	1,518	2,29
7 400,00				2,423	2,731	2,91	1,436	1,601	2,36
7 600,00				2,549	2,877	2,99	1,510	1,686	2,42
7 800,00							1,587	1,773	2,48
8 000,00							1,665	1,863	2,55
8 200,00							1,745	1,954	2,61
8 400,00							1,826	2,048	2,67
8 600,00							1,910	2,144	2,74
8 800,00							1,995	2,242	2,80
9 000,00							2,083	2,343	2,86
9 200,00							2,171	2,445	2,93
9 400,00							2,262	2,550	2,99

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge BLUTOP® (tables)

Q	BLUTOP® DN 75		DI	BLUTOP® DN 90		DI	BLUTOP® DN 110		DI
	j (m/km)*		68	j (m/km)*		83	j (m/km)*		103
(l/s)	0,01	0,05	V (m/s)	0,01	0,05	V (m/s)	0,01	0,05	V (m/s)
1,60									
1,80	4,55	4,80	0,50						
2,00	5,49	5,82	0,55						
2,20	6,50	6,92	0,61						
2,40	7,59	8,10	0,66						
2,60	8,76	9,38	0,72						
2,80	10,00	10,74	0,77	3,84	4,05	0,52			
3,00	11,31	12,20	0,83	4,34	4,59	0,55			
3,20	12,69	13,73	0,88	4,87	5,16	0,59			
3,40	14,15	15,36	0,94	5,43	5,77	0,63			
3,60	15,68	17,07	0,99	6,01	6,40	0,67			
3,80	17,28	18,86	1,05	6,62	7,07	0,70			
4,00	18,95	20,75	1,10	7,26	7,76	0,74			
4,20	20,69	22,71	1,16	7,92	8,49	0,78	2,81	2,95	0,50
4,40	22,51	24,76	1,21	8,61	9,25	0,81	3,05	3,21	0,53
4,60	24,39	26,90	1,27	9,32	10,04	0,85	3,30	3,48	0,55
4,80	26,33	29,12	1,32	10,06	10,85	0,89	3,56	3,76	0,58
5,00	28,35	31,43	1,38	10,83	11,70	0,92	3,83	4,05	0,60
5,20	30,44	33,82	1,43	11,62	12,58	0,96	4,11	4,35	0,62
5,40	32,59	36,30	1,49	12,44	13,49	1,00	4,40	4,67	0,65
5,60	34,81	38,86	1,54	13,28	14,43	1,04	4,69	4,99	0,67
5,80	37,10	41,51	1,60	14,14	15,41	1,07	5,00	5,32	0,70
6,00	39,45	44,24	1,65	15,04	16,41	1,11	5,31	5,66	0,72
6,20	41,87	47,05	1,71	15,95	17,44	1,15	5,63	6,01	0,74
6,40	44,36	49,95	1,76	16,89	18,50	1,18	5,96	6,37	0,77
6,60	46,91	52,93	1,82	17,86	19,59	1,22	6,30	6,74	0,79
6,80	49,53	56,00	1,87	18,85	20,71	1,26	6,65	7,12	0,82
7,00	52,22	59,15	1,93	19,86	21,86	1,29	7,01	7,52	0,84
7,20	54,97	62,38	1,98	20,90	23,04	1,33	7,37	7,92	0,86
7,40	57,78	65,70	2,04	21,97	24,25	1,37	7,74	8,33	0,89
7,60	60,67	69,10	2,09	23,05	25,49	1,40	8,12	8,75	0,91
7,80	63,61	72,58	2,15	24,17	26,76	1,44	8,51	9,18	0,94
8,00	66,62	76,15	2,20	25,30	28,06	1,48	8,91	9,62	0,96
8,20	69,70	79,81	2,26	26,46	29,39	1,52	9,32	10,07	0,98
8,40	72,84	83,54	2,31	27,65	30,75	1,55	9,73	10,53	1,01
8,60	76,04	87,36	2,37	28,85	32,14	1,59	10,15	11,00	1,03
8,80	79,31	91,27	2,42	30,08	33,56	1,63	10,58	11,48	1,06
9,00	82,65	95,25	2,48	31,34	35,01	1,66	11,02	11,97	1,08
9,20	86,04	99,32	2,53	32,62	36,49	1,70	11,47	12,47	1,10
9,40	89,51	103,48	2,59	33,92	38,00	1,74	11,92	12,97	1,13
9,60	93,03	107,72	2,64	35,25	39,54	1,77	12,38	13,49	1,15
9,80	96,62	112,04	2,70	36,59	41,10	1,81	12,85	14,02	1,18
10,00	100,27	116,44	2,75	37,97	42,70	1,85	13,33	14,56	1,20
10,50	109,68	127,82	2,89	41,50	46,82	1,94	14,57	15,95	1,26
11,00				45,18	51,13	2,03	15,85	17,39	1,32
11,50				49,00	55,62	2,13	17,18	18,90	1,38
12,00				52,97	60,30	2,22	18,56	20,47	1,44
12,50				57,08	65,16	2,31	19,99	22,10	1,50
13,00				61,34	70,21	2,40	21,47	23,79	1,56
13,50				65,74	75,44	2,50	22,99	25,54	1,62
14,00				70,27	80,85	2,59	24,57	27,35	1,68
14,50				74,95	86,45	2,68	26,19	29,22	1,74
16,50							33,16	37,30	1,98
18,50							40,89	46,33	2,22
20,50							49,37	56,32	2,46
22,50							58,59	67,27	2,70
24,50							68,54	79,16	2,94

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci

LE CYCLE DE L'EAU

Pertes de charge BLUTOP® (tables)

Q	BLUTOP® DN 125		DI	BLUTOP® DN 140		DI	BLUTOP® DN 160		DI
	j (m/km)*		118	j (m/km)*		133	j (m/km)*		152
(l/s)	0,01	0,05	V (m/s)	0,01	0,05	V (m/s)	0,01	0,05	V (m/s)
5,50	2,37	2,48	0,50						
6,00	2,76	2,91	0,55						
6,50	3,19	3,37	0,59						
7,00	3,64	3,86	0,64	2,12	2,23	0,51			
7,50	4,12	4,38	0,69	2,40	2,53	0,55			
8,00	4,63	4,93	0,73	2,70	2,84	0,58			
8,50	5,16	5,51	0,78	3,01	3,18	0,62			
9,00	5,72	6,12	0,82	3,33	3,53	0,66	1,69	1,77	0,50
9,50	6,30	6,76	0,87	3,67	3,90	0,69	1,86	1,95	0,52
10,00	6,91	7,43	0,91	4,03	4,28	0,73	2,04	2,15	0,55
10,50	7,55	8,14	0,96	4,40	4,68	0,77	2,23	2,35	0,58
11,00	8,21	8,87	1,01	4,78	5,10	0,80	2,42	2,55	0,61
11,50	8,90	9,63	1,05	5,18	5,54	0,84	2,63	2,77	0,63
12,00	9,61	10,42	1,10	5,59	5,99	0,88	2,83	3,00	0,66
12,50	10,35	11,25	1,14	6,02	6,46	0,91	3,05	3,23	0,69
13,00	11,11	12,10	1,19	6,46	6,95	0,95	3,27	3,47	0,72
13,50	11,90	12,98	1,23	6,92	7,45	0,99	3,50	3,72	0,74
14,00	12,71	13,90	1,28	7,39	7,97	1,02	3,74	3,98	0,77
14,50	13,55	14,84	1,33	7,88	8,51	1,06	3,99	4,25	0,80
15,00	14,41	15,81	1,37	8,37	9,07	1,10	4,24	4,52	0,83
15,50	15,29	16,81	1,42	8,89	9,64	1,13	4,50	4,80	0,85
16,00	16,20	17,84	1,46	9,41	10,22	1,17	4,76	5,09	0,88
16,50	17,13	18,91	1,51	9,95	10,83	1,21	5,03	5,39	0,91
17,00	18,09	20,00	1,55	10,51	11,45	1,24	5,31	5,70	0,94
17,50	19,07	21,12	1,60	11,08	12,09	1,28	5,60	6,01	0,96
18,00	20,08	22,27	1,65	11,66	12,74	1,32	5,89	6,34	0,99
18,50	21,11	23,45	1,69	12,25	13,41	1,35	6,19	6,67	1,02
19,00	22,16	24,66	1,74	12,86	14,10	1,39	6,50	7,01	1,05
19,50	23,24	25,89	1,78	13,48	14,80	1,42	6,81	7,35	1,07
20,00	24,34	27,16	1,83	14,12	15,52	1,46	7,13	7,71	1,10
20,50	25,46	28,46	1,87	14,77	16,26	1,50	7,46	8,07	1,13
21,00	26,61	29,79	1,92	15,43	17,01	1,53	7,79	8,44	1,16
21,50	27,78	31,14	1,97	16,11	17,78	1,57	8,13	8,82	1,18
22,00	28,97	32,53	2,01	16,80	18,57	1,61	8,48	9,21	1,21
22,50	30,19	33,94	2,06	17,50	19,37	1,64	8,83	9,60	1,24
23,00	31,43	35,39	2,10	18,22	20,19	1,68	9,19	10,00	1,27
23,50	32,69	36,86	2,15	18,95	21,03	1,72	9,56	10,41	1,30
24,00	33,98	38,36	2,19	19,69	21,88	1,75	9,93	10,83	1,32
26,00	39,36	44,67	2,38	22,80	25,45	1,90	11,49	12,59	1,43
28,00	45,11	51,45	2,56	26,11	29,28	2,05	13,15	14,47	1,54
30,00	51,22	58,69	2,74	29,63	33,38	2,19	14,92	16,48	1,65
32,00	57,69	66,40	2,93	33,36	37,74	2,34	16,79	18,61	1,76
34,00				37,30	42,36	2,48	18,76	20,87	1,87
36,00				41,44	47,24	2,63	20,83	23,25	1,98
38,00				45,79	52,38	2,78	23,00	25,77	2,09
40,00				50,33	57,78	2,92	25,27	28,40	2,20
42,00							27,65	31,16	2,31
44,00							30,12	34,05	2,42
46,00							32,69	37,06	2,54
48,00							35,36	40,20	2,65
50,00							38,12	43,46	2,76

Valeurs directement utilisables pour l'eau à 10 °C

* Il s'agit de mètres de hauteur du fluide tel qu'il circule dans la conduite par kilomètre courant de celle-ci

PRESSIION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Pression (terminologie)

Sous le terme «pression», il y a lieu de distinguer les terminologies :

- du concepteur de réseau (liées au dimensionnement du réseau),
- du fabricant (liées aux performances des produits),
- de l'utilisateur du réseau (liées au service).

Terminologie

La terminologie rappelée ci-après est issue de la norme européenne EN 805 – Alimentation en eau. Prescription pour les réseaux extérieurs et les composants – applicables à tous les matériaux.

	Terminologie			
	Abréviation	Française	Anglaise	Allemande
Concepteur	DP	Pression de calcul en régime permanent	Design Pressure	Systembetriebsdruck
	MDP	Pression maximale de calcul	Maximum design pressure	höchster Systembetriebsdruck
	STP	Pression d'épreuve du réseau	System test pressure	Systemprüfdruck
Fabricant	PFA	Pression de fonctionnement admissible	Allowable operating pressure	zulässiger Bauteilbetriebsdruck
	PMA	Pression maximale admissible	Allowable maximum operating pressure	höchster zulässigen Bauteilbetriebsdruck
	PEA	Pression d'épreuve admissible	Allowable test pressure	zulässiger Bauteilprüfdruck
Utilisateur	OP	Pression de fonctionnement	Operating pressure	Betriebsdruck
	SP	Pression de service	Service pressure	Versorgungsdruck

La norme de produit EN 545 – Tuyaux et raccords en fonte ductile – reprend cette terminologie pour ce qui concerne le fabricant.

PRESSIION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Pression (terminologie)

Terminologie du concepteur

DP - Pression de calcul en régime permanent

Pression maximale de fonctionnement de la zone de pression, fixée par le projeteur mais non compris le coup de bélier.

MDP - Pression maximale de calcul

Pression maximale de fonctionnement de la zone de pression, fixée par le projeteur mais comprenant le coup de bélier et tenant compte de développements futurs.

MDP s'écrit **MDPa** lorsque la part coup de bélier est fixée forfaitairement,
MDP s'écrit **MDPc** lorsque le coup de bélier est calculé.

STP - Pression d'épreuve du réseau

Pression hydrostatique appliquée à une conduite nouvellement posée de façon à s'assurer de son intégrité et de son étanchéité.

Terminologie du fabricant (applicable dans le présent catalogue)

PFA – Pression de Fonctionnement Admissible

Pression hydrostatique maximale à laquelle un composant est capable de résister de façon permanente en service. C'est la pression jusqu'à laquelle le réseau peut fonctionner en continu.

PMA – Pression Maximale Admissible

Pression maximale, y compris le coup de bélier, à laquelle un composant est capable de résister lorsqu'il y est soumis de temps à autre en service. C'est la pression jusqu'à laquelle le réseau peut fonctionner en continu en tenant compte des coups de bélier.

Pour les canalisations en fonte ductile, $PMA = 1,2 \times PFA$, en bar (selon EN 545)

PEA – Pression d'Épreuve Admissible

Pression hydrostatique maximale à laquelle un composant nouvellement mis en œuvre est capable de résister. C'est la pression jusqu'à laquelle le réseau peut fonctionner en continu pendant un laps de temps relativement court afin de s'assurer de l'intégrité et de l'étanchéité de la conduite.

Pour les canalisations en fonte ductile, $PEA = PMA + 5 = 1,2 \times PFA + 5$, en bar (selon EN 545)

Terminologie de l'utilisateur

OP - Pression de fonctionnement

Pression interne qui a lieu à un instant donné et en un point déterminé du réseau d'alimentation en eau.

PRESSIION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Pression (terminologie)

SP - Pression de service

Pression interne fournie au point d'écoulement au consommateur.

Autres définitions du fabricant

PN - Pression nominale (au sens de la norme EN 545)

Désignation numérique exprimée par un nombre utilisé à des fins de référence. Tous les composants à brides ayant un même DN et désignés par un même PN ont des dimensions de raccordement compatibles.

La norme EN 545 – Annexe A.4, tableau A.2 – établit pour les tuyaux et raccords à brides, la correspondance suivante entre PN et PFA, PMA et PEA.

DN	PN 10			PN 16			PN 25			PN 40		
	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA
40 à 50	Voir PN 40			Voir PN 40			Voir PN 40			40	48	53
60 à 80	Voir PN 16			16	20	25	Voir PN 40			40	48	53
100 à 150	Voir PN 16			16	20	25	25	30	35	40	48	53
200 à 300	10	12	17	16	20	25	25	30	35	40	48	53
350 à 1 200	10	12	17	16	20	25	25	30	35	–	–	–
1 400 à 2 000	10	12	17	16	20	25	–	–	–	–	–	–
Pour les pièces à brides DN 80 fabriquées par PAM suivre la correspondance suivante :												
80	Voir PN 40			Voir PN 40			Voir PN 40			40	48	53

Pression d'essai d'étanchéité (au sens de la norme EN 545)

Pression appliquée à un composant en cours de fabrication pour en assurer l'étanchéité.

PRESSIION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Pression de fonctionnement admissible des tuyaux et raccords (bar)

Les canalisations **PAM** sont conçues pour résister à des pressions élevées, en général bien supérieures aux valeurs habituellement rencontrées dans les réseaux. Cela se justifie par la nécessité de pouvoir résister aux nombreuses sollicitations auxquelles sont soumises les canalisations, lors de leur mise en œuvre, mais aussi – et surtout – au cours du temps.

Dimensionnement d'une canalisation

Lors du choix d'un composant d'une canalisation, il faut s'assurer que les trois inégalités ci-contre sont respectées.

Où :

DP	= Pression de calcul en régime permanent,
MDP	= Pression maximale de calcul,
STP	= Pression d'épreuve du réseau.

Coefficient de sécurité

$$\begin{aligned} DP &\leq PFA \\ MDP &\leq PMA \\ STP &\leq PEA \end{aligned}$$

Les pressions indiquées dans les tableaux ci-après sont établies avec des coefficients de sécurité élevés qui tiennent compte, non seulement des efforts dus à la pression interne, mais aussi des nombreuses autres sollicitations parfois accidentelles auxquelles sont soumises les canalisations lors de leur mise en œuvre et lorsqu'elles sont en service.

Exemple : pour un tuyau la PFA est calculée avec un coefficient de sécurité de :

- 3 par rapport à la résistance minimale à la rupture,
- 2 par rapport à la limite élastique minimale.

Utilisation de la table des pressions

La résistance à la pression d'un composant dépend :

- de la résistance du corps de ce composant, et
- de la performance du (des) joint(s) qui l'équipe(nt).

Pour un assemblage de 2 composants, il convient de prendre en compte la résistance du plus faible des composants.

Les tableaux ci-après donnent pour chaque type de composant (tuyaux, raccords...) et chaque type de joint, les PFA, PMA et PEA qu'il convient de retenir.

Si un tuyau est équipé de deux types d'assemblage, un à chaque extrémité, il convient de retenir les PFA, PMA et PEA les moins élevées.

Si un raccord est équipé de deux types d'assemblage (exemple té à deux emboîtures et tubulure bride), il convient de retenir les PFA, PMA et PEA les moins élevées.

Exemple : Té DN 300 à 2 emboîtures EXPRESS, tubulure bride dn 150 PN 40, classe C50 :

PFA	=	40
PMA	=	48
PEA	=	53

PRESSIION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Pression de fonctionnement admissible des tuyaux et raccords (bar)



JOINT STANDARD

STD			NATURAL	NATURAL PUR	NATURAL Classe supérieure	IRRIGAL	URBITAL	ISOPAM	TT PE	PUX PUR	MINERAL
DN	classe	PFA									
60	C40	40			64 (C64)						
80	C40	40			64 (C64)						
100	C40	40			64 (C64)						
125	C40	40			64 (C64)						
150	C40	40			64 (C64)						
200	C40	40			50 (C50)						
250	C40	40			50 (C50)						
300	C40	40			50 (C50)						
350	C30	30			40 (C40)						
400	C30	30			40 (C40)						
450	C30	30			40 (C40)						
500	C30	30			40 (C40)						
600	C30	30			40 (C40)						
700	C25	25									
700	C30	30									
800	C25	25									
800	C30	30									
900	C25	25									
900	C30	30									
1000	C25	25									
1000	C30	30									
1100	C25	25									
1100	C30	30									
1200	C25	25									
1200	C30	30									
1400	C25	25									
1500	C25	25									
1600	C25	25									
1800	C25	25									
2000	C25	25									

Ces PFA s’appliquent également aux raccords à joint Standard du tableau ci-dessous.

Classe de pression des raccords

DN	Classe	DN	Classe
DN 60 à DN 100	C100	DN 400 à DN 600	C40
DN 125 à DN 200	C64	DN 700 à DN 1400	C30
DN 250 à DN 350	C50	DN 1500 à DN 2000	C25

En savoir plus sur les gammes : <http://www.pamline.fr>

PRESSIION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Pression de fonctionnement admissible des tuyaux et raccords (bar)



JOINT STANDARD Vi

STD Vi			NATURAL	NATURAL PUR	NATURAL HPVi	IRRIGAL	URBITAL	ISOPAM	FM	TT PE	MINERAL
DN	classe	PFA									
60	C40	22			30 (C64)						
80	C40	16			25 (C64)						
100	C40	16			25 (C64)						
125	C40	16			20 (C64)						
150	C40	16			25 (C64)						
200	C40	16			20 (C50)						
250	C40	16			20 (C50)						
300	C40	16			20 (C50)						
350	C30	16			20 (C40)						
400	C30	16			20 (C40)						
450	C30	13			20 (C40)						
500	C30	11			18 (C40)						
600	C30	10			16 (C40)						
700	C25	10			NC						



JOINT UNIVERSAL Vi

UNI Vi			NATURAL	NATURAL PUR	TT PE	MINERAL
DN	classe	PFA				
80	C100	100				
100	C100	56				
125	C64	52				
150	C64	48				
200	C64	43				
250	C50	39				
300	C50	34				
350	C40	25				
400	C40	20				
450	C40	16				
500	C40	16				
600	C40	16				
700	C30	10				



JOINT UNIVERSAL Ve

UNI Ve			NATURAL	NATURAL PUR	TT PE	MINERAL
DN	classe	PFA				
80	C100	100				
100	C100	85				
125	C64	63				
150	C64	63				
200	C64	63				
250	C50	50				
300	C50	41				
350	C40	38				
400	C40	35				
450	C40	32				
500	C40	30				
600	C40	30				
700	C30	27				
800	C30	25				
900	C30	25				
1000	C30	25				
1100	C30	25				
1200	C25	20				
1200	C30	25				
1400	C25	16				
1500	C25	16				
1600	C25	16				

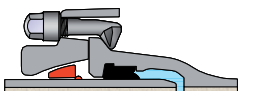
PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Pression de fonctionnement admissible des tuyaux et raccords (bar)



JOINT PAMLOCK

PAMLOCK			NATURAL
DN	classe	PFA	
1400	C25	25	
1500	C25	25	
1600	C25	25	
1800	C25	16	
2000	C25	16	



JOINT STANDARD Ve uniquement pour les raccords

STD Ve			NATURAL	NATURAL PUR	PUX PUR	MINERAL
DN	classe	PFA				
80	C100	64				
100	C100	64				
125	C64	64				
150	C64	55				
200	C64	46				
250	C50	35				
300	C50	30				
350	C30	27				
400	C30	25				
450	C30	23				
500	C30	22				
600	C30	20				
700	C30	25				
800	C30	16/25*				
900	C30	16/25*				
1000	C30	16/25*				
1100	C25	16/25*				
1200	C25	16/20*				

*avec boulons acier et semelle d'appui, autres DN boulons fonte



JOINT STANDARD V+I uniquement pour les raccords

STD V+I			NATURAL	NATURAL PUR
DN	classe	PFA		
350	C30	12		
400	C30	10		
450	C30	10		
500	C30	10		
600	C30	10		

PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Pression de fonctionnement admissible des tuyaux et raccords (bar)

Gamme ALPINAL®

DN	classe	TYTON UNI	TYTON UNI Vi	TYTON UNI Ve	classe	UNI STD	UNI STD VE
80	C100	100	100	100			
100	C100	100	56	85			
100	C145	145	100	100			
125	C64	63	52	63			
125	C100	100	100	100			
150	C64	63	48	63			
150	C100	100	63	100			
200	C64	63		63			
200	C100	100		100			
250	C50	50		50			
250	C85	85		78			
250	C100	100		100			
300	C50	50		41			
300	C75	75		70			
300	C85	85		80			
300	C100	100		100			
400	C100	100		85	C40	40	35
400					C64	63	63
500	C64	64			C40	40	30
500	C75	75		75	C50	50	50
500	C100	100					
600	C64	64		64			
600	C100	100					

Ces PFA s'appliquent aux raccords de la gamme ALPINAL.

Gamme BLUTOP®

DN	Classe	non verrouillé	verrouillé
75	C25	25	16
90	C25	25	16
110	C25	25	16
125	C25	25	16
140	C25	25	16
160	C25	25	16

PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Pression de fonctionnement admissible des tuyaux et raccords (bar)

PMA et PEA en fonction de la PFA (bar)

PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA
100	120	125	45	54	59	26	31	36
64	76	81	43	51	56	25	30	35
63	75	80	41	49	54	23	28	33
60	72	77	40	48	53	22	26	31
57	68	73	39	46	51	20	24	29
56	67	72	38	45	50	18	21	26
55	65	70	35	42	47	16	19	24
52	62	67	34	41	45	13	15	20
50	60	65	32	38	43	12	14	19
48	57	62	30	36	41	11	13	18
46	55	60	27	32	37	10	12	17

Raccords à joint Express

DN	C Raccord	C Tuyau	PFA Express	PFA Express Vi
60	100	40	40	16
80	100	40	40	16
100	100	40	40	16
125	64	40	40	16
150	64	40	40	16
200	64	40	40	16
250	50	40	40	16
300	50	40	40	16
350	50	30	30	-
400	40	30	30	-
450	40	30	30	-
500	40	30	30	-
600	40	30	30	-
700	30	25	25	-
800	30	25	25	-
900	30	25	25	-
1 000	30	25	25	-
1 100	30	25	25	-
1 200	30	25	25	-
1 400	30	25	25	-
1 500	25	25	25	-
1 600	25	25	25	-
1 800	25	25	25	-
2 000	25	25	25	-

Pour des raccords montés sur des tuyaux de classe de pression supérieure, nous consulter.

PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Verrouillage

Des forces de poussée hydraulique apparaissent aux changements de direction, aux réductions de diamètre (coudes, tés, cônes) et aux extrémités d'une canalisation véhiculant un fluide sous pression. Ces forces peuvent conduire à un déboîtement des conduites lorsqu'elles ne sont pas compensées par des massifs de butée en béton ou des dispositifs de verrouillage.

Les forces de poussée hydraulique peuvent être très élevées et doivent être équilibrées par des dispositifs de verrouillage appropriés, ou par des massifs de butée en béton.

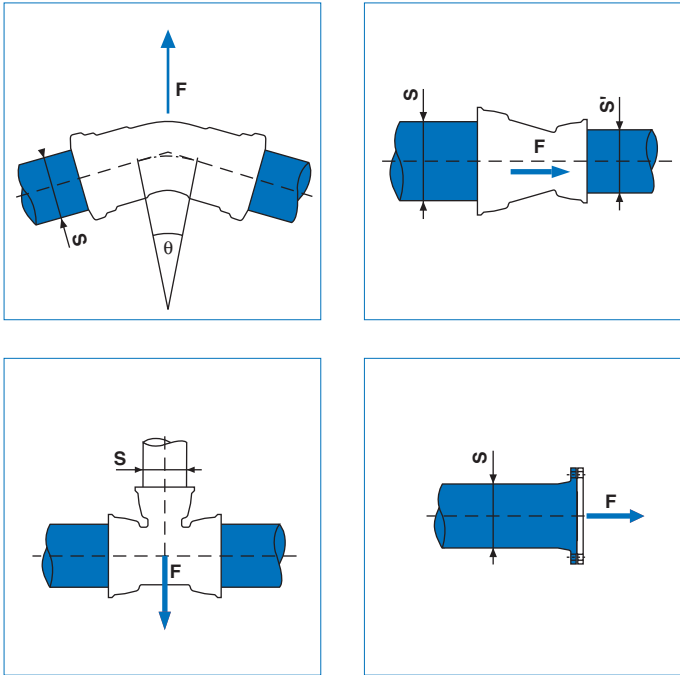
Les forces de poussée hydraulique peuvent être calculées par la formule générale :

F = K.P.S

- F : force de poussée (en N)
- P : pression intérieure maximale (pression d'essai sur chantier) (en Pa)
- S : section transversale(intérieure pour les jointsà brides, extérieure pour tous les autres types) (en m²)
- K : coefficient, fonction de la géométrie de l'élément de canalisation concerné

Valeur du coefficient K selon le type de raccord	
Raccord	K
Plaque pleine	1,000
Coude 1/4	1,414
Coude 1/8	0,765
Coude 1/16	0,390
Coude 1/32	0,196
Cône	1-S'/S (S' plus petite section)
Té	1, 000

Forces de poussée hydraulique apparaissant dans une canalisation :



PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Verrouillage

Poussées hydrauliques: le tableau ci-dessous donne les forces de poussée pour une pression de 1 bar.
(Pour des pressions différentes, multiplier par la valeur en bar de la pression d'essai sur chantier).

DN	Poussée F en daN pour 1 bar				
	Coudes 1/4	Coudes 1/8	Coudes 1/16	Coudes 1/32	Tés et plaques pleines
60	66	36	18	9	47
80	106	57	29	15	75
100	154	83	43	21	109
125	230	125	64	32	163
150	321	174	89	44	227
200	547	296	151	76	387
250	834	451	230	116	590
300	1181	639	326	164	835
350	1587	858	438	220	1122
400	2043	1105	564	283	1445
450	2558	1384	706	355	1809
500	3143	1701	867	436	2223
600	4478	2423	1235	621	3167
700	6049	3273	1668	838	4278
800	7873	4260	2172	1091	5568
900	9918	5366	2735	1375	7014
1000	12197	6599	3364	1691	8626
1100	-	7960	4058	2039	10405
1200	17491	9463	4824	2425	12370
1400	-	12842	6547	3290	16787
1500	-	14716	7502	3770	19236
1600	-	16716	8522	4283	21851
1800	-	21123	10769	5412	27612
2000	-	26044	13278	6673	34045

PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Verrouillage

Plus de liberté dans la conception des réseaux

▮ Vers la disparition des massifs de butée en béton

Les technologies de verrouillage remplacent de plus en plus les massifs de butée en béton. En effet, ces massifs, lourds et encombrants, présentent de nombreux inconvénients :

- **Emprise des chantiers**

Plus le diamètre des canalisations augmente, plus les dimensions des massifs sont importantes. Cela peut engendrer de réels problèmes d'encombrement des sous-sols où de nombreux réseaux (gaz, assainissement, télécommunication, réseaux câblés,...) doivent se partager un espace limité.

- **Durée d'ouverture des tranchées**

Les règles de l'art en matière de béton prescrivent un délai de murissement de 28 jours avant de pouvoir y prendre appui. Dans les faits, même si ce délai est raccourci, il représente une contrainte forte et n'est plus acceptable en milieu urbain.

- **Risques de déstabilisation à long terme**

L'origine de ces risques peut être soit naturelle, avec des terrains de faible homogénéité ou accidentés, soit provoquée par des décaissements à proximité pour réintervention sur d'autres réseaux, notamment en milieu urbain. Ces phénomènes affectent la stabilité, donc la pérennité des ouvrages en béton et peuvent faire redouter d'éventuels déboîtements.

- **Héritage difficile à gérer**

Lorsqu'il faudra réintervenir sur la conduite, ou dans un futur plus lointain démanteler la conduite en fin de vie, de lourds travaux de destruction devront être engagés.

▮ Une approche moderne de l'adduction d'eau grâce aux technologies de verrouillage

L'utilisation des technologies de verrouillage progresse très vite dans la plupart des pays, et ce à un niveau mondial. En effet, ces technologies présentent des avantages significatifs :

- **Faible encombrement dans le sol**

L'espace occupé par les canalisations munies de dispositif de verrouillage est identique à celui des canalisations non verrouillées. Cela laisse des espaces suffisants aux autres réseaux. De plus, cela contribue à la réduction des volumes de matériaux d'excavation.

- **Limitation des contraintes logistiques**

Il n'est pas toujours aisé, pour des raisons d'accessibilité, de coût, ... de disposer de plusieurs m³ de béton pour réaliser des massifs de butée. Cela limite la rotation des camions qui impose souvent en pratique les cadences de pose. Les dispositifs de verrouillage sont légers et faciles à transporter au lieu de pose, que ce soit en ville ou à la campagne, en montagne ou dans les déserts les plus reculés.

- **Rapidité de mise en œuvre et de mise en service**

Les verrouillages sont très rapides à mettre en œuvre, notamment les systèmes STANDARD Vi et EXPRESS Vi. De plus, immédiatement après leur montage, ils peuvent encaisser une épreuve hydraulique.

- **Stabilité et durabilité éprouvées**

Le fonctionnement des verrouillages associe la résistance intrinsèque au déboîtement des jonctions verrouillées à un frottement avec le sol. Les préconisations de  en matière de longueur à verrouiller permettent de tenir compte de la nature du sol, ainsi que des risques de travaux autour des conduites. Les systèmes de verrouillage disposent de protection contre la corrosion du même niveau que celle des tuyaux et raccords.

- **Démontage possible**

Le démontage des canalisations demeure toujours possible, sans avoir à entreprendre de lourds et longs travaux de génie civil, en utilisant les outils fournis par .

PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

VerrouillageUne plus grande souplesse pour réceptionner les réseaux

Aujourd'hui avec les dispositifs de verrouillage, la pose et la réception des chantiers sont accélérées avec un niveau de fiabilité inégalé :

- **Plus besoin d'attendre la prise du béton**

Dès la mise en place des verrouillages, les conduites sont prêtes à être éprouvées en pression.

- **Remplacement des butées d'essai**

Il n'est plus nécessaire de réaliser des butées d'essais pour tester individuellement les segments de canalisation, notamment en utilisant les raccords Bride-Emboîtement EXPRESS Vi

- **Possibilité de tester des segments plus courts**

Il devient possible de tester des tronçons de réseaux plus courts ce qui facilite la recherche et la résolution d'éventuels problèmes toujours possibles et permet de reboucher rapidement les tranchées.

Les dispositifs de verrouillage de **PAM** peuvent être testés jusqu'à leur PEA (Pression d'Épreuve Admissible) durant les essais de réception.

Des solutions de verrouillages pour les poses les plus exigeantes

La palette de solutions de verrouillage permet de s'adapter au mieux aux cas de pose les plus délicats :

- Pose en fourreau, passage de route, tunnels, ponts,
- Forage dirigé ou remplacement place pour place (UNIVERSAL Ve, voir brochure forage dirigé),
- Pose en montagne, notamment avec les solutions de verrouillage UNIVERSAL adoptées par la gamme ALPINAL (voir brochure ALPINAL), mais également pour les micro-centrales hydroélectriques, ...
- Pose en terrains peu cohérents, en immersion,...

Verrouillage et développement durable

- économie de matière, quelques kg de joint remplacent plusieurs tonnes de béton.
- économie de place grâce à des dispositifs compacts.
- économie de transport (déblais, béton).
- gain de temps.
- plus besoin de bois de coffrage pour les massifs en béton.



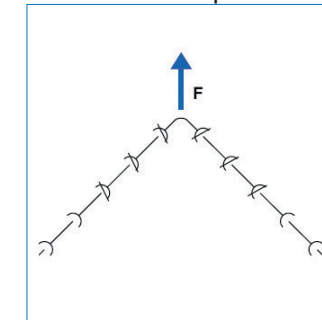
Le choix du verrouillage exclut l'utilisation de massifs de butée.

PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Calcul des longueurs à verrouillerSur quelle longueur faut-il verrouiller les canalisations ?

Le principe de la technique consiste à verrouiller les joints sur une longueur suffisante de part et d'autre d'une zone de poussée hydraulique, un coude par exemple, afin de mobiliser les forces de frottement sol/tuyau permettant d'équilibrer la force de poussée.

Le calcul de la longueur à verrouiller est indépendant du système de verrouillage utilisé. Le calcul de la longueur à verrouiller dépend de la pression d'essai, du diamètre de la conduite, ainsi que des paramètres des 2 figures C & D.



Verrouillage des conduites selon les cas de figure

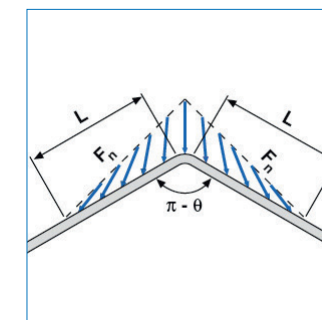
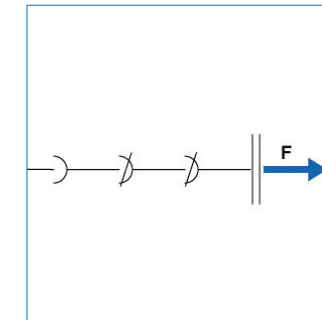
La formule de calcul de la longueur à verrouiller L est la suivante :

$$L = \frac{PS}{Fn} \times \left(\frac{\pi}{2} - \theta \right) \times \left(\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right) \times c$$

- L : longueur à verrouiller (en m)
- P : pression d'essai sur chantier (en Pa)
- S : section transversale (en m²)
- θ : angle du coude (en radians)
- c : coefficient de sécurité (1,2 en général)
- Fn : force de frottement par mètre de tuyau (en N/m)

$$Fn = K.f.(2.We + Wp + Ww)$$

- Wp : poids métrique du tuyau vide (en N/m)
- Ww : poids métrique de l'eau (en N/m)
- K : coefficient de répartition des pressions du remblai autour des tuyaux (selon compactage K = 1,1 à 1,5)
- f : coefficient de frottement sol/tuyau
- We : poids métrique du remblai (en N/m)



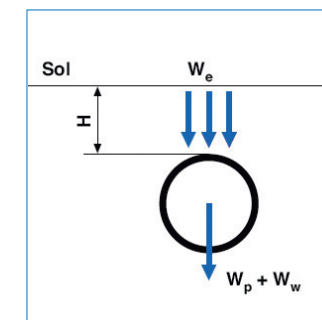
Paramètres intervenant dans le calcul de la longueur à verrouiller

$$We = \gamma.HD\alpha_1$$

- $\alpha_1 = 1$, si essai avec joints remblayés
- $\alpha_1 = 2/3$, si essai avec joints découverts
- D : diamètre extérieur du tuyau (en m)
- H : hauteur de couverture (en m)

$$f = \alpha_2 . \operatorname{tg} (0,8.\phi)$$

- $\alpha_2 = 1$; tuyau revêtu zinc ou zinalium + peinture bitumineuse ou époxy
- $\alpha_2 = 2/3$; tuyau TT, revêtu polyéthylène ou polyuréthane, tuyau avec manche polyéthylène
- $Kf = \min (K.2/3.\operatorname{tg} (0,8\phi); 0,3)$
- ϕ : Angle de frottement interne du remblai



PRESSIION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Calcul des longueurs à verrouiller

Hypothèses	Pression d'essai	10 bar	Coefficient de sécurité	1,5
	Angle de frottement sol	30°	Revêtement standard	(coef. 1)
	Densité sol	2 t/m³	Joints non remblayés	(coef. 2/3=0,6667)

Longueurs à verrouiller en mètres calculées avec les hypothèses ci-dessus															
Type de raccord	Coude 1/4			Coude 1/8			Coude 1/16			Coude 1/32			Plaque pleine ou vanne		
Hauteur de couverture (m)	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2	1	1,5	2
60	4,6	3,1	2,4	2,9	1,9	1,5	1,6	1,1	0,8	0,8	0,6	0,4	5,8	4,0	3,0
80	5,8	4,0	3,0	3,6	2,5	1,9	2,0	1,4	1,0	1,1	0,7	0,6	7,4	5,0	3,8
100	7,0	4,7	3,6	4,3	2,9	2,2	2,4	1,7	1,3	1,3	0,9	0,7	8,9	6,0	4,6
125	8,4	5,8	4,4	5,2	3,6	2,7	2,9	2,0	1,5	1,6	1,1	0,8	10,7	7,3	5,6
150	9,9	6,8	5,1	6,1	4,2	3,2	3,4	2,4	1,8	1,8	1,2	0,9	12,6	8,6	6,5
200	12,7	8,7	6,7	7,9	5,4	4,1	4,4	3,0	2,3	2,3	1,6	1,2	16,2	11,1	8,5
250	15,4	10,7	8,1	9,6	6,6	5,1	5,4	3,7	2,8	2,8	2,0	1,5	19,6	13,6	10,4
300	18,0	12,5	9,6	11,2	7,8	6,0	6,3	4,4	3,3	3,3	2,3	1,8	22,9	15,9	12,2
350	20,5	14,4	11,0	12,7	8,9	6,9	7,1	5,0	3,8	3,8	2,7	2,0	26,1	18,3	14,1
400	23,0	16,1	12,4	14,3	10,0	7,7	8,0	5,6	4,3	4,2	3,0	2,3	29,3	20,5	15,8
450	25,3	17,9	13,8	15,7	11,1	8,6	8,8	6,2	4,8	4,7	3,3	2,5	32,2	22,7	17,6
500	27,6	19,6	15,2	17,2	12,2	9,4	9,6	6,8	5,3	5,1	3,6	2,8	35,2	24,9	19,3
600	31,9	22,8	17,8	19,8	14,2	11,0	11,1	8,0	6,2	5,9	4,2	3,3	40,7	29,1	22,6
700	35,6	25,7	20,2	22,1	16,0	12,5	12,4	9,0	7,0	6,6	4,8	3,7	45,3	32,8	25,7
800	39,5	28,8	22,7	24,5	17,9	14,1	13,7	10,0	7,9	7,3	5,3	4,2	50,3	36,7	28,8
900	42,9	31,6	25,0	26,7	19,6	15,5	14,9	11,0	8,7	7,9	5,8	4,6	54,6	40,2	31,8
1000	46,4	34,4	27,3	28,9	21,4	17,0	16,2	12,0	9,5	8,6	6,3	5,0	59,1	43,8	34,8
1100	50,5	37,5	29,8	31,4	23,3	18,5	17,6	13,1	10,4	9,3	6,9	5,5	64,4	47,8	38,0
1200	52,7	39,6	31,7	32,8	24,6	19,7	18,4	13,8	11,0	9,7	7,3	5,8	67,1	50,4	40,3
1400	58,8	44,6	35,9	36,5	27,7	22,3	20,5	15,5	12,5	10,9	8,2	6,6	74,8	56,8	45,7
1500	61,4	46,8	37,9	38,1	29,1	23,5	21,4	16,3	13,2	11,3	8,7	7,0	78,2	59,6	48,2
1600	63,9	49,1	39,8	39,7	30,5	24,7	22,3	17,1	13,9	11,8	9,1	7,3	81,4	62,5	50,7
1800	68,8	53,3	43,5	42,7	33,1	27,0	23,9	18,6	15,1	12,7	9,8	8,0	87,6	67,9	55,4
2000	73,0	57,2	47,0	45,4	35,5	29,2	25,4	19,9	16,3	13,5	10,6	8,7	93,0	72,8	59,8

La longueur à verrouiller peut être affectée d'un coefficient de sécurité qui est fonction :

- des soins de pose,
- de la qualité et du compactage du remblai,
- de l'incertitude sur les caractéristiques physiques du remblai.

Il convient, le cas échéant, de tenir compte de la présence partielle ou non de la nappe phréatique en corrigeant le poids du tuyau plein par la poussée d'Archimède correspondante.

- Cas d'utilisation de la manche polyéthylène :
Appliquer un facteur multiplicatif de 1,9 à la longueur à verrouiller.

- Cas de tuyaux revêtus polyéthylène ou polyuréthane :
Appliquer un facteur multiplicatif de 1,5 à la longueur à verrouiller.

- Autres hypothèses: nous consulter.

PRESSIION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Butées (massifs)

L'utilisation de massifs de butée en béton est également une technique destinée à reprendre les efforts de poussée hydraulique d'une canalisation à emboîtement sous pression.

Son utilisation est maintenant en fort recul.

Principe

Différents types de massifs en béton peuvent être conçus selon la configuration de la canalisation, la résistance et la nature du sol, la présence ou non de nappe phréatique.

Le massif reprend les efforts dus à une poussée hydraulique :

- soit par frottement sur le sol (massif poids),
- soit par appui sur le terrain en place (massif butée).

En pratique, les massifs béton sont calculés en tenant compte des forces de frottement et de la résistance d'appui sur le terrain.

Lorsqu'il existe des contraintes d'encombrement ou si la mauvaise tenue des terrains interdit la construction de massifs en béton, il est possible d'utiliser les techniques de verrouillage des joints proposées par **PAM**.

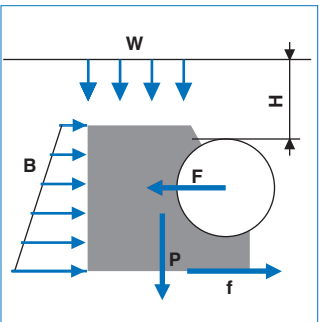
Voir VERROUILLAGE page 39.

Dimensionnement (cas courants)

Les volumes de béton proposés dans les tableaux ci-après ont été calculés en prenant en compte à la fois le frottement sur le sol et l'appui sur le terrain en place, pour des caractéristiques de terrains couramment rencontrés. Si des fouilles ultérieures doivent être exécutées au voisinage immédiat des massifs mobilisant la butée des terres, il convient de réduire la pression dans la canalisation pendant les travaux.

Les hypothèses de calcul sont rappelées ci-dessous. Dans tous les autres cas, consulter **PAM**.

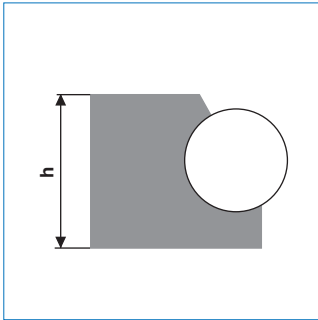
Forces agissantes (Massif butée)



- F : poussée hydraulique
- P : poids du massif
- W : poids des terres
- B : appui sur la paroi de la tranchée
- f : frottement sur le sol
- H : hauteur de couverture.

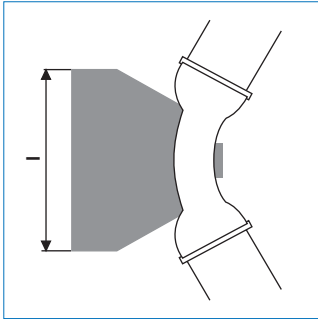
PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Butées (massifs)



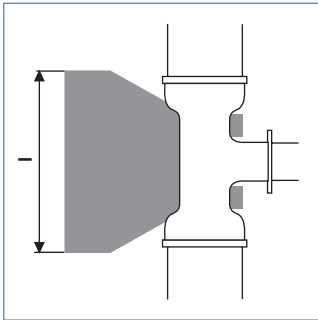
Terrain

Φ : angle de frottement interne du terrain
 σ : résistance admissible du terrain sur une paroi verticale
 H : hauteur de couverture : 1,20 m
 γ : masse volumique.
Caractéristiques mécaniques :
– tableau p 47 : $\Phi = 30^\circ$; $\sigma \approx 0,6 \text{ daN/cm}^2$; $\gamma = 2 \text{ t/m}^3$
(terrain de tenue mécanique moyenne*).
Absence de nappe phréatique.
* Voir SOLS (CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES) page 54.



Béton

Masse volumique : $2,3 \text{ t/m}^3$



Exemple

Coude 1/16, DN 250
Pression d'essai : 10 bar
Hauteur de couverture : 1,2 m
Terrain argileux : $\Phi = 30^\circ$ $\gamma = 2 \text{ t/m}^3$
Le tableau 47 donne :
 $l \times h = 0,70 \text{ m} \times 0,45 \text{ m}$
 $V = 0,25 \text{ m}^3$

Conseils d'exécution

Il importe que le béton soit coulé directement contre le terrain en place, et qu'il soit de résistance mécanique suffisante.
Lors de la conception des butées, ne pas omettre de laisser les joints dégagés, afin de permettre leur inspection ultérieure pendant l'essai hydraulique.

PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Butées (massifs)

Frottement interne : $\Phi = 30^\circ$
Résistance : $\sigma \approx 0,6 \text{ daN/cm}^2$
Masse volumique : $\gamma = 2 \text{ t/m}^3$
Hauteur de couverture : $H = 1 \text{ m}$
Pas de nappe phréatique.

Terrain de tenue mécanique moyenne						
DN	Pression d'essai	Coude 1/32 l x h/V	Coude 1/16 l x h/V	Coude 1/8 l x h/V	Coude 1/4 l x h/V	Plaque pleine et té l x h/V
	bar	m x m/m ³	m x m/m ³	m x m/m ³	m x m/m ³	m x m/m ³
60	10	0,11 x 0,16/0,01	0,14 x 0,26/0,01	0,26 x 0,26/0,03	0,46 x 0,26/0,06	0,33 x 0,26/0,03
	16	0,17 x 0,16/0,02	0,21 x 0,26/0,02	0,40 x 0,26/0,05	0,69 x 0,26/0,14	0,51 x 0,26/0,07
	25	0,17 x 0,26/0,02	0,33 x 0,26/0,03	0,60 x 0,26/0,10	1,01 x 0,26/0,29	0,75 x 0,26/0,16
80	10	0,15 x 0,18/0,02	0,20 x 0,28/0,02	0,38 x 0,28/0,05	0,65 x 0,28/0,13	0,48 x 0,28/0,07
	16	0,16 x 0,28/0,02	0,31 x 0,28/0,04	0,57 x 0,28/0,10	0,97 x 0,28/0,29	0,73 x 0,28/0,16
	25	0,25 x 0,28/0,03	0,47 x 0,28/0,07	0,84 x 0,28/0,22	1,13 x 0,38/0,53	1,06 x 0,28/0,34
100	10	0,19 x 0,20/0,04	0,26 x 0,30/0,04	0,49 x 0,30/0,08	0,84 x 0,30/0,23	0,62 x 0,30/0,13
	16	0,21 x 0,30/0,03	0,41 x 0,30/0,06	0,74 x 0,30/0,18	1,01 x 0,40/0,45	0,93 x 0,30/0,29
	25	0,33 x 0,30/0,05	0,61 x 0,30/0,12	1,08 x 0,30/0,38	1,44 x 0,40/0,92	1,10 x 0,40/0,53
125	10	0,18 x 0,33/0,03	0,35 x 0,33/0,06	0,64 x 0,33/0,15	0,90 x 0,43/0,38	0,81 x 0,33/0,24
	16	0,29 x 0,33/0,05	0,54 x 0,33/0,10	0,96 x 0,33/0,33	1,32 x 0,43/0,81	0,99 x 0,43/0,46
	25	0,43 x 0,33/0,07	0,80 x 0,33/0,23	1,15 x 0,43/0,62	1,86 x 0,43/1,61	1,42 x 0,43/0,95
150	10	0,23 x 0,35/0,04	0,44 x 0,35/0,09	0,80 x 0,35/0,25	1,12 x 0,45/0,62	0,84 x 0,45/0,35
	16	0,36 x 0,35/0,07	0,67 x 0,35/0,17	0,99 x 0,45/0,49	1,62 x 0,45/1,30	1,23 x 0,45/0,75
	25	0,54 x 0,35/0,11	0,82 x 0,45/0,33	1,42 x 0,45/1,00	2,00 x 0,55/2,41	1,54 x 0,55/1,43
200	10	0,33 x 0,40/0,08	0,62 x 0,40/0,17	0,94 x 0,50/0,49	1,38 x 0,60/1,26	1,18 x 0,50/0,76
	16	0,51 x 0,40/0,13	0,79 x 0,50/0,35	1,38 x 0,50/1,05	1,97 x 0,60/2,57	1,52 x 0,60/1,52
	25	0,64 x 0,50/0,23	1,15 x 0,50/0,73	1,74 x 0,60/2,00	2,32 x 0,80/4,74	1,94 x 0,70/2,91
250	10	0,43 x 0,45/0,14	0,69 x 0,55/0,29	1,09 x 0,65/0,85	1,63 x 0,75/2,19	1,35 x 0,65/1,31
	16	0,57 x 0,55/0,20	1,03 x 0,55/0,64	1,59 x 0,65/1,80	2,16 x 0,85/4,35	1,79 x 0,75/2,64
	25	0,84 x 0,55/0,43	1,33 x 0,65/1,26	2,04 x 0,75/3,44	2,66 x 1,05/8,18	2,32 x 0,85/5,02
300	10	0,53 x 0,50/0,22	0,85 x 0,60/0,48	1,34 x 0,70/1,39	1,87 x 0,90/3,46	1,53 x 0,80/2,06
	16	0,70 x 0,60/0,33	1,14 x 0,70/1,00	1,79 x 0,80/2,81	2,38 x 1,10/6,86	2,05 x 0,90/4,15
	25	1,03 x 0,60/0,70	1,50 x 0,80/1,99	2,21 x 1,00/5,37	3,01 x 1,30/12,92	2,38 x 1,30/8,13
350	10	0,55 x 0,65/0,22	0,92 x 0,75/0,69	1,47 x 0,85/2,03	2,10 x 1,05/5,09	1,71 x 0,95/3,04
	16	0,83 x 0,65/0,50	1,25 x 0,85/1,47	1,89 x 1,05/4,13	2,62 x 1,35/10,22	2,13 x 1,25/6,22
	25	1,11 x 0,75/1,01	1,67 x 0,95/2,93	2,34 x 1,35/8,13	3,52 x 1,35/18,40	2,81 x 1,35/11,69
400	10	0,64 x 0,70/0,31	1,06 x 0,80/0,98	1,60 x 1,00/2,82	2,18 x 1,40/7,31	1,87 x 1,10/4,24
	16	0,88 x 0,80/0,68	1,44 x 0,90/2,07	1,97 x 1,40/5,96	3,00 x 1,40/13,87	2,37 x 1,40/8,68
	25	1,19 x 0,90/1,41	1,84 x 1,10/4,09	2,68 x 1,40/11,08	4,01 x 1,40/24,73	3,21 x 1,40/15,82

Autres cas, consulter 

PRESSIION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Coefficients de sécurité

Les sollicitations mécaniques (pression interne, charges extérieures) auxquelles est soumise une canalisation lors de sa mise en service peuvent être évaluées avec précision. Il est en revanche plus difficile de prévoir avec certitude quelles contraintes apparaîtront avec le temps. C'est dans le but d'assurer aux canalisations en fonte ductile une durée de vie maximale que **PAM** a choisi des coefficients de sécurité élevés.

Coefficients de sécurité minimum spécifiés

Les tuyaux sont dimensionnés selon les critères de la norme EN 545 :

- **pression interne** : la contrainte de travail dans la paroi du tuyau ne doit pas excéder le tiers de la limite de rupture en traction (ce qui correspond à la moitié de la limite élastique en traction) ;
Le coefficient de sécurité minimum, pour le calcul à la pression interne, est de 3.

- **charges extérieures** : la déformation ne doit pas entraîner :

$$\sigma_{Travail(traction)} \leq \frac{Rm(traction)}{3}$$

$$\sigma_{Travail(flexion)} \leq \frac{Rm(flexion)}{2}$$

$$\frac{\Delta D}{D} \leq 4 \%$$

- soit une contrainte supérieure à la moitié de la limite de rupture en flexion,
 - soit une ovalisation verticale maximale de 4 %.
- La déformation maximale de 4 % est recommandée par la norme EN 545 pour garantir la bonne tenue du mortier de ciment (principalement pour les DN > 800).



Coefficients de sécurité réels

Les tuyaux **PAM** disposent, au-delà de leur domaine de fonctionnement nominal (Pression de Fonctionnement Admissible, Hauteurs de couverture), d'une importante réserve de sécurité.

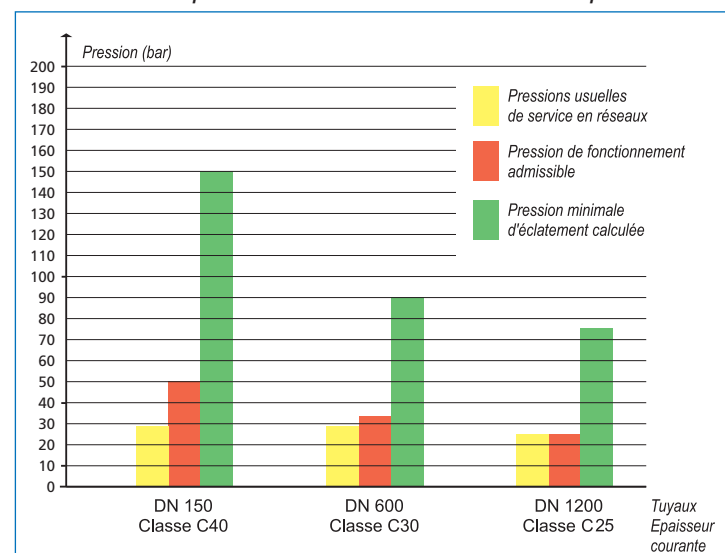
En effet :

- la ductilité du matériau donne aux pièces en fonte ductile une forte capacité d'absorption de travail ou d'énergie au-delà des limites de son domaine élastique ;
- les méthodes utilisées pour le calcul des pièces sont prudentes et prévoient des coefficients de sécurité élevés.



Cela est illustré par le graphique ci-contre.

Exemple de coefficients de sécurité à la pression interne



PRESSIION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Coups de bélier

Lors de la conception d'un réseau, les risques éventuels de coups de bélier doivent être étudiés et quantifiés, afin de mettre en œuvre les protections qui s'imposent, notamment dans le cas de canalisations de refoulement. Lorsque les dispositifs de protection n'ont pas été prévus, les canalisations en fonte ductile présentent une réserve de sécurité souvent utile face aux surpressions accidentelles.

Origines

Lorsque l'on modifie brutalement la vitesse d'un fluide en écoulement dans une canalisation, il se produit un violent changement de pression. Ce phénomène transitoire, appelé coup de bélier, apparaît généralement lors d'une intervention sur un appareil appartenant au réseau (pompes, vannes...). Des ondes de surpression et de dépression se propagent le long de la canalisation à une vitesse "a" appelée célérité de l'onde.

Les coups de bélier peuvent prendre naissance aussi bien dans les conduites gravitaires que dans les refoulements. Ils ont pour origine quatre causes principales :

- le démarrage et l'arrêt des pompes,
- la fermeture des vannes, bornes, appareils d'incendie ou de lavage,
- la présence d'air,
- la mauvaise utilisation des appareils de protection.

Conséquences

Les surpressions peuvent entraîner dans des cas critiques la rupture de certaines canalisations ne présentant pas de coefficients de sécurité suffisants. Les dépressions peuvent créer des poches de cavitation dangereuses pour les canalisations et pour les appareils de robinetterie.

Evaluation simplifiée

$$\text{Célérité de l'onde : } a = \sqrt{\frac{1}{\rho \left(\frac{1}{\varepsilon} + \frac{D}{Ee} \right)}}$$

$$\text{Surpression-dépression : } \Delta H = \pm a \frac{\Delta V}{g} \text{ (ALLIÉVI) (1)}$$

$$\Delta H = \pm \frac{2L\Delta V}{gt} \text{ (MICHAUD) (2)}$$

PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Coups de bélier

où :

a : célérité de l'onde (m/s)

ρ : masse volumique de l'eau (1 000 kg/m³)

ε : module d'élasticité de l'eau (2,05.10⁹ N/m²)

E : module d'élasticité du matériau (fonte : 1,7.10¹¹ N/m²)

D : diamètre intérieur (m)

e : épaisseur de la canalisation (m)

ΔV : valeur absolue de la variation des vitesses en régime permanent avant et après coup de bélier (m/s)

ΔH : valeur absolue de la variation de pression maximale autour de la pression statique normale (m de colonne d'eau)

L : longueur de la conduite (m)

t : temps de fermeture efficace (s)

g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s²).

En pratique, la célérité de l'onde pour l'eau dans les tuyaux en fonte ductile est de l'ordre de 1 200 m/s.

La formule (1) tient compte d'une variation rapide de la vitesse d'écoulement :

$$\left(t \leq \frac{2L}{a}\right).$$

La formule (2) tient compte d'une variation linéaire de la vitesse d'écoulement en fonction du temps (fonction d'une loi de fermeture d'une vanne par exemple) :

$$\left(t \geq \frac{2L}{a}\right).$$

La pression varie de $\pm \Delta H$ autour de la pression statique normale. Cette valeur est maximale pour la fermeture instantanée d'une vanne, par exemple.

Ces formules simplifiées donnent une évaluation maximale du coup de bélier et doivent être utilisées avec prudence. Elles supposent que la conduite n'est pas équipée de dispositif de protection et que les pertes de charge sont négligeables. Par ailleurs, elles ne tiennent pas compte de facteurs limitants, comme le fonctionnement en turbine des pompes, ou la pression de vapeur saturante en dépression.

Exemples

Canalisation DN 200, classe 40, de longueur 1 000 m, refoulant à 1,5 m/s :

$a = 1\,200$ m/s

- Cas n°1 : arrêt brusque d'une pompe (pertes de charge négligées, pas de protection anti-bélier) :

$$\Delta H = \pm \frac{1\,200 \times 1,5}{9,81} = 183 \text{ m (soit environ 18 bars)}$$

- Cas n° 2 : fermeture d'une vanne (temps efficace : 3 secondes) :

$$\Delta H = \pm \frac{2 \times 1\,000 \times 1,5}{9,81 \times 3} = 102 \text{ m (soit environ 10 bars)}$$

Evaluation complète

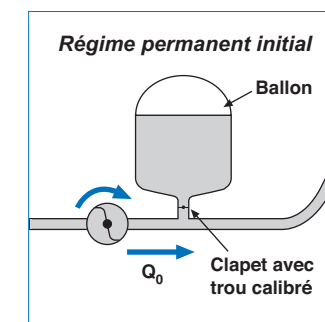
La méthode graphique de BERGERON permet de déterminer avec précision les pressions et débits en fonction du temps en tout point d'une canalisation soumise à un coup de bélier.

Il existe aujourd'hui des logiciels informatiques adaptés à la résolution de ces problèmes complexes.

PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Coups de bélier

Prévention



Les protections à mettre en œuvre pour limiter un coup de bélier à une valeur admissible sont diverses et adaptées à chaque cas.

Elles agissent soit en ralentissant la modification de la vitesse du fluide, soit en limitant la surpression par rapport à la dépression.

L'utilisateur doit déterminer l'enveloppe de surpression et de dépression créée par le coup de bélier, et juger, d'après le profil de la canalisation, du type de protection à adopter :

- volant d'inertie sur pompe,
- soupape de décharge,
- ballon à air ou ARAA (à régulation d'air automatique),
- aspiration auxiliaire,
- cheminée d'équilibre.

Le ballon anti-bélier est d'utilisation courante. Il a deux fonctions :

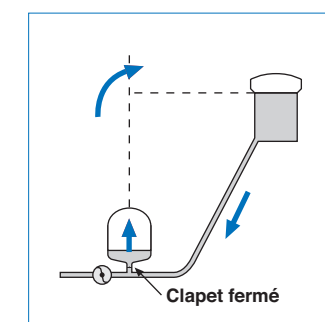
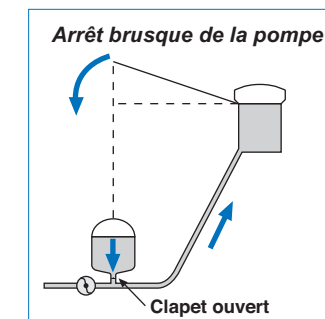
- limiter la surpression (perte de charge contrôlée par un clapet)
- éviter la cavitation (vidange du ballon).

En cas d'arrêt brusque d'une pompe, la dépression est compensée par un débit fourni par la vidange du ballon.

Lors de l'inversion du flux d'eau, l'énergie de la masse d'eau est transformée en pertes de charge par remplissage du ballon à travers le clapet calibré.

Le profil de la canalisation est déterminant dans le dimensionnement du ballon. En pratique, la courbe de dépression minimale (résultante après protection) ne doit pas descendre en dessous du profil réel de la canalisation de plus de cinq mètres.

Les abaques de PUECH et MEUNIER ou des logiciels informatiques permettent de déterminer le volume des ballons de protection.



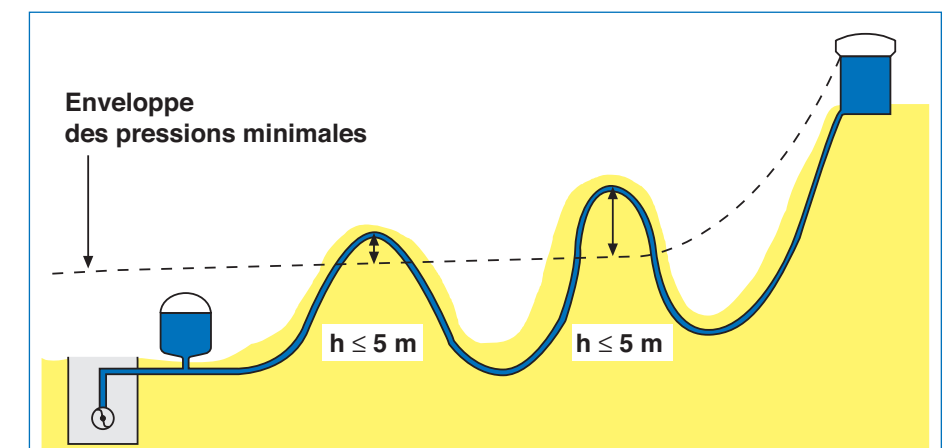
On note en outre que les canalisations en fonte ductile comportent une réserve de sécurité importante :



– en surpression : **PAM** autorise un dépassement de 20 % de la pression de fonctionnement admissible pour les surpressions transitoires.

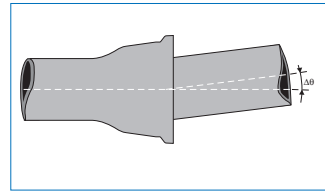
Voir PRESSIONS DE FONCTIONNEMENT ADMISSIBLES page 33 ;

– en dépression : le joint garantit l'étanchéité vis à vis de l'extérieur, même en cas de vide partiel dans la canalisation.



PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Déviation angulaire au joint



Les joints à emboîtement **PAM** admettent une déviation angulaire. Outre certains avantages en termes de pose ou d'absorption de mouvements de terrain, la déviation angulaire permet de réaliser des courbes à grand rayon sans utiliser de raccord, ainsi que l'ajustement à certaines modifications de tracé.

Déviation angulaire (exprimée en degrés)

DN	Jonction non verrouillée		Jonction verrouillée			
	STANDARD	STANDARD VI	STANDARD VE*	PAMLOCK	UNI VI	UNI VE
60	5	5				
80	5	5	5		3	3
100	5	5	5		3	3
125	5	5	5		3	3
150	5	5	5		3	3
200	5	4	4		3	3
250	5	4	4		3	3
300	5	3	4		3	3
350	4	3	3		3	3
400	4	2	3		3	3
450	4	2	3		3	3
500	4	2	3		2	3
600	4	2	3		2	2
700	4	2	2		2	2
800	4		2			2
900	4		1,5			1,5
1000	4		1,5			1,2
1100	4		1,5			
1200	4		1,5			1,1
1400	3			1		1,2
1500	3			1		0,9
1600	3			1		0,9
1800	2,5			0,8		
2000	2			0,8		

* uniquement pour les raccords

Autres joints :

– BLUTOP®, BLUTOP® Vi

DN / DE	Déviation admise à la pose
75	6°
90	6°
110	6°
125	6°
140	6°
160	6°

– STANDARD pour canalisation ISOPAM

DN	Déviation admise à la pose θ	Longueur des tuyaux	Rayon de courbure R	Déplacement Δd
	°	m	m	cm
100	4	6	86	42
125 et 150	3,5	6	98	37
200 et 250	3	6	115	32
300 et 350	2,5	6	138	26
400 et 500	2	6	172	21

Remarque : la limitation de la déviation provient de l'encombrement de l'isolation thermique

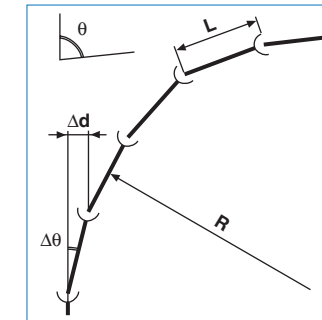
PRESSION ET DÉVIATION ANGULAIRE AU JOINT

Déviation angulaire au joint

Déplacement et rayon de courbure :



Certaines courbes à grand rayon peuvent être facilement réalisées par des déviations successives des joints à emboîtement. Dans ce cas, l'emboîtement des tuyaux doit être conduit à partir de tuyaux parfaitement alignés, horizontalement et verticalement. La déviation ne doit être réalisée que lorsque le montage du joint est complètement achevé.



$$\bullet \text{ Rayon de courbure : } R = \frac{L}{2 \sin \frac{\Delta\theta}{2}}$$

• Nombre de tuyaux nécessaires pour un changement de direction :

$$N = \frac{\theta}{\Delta\theta}$$

• Longueur du changement de direction : $C = N \times L$

où :

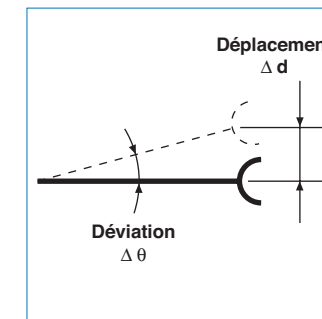
Δd : déplacement du tuyau (en m)

L : longueur tuyau (en m)

θ : angle du changement de direction (en degrés)

Δθ : déviation du joint (en degrés)

C : longueur du changement de direction (en m).



Déviation angulaire °	Longueur des tuyaux					
	6 m		7 m		8 m	
	Rayon courbure m	Déplacement cm	Rayon courbure m	Déplacement cm	Rayon courbure m	Déplacement cm
1	-	-	401	12	458	14
2	172	21	201	24	229	28
3	115	31	134	37	153	42
4	86	42	100	49	115	56
5	69	52	-	-	-	-
6	57	63	-	-	-	-

Les rayons de courbure varient en fonction de la longueur utile des tuyaux. Cette dernière peut être supérieure à 8 m pour les tuyaux de DN>1000.

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

Sols (caractéristiques mécaniques)

Les valeurs indiquées dans les tableaux sont celles généralement admises pour la caractérisation des sols. Elles permettent d'utiliser certaines formules de calcul simplifiées cités dans ce catalogue, ou d'en apprécier le domaine de validité. Elles ne peuvent dispenser de mesures réelles sur site ou en laboratoire.

Caractéristiques moyennes des sols communément rencontrés

Nature du terrain	Sec/Humide		Immergé	
	Φ	γ	Φ	γ
	degrés	t/m³	degrés	t/m³
Débris rocheux	40°	2	35°	1,1
Graviers, sables	35°	1,9	30°	1,1
Graviers/sables Limos/argiles	30°	2	25°	1,1
Limos/argiles	25°	1,9	15°	1
Terre végétale argiles/limons organiques	15°	1,8	pas de caractéristiques moyennes	

Φ : Angle de frottement interne (en degrés) γ : Masse volumique (en t/m³)

Classification des sols

Groupe de sol	Description	Matériaux selon NF P 11-300 en état h, m ou s (2)
G1	Sables et graves propres, concassés (Dmax < 50 mm). Sables ou graves peu silteuses	D1, D2, D3 DC1, DC2, DC3 (3) B1-B3 C1B1, C1B3, C2B1, C2B3
G2	Sables ou graves peu argileux	B2-B4 C1B1, C2B2, C1B4, C2B4
G3	Sables et graves très silteux, limons peu plastiques, sables fins peu pollués (IP < 12)	A1 B5 C1A1, C2A1, C1B5
G4	Sables et graves argileux à très argileux, sables fins argileux, limons argiles et marnes peu plastiques (IP < 25)	A2 B6 C1A2, C2A2 C1B6, C2B6
G5	Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques (IP < 25)	A3, C1A3, C2A3 A4, C1A4, C2A4

(2) h : 'humide'; m: 'moyen'; s: état 'sec' au sens de la norme NF P 11-300
(3) Matériaux d'apport élaborés au sens du guide SETRA 'Remblayage des tranchées' de mai 1994.

Voir aussi page 66 les caractéristiques données par le Fascicule 70.

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

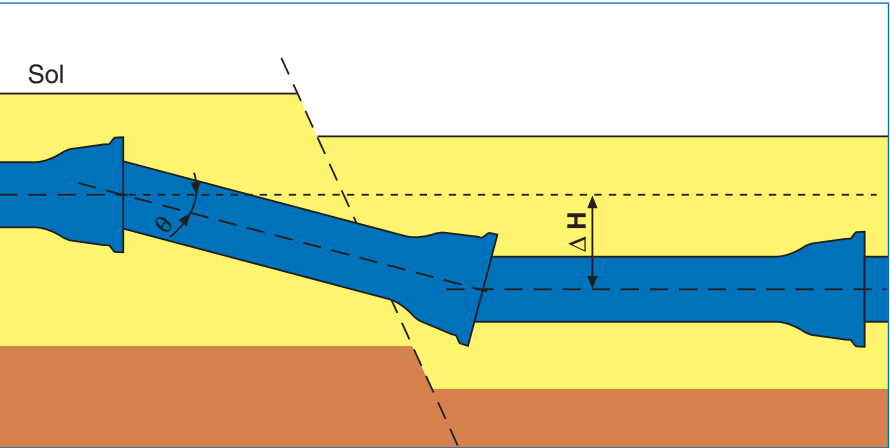
Terrains instables

Les joints à bague en élastomère donnent aux canalisations en fonte ductile une flexibilité qui constitue un élément de sécurité lors de la traversée de terrains inconsistants ou instables.

Le tracé d'une canalisation peut comporter des terrains inconsistants ou instables (zones marécageuses, affaissements par pompage d'eaux souterraines, terrains miniers, consolidations de remblais routiers...). Dans chacun de ces cas, il convient d'apprécier l'affaissement potentiel et de prendre toutes les précautions pour minimiser l'effet du mouvement de sol sur la canalisation. Des mesures sur sites sont toujours conseillées. L'expérience montre que lorsqu'un mouvement de terrain se produit, les canalisations doivent pouvoir suivre les déformations imposées par les masses des terres en mouvement, au lieu de résister à des contraintes mécaniques (tension axiale et flexion) souvent considérables. A ce propos, les joints à emboîtement p constituent des points de tension nulle et de flexion nulle à l'intérieur de leur plage de déviation angulaire.

 Pour des affaissements étendus et uniformes, le joint confère à la canalisation un comportement de chaînette flexible. Bien entendu, les limites de déformation sont fixées par la déviation et le glissement maximum admissibles de chaque joint.

Affaissement admissible grâce à la déviation aux joints



Affaissement : $\Delta H = l \operatorname{tg} \theta$
Glissement axial : $\Delta l = (\Delta H^2 + l^2)^{1/2} - l$
l : longueur du tuyau (en m)
θ : déviation angulaire admissible.

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

Terrains instablesExemples

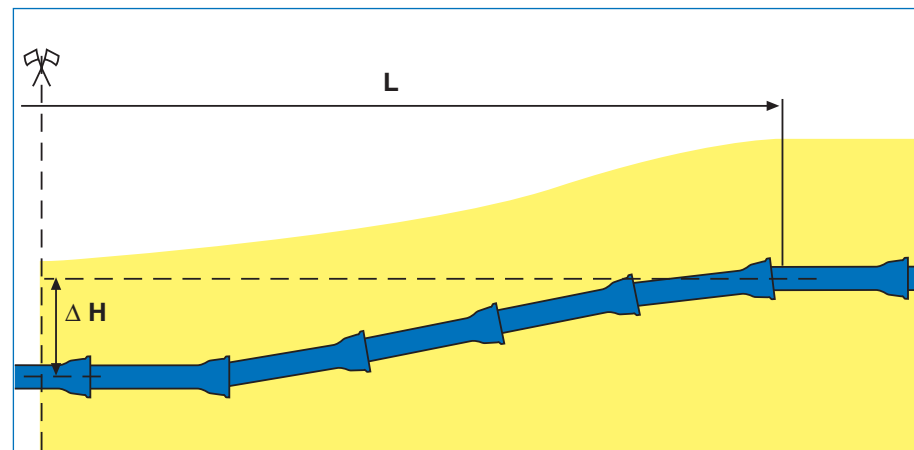
Pour $\Delta H = 0,30$ m en DN 200

$\theta = 3^\circ$ (5° admissible)

$\Delta l = 7$ mm (20 mm admissible avec le joint STANDARD)

Il n'y a pas de risque de déboîtement du joint car le glissement peut être totalement absorbé par le joint.

Comportement de chaînette



$$\text{Affaissement } \Delta H = 2l \left(\operatorname{tg} \theta + \operatorname{tg} 2\theta + \operatorname{tg} 3\theta + \dots + \operatorname{tg} \frac{n}{4} \theta \right)$$

$$\text{Allongement axial : } \Delta L \approx \left(L^2 + \frac{16}{3} \Delta H^2 \right)^{1/2} - L \text{ (pour } \theta \text{ très petit)}$$

l = longueur d'un tuyau

L = longueur du tronçon affaissé

$$n = \text{nombre de tuyaux dans le tronçon affaissé} \left(n = \frac{L}{l} \right)$$



La canalisation se déforme comme le terrain jusqu'à des limites qui sont celles du non-déboîtement, en fonction du jeu admissible au niveau des emboîtures.

Remarque : dans le cas d'affaissements occasionnant des allongements ΔL importants, une solution peut consister à verrouiller les joints et à récupérer cet allongement sur des manchons placés aux frontières entre les zones stables et instables.

Exemples

En DN 300, pour $\Delta H = 0,5$ m et $L = 300$ m :

$\theta_{\text{moyen}} = 0,04^\circ$ (5° admissible)

$\Delta L = 3$ mm

Un seul joint peut supporter l'allongement dû à la courbure prise par le tronçon de 300 m s'affaisant de 0,5 m en son centre.

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

Terrassement*

La réalisation de la tranchée et le remblaiement dépendent des paramètres suivants :

- environnement,
- caractéristiques de la conduite (type de joint et diamètre),
- nature du terrain (avec ou sans eau),
- profondeur de pose.

Les recommandations de pose présentées ci-dessous sont celles généralement prescrites pour les canalisations en fonte ductile.

Travaux préparatoires

Après l'étude complète de l'environnement, accords des divers concessionnaires (PTT - EDF - GDF ...), l'entrepreneur matérialise, sur le terrain, le tracé et le profil de la canalisation à poser, conformément au descriptif du projet, et il s'assure de la concordance entre les hypothèses du projet et les conditions d'exécution.

Ouverture de la fouille

Sous chaussée, prévoir la démolition de la voie de circulation, avec pré-découpage des bords de la fouille pour éviter la dégradation des parties voisines. La largeur est légèrement supérieure à celle de la tranchée.

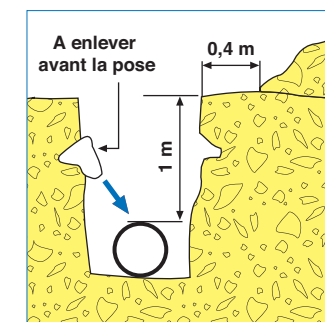
Le terrassement est généralement réalisé à l'aide d'une pelle hydraulique, dont les caractéristiques sont adaptées au diamètre du tuyau, à l'environnement et à la profondeur de pose.

Largeur de la tranchée

La largeur de la tranchée est fonction du DN, de la nature du terrain, de la profondeur de pose, et de la méthode de blindage et de compactage.

Lors de l'exécution, on veillera :

- à stabiliser les parois, soit par talutage, soit par blindage,
- à expurger les flancs de talus pour éviter les chutes de blocs de terre ou de roche,
- à placer les déblais en aménageant une berme de 0,40 m de largeur.



Profondeur de la fouille

Le fascicule 71, dans son article 47, prescrit : "les tranchées sont établies en chaque point à la profondeur indiquée au profil en long. Sauf stipulations différentes du C.C.T.P., la profondeur normale des tranchées est telle que l'épaisseur du remblai ne soit pas inférieure à 1 mètre au-dessus de la génératrice supérieure du tuyau...". Cette hauteur se justifie par la nécessité d'une protection contre le gel.

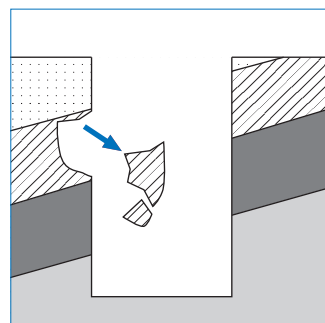
(*) D'après les Cahiers Techniques de la Fondation de l'Eau, "LA POSE DES CANALISATIONS"

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

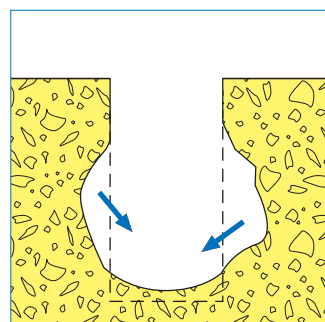
Terrassement

Nature des terrains

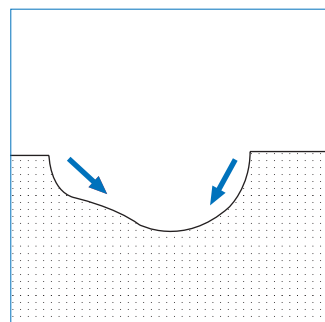
Les terrains peuvent être classés en trois grandes catégories, en fonction de leur cohésion:

**Les terrains rocheux**

Ils possèdent une très grande cohésion, qui complique le travail de terrassement, mais qui n'exclut pas toute possibilité d'éboulement. Ils présentent parfois des fissures, qui peuvent provoquer la chute de blocs entiers.

**Les terrains meubles**

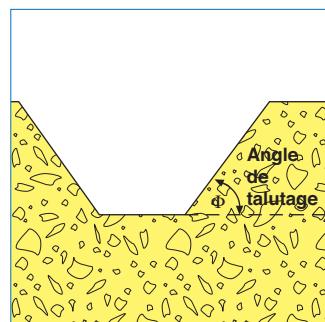
Ce sont les plus nombreux. Ils présentent une certaine cohésion qui, lors des travaux de terrassement, leur permet de tenir quelques temps. Cette cohésion peut varier très rapidement sous l'effet des facteurs déjà cités (arrivée d'eau, passages d'engins, etc.) : des éboulements sont possibles.

**Les terrains bouillants**

Ce sont des terrains dépourvus de toute cohésion, tels que sable sec, vases ou remblais fraîchement déposés. Ils s'éboulent pratiquement instantanément. Tous travaux dans ces terrains nécessitent la mise en œuvre de procédés spéciaux. Il est donc impératif de se protéger contre tout risque d'éboulement :

- soit en talutant,
- soit en blindant les parois de la fouille.

La mise en œuvre des précautions concernant les parois de la tranchée est aussi fonction de l'environnement (urbain ou rural), et de la profondeur de pose.

**Le talutage**

Rarement employé en milieu urbain en raison des surfaces nécessaires, il consiste à donner aux parois une inclinaison appelée "angle de talutage", qui doit être voisin de l'angle de frottement interne du terrain. Cet angle varie avec la nature des terrains rencontrés.

Voir SOLS (CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES) page 54.

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

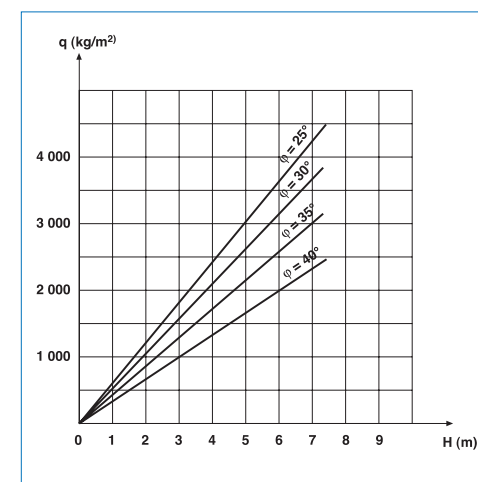
Terrassement**Le blindage des fouilles**

Les techniques de blindage sont nombreuses ; il est important de les étudier et de les adapter avant le début des travaux.

Le blindage doit être réalisé dans les cas prévus par la réglementation en vigueur, ou, d'une manière générale, lorsque la nature du terrain l'exige.

Techniques de blindage les plus courantes :

- panneaux en bois en éléments préfabriqués (jointifs ou non),
- blindage par caissons en bois ou métalliques,
- blindage par battage de palplanches.



Quel que soit le procédé utilisé, il faut prendre en compte la pression des terres. Les panneaux mis en œuvre doivent être capables, sur toute leur hauteur, de résister à une poussée donnée par la formule :

$$q = 0,75 \gamma H \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right)$$

γ : masse volumique du terrain (en kg/m³) (environ égal à 2 000 kg/m³)

ϕ : angle de frottement interne du terrain en radians.

q : poussée des terres en kg/m².

H : profondeur en m.

Fond de fouille

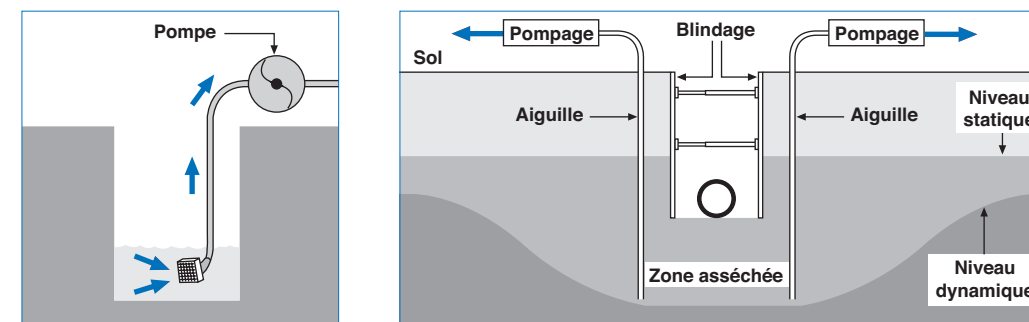
Le fond de fouille doit être nivelé conformément au profil en long de la canalisation, et expurgé de toute aspérité rocheuse ou de maçonnerie ancienne. S'assurer que l'appui du tuyau sur le sol est régulièrement réparti.

Il est nécessaire de réaliser des niches destinées à faciliter le montage.

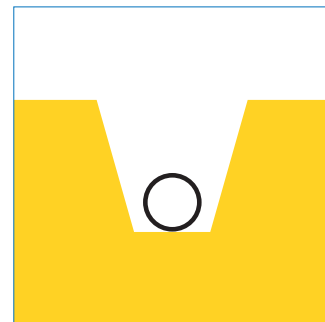
Présence d'eau : le terrassement doit être conduit de l'aval vers l'amont, de façon à permettre l'auto-évacuation de l'eau du fond de fouille.

Lorsque la tranchée est réalisée dans un terrain gorgé d'eau (nappe phréatique), il peut être nécessaire d'évacuer les eaux de la fouille par :

- épuisement par pompage (directement dans la fouille ou dans un puits à côté),
- rabattement de nappe par aiguilles ou par puits filtrants.



ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

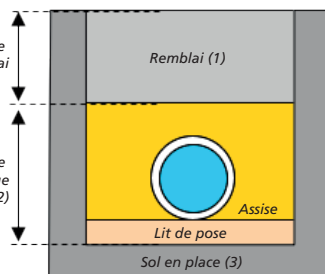
Terrassement**Lit de pose, enrobage et remblai****Lit de pose**

Le fond de fouille constitue la zone d'assise du tuyau. Dans le cas où le sol en place est pulvérulent et relativement homogène, la pose directe du tuyau sur le fond de fouille décrit précédemment est possible.

Il y a lieu de s'assurer de l'assise suffisante du tuyau, notamment dans le cas des grands diamètres. Lorsqu'un fond de fouille ne se prête pas à la pose directe, il y a lieu de rapporter un lit de pose en gravillons concassés ou en sable. Son épaisseur est de l'ordre de 10 cm.

On se reportera aux pages HAUTEURS DE COUVERTURE page 63 pour le détail des différents types d'enrobage et de remblai en fonction :

- de l'environnement (charges des terres, charges roulantes, qualité du remblai),
- du diamètre de la canalisation,
- de la nature des terrains rencontrés.

**Granulométrie**

Les valeurs limites ci-dessous s'appliquent à la zone d'enrobage, jusqu'à 15 cm au-dessus de la génératrice supérieure du tuyau.

Nature du revêtement	Matériaux d'apport naturels granulaires et calcaires	Matériaux d'apport concassés autres que calcaire ⁽⁴⁾	Réemploi des matériaux extraits (Dmax)
Biozinalium + Aquacoat	0-31,5 ⁽¹⁾ Part 63 mm inf. à 2%	0-16 Part 32 mm inf. à 2%	63 mm (92% < 32 mm)
Zinc + peinture synthétique			
TT PE (polyéthylène extrudé)	0-6,3 ⁽³⁾ Part 12 mm inf. à 2%	0-4 Part 8 mm inf. à 2%	12 mm (92% < 6 mm)
TT PUX (polyuréthane + extrémités époxy)			
ZMU (mortier de ciment-fibres)	0-63 Part 100 mm inf. à 2%	0-63 Part 100 mm inf. à 2%	100 mm (92% < 63mm)
Manche PE	0-2 ⁽²⁾ Sable	0-2 Sable	2 mm Matériaux sableux

(1) Matériaux granulaires présentant une angularité et une dureté moyenne ou faible (graves, calcaires roulés) et calcaires concassés de granulométrie 0/31,5

(2) Sable grossier, granulométrie 0-2 mm

(3) Graves fines type "grain de riz", ayant plus de 50% d'éléments avec $D > 2$ mm - Granulométries : 0/4 - 2/4 - 0/6,3 - 2/6,3 - 4/6,3

(4) Matériaux concassés présentant une dureté élevée et une forte angularité : matériaux naturels (graves, éléments rocheux, silice), matériaux artificiels (laitier), matériaux recyclés (matériaux de déconstruction)

NB : les différents revêtements extérieurs ne concernent pas toute la gamme des DN.

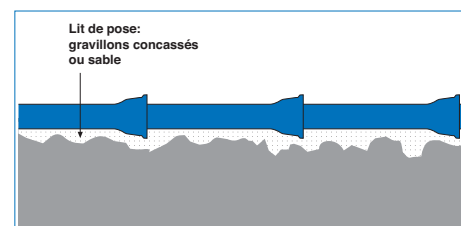
Enrobage

On distingue :

- l'enrobage de maintien (résistance à l'ovalisation dans le cas des grands diamètres uniquement), réalisé en terre expurgée ou en matériaux d'apport, et compacté aux reins ;
- l'enrobage de protection (dans le cas de terrains à granulométrie très hétérogène), effectué en terre expurgée ou en sable ; cet enrobage peut assurer les deux fonctions protection et maintien.

Remblai supérieur

Il est généralement comblé par le terrain en place non compacté (hors chaussée) ou par des matériaux d'apport compactés (sous chaussée), lorsque c'est requis par le CCTP.



ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

Agressivité des sols

Les canalisations enterrées subissent de nombreuses sollicitations, parmi lesquelles la corrosivité des terrains et des remblais.

Les canalisations **PAM** possèdent dans leur version de base une bonne résistance à la corrosion grâce aux revêtements (400 g/m² d'alliage Zn85 Al15 enrichi ou non de cuivre) ou zinc (200 g/m²) qui conviennent dans la majorité des sols.

Néanmoins, la corrosivité des sols doit être évaluée, afin de préconiser, s'il y a lieu, une protection renforcée par manche polyéthylène ou des revêtements spéciaux. Les équipes techniques de **PAM** effectuent des études de sols sur demande de la clientèle.

Etude topographique**Indices généraux de corrosivité**

On détermine les indices généraux de corrosivité à l'aide d'une carte détaillée (type état-major) sur laquelle on situe :

- le relief du sol : les points hauts sont plutôt secs et aérés, donc peu corrosifs, les points bas humides et désaérés, donc susceptibles d'une corrosivité plus élevée,
- les cours d'eau à traverser, les zones humides,
- les mares, marécages, lacs, tourbières et autres bas-fonds, riches en acides humiques, en bactéries, et souvent pollués,
- les estuaires, polders, marais et terrains salins situés en bordure de mer.

Indices de pollution et de corrosivité spécifiques

En s'aidant de plans (obtenus auprès des services publics), on détermine :

- les zones polluées par des effluents divers tels que purins, rejets de distilleries, de laiteries, papeteries, etc., ou bien par des eaux usées, d'origine ménagère notamment,
- les dépôts d'origine industrielle tels que scories, mâchefers, etc.,
- la proximité d'ouvrages tels que des collecteurs d'effluents non étanches,
- les installations industrielles ou d'équipement utilisant le courant électrique continu (ouvrages protégés cathodiquement, traction électrique, usines, etc.).

Le report du tracé sur la carte géologique correspondante permet de déterminer les différents étages traversés, et renseigne sur la nature des terrains et leur corrosivité naturelle.

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

Agressivité des sols

Etude géologique

On peut distinguer, en première analyse, des terrains :

- à faible risque :
 - sables et graviers,
 - matériaux d'empierrement,
 - calcaires,
- à risque élevé :
 - marnes,
 - argiles,
- à risque très élevé :
 - gypse,
 - pyrites (fer : pyrite, chalcopryrite, cuivre),
 - sels pour industries chimiques (chlorure de sodium, sulfate de chaux),
 - combustibles fossiles (lignites, tourbes, charbons, bitumes).

Les indications concernant les fossiles présents sont à retenir : la présence, en particulier, d'ammonites pyriteuses indique que le terrain contient des pyrites (sulfures de fer) et qu'il est par conséquent très corrosif, en particulier par son anaérobiose.

Hydrogéologie

L'humidité est un facteur aggravant la corrosivité d'un terrain.

L'étude hydrogéologique précise les terrains imperméables susceptibles de retenir l'eau, ainsi que les zones aquifères.

La limite de séparation de ces terrains est souvent marquée par des niveaux de source.

Il importe de considérer cette limite avec beaucoup d'attention: en effet, la corrosivité du terrain étanche peut être très importante ; il en va de même de celle des terrains aquifères, s'ils drainent des terrains voisins présentant des substances minérales solubles (chlorure de sodium, sulfate de calcium, etc.).

Etude sur le terrain

L'étude sur le terrain permet, par des observations visuelles, des mesures (résistivité) et des analyses (échantillons de sol), de confirmer et de compléter les résultats topographiques et géologiques.

La résistivité d'un sol renseigne sur sa capacité à entretenir un phénomène de corrosion électrochimique sur le métal. C'est un paramètre particulièrement significatif car :

- elle intègre pratiquement tous les facteurs influençant la corrosivité (teneurs en sels, présence d'eau...),
- elle est très facile à mesurer sur site (méthode WENNER ou des quatre piquets).

Les différents points de mesure sont pris sur le tracé prévisionnel de la canalisation. Leur espacement est fonction de la topographie du terrain et des valeurs mesurées.

Un sol est d'autant plus corrosif que sa résistivité est faible. Pour des résistivités relevées inférieures à 3 000 ohms x cm, on considère qu'il y a lieu de confirmer les mesures par un prélèvement d'échantillon à la profondeur de pose et une mesure de sa résistivité (brute et minimale) en laboratoire.

Contactez Saint-Gobain PAM Canalisation pour toute demande.

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

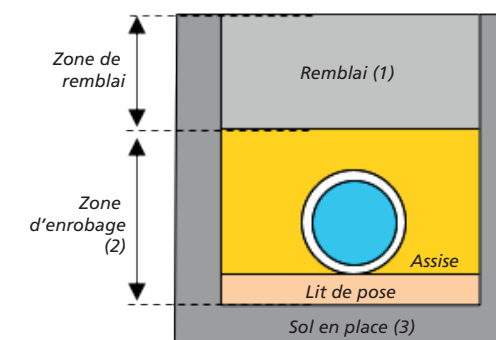
Hauteurs de couverture

Les hauteurs de couverture minimales et maximales dépendent des caractéristiques du tuyau et des conditions de pose.

Définitions

Le Fascicule 70 distingue :

- la **zone de remblai (1)**;
- la **zone d'enrobage (2)**:
 - le lit de pose et un remblai d'enrobage du tuyau jusqu'à 0,10 m au moins au-dessus de la génératrice supérieure de l'assemblage pour les canalisations flexibles
 - le lit de pose et l'assise jusqu'au diamètre horizontal pour les canalisations rigides,
- le **sol en place (3)**.



La **zone d'enrobage (2)** conditionne la stabilité et/ou la protection de la canalisation.

Son exécution doit satisfaire des exigences variables selon :

- les caractéristiques de la canalisation (rigide, semi-rigide ou flexible),
- les charges extérieures (hauteurs de couverture, charges roulantes),
- le caractère plus ou moins rocheux ou hétérogène des terrains traversés.

La **zone de remblai (1)** varie selon le secteur traversé (rural, semi-urbain ou urbain) et doit tenir compte le cas échéant de la stabilité des chaussées.

D'autres contraintes influencent également les conditions de pose :

- le maintien de la canalisation hors gel (hauteurs de couverture minimales),
- la traversée de zones à haute sécurité (passage de voies ferrées, d'autoroutes,...) qui font l'objet de dispositions particulières,
- les réglementations en vigueur et les prescriptions locales relatives à la voirie.

Abaques de hauteurs de couverture

Les abaques ci-après présentent les hauteurs de couverture maximales et minimales pour les tuyaux en fonte ductile de classe C40, C30 et C25 avec ou sans charges roulantes.

Quatre cas de pose, correspondant à la pratique courante, ont été représentés. Dans tous les autres cas, consulter  ou se reporter au Fascicule 70.

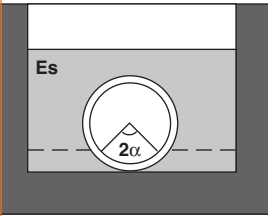
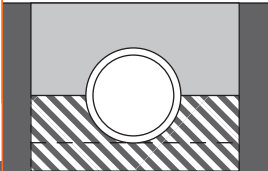
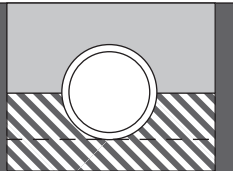
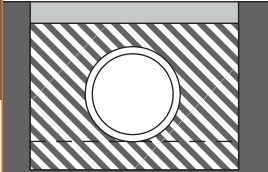
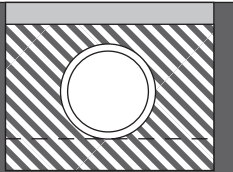
Ils ont été établis sur les hypothèses suivantes :

- critères de résistance et de déformation des tuyaux conformes à la norme EN 545,
- modèle de calcul conforme au Fascicule 70 (réglementation française).

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

Hauteurs de couverture

Les quatre cas de pose

	Cas n° 1	Cas n° 2	Cas n° 3	Cas n° 4
			DN ≤ 1 400	DN ≤ 600
	DN ≤ 600	DN 60 à 2000		
			DN > 1 400	DN > 600
				
Lit de pose	Fond de fouille nivelé	Fond de fouille nivelé	Lit en matériaux sélectionnés et appropriés	Lit en matériaux sélectionnés et appropriés
Zone de remblai (2) – Groupe de sol * – Compactage – Es (MPa) – 2 α (°)	G3 Non compacté 0,5 60	G3 Compacté contrôlé q5 t2 1 90	G2 Compacté q5 t2 1,2 90	G1 Compacté q5 t2 2 90
Choix des matériaux	Les matériaux d'enrobage utilisés (sélectionnés ou non) directement en contact avec la canalisation doivent être exempts d'éléments rocheux ou corrosifs.			

* Voir tableau 1.

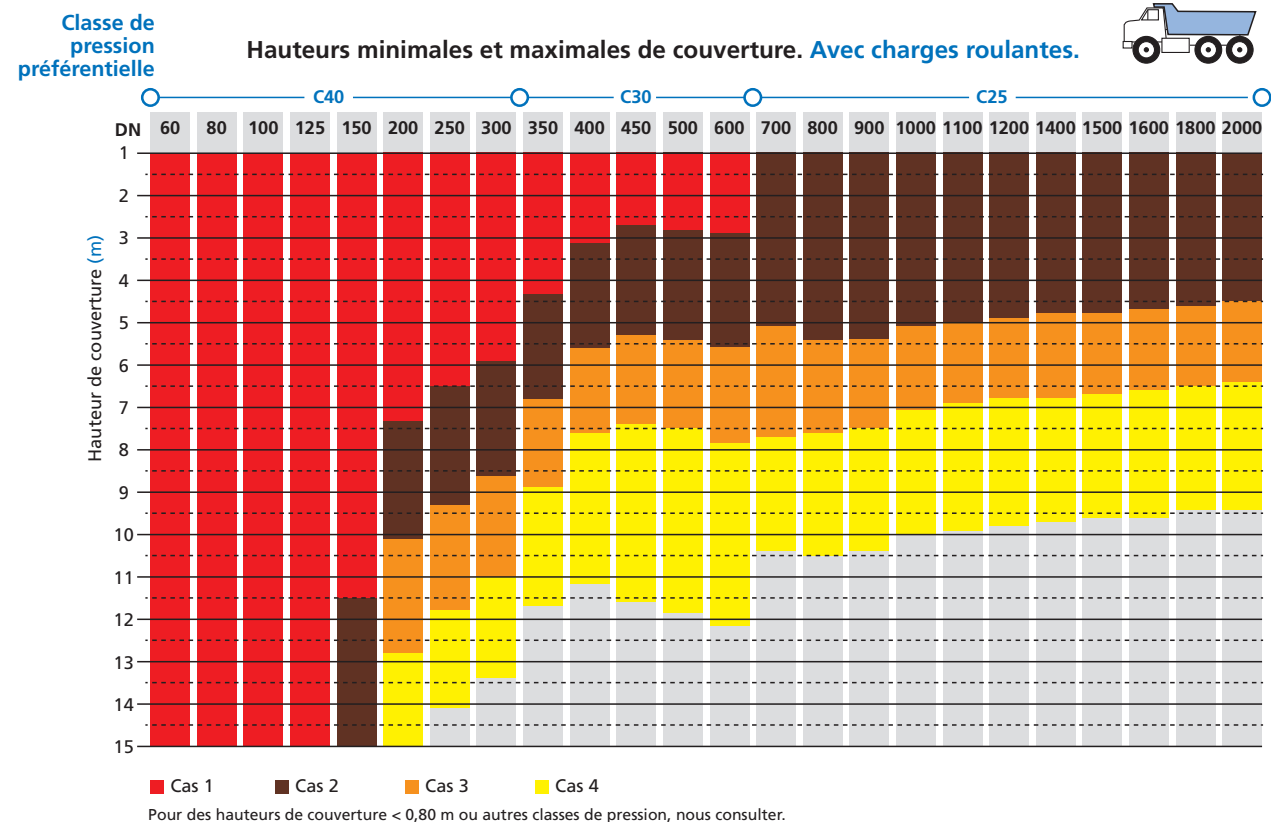
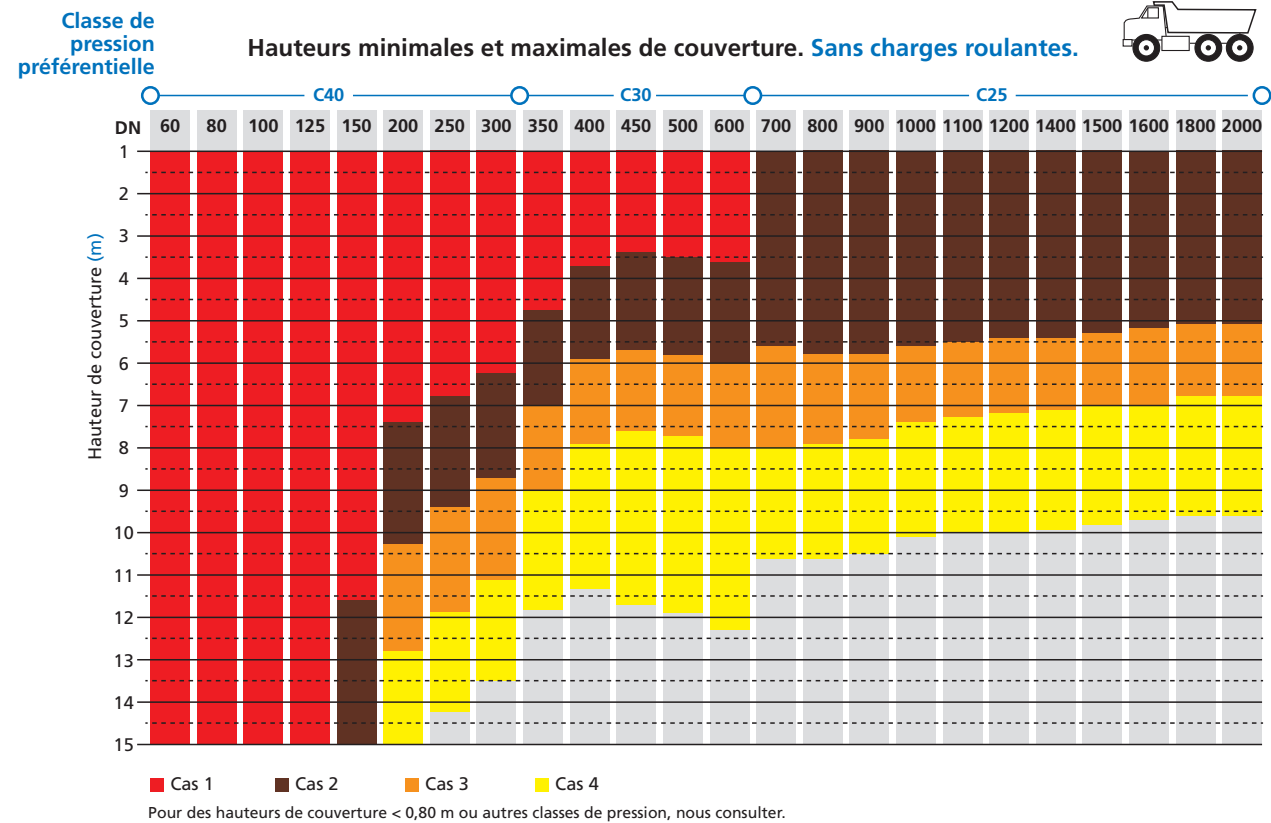
Les cas définis ci-dessus s'entendent sans nappe phréatique ni blindage de tranchée.

Pour les autres cas (pose sous merlon, blindage, etc.), se reporter au Fascicule 70 ou consulter **SAINT-GOBAIN PAM CANALISATION**.

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

Hauteurs de couverture

Hauteurs maximales et minimales de couverture



ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

Hauteurs de couverture

Éléments du Fascicule 70

Le modèle de calcul utilisé tient compte de :

- 5 groupes de sols,
- 3 niveaux de qualité du compactage, et (s'il y a lieu) influence :
 - de la nappe phréatique sur les paramètres de sol,
 - des conditions de retrait de blindage en fonction de la largeur de la tranchée,
 - des charges roulantes (système Bc: croisement de deux camions de 30 tonnes chacun sur 3 essieux).

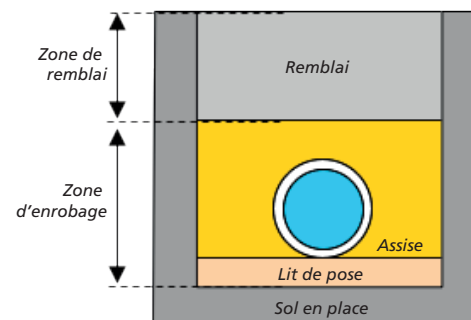
Groupe de sol	Niveau de mise en œuvre		
	Objectifs de densification recommandés		
	$q_5-t_2^{(1)}$	$q_5-t_1^{(1)}$	$q_4-t_1^{(1)}$
		Valeur moyenne ⁽³⁾ minimale: 90% de l'OPN ⁽²⁾	Valeur moyenne ⁽³⁾ minimale: 90% de l'OPN ⁽²⁾
G1	2	5	10
G2	1,2	3	7
G3	1	2,5	4,5
G4	0,6	1,5	3
G5	-	-	2

(1) Au sens de la norme NF P 98-331 :

- q_4 au moins 95% de l'OPN en moyenne
au moins 92% de l'OPN en fond de couche
- q_5 au moins 90% de l'OPN en moyenne
au moins 87% de l'OPN en fond de couche

(2) Optimum Proctor Normal.

(3) Sur la hauteur de la couche.



Autres méthodes de calcul

D'autres méthodes de calcul peuvent être utilisées :

- l'annexe F (informative) de la norme européenne NF EN 545 - Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile et leurs assemblages pour canalisations d'eau. Prescriptions et méthodes d'essai - Méthode de calcul des canalisations enterrées, hauteurs de couverture.
- la norme américaine ANSI/AWWA C 150/A 21.50. Thickness design of ductile-iron pipe.
- la norme ISO 10803 «Méthode de calcul des tuyaux en fonte ductile».
- ATV 127
- DIPRA

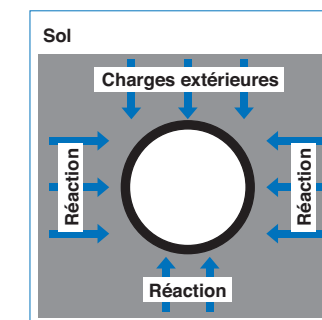
ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

Comportement aux charges

Les différents types de canalisation peuvent être classés en trois catégories, selon leur comportement aux charges extérieures :

- tuyaux rigides,
- tuyaux flexibles,
- tuyaux semi-rigides.

Les canalisations en fonte ductile se classent parmi les tuyaux semi-rigides. Elles constituent un bon compromis entre résistance aux charges et déformation, assurant ainsi une sécurité optimale de fonctionnement dans le temps.

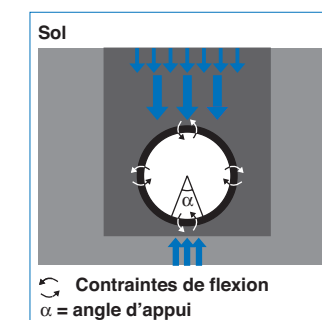


Système sol-tuyau

Le comportement mécanique d'un tuyau enterré ne peut se comprendre qu'en considérant le système sol/tuyau. En effet, l'interaction des conduites avec le sol environnant dépend de la rigidité ou de la flexibilité de celles-ci, ce qui induit des contraintes de pose différentes.

Les canalisations peuvent être classées en trois catégories, selon leur résistance aux charges extérieures :

- tuyaux rigides,
- tuyaux flexibles,
- tuyaux semi-rigides.



Cas des tuyaux rigides

Exemple :

Béton précontraint...

Comportement :

Les tuyaux rigides n'admettent qu'une très faible ovalisation avant rupture. Cette déformation est insuffisante pour mettre en jeu les réactions d'appui latérales sur le remblai. Toute la charge verticale des terres est supportée par le tuyau, ce qui induit de fortes contraintes de flexion dans la paroi.

Critère de dimensionnement :

Généralement, charge maximale d'écrasement.

Conséquences :

Les tuyaux rigides favorisent les concentrations de charge en génératrice inférieure et supérieure. La tenue du système sol/tuyau rigide est fortement dépendante de l'angle d'appui α , donc de la bonne préparation du lit de pose, en particulier s'il y a des charges roulantes.

ENVIRONNEMENT AUTOUR DE LA CANALISATION

Comportement aux charges

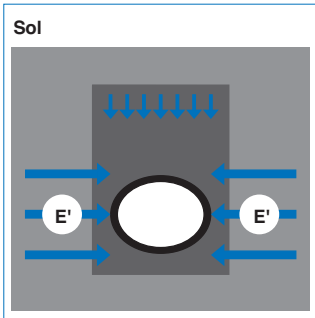
Cas des tuyaux flexibles

Exemple :

Plastiques, acier...

Comportement :

Les tuyaux flexibles subissent, sans rupture, une déformation importante. Ainsi, la charge verticale des terres n'est équilibrée que par les réactions d'appui latéral du tuyau sur le remblai environnant.



Critère de dimensionnement :

Ovalisation maximale admissible ou contrainte de flexion maximale admissible, mais également résistance au flambage.

Conséquences :

La stabilité du système sol/tuyau flexible est directement dépendante de la capacité du remblai à générer une réaction passive d'appui, donc de son module de réaction (E'), et par conséquent de la qualité du remblai et de son compactage.

Cas des tuyaux semi-rigides

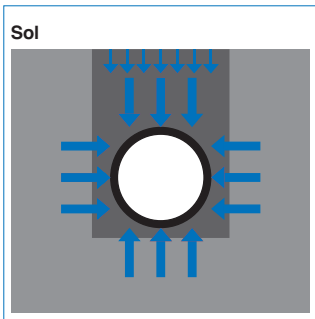
Exemple :

Fonte ductile.

Comportement :



Les tuyaux semi-rigides s'ovalisent suffisamment pour qu'une partie de la charge verticale des terres mobilise l'appui latéral sur le remblai. Ainsi, les efforts mis en jeu sont les réactions passives d'appui par le remblai et les contraintes de flexion interne dans la paroi du tuyau. La résistance à la charge verticale est donc répartie entre la résistance propre du tuyau et celle du remblai environnant, les contributions de chacune étant fonction du rapport des rigidités entre le tuyau et le sol.



Critère de dimensionnement :

Contrainte de flexion maximale admissible (cas des petits diamètres) ou ovalisation maximale admissible (cas des grands diamètres).

Conséquences :

En répartissant les efforts entre tuyau et remblai, le système sol/tuyau semi-rigide offre une sécurité en cas d'évolution dans le temps des sollicitations mécaniques ou des conditions d'appui.

RÉFÉRENTIELS NORMATIFS ET QUALITÉ

Normes produits et normes annexes

Les produits de canalisations en fonte ductile **PAM** sont conformes aux normes françaises NF qui transposent les normes européennes EN, ainsi qu'aux normes internationales ISO.

Les systèmes de canalisations de **PAM** sont conformes aux normes en vigueur :

- Françaises, qui transposent systématiquement les normes européennes (EN)
- Internationales (ISO, ou EN ISO)

La conformité à des normes européennes, ou internationales, exprime le haut d'exigence qui s'applique aux systèmes de canalisations en fonte ductile.

Spécifications	Normes	
	Normes européennes EN	Normes Internationales ISO
Spécifications techniques des canalisations en fonte ductile	EN 545	ISO 2531
Tuyaux à emboîture	EN 545	ISO 2531
Raccords à emboîture	EN 545	ISO 2531
Tuyaux à bride	EN 545	ISO 2531
Raccords à bride	EN 545	ISO 2531
Tuyaux, raccords et accessoires en fonte ductile et leurs assemblages compatibles avec les canalisations plastiques (PVC ou PE) pour la distribution d'eau et pour les connexions, réparations et remplacements des canalisations en plastique		ISO 16631:2016
Essais de type des jonctions	EN 545	ISO 2531
Essais de type des jonctions verrouillées	EN 545	ISO 2531 ISO 10 804-1
Revêtement intérieur mortier de ciment	EN 545	ISO 4179
Revêtement extérieur Zinc ou BIOZINALIUM des tuyaux	EN 545	ISO 8179
Revêtement extérieur PE	EN14 628 - 1	-
Revêtement extérieur Polyuréthane	EN 15 189	-
Revêtement extérieur ZMU	EN 15 542	-
Revêtement intérieur Polyuréthane	EN 15 655-1	-
Revêtement époxy renforcé des raccords	EN 14 901-1	-
Canalisations pré isolées	-	ISO 9394
Manche Polyéthylène	EN 545	ISO 8180
Méthodes de calculs des canalisations*	EN 545	ISO 10 803
Réception sur site	EN 805	ISO 10 802
Alimentation en eau Exigences pour les réseaux extérieurs aux bâtiments	EN 805	-
Bagues de joint. Spécifications des matériaux	EN 681-1	ISO 4633
Dimensions des brides	EN 1092 - 2	ISO 7005 - 2
Raccords pour canalisation en PVC ou PEhd	EN 12 842	-
Systèmes de management de la qualité - Exigences	EN ISO 9001	EN ISO 9001
Systèmes de management environnemental - Exigences	EN ISO 14001	EN ISO 14001
Système de management de l'énergie	EN ISO 50001	ISO 50001

* Fascicule 70 en France

RÉFÉRENTIELS NORMATIFS ET QUALITÉ

Matériaux en contact avec de l’eau destinée à la consommation humaine

Les matériaux en contact avec l’eau destinée à la consommation humaine ne doivent pas détériorer de façon inacceptable la qualité de l’eau.

Situation réglementaire et normative

Les caractéristiques d’une eau destinée à la consommation humaine sont définies par une directive européenne.
Voir le chapitre EAUX DESTINÉES À LA CONSOMMATION HUMAINE page 6.

Il n’existe pas de directive ou de norme européenne fixant les exigences techniques applicables aux matériaux en contact avec l’eau destinée à la consommation humaine utilisés dans les installations de production, de traitement et de distribution, et qui seraient destinées à vérifier leur compatibilité avec les caractéristiques de ces eaux.

Mais une réglementation française a été publiée sur ce sujet : Arrêté du 29 mai 1997 modifié par un Arrêté daté du 24 juin 1998, par un Arrêté du 13 janvier 2000 et par un Arrêté du 22 août 2002.
Cet Arrêté, dans sa section 2 (Matériaux constitutifs des canalisations et raccords, des réservoirs et des accessoires) autorise les matériaux dont la composition respecte des prescriptions définies dans les annexes (nature et teneurs limites des composants) et prévoit, en tant que de besoin, des essais préalables destinés à évaluer leurs effets éventuels sur la qualité organoleptique, physique, chimique et biologique de l’eau placée à leur contact.

Matériaux utilisés par PAM au contact de l’eau destinée à la consommation humaine

Les matériaux concernés par ces exigences réglementaires sont donnés par le tableau suivant :

Matériau	Destination
Mortier de ciment	Revêtement intérieur des tuyaux
Peinture synthétique noire	Revêtement interne des zones de jointoyage des tuyaux et de certains raccords
Peinture époxy bleue	Revêtement interne de certains raccords
Vernis époxy polyuréthane appliqué par cataphorèse	Revêtement interne de certains raccords
Poudre époxy	Revêtement intérieur spécial de certains raccords
Elastomères	Bagues de joint pour tuyaux et raccords
Pâte lubrifiante	Montage des joints
Peinture Aquacoat	Revêtement intérieur des tuyaux NATURAL®
Ductan	Revêtement intérieur des tuyaux BLUTOP®

Conformité

L’ensemble des matériaux énumérés ci-dessus et utilisés par PAM pour ses fabrications bénéficie d’une attestation de conformité sanitaire (A.C.S.) établie par l’un des organismes agréés auprès de la Direction Générale de la Santé dans le cadre de l’Arrêté du 29 mai 1997, attestant leur conformité aux dispositions applicables de cet arrêté. Ils sont pleinement utilisables pour la distribution de l’eau destinée à la consommation humaine.
L’examen de ces attestations et des rapports correspondants, ainsi que de la documentation technique des produits concernés (tuyaux et raccords pour réseaux d’adduction d’eau destinée à la consommation humaine DN 60 à 2 000) a été confiée à un organisme tiers.

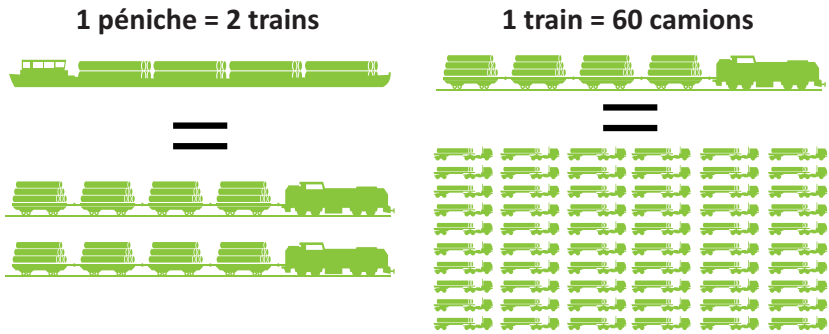
DÉVELOPPEMENT DURABLE

Transport et pose

Transport

PAM approvisionne ses usines en matières premières et livre ses produits aux clients, en privilégiant des moyens de transport faiblement émetteurs de CO2.
Les sites de production, mais également de distribution, de PAM sont généralement interconnectés avec des lignes ferroviaires, ainsi qu’avec des voies fluviales.
Par exemple en France, le site lorrain de Pont-à-Mousson est alimenté essentiellement en matières premières par transport ferré et fluvial. Les produits qui y sont fabriqués peuvent ensuite être expédiés par trains, ou par péniches, puis, le cas échéant, chargés sur bateau depuis un port.

65 % du transport de la production est assuré par voies fluviale, ferroviaire et maritime.



Pose

Résistantes, solides et flexibles, les canalisations PAM en fonte ductile permettent de réutiliser la terre naturelle pour remblayer les tranchées.
Une pose simplifiée, économique et écologique !
La mise en œuvre des canalisations peut conduire à excaver des volumes de terre importants, représentant 5 à 10 fois le volume des canalisations posées. De plus, dans de trop nombreux cas, ces volumes sont mis en décharge et remplacés par des matériaux d’apport.
La rigidité, la solidité, la résistance au poinçonnement ainsi que le caractère actif des revêtements des canalisations en fonte ductile permettent de réutiliser dans la plupart des cas le sol natif (après épierrement des plus gros morceaux), comme enrobage, voire comme lit de pose.

PAM ÉCOPOSE, c’est économique !

L’utilisation du sol «natif» pour les remblais permet de limiter l’exploitation des carrières de sables et les rotations de camions inutiles.

PAM ÉCOPOSE, c’est écologique !

En plus des gains de CO₂, PAM ÉCOPOSE permet d’éviter les nuisances pour les riverains et de préserver les ressources des terres naturelles.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Analyse de cycle de vie

100% du matériau fonte ductile est recyclable indéfiniment sans pertes de performances.

La prise en compte de l'ensemble des opérations, allant de la fabrication à la mise en œuvre, en intégrant la durée de vie complète de l'ouvrage, est fondamentale dans une bonne approche du développement durable.

PAM a réalisé pour ses produits une analyse de cycle de vie conforme aux normes 14040 et 14044. Cela permet d'évaluer l'impact environnemental de nos produits sur le cycle humain de l'eau et d'identifier les voies d'améliorations et les solutions optimales.

L'analyse de cycle de vie permet également de fournir à nos clients des déclarations environnementales conformes à la norme EN 15804 ou ISO 21930, pour les aider dans l'évaluation de leur projet.

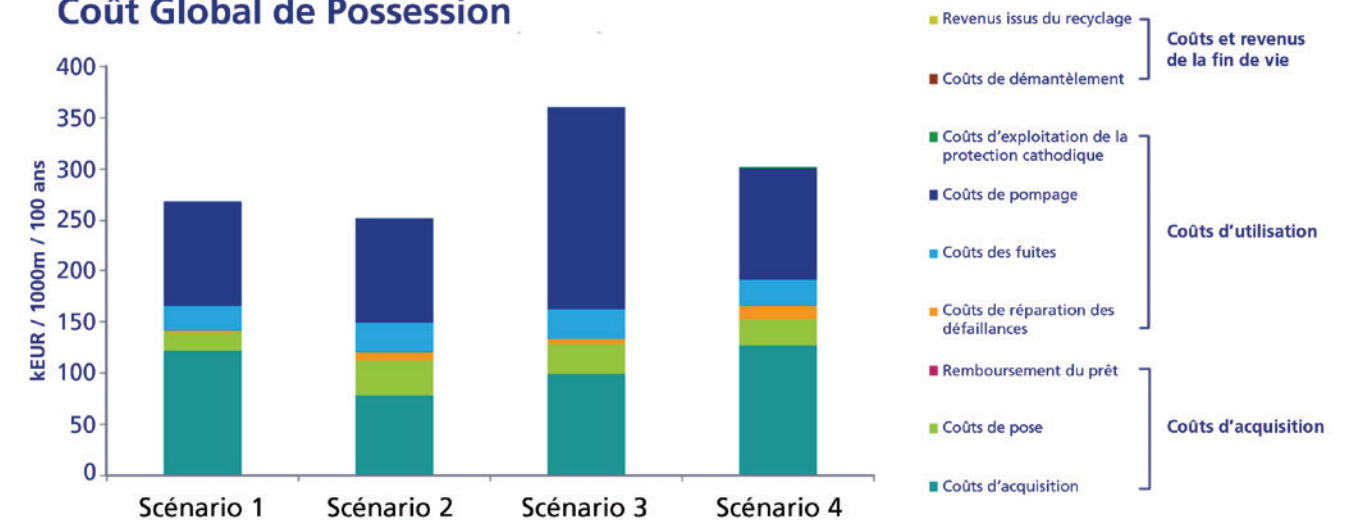


DÉVELOPPEMENT DURABLE

Coût global de possession

Parce que le développement durable, c'est identifier la meilleure solution d'un point de vue économique et écologique, PAM a fait développer et vérifier un outil de quantification du coût du cycle de vie d'une canalisation.

C'est donc dès la naissance des projets, que PAM conseille les acteurs sur les solutions les mieux appropriées afin d'améliorer les performances des réseaux à mettre en place, de faciliter leur mise en œuvre, tout en optimisant les coûts tout au long du cycle de vie.

**Coût Global de Possession**

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Coût global de possession

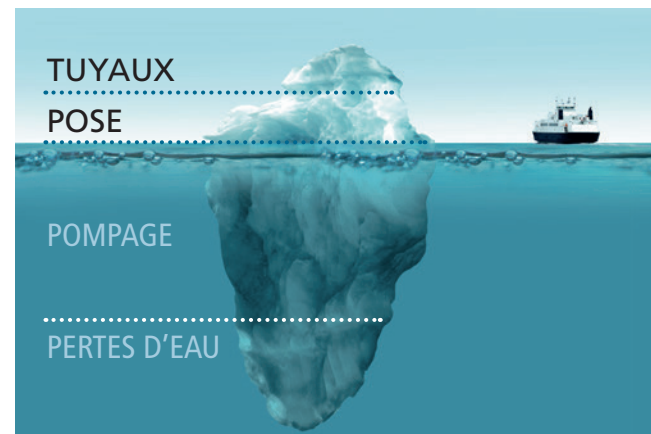
Investir aujourd'hui dans une canalisation de qualité, c'est moins dépenser demain.

Les coûts de pompage et de pertes d'eau au cours de la vie d'un réseau sont considérablement supérieurs au coût d'achat initial.

Le progiciel PAM TCO calculator est conçu pour évaluer le coût total de possession. Il met en valeur les coûts immédiats de l'investisseur et les coûts différés de l'exploitant. La méthode de calcul prend en compte :

- Les coûts d'acquisition (tuyaux, pose, emprunts,...),
- Les coûts d'exploitation (maintenance, pertes d'eau, énergie de pompage),
- Les coûts de fin de vie (démontage, recyclage)

CE QUE RÉVÈLE LE TCO



TUYAU NATURAL® DN 200 SUR 100 ANS



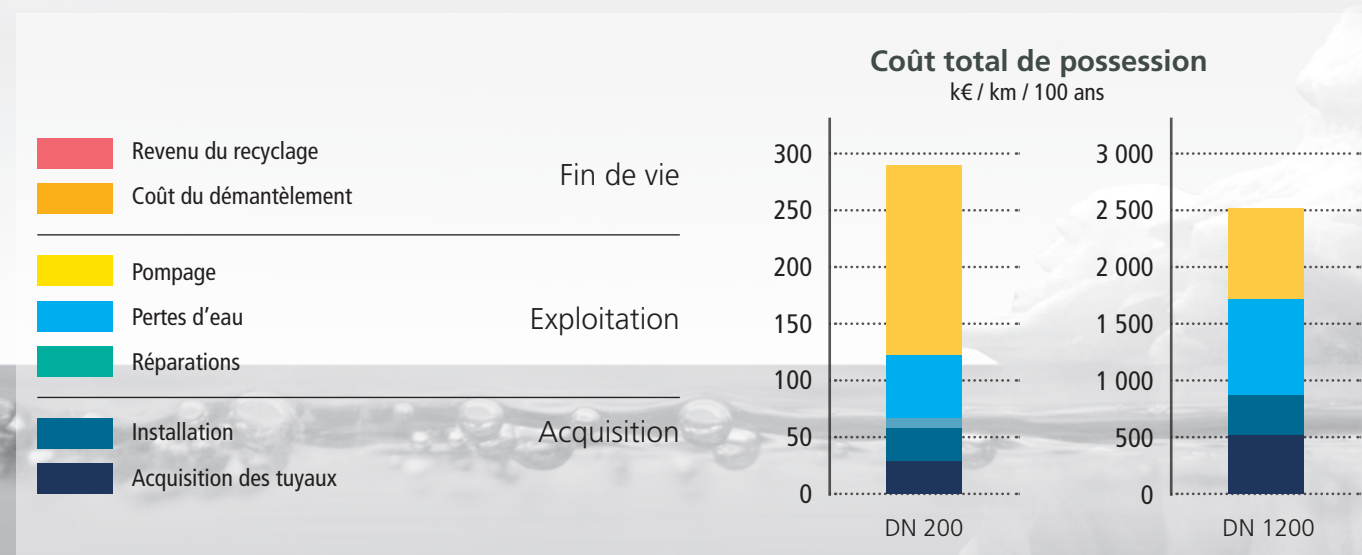
EXEMPLES D'ÉVALUATIONS TCO-LCA

Hypothèses de calculs réalisés avec LCA-TCO PAM calculator :

- Pour Tuyaux **NATURAL®** DN 200 et 1200
- Posés en tranchée en conditions standards
- Transportés sur 600 kms par camion
- Données technico-économiques année 2014 zone Europe
- Durée de vie 100 ans

Les valeurs ci-dessous, fondées sur des cas hypothétiques et des données moyennes, sont proposées à titre d'information. Elles n'ont aucun caractère contractuel.

ANALYSE TCO (COÛT TOTAL D'ACQUISITION)

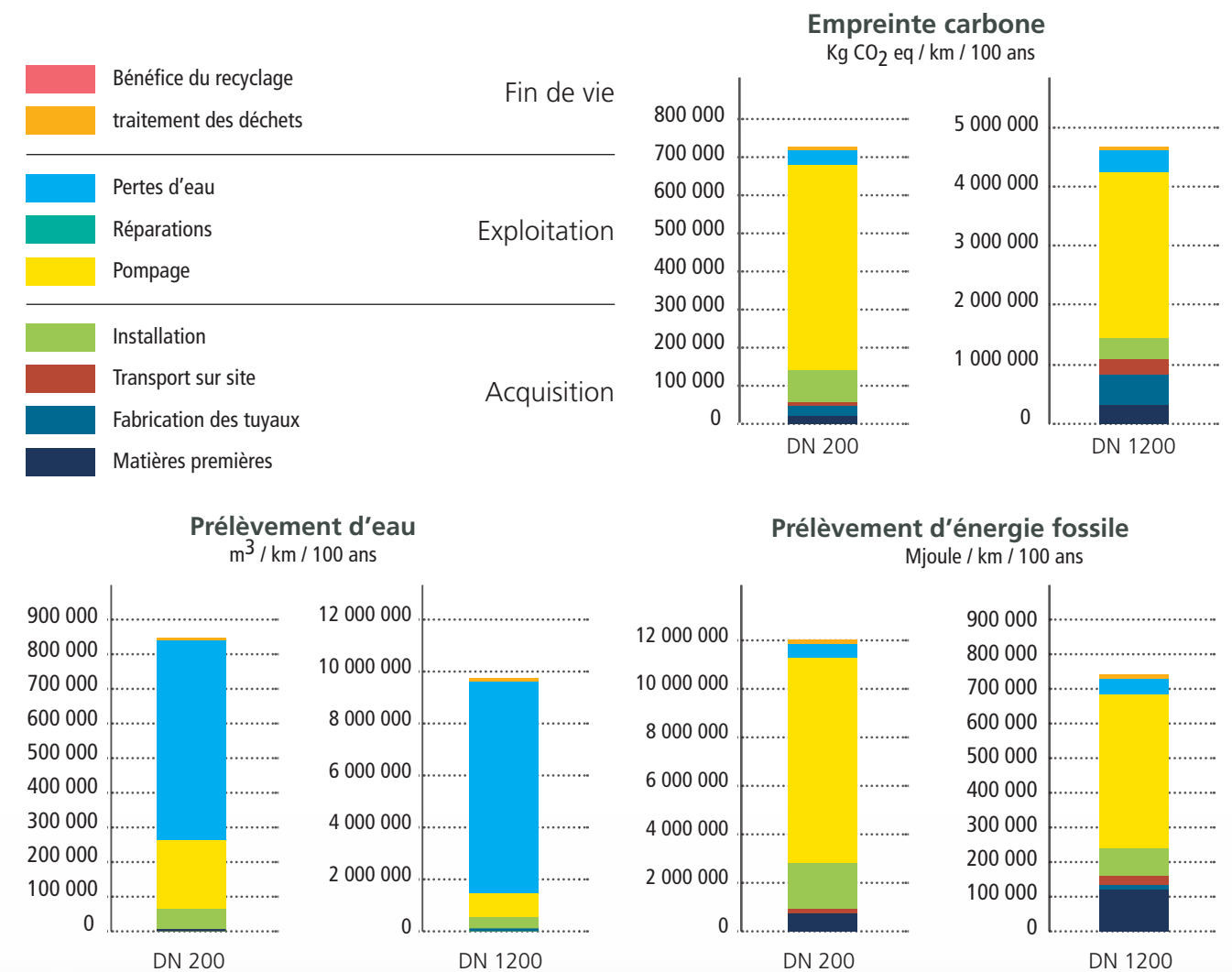


Consulter PAM pour évaluer votre projet.

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Coût global de possession

ANALYSE LCA (CYCLE DE VIE)



PAM LCA
SAINT-GOBAIN
CALCULATOR

Notes

This image shows a full page of blank, lined paper. It features approximately 20 evenly spaced horizontal blue lines across its entire width, providing a guide for handwriting or typing. The background is a clean, solid white color.

Notes

[illegible]

Notes

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Notes

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

SAINT-GOBAIN PAM Canalisation dans le monde

AFRIQUE DU SUD

SAINT-GOBAIN PIPELINES SOUTH AFRICA

300 Janadel Ave
Halfway House , Midrand
South Africa
Tel.: +27 (12) 657 2800

ALLEMAGNE

SAINT-GOBAIN PAM DEUTSCHLAND

Saarbrucker Strasse 51
66130 - SAARBRUCKEN - Germany
Tel.: +49 681 87 010

ARGENTINE

SAINT-GOBAIN PAM ARGENTINA

Bouchard y Enz
1836 - LLAVALLOL - BUENOS AIRES - Argentina
Tel.: +54 11 42 98 9600

AUTRICHE

SAINT-GOBAIN AUSTRIA GMBH

Vertriebsbüro PAM
Archenweg 52
6020 Innsbruck
Tel.: +43-512-341717-0

BELGIQUE

SAINT-GOBAIN PAM BELGIUM S.A.

Raatshovenstraat, n°2
B-3400 - LANDEN - Belgium
Tel.: +32 11 88 01 20

BRÉSIL

SAINT-GOBAIN CANALIZACAO LTDA

7ª Andar Condomínio do Edifício Praia de Botafogo
22250-040 - RIO DE JANEIRO - RJ - Brazil
Tel.: +55 21 2128 1677

CHILI

SAINT-GOBAIN CANALIZACIÓN CHILE S.A.

Antillanca Norte 600
Parque Industrial Vespucio, Comuna de Pudahuel
SANTIAGO DE CHILE - Chili
Tel.: + (56-02) 24441300

CHINE

SAINT-GOBAIN PAM CHINA

Room 1808, 18th Floor, Building No.5
Zi Yun Wisdom Plaza, No. 19,
Ka Zi Men Avenue, Qinghuai District, 210022 – Nanjing,
China
Tel.: +86 25 5791 8553

COLOMBIE

COLOMBIA, CENTRAL AMERICA, ECUADOR & DOMINICAN REPUBLIC

SAINT-GOBAIN PAM COLOMBIA

Km 20 Carretera Occidente, MOSQUERA, CUNDINAMARCA
- Colombia
Tel.: +57 (1) 893 3993

ESPAGNE

SAINT-GOBAIN PAM ESPANA

C/ Príncipe de Vergara, 132 planta 7
28002 - Madrid
Tel.: +34 91 397 20 00

FINLAND

SAINT-GOBAIN PAM FINLAND

Strömberginkuja 2
FI-00380 HELSINKI
Tel.: +358,207,424,622

FRANCE & DOM-TOM

SAINT-GOBAIN PAM CANALISATION (SIÈGE SOCIAL)

21 avenue Camille Cavallier
54705 PONT-A-MOUSSON CEDEX - France
Tel.: +33 3 83 80 73 50

SAINT-GOBAIN PAM CANALISATION (SALES DIVISION FRANCE)

21 avenue Camille Cavallier
54705 - PONT A MOUSSON CEDEX - France
Tel.: +33 3 83 80 67 89

SAINT-GOBAIN PAM CANALISATION (Sales Divisions Europe and international)

21 avenue Camille Cavallier
54705 - PONT A MOUSSON CEDEX - France
Tel.: +33 3 83 80 67 89

SAINT-GOBAIN PAM CANALISATION (Caribbean Regional Agency)

Rue Alfred Lumière - ZI de Jarry - BP 2104
97122 - BAIE MAHAULT - Guadeloupe
Tel.: +33 590 26 71 46

GREECE

SAINT-GOBAIN HELLAS ABEE

5 Kleisouras Str.
Metamorfosi Athens 14452, Greece
Tel.: +30 210 6147500

ITALIE

SAINT-GOBAIN PAM ITALIA SPA

Via Romagnoli n°6
I-20146 - MILAN - Italy
Tel.: +39 02 42 431

JORDANIE

SAINT-GOBAIN PAM CANALISATION REGIONAL OFFICE

Abu Zaid Center - Office # 8
37 Saad Bin Abi Waqqas St, - PO BOX 831000
11183 AMMAN - Jordan
Tel.: +962 6 551 4438

MAROC

SAINT-GOBAIN MAROC DEVELOPMENT

Av Mly Ismail Route de Rabat Ain Sebaa
20250 - Casablanca
Tel.: +212 522 665 731

MEXIQUE

SAINT-GOBAIN PAM MEXICO

Legaria 549 Torre 1 Piso 14 • 10 de Abril •
11250, Ciudad de México - Mexico
Tel: +(52) 55 5279 1665

NORVÈGE

SAINT-GOBAIN BYGGEVARER AS, PAM

Brobekkveien 84
0582 Oslo
Tel.: +47 23 17 58 60

PAYS-BAS

SAINT-GOBAIN PAM NL

Markerkant 10-17
1316 AB ALMERE - The Netherlands
Tel.: +31 36 5333344

PÉROU

SAINT-GOBAIN PAM PERU

Av. Javier Prado Oeste Nro. 2501 Int. 2101
(Edificio Bloom Tower) – Magdalena - Lima
Tel: +(51) 1 2524034

POLOGNE

SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS POLSKA

SP. Z O.O.
ul. Okrezna 16, 44-100 Gliwice
Tel.: +48 600 421 996

PORTUGAL

SAINT-GOBAIN PAM PORTUGAL, S.A.

Rua das Marinhas do Tejo , n° 15
2690-361 - SANTA IRIA DE AZOIA - Portugal
Tel.: +351 218 925 000

RÉPUBLIQUE TCHÈQUE

SAINT-GOBAIN PAM CZ S.R.O.

Smrkova 2485/4
180 00 Praha 8 - Czech Republic
Tel.: +420 220 406 640

ROUMANIE

SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS ROMANIA S.R.L.

Calea Floreasca nr. 165, One United Tower,
etaj 10, Sector 1, cod 014459
Bucuresti România
Tel.: +40 21 207 57 50

ROYAUME-UNI

SAINT-GOBAIN PAM UK

Lows Lane - Stanton-by-Dale
ILKESTON - DERBYSHIRE - DE7 4QU
United Kingdom
Tel.: +44 115 930 5000

SINGAPOUR

SAINT-GOBAIN PAM SINGAPORE

2 Venture Dr., #13-18 Vision Exchange,
Singapore 608526
Tel: +65 6330 8288

SLOVAQUIE

SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS PAM Business Unit

Dlha 1780/6
90031 Stupava
Tel.: +421 265 45 69 61

VIETNAM

SG PAM HCM

8th Floor, SOFIC Tower,
10 Mai Chi Tho Street, Thu Thiem Ward, District 2
Ho Chi Minh City
Viet Nam
Tel.: +84 28 3776 1888



SAINT-GOBAIN

**Saint-Gobain PAM Canalisation
Siège social**

21, avenue Camille Cavallier
54705 Pont-à-Mousson Cedex • FRANCE
Tél : +33 (0)3 83 80 73 50
www.pamline.fr