



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Hydraulique
Ouvrages Hydraulique

Réf. : OH 01 /2018

Présenté et soutenu par :
Ghernoug Oussama

Le : dimanche 24 juin 2018

Détermination entre le nombre de Reynolds et la dimension caractéristique des conduites à section circulaire

Jury :

Mme. Cherhabil S	MCA	Université de Biskra	Président
Mme. Mimeche L	MCA	Université de Biskra	Examineur
M. Abdessemed F	MAA	Université de Biskra	Rapporteur

قُلْ إِن صَلَاتِي وَنُسُكِي وَمَحْيَايَ وَمَمَاتِي
لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ ﴿١٦٢﴾
لَا شَرِيكَ لَهُ ^{صَلِّ} وَبِذَلِكَ أُمِرْتُ
وَأَنَا أَوَّلُ الْمُسْلِمِينَ ﴿١٦٣﴾

Remerciements :

Je remercie en premier lieu Dieu tout puissant pour m'avoir donné la force, la santé et la volonté d'accomplir ce modeste travail.

Je voudrais tout d'abord exprimer toute ma reconnaissance à mon encadreur Fouzi Abdeseamed pour ses remarques pertinentes et ses suggestions qui m'ont permis l'amélioration de la qualité de ce travail.

Je voudrais également exprimer mes vifs remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger mon travail.

Je tiens à exprimer mes très vifs remerciements à tous mes enseignants du département d'hydraulique et de Génie civil et de la Faculté des Sciences et Technologie à l'université Mohamed Khider - Biskra.

J'exprime ma profonde gratitude à tous mes collègues de l'université Mohamed Khider.

Nombreux sont les personnes qui m'ont aidé durant l'acquisition des données et la préparation de ce travail

Pour tous ceux qui ont apporté leur aide de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail,

Merci,

Dédicace :

*Je remercie tout d'abord le bon dieu tout puissant qui ma donné la force et le courage
pour terminer ce travail.*

*Je dédie ce modeste aux deux personnes que j'aime le plus dans la vie, ma raison de vivre
qui méritent tout le respect du monde qu'ils trouvent ici le témoignage de mon profond
amour et mon dévouement infini.*

*Ma mère, source de compassion et de tendresse, l'exemple de patience et de
sacrifice, la raison de mon existence et le support de ma vie ;*

*A mon très cher père, l'homme le plus parfait dans le monde, mon grand exemple et le
secret de ma réussite ;*

Que dieu les protège et leur réserve une longue vie pleine de bonheur et de santé.

A ma grande mère Yama et mon grand père Ebaya;

A mon frère : Hatem

A mes sœurs : Teber et Hanine

Et mes oncles et mes tantes et a tout la famille Ghernoug et Hamaiti

A mes amies surtout Oussama ,Saleh, Boubaker, ,Abdelwadoud, Said et Mohamed

A tous mes enseignants

Mon encadreur qui ma soutenu au long de mes travaux (je vous remercié).

Sommaire

Sommaire :

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Résumé	
Introduction générale	01
 Chapitre 1 : détermination du régime d'écoulement	
1-1- Introduction	02
1-2- Types d'écoulements dans les conduites	02
• 1-2-1- Ecoulement permanent	02
• 1-2-2- Ecoulement non permanent	03
• 1-2-3- Ecoulement uniforme	03
• 1-2-4- Ecoulement non uniforme	04
• 1-2-5- Fluide compressible	04
• 1-2-6- Fluide incompressible	04
• 1-2-7- Ecoulement à surface libre	05
• 1-2-8- Ecoulement dans les conduites	05
a- Nature de conduites	05
b- Types de conduites	05
- Conduites a section constante	05
- Elargissement et rétrécissement dans une conduite	06
- Jonction et bifurcation	06
1-3- Le nombre de Reynolds	07
• 1-3-1- Définition	07
• 1-3-2- La viscosité	08
a- La viscosité dynamique	08
b- La viscosité cinématique	08
• 1-3-3- les régimes d'écoulement	09
a- Régime laminaire et régime turbulent	09
b- Régime critique	11
1-4- Coefficient de frottement pour un écoulement laminaire ou turbulent	11

• 1-4-1- La rugosité	11
• 1-4-2- Les pertes de charges	12
a- Pertes de charge linéaires	12
- Formule de WILLIAMS ET HAZEN	13
- Formule de DARCY – WEIBACH	13
- Formule de Chezy-Manning	14
b- Pertes de charge singulière	14
• 1-4-3- La coefficient de frottement	17
1-5- Conclusion	20
Chapitre 2 : La dimension caractéristique des conduites a section circulaire ...	21
2-1- Introduction	21
2-2- Le matériau de construction des conduites	22
• 2 -2-1- Conduites en Amiante ciment	22
• 2 -2-2- Conduite en fonte	22
• 2 -2-3- Conduites en pvc	23
• 2 -2-4- Conduits en pehd	24
• 2 -2-5- Conduites en acier	24
2-3- Les diamètres des conduites selon le matériau de construction	25
- Les diamètres des conduites en pvc	25
- Les diamètres des conduites en fonte	29
- Les diamètres des conduites en acier	39
- Les diamètres des conduites en pehd	40
2-4- Conclusion	45
Chapitre 3 : La relation entre le nombre de Reynolds et le diamètre des conduites circulaires	46
3-1- Introduction	46
3-2- Cas des conduites à section constante	46
• 3-2-1- Fluide parfait	46
• 3-2-2- Equation de Bernoulli	47
• 3-2-3- Equation de Continuité	47
• 3-2-4- Equation de quantité du mouvement	48
• 3-2-5- Calcul le nombre de Reynolds dans le cas de section constante ...	49

3-3- Cas des conduites à section variable	49
• 3-3-1- Fluide réel	50
• 3-3-2- Equation de Bernoulli	50
• 3-3-3- Equation de Continuité	50
• 3-3-4- Equation de quantité du mouvement	51
• 3-3-5- Calcul le nombre de Reynolds dans le cas de section variable	53
3-4- Conclusion	54
Conclusion générale	55
Références bibliographiques	56

Liste des figures :

Figure 1-1- Conduite en section constante	06
Figure 1-2- Elargissement et rétrécissement	06
Figure 1-3- Jonction et bifurcation	07
Figure 1-4- influence de la température sur la viscosité	09
Figure 1-5 - Régime laminaire	09
Figure 1-6 - Régime turbulent	10
Figure 1-7 - Régime transitoire	10
Figure 1-8 - le diagramme de MOODY	16
Figure 1-9 – Comparaison entre la relation de <i>Swamee</i> et <i>Jain</i> et <i>D, Colebrook</i>	17
Figure 1-10 – Comparaison entre la relation <i>Swamee</i> et <i>Jain</i> et <i>D, Colebrook</i>	20
Figure 2-1- Conduites en Amiante ciment	22
Figure 2-2 - Conduites en fonte	23
Figure 2-3 - Conduites en pvc	23
Figure 2-4 - Conduites en Pehd	24
Figure 2-5 – Conduites en Acier	24
Figure 3-1- Schéma pour Fluides Parfaits	47
Figure 3-2 - Conduite circulaire	47
Figure 3-3 - Conduite à section variable	49
Figure 3-4 - Schéma pour Fluides réels	50
Figure 3-5 - Surface parallèles places dans un écoulement	52

Liste des tableaux :

Tableau 1-1- Coefficients de rugosité pour les tuyaux neufs	12
Tableau 2-1- Les diamètres des conduites en Pvc	25
Tableau 2-2- Les diamètres des conduites en Fonte	29
Tableau 2-3- Les diamètres des conduites en acier	39
Tableau 2-4- Les diamètres des conduites en pehd	40

Résumé :

L'écoulement des fluides en charge dans des conduites fermés a section pleine entièrement rempli par la veine liquide ou on a la pression interne qui agit sur l'écoulement. La forme circulaire est optimale et la plus répondue ou la réparation de la pression est homogène à l'intérieur de la conduite. Dans notre travail nous avons parlés les différents régimes d'écoulements dans les cas des conduites en charge et le nombre de Reynolds

Puis dans le 2 eme chapitre on s'est intéressé sur la dimension caractéristique des conduites à section circulaire et le 3 eme chapitre on s'est concentré sur la relation entre le nombre de Reynolds et le diamètre de ces conduites circulaire passant par le cas des conduites a section constante et le cas des conduites a section variables.

ملخص :

يحتوي جريان السوائل في القنوات المغلقة على قسم صلب مملوء بالوريد السائل أو يكون هناك ضغط داخلي يعمل على التدفق.

الشكل الدائري هو الأمثل والأكثر استجابة للضغط المتجانس داخل الأنبوب. تحدثنا في عملنا عن أنظمة الجريان المختلفة في حالة الأنابيب المضغوطة ورقم رينولدز

في الفصل الثاني نظرنا في البعد المميز للأنابيب الدائرية ، وركزنا في الفصل الثالث على العلاقة بين رقم رينولدز وقطر هذه الأنابيب الدائرية التي تكون في حالة أنابيب المقطع الثابت وحالة أنابيب المقطع المتغير.

Les mots clés :

Nombre de Reynolds , les conduites circulaire , régime d'écoulement

Introduction générale

Introduction Générale :

L'écoulement des fluides ou plus précisément des liquides (l'eau pour notre cas) se fait soit a surface libre ou on est confronté a la pression externe qui n'est d'autre que la pression atmosphérique, soit en charge dans des conduites fermés a section pleine entièrement rempli par la veine liquide ou on a la pression interne qui agit sur l'écoulement.

Ces conduites en charge peuvent avoir différentes formes : triangulaire, rectangulaires, circulaire, ovoïdales...etc. La forme circulaire est optimale et la plus réponde ou la réparation de la pression est homogène à l'intérieur de la conduite.

Pour déterminer le régime d'écoulement dans ces conduites en charge on utilise le nombre de Reynolds qui est en fonction de la vitesse d'écoulement, de la viscosité cinématique du liquide et du diamètre de la conduite. Nous on s'est concentré sur ce dernier paramètre ou caractéristique pour déterminer sa relation avec le nombre sans dimension.

Dans notre travail on s'est focalisé sur 3 grands chapitres :

Tout d'abord avec le 1^{er} chapitre ou on a fait un topo sur les différents régimes d'écoulements rencontré dans les cas des conduites en charge en prenant en considération la nature de ces conduites, leur types (a section constante ou a section variable) ainsi que sur le nombre de Reynolds et son rapport avec les paramètres de la viscosité du liquide et tout ce qui concerne les pertes de charges (rugosité et coefficient de frottement) dans les conduites.

Puis dans le 2eme chapitre on s'est intéressé sur la dimension caractéristique des conduites à section circulaire c'est-à-dire le diamètre en prenant en considération le matériau de construction des conduites (amiante ciment, Fonte, PVC, PEHD, Acier).

Enfin dans le 3eme et dernier chapitre on s'est concentré sur la relation entre le nombre de Reynolds et le diamètre de ces conduites circulaire passant par le cas des conduites a section constante et le cas des conduites a section variables

Chapitre 1 :

Détermination du régime d'écoulement

Chapitre 1 : détermination du régime d'écoulement :

1-1- Introduction :

Un régime d'écoulement peut être défini comme étant le mode de mouvement des particules fluides entre elles dans un écoulement.

Les hydrauliciens ont remarqués depuis longtemps l'existence des régimes d'écoulement mais c'est Osborne Reynolds qui démontra leurs existence expérimentalement et développa des critères permettant des les différencier. L'expérience de Reynolds schématisée ci-après consiste à envoyer à l'aide d'un dispositif un liquide coloré au sein d'une masse liquide en mouvement dans un tube en verre.

En ouvrant plus ou moins le robinet de vidange on fait varier la vitesse de l'écoulement dans le tube, quand la vitesse de l'écoulement est suffisamment faible le liquide coloré forme un filet droit parfaitement net qui ne se mélange pas aux autres filets. Ce régime tranquille est appelé Régime Laminaire, dans ce cas les filets liquides sont tous droit et parallèles entre eux. Puis si on augmente encore la vitesse la vitesse d'écoulement le filet coloré devient sinuose et instable ; c'est le Régime Transitoire. Et si on augmente encore plus la vitesse d'écoulement, le filet se rompt et se mélange avec l'écoulement ; c'est le Régime Turbulent.

Pour différencier les régimes d'écoulement entre eux, Reynolds à développé un nombre adimensionnel qui est le Nombre de Reynolds.

1-2- Types d'écoulements dans les conduites :

1-2-1. Ecoulement permanent

L'écoulement d'un fluide est dit permanent si le champ des vecteurs « vitesses » des particules fluides est constant dans le temps. Notons cependant que cela ne veut pas dire que le champ des vecteurs « vitesse » est uniforme dans l'espace. L'écoulement permanent d'un fluide parfait incompressible est le seul que nous aurons à considérer. ^[23]

Si les conditions d'écoulement, telle que la pression, la vitesse ou le débit en un point donné de la conduite restent invariables dans le temps, alors l'écoulement est dit permanent.

$$\frac{dv}{dt} = 0 ; \frac{dh}{dt} = 0 \quad (1-1)$$

1-2-2. Ecoulement non permanent

Dans les conditions à considérer; les effets d'inertie des masses fluides qui changent en fonction du temps (pression, vitesse, et débit), le régime d'écoulement subsistant dans le système est dit non permanent ou instationnaire. Ainsi, l'écoulement sera fonction de quatre variables indépendantes, à savoir (x,y etc) du point examiné et le temps (t).

$$\frac{dv}{dt} \neq 0 ; \frac{dh}{dt} \neq 0 \quad (1-2)$$

En réalité, un écoulement turbulent est toujours non permanent suite aux variations enregistrées dans la vitesse du fluide en un point donné. Cependant, en considérant la valeur moyenne de cette dernière sur une courte période, le régime sera considéré comme permanent si cette valeur moyenne est constante dans le temps ^[6]

1-2-3. Ecoulement uniforme

Si la vitesse du fluide est constante le long de la coordonnée privilégiée (x) de l'écoulement à différents instants, on dira que cet écoulement est uniforme.

$$\frac{dv}{dx} = 0 \quad (1-3)$$

L'écoulement uniforme se caractérise par une constance des paramètres hydrauliques. Ainsi la vitesse moyenne, le tirant d'eau et donc le débit restent invariables dans les différentes sections du canal le long de l'écoulement. Les lignes de courants sont rectilignes et parallèles et la pression verticale peut donc être considérée comme hydrostatique. La pente de fond, la pente de la surface libre et la pente de la ligne d'énergie sont parallèles. ^[19]

Equation de l'écoulement uniforme:

Soit **I** la pente du fond:

$$I = - \frac{dz}{dx} \quad (1-4)$$

La pente de la surface libre est aussi égale à **I** car la profondeur d'eau est constante dans l'espace.

Trois hypothèses doivent être satisfaites pour représenter de manière unique la charge en une section et la perte de charge entre deux sections:

- Pente de fond faible: pour supposer les profondeurs h comme verticales.
- Vitesse uniforme dans une section donnée.

- Ecoulement parallèle afin que le niveau piézométrique soit le même en tout point d'une section. ^[21]

1-2-4. Ecoulement non uniforme

Contrairement au cas précédent, lorsque la vitesse d'écoulement varie d'une section à l'autre, l'écoulement est dit non uniforme.

$$\frac{dv}{dx} \neq 0 \quad (1-5)$$

L'écoulement est non uniforme si les paramètres du canal tels que la vitesse, la hauteur, la rugosité, la section transversale changent d'une section à l'autre. Les changements peuvent être graduels ou lents (écoulement graduellement varié) ou rapides (brusquement varié).

Il est à noter que si le canal est uniforme (axe rectiligne, pente et section transversale constantes, rugosité homogène) la non uniformité de l'écoulement se produit au voisinage d'une singularité (déversoir, chute d'eau...).

On utilise le théorème de Bernoulli qui est le théorème de base de la mécanique des fluides pour l'étude des écoulements graduellement variés. Ce théorème repose sur le principe de la conservation de l'énergie, qui nous permet de comprendre les principes de base de l'écoulement graduellement varié.

On peut classer l'écoulement non uniforme en deux grandes catégories, suivant que la vitesse croît ou décroît dans le sens de l'écoulement (accélééré, décélééré). ^[21]

1-2-5. Fluide compressible :

Un fluide est dit compressible lorsque le volume occupé par une masse donnée varie en fonction de la pression extérieure. Les gaz sont des fluides compressibles.

Par exemple, l'air, l'hydrogène, le méthane à l'état gazeux, sont considérés comme des fluides compressibles.

1-2-6. Fluide incompressible :

Un fluide est dit incompressible lorsque le volume occupé par une masse donnée ne varie pas en fonction de la pression extérieure. Les liquides peuvent être considérés comme des fluides incompressibles (eau, huile, etc.) ^[28]

1-2-7. Ecoulement à surface libre :

La surface libre est l'interface entre l'air et l'eau. La pression y est égale le plus souvent à la pression atmosphérique. Les écoulements dans les canaux naturels (rivière) et artificiels (irrigation, assainissement) sont dans la plupart des cas, des écoulements à surface libre.^[19]

L'hydraulique à surface libre se distingue de l'hydraulique en charge par l'existence d'une surface libre, c'est-à-dire d'une surface où l'écoulement est en contact direct avec l'air : le gradient de pression ne peut plus être le moteur de l'écoulement, c'est la gravité qui joue plutôt ce rôle. L'hydraulique fluviale s'intéresse surtout aux écoulements dans les :

- Cours d'eau : rivières, fleuves, etc. ;
- Systèmes d'évacuation: réseaux d'assainissement pluvial, ainsi qu'aux différents aménagements retenus d'eau, usines de production d'électricité, ports, etc.

Ces écoulements se caractérisent par une hauteur d'écoulement petite par rapport à la longueur d'écoulement. On parle d'écoulement filaire ou unidimensionnel (x, t) .^[17]

1-2-8. Ecoulement dans les conduites :

a- Nature de conduites

La gamme de tuyaux présente au marché est très large de point de vue nature de la matière de fabrication, les plus utilisés sont:

- plastique (PVC et PEHD).
- métallique (tuyau en fonte, acier galvanisé).
- à base ciment (AC).

En revanche, cette diversité a vraiment son importance, qui réside dans les avantages que peut offrir chacun de ces tuyaux, mais en général le choix du type convenable est lié à des facteurs d'ordre technique et économique.

b- Types de conduites

- **Conduites a section constante**

Des conduites sont en série si elles sont connectées bout à bout de sorte que le fluide s'écoule continument sans branchement.

Le débit volumique à travers les conduites en série, reste constant. On traite les problèmes d'écoulement dans les conduites en série en cherchant une conduite équivalente ^[27]



Figure 1-1- Conduite en section constante ^[a]

- **Elargissement et rétrécissement dans une conduite**

La transition entre deux conduites de diamètre différent pour un écoulement en charge provoque une répartition transversale des vitesses longitudinales totalement différentes de celles vues précédemment.

On constate une zone où les veines liquides proches de la paroi se décolle sur une longueur L . Dans cette zone, on observe des recirculations à l'origine de perturbations importantes dans l'écoulement.

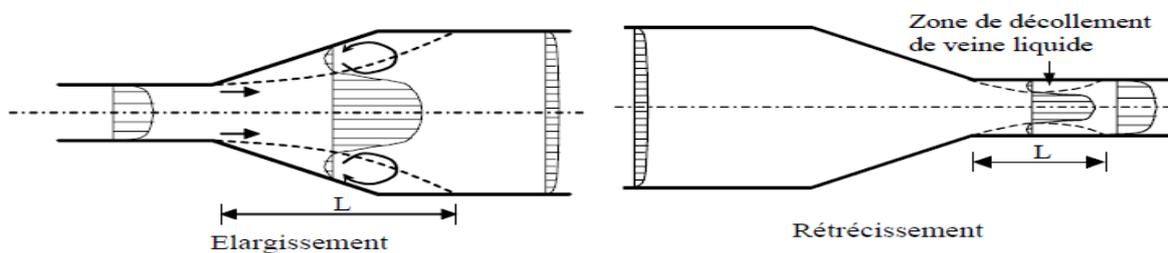


Figure 1-2- Elargissement et rétrécissement ^[f]

- **Jonction et bifurcation**

L'écoulement dans une jonction provoque une zone de séparation et une zone de mélange. L'écoulement de la branche dans laquelle la vitesse est la plus faible est entraînée

par l'eau provenant de la branche ayant une vitesse plus élevée. Ce phénomène est à l'origine de décélérations et d'accélération de l'écoulement dans les deux branches

L'écoulement dans une bifurcation se comporte de manière légèrement différente du fait de la dérivation latérale. Une zone de séparation apparaît également dans la branche latérale.^[19]

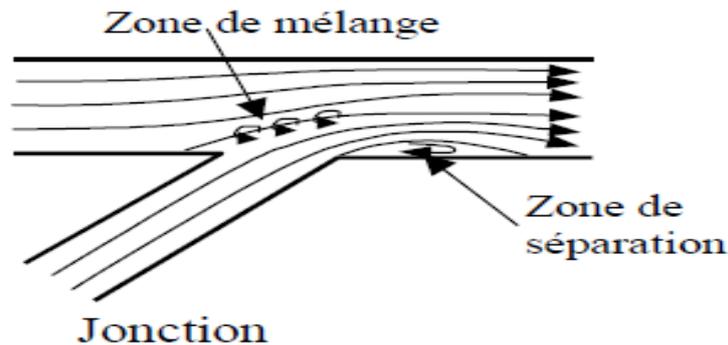


Figure 1-3- Jonction et bifurcation

1-3. Le nombre de Reynolds :

1-3-1. Définition

C'est Reynolds, un ingénieur anglais spécialiste de l'hydrodynamique qui a introduit ce nombre (1883) qui porte son nom et qui est constamment utilisé dans les calculs. Il est fonction de trois paramètres : Diamètre de la conduite ou largeur de la veine fluide, la vitesse relative par rapport à l'air et de la viscosité cinématique du fluide

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (1-6)$$

R_e : Le nombre de Reynolds

D : Diamètre de la conduite ou largeur de la veine fluide

V : la vitesse moyenne

ν : la viscosité cinématique du fluide

Le rôle du nombre de Reynolds R est de permettre le classement des écoulements comme suit :

- Ecoulement laminaire : $R < 2000$
- Ecoulement transition : $2000 < R < 2300$
- Ecoulement turbulent : $R > 2300$.^[14]

Les expériences avec différents canaux artificiels montrent que l'écoulement est turbulent dès que le nombre de Reynolds atteint des valeurs de 2000 ^[7]

1-3-2. La viscosité :

C'est une grandeur qui caractérise les frottements internes du fluide, autrement dit sa capacité à s'écouler. Elle caractérise la résistance d'un fluide à son écoulement lorsqu'il est soumis à l'application d'une force. C'est à dire, les fluides de grande viscosité résistent à l'écoulement et les fluides de faible viscosité s'écoulent facilement. Elle peut être mesurée par un viscosimètre à chute de bille, dans lequel on mesure le temps écoulé pour la chute d'une bille dans le fluide. ^[28]

a- La viscosité dynamique

La viscosité dynamique correspond à la contrainte de cisaillement qui accompagne l'existence d'un gradient de vitesse d'écoulement

On classe notamment les huiles mécaniques selon leur viscosité, en fonction des besoins de lubrification du moteur et des températures auxquelles l'huile sera soumise lors du fonctionnement du moteur.

Si le coefficient de viscosité dynamique des liquides est bien supérieur à celui des gaz, par contre le coefficient de viscosité cinématique est souvent inférieur.

Contrairement au cas des gaz, la viscosité des liquides diminue avec la température. Des formules empiriques ou semi-empiriques permettent de relier μ à T. C'est par exemple celle de Walther qui est applicable aux huiles de graissage

b- Viscosité cinématique

Beaucoup d'équations de la mécanique des fluides comprennent la relation μ / ρ qui a donné le nom spécial viscosité cinématique.

Le symbole utilisé pour identifier la viscosité cinématique est ν . L'unité de la viscosité cinématique est $[m^2/s]$. ^[23]

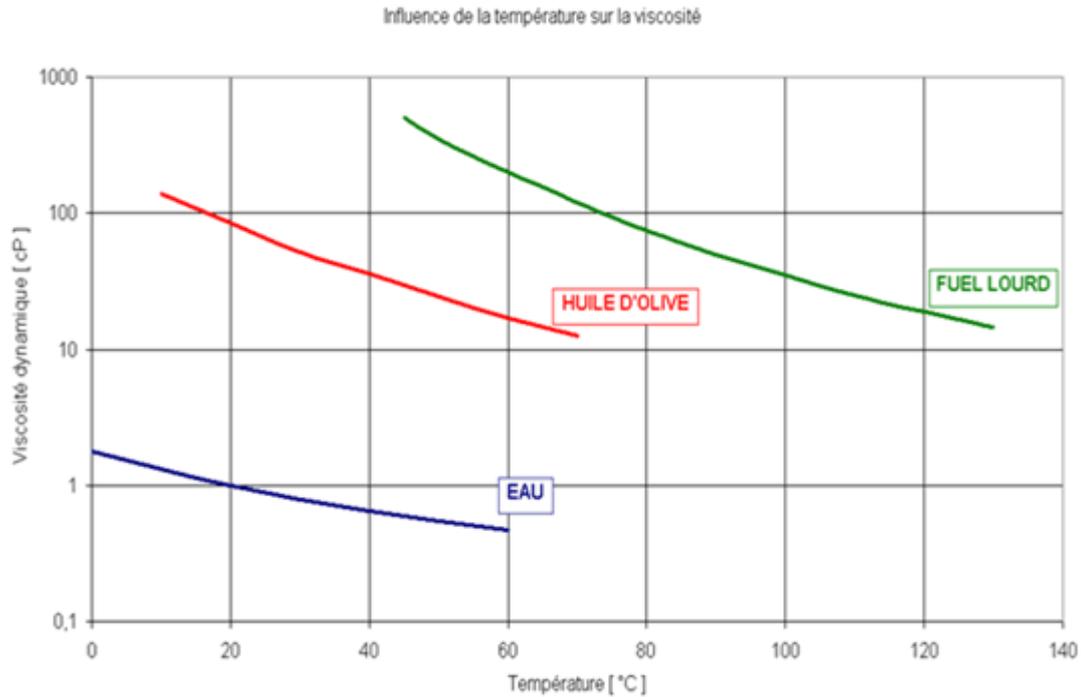


Figure 1-4- influence de la température sur la viscosité ^[d]

1-3-3. les régimes d'écoulement :

a- Régime laminaire et régime turbulent

L'écoulement d'un liquide dans une conduite cylindrique rectiligne dans laquelle arrive également un filet de liquide coloré permettant d'élucider l'existence de deux régimes d'écoulement : régime laminaire et régime turbulent :

- **Régime laminaire** : les filets fluides sont des lignes régulières, sensiblement parallèles entre elles.

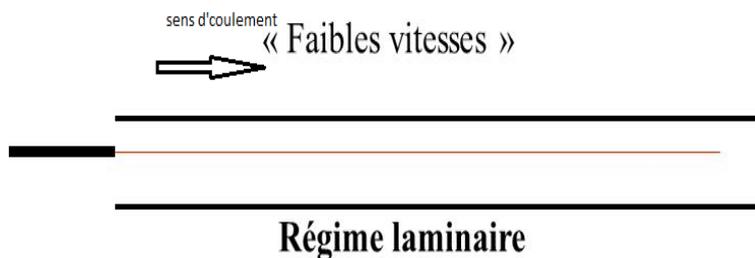


Figure 1-5 - Régime laminaire

- **Régime turbulent** : les filets fluides s'enchaînent, s'enroulent sur eux-mêmes.

D'autres études ont démontré qu'il existe encore des écoulements turbulents lisses et des écoulements turbulents rugueux. La limite entre ces différents types d'écoulements est évidemment difficile à appréhender. [23]

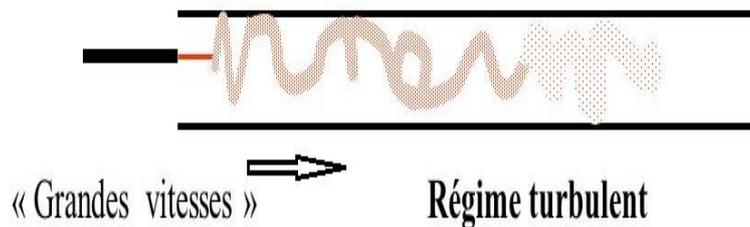


Figure 1-6 - Régime turbulent

La distinction entre les deux types de régime qui se produisent dans les liquides réels donne une idée des difficultés que soulèvent les analyses théoriques dans le domaine des liquides en mouvement. En effet, il existe deux types de mouvements des fluides:

- **le mouvement laminaire (visqueux)** : où chaque particule décrit une trajectoire bien définie et est animée d'une vitesse uniquement dans le sens de l'écoulement;
- **Le mouvement turbulent** où chaque particule, outre la vitesse dans le sens de l'écoulement, est animé d'un mouvement d'agitation avec des vitesses transversales à l'écoulement. La turbulence est essentiellement provoquée par la viscosité ainsi, le nombre de Reynolds **Re** est le paramètre caractéristique pour déterminer les régimes [2]

L'écoulement turbulent dans les conduites en charge est influencé par cinq paramètres le débit volume Q , le diamètre D , le gradient hydraulique J , la rugosité absolue ε et la viscosité cinématique ν . La vitesse, le coefficient de frottement f , le nombre de Reynolds, et la rugosité relative ε / D peuvent être déterminés à l'aide de ces paramètres de base. Dans les problèmes des écoulements en charge, quatre des cinq paramètres doivent être donnés et le cinquième peut être calculé à l'aide des relations existantes.

Remarque : Entre les deux régimes laminaire et turbulent il y a aussi un régime appelé transitoire

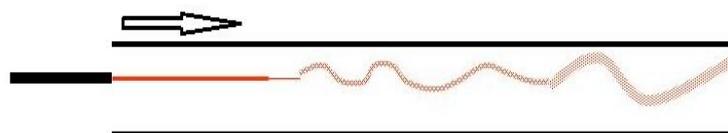


Figure 1-7 - Régime transitoire

b- Régime critique :

L'écoulement critique apparaît lorsque l'énergie de l'écoulement est minimale. L'énergie spécifique E est définie comme la somme de la hauteur d'écoulement et de la hauteur de l'énergie cinétique, dans une section "S" soit:

$$E = h \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (1-7)$$

Si l'on considère que la pente I est faible donc: $\cos \theta = 1$ de plus $\alpha = 1$, on obtient:

$$E = h + \frac{V^2}{2g} \quad (1-8)$$

Elle peut se mettre sous forme d'une fonction: $f(E, Q, h) = 0$

$$E = h + \frac{V^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2gS^2} \quad (1-9)$$

E : énergie spécifique

h : hauteur de l'écoulement

θ : l'angle de la pente

α : coefficient de Coriolis

V : la vitesse de l'écoulement

g : la gravité ^[1]

1-4- Coefficient de frottement pour un écoulement laminaire ou turbulent :**1-4-1. La rugosité :**

L'une des plus grandes difficultés lors de l'utilisation de la formule de Manning ou de Kutter, est la détermination du coefficient de rugosité "n". Pour les deux formules, les coefficients de rugosité "n" sont presque identiques lorsque les pentes sont supérieures à 0,0001 et que les rayons hydrauliques sont compris entre 0,3 m et 10 m. Les coefficients de rugosité "n" sont identiques pour les deux formules lorsque le rayon hydraulique égale 1.0 m. Le coefficient de rugosité "n" est influencé par plusieurs facteurs :

a- Rugosité du lit et des parois : La granulométrie du lit du cours d'eau ou de son périmètre mouillé influence le coefficient de rugosité. Plus la granulométrie est grossière, plus la rugosité est élevée.

b- Irrégularités dans le lit : Les irrégularités dans le fond du cours d'eau telles que les dépressions, les lames de sable occasionnées par l'envasement, l'ensablement ou de

l'affouillement dans le cours d'eau. Le matériel transporté dans le fond du cours d'eau par l'écoulement contribue à augmenter la rugosité.

- c- Changement dans la section :** Des changements graduels et peu fréquents dans la section du cours d'eau ont peu d'influence sur la rugosité générale du cours d'eau. Par contre, des changements fréquents et brusques influent sur l'écoulement d'une façon équivalente à une augmentation de la rugosité du cours d'eau

Tableau 1-1 : Coefficients de rugosité pour les tuyaux neufs ^[11]

Matériel	CHazenWilliams(universel)	e Darcy-Weisbach (mm)	n Manning(universel)
Fonte revêtue	130 – 140	0,25	0,012-0,015
Béton ou Revêt. de Béton	120-140	0,3-3	0,012-0,017
Fer Galvanisé	120	0,15	0,015-0,0170
Plastic	140-150	0,0015	0,011-0,015
Acier	140-150	0,03	0,015-0,017
Céramique	110	0,3	0,013-0,015

1-4-2. Les pertes de charges :

En raison de la viscosité des fluides réels, de la rugosité des parois intérieures des conduites et des accidents de parcours inhérents à un tracé fluidique, l'écoulement d'un fluide réel fait apparaître une dégradation de l'énergie interne du fluide, que l'on appelle : LES PERTES DE CHARGE

a- Pertes de charge linéaires :

Les pertes de charge linéaire sont dues d'une part, au frottement des filets d'eau en mouvements les uns sur les autres, et d'autre part, à leurs contact avec les parois internes tout au long de la conduite. ^[20]

Pour les évaluer, on a utilisé depuis un temps une multitude de formules plus ou moins complexes. La plupart d'entre elles ont été abandonnées peu à peu à cause de la difficulté de leur application. En revanche, d'autres auteurs ont essayé de les transformer en tables pour faciliter leur utilisation, mais les plus connues restent les suivantes :

1- Formule de WILLIAMS ET HAZEN :

C'est la plus utilisée aux Etats-Unis, et elle n'est applicable que pour les écoulements d'eau. Son expression est la suivante (Générale des eaux, 2009):

$$H_L = \frac{10,67 \cdot L \cdot Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot d^{4,871}} \quad (1-10)$$

H_L : perte de charge, en m

Q : débit, en m³/s

L : longueur du tuyau, en m

d : diamètre du tuyau, en m

C : coefficient de rugosité de Hazen-Williams

2- Formule de DARCY – WEIBACH :

La formule de Darcy-Weisbach est théoriquement la plus correcte et la plus largement utilisée en Europe ^[11]. Elle s'applique à tous les régimes d'écoulement et à tous les liquides.

$$J = \frac{16\lambda Q^2}{2g\pi^2 D^5} = \frac{\lambda V^2}{2gD} \quad (1-11)$$

J : gradient de pertes de charges en m/km

V : vitesse de l'écoulement en m/s

g : accélération de la pesanteur $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

D : diamètre en m

λ : coefficient de frottement.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}}\right) \quad (1-12)$$

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

ε : la rugosité absolue

D : diamètre de conduite

$\frac{\varepsilon}{D}$: la rugosité relative

Après avoir calculé le gradient de pertes de charge il suffit de le multiplier par la longueur de la conduite :

$$\Delta H = J.L \quad (1-13)$$

ΔH : perte de charge en m

J : gradient de pertes de charge m/km

L : longueur de la conduite en km ^[16]

3- Formule de Chezy-Manning :

La formule de Chezy-Manning est généralement utilisée pour les écoulements dans les canaux découverts (écoulement à surface libre) et pour les grands diamètres .

$$H_L = \frac{10,29.L.Q^2 n^2}{d^{5,33}} \quad (1-14)$$

H_L = perte de charge, en m

Q = débit, en m³/s

L = longueur du tuyau, en m

d = diamètre du tuyau, en m

n = coefficient de rugosité de Manning ^[11]

b- Pertes de charge singulière :

Tous les accessoires montés dans le réseau (coudes, vannes, tés, cône de réduction,...), les déviations et les changements de diamètre sont à l'origine des pertes de charge singulière. Leur influence n'est plus comparée aux pertes de charge linéaire, et par conséquent on les estime à 10% de celles-ci

$$\Delta H_s = 10\% \Delta H_L \quad (1-15)$$

ΔH_s : pertes de charge singulière

ΔH_L = pertes de charge linéaire

Cas de l'écoulement laminaire : $Re < 2000$

Dans ce cas on peut montrer que le coefficient λ est uniquement fonction du nombre de Reynolds Re ; l'état de la surface n'intervient pas et donc λ ne dépend pas de de la rugosité R (noté aussi k), ni de la nature de la tuyauterie. ^[22]

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad \text{avec} \quad \text{Re} = \frac{VD}{\nu}$$

La nature laminaire, de transition et de turbulence de l'écoulement est représentée par le diagramme de MOODY qui montre la variation du nombre de Reynolds Re en fonction du coefficient de frottement f et de la rugosité relative \mathcal{E}/D . Sur ce diagramme nous pouvons observer clairement que la zone de turbulence de l'écoulement est partagée en deux sous zones, respectivement, zone de transition et zone de pleine turbulence (ou zone du régime turbulent rugueux).

Diagramme de Moody

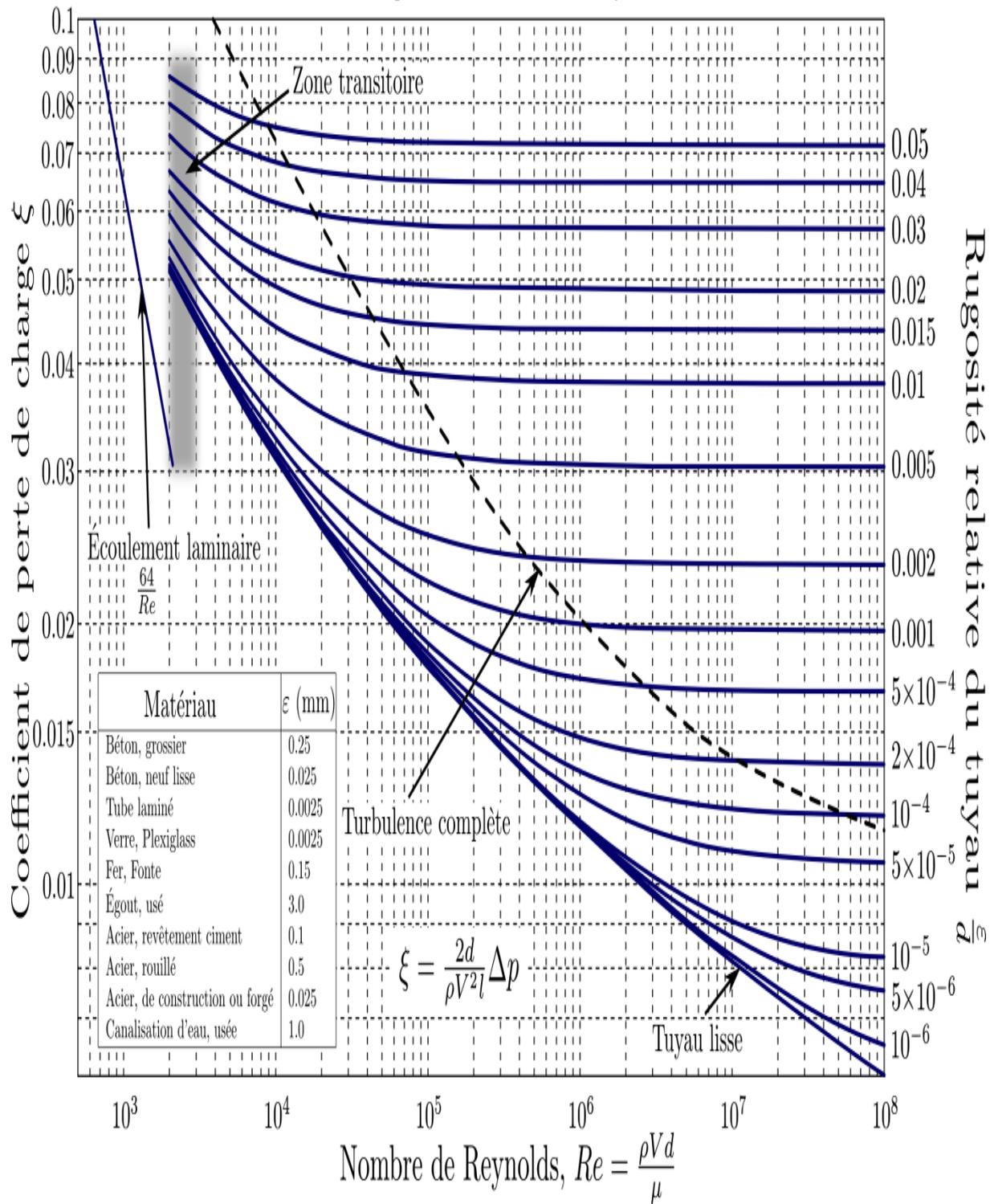


Figure 1-8 - le diagramme de MOODY [e]

1-4-3. La coefficient de frottement

Il est d'un grand intérêt pratique d'exprimer le coefficient de frottement de la relation de *Swamee et Jain* :

La formule de *Swamee et Jain* (1976) est la relation la plus utilise de nos jours.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{R^{0.9}}\right) \quad (1-16)$$

Le caractère explicite de la relation (1-16) est évident. Le coefficient de frottement peut être en effet directement évalué à partir des valeurs connues de ε / D et de R .

Cependant, pour définir le domaine de validité de la relation (1-16), il serait intéressant de la comparer à la formule exacte de *Colebrook-White* exprimé par la relation (1-17). Une brève comparaison effectuée et les résultats sont reportés sur la figure I.9. Nous avons en fait représenté, dans un système d'axes de coordonnées à divisions logarithmiques, les écarts $(\Delta f) / f$ calculés entre les relations (1-16) et (1-17).^[3]

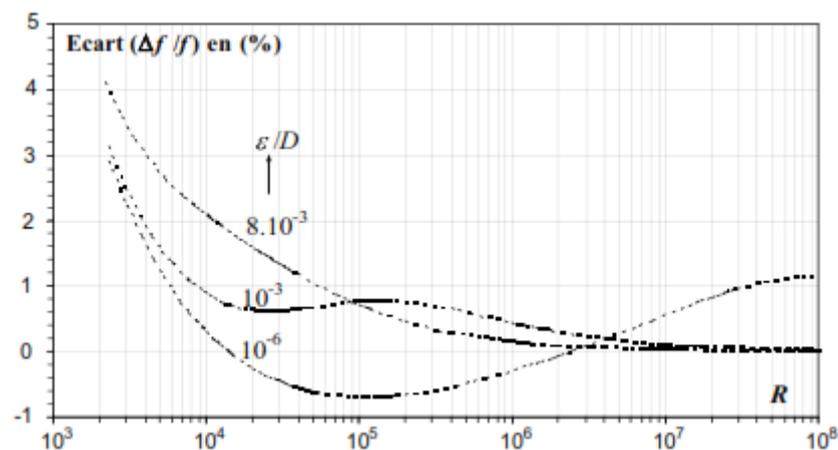


Figure 1-9 – Comparaison entre la relation 1-16 et 1-17

pour les écoulements turbulents dans les conduites et canaux. Pour les conduites circulaires de diamètre D , Colebrook (1937) a proposé de calculer le coefficient de frottement f par la relation :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}}\right) \quad (1-17)$$

ε : la rugosité absolue

D : diamètre de conduite

$\frac{\varepsilon}{D}$: la rugosité relative

f : coefficient de frottement

Où ε désigne le diamètre des grains de sable utilisés lors de l'expérimentation, que l'on note également par ε ou rugosité absolue, et R est le nombre de Reynolds. La relation est applicable dans l'ensemble du domaine turbulent (lisse, transition et turbulent rugueux) et pour 2300 . Compte tenu de son caractère implicite vis-à-vis de f , la relation de coefficient de frottement nécessite un procédé itératif

L'application de la relation a été généralisée aux canaux ouverts (Silberman et al., 1963) de diverses formes géométriques et de divers types de rugosité. Elle s'écrit alors sous la forme :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon}{aRe} + \frac{b}{Re \sqrt{f}}\right) \quad (1-18)$$

$$12 < a < 15 \quad \text{et} \quad 0 < b < 6$$

ε : la rugosité absolue

Re : le nombre de Reynolds

f : coefficient de frottement

Dans la relation (1-17) et lorsque le nombre de Reynolds R prend des valeurs élevées ($R \rightarrow \infty$), le coefficient de frottement f ne dépend que de la rugosité relative $\frac{\varepsilon}{D}$

L'écoulement est alors hydrauliquement rugueux. Lorsque $\varepsilon/D \rightarrow 0$, le coefficient de frottement f ne dépend que du nombre de Reynolds R et l'écoulement est alors

hydrauliquement lisse. Lorsque le coefficient de frottement f dépend à la fois de ε/D et de R , l'écoulement est dans la zone d'écoulement de transition, zone intermédiaire entre l'écoulement hydrauliquement lisse et hydrauliquement rugueux.

En introduisant le rayon hydraulique $R_h = D/4$, le nombre de Reynolds R s'écrit : R_h

$$Re = \frac{V (4R_h)}{\nu} \quad (1-19)$$

Re : le nombre de Reynolds

V : la vitesse moyenne de l'écoulement m

R_h : le rayon hydraulique

ν : la viscosité cinématique du liquide en écoulement.

- FORMULE DE ACHOUR ET BEDJAOUI

La formule proposée par *Achour et Bedjaoui* (2006) constitue la solution exacte à la relation implicite (1-17) de *Colebrook-White*. Le coefficient de frottement est exprimé sous la forme explicite suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{10.04}{\bar{R}}\right) \quad (1-20)$$

ε : la rugosité absolue

D : diamètre de conduite

$\frac{\varepsilon}{D}$: la rugosité relative

f : coefficient de frottement

Le paramètre figurant dans la relation (1-18) représente le nombre de *Reynolds* caractérisant l'écoulement dans un modèle rugueux de référence. Celui-ci \bar{R} est une conduite circulaire sous pression de rugosité relative arbitrairement choisie égale $3,7 \cdot 10^{-2}$. La relation exacte de \bar{R} n'a pas encore été établie, mais une relation approchée a cependant été proposée par *Achour et Bedjaoui* (2006) qui montrent que \bar{R} est fonction de la rugosité relative ε/D et du nombre de *Reynolds* R caractérisant l'écoulement dans la conduite considérée :

$$\bar{R} = 2R \left[-\log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.5}{R^{0.9}}\right) \right]^{-1} \quad (1-19)$$

Ainsi, lorsque la rugosité relative ε/D et le nombre de *Reynolds* R sont les paramètres connus du problème, l'usage simultané des relations (1-18) et (1-19) permet alors d'évaluer de manière explicite le coefficient de frottement f recherché. Les relations (1-18) et (1-19) sont applicables dans tout le domaine de l'écoulement turbulent et couvrent ainsi l'ensemble du diagramme de *Moody*.

Afin de mieux apprécier la validité de la relation (1-18), celle-ci a été comparée à la

relation (1-17) de *Colebrook-White* pour $R \geq 2300$ et $0 \leq \varepsilon/D$. Les résultats issus de cette comparaison ont été graphiquement représentés dans le système d'axes de coordonnées à divisions semi logarithmiques de la figure 1.10. ^[3]

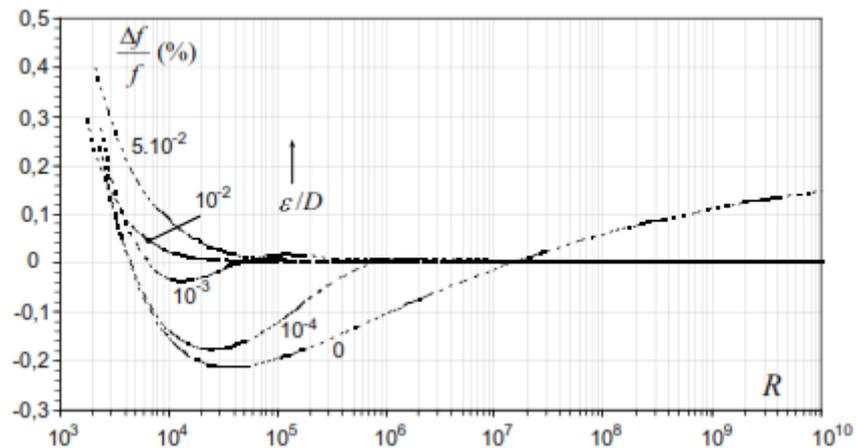


Figure 1-10 – Comparaison entre la relation 1-16 et 1-17

1-5- Conclusion :

La première chapitre de ce mémoire nous a permis d'observer les différents régimes d'un écoulement : laminaire, transitoire, turbulent. Ensuite nous avons pu mettre en relation ce phénomène avec la théorie de Reynolds qui sert à déterminer par le calcul le régime dans lequel un écoulement se trouve. Ainsi lors de la troisième partie du chapitre, nous avons découvert le principe de coefficient de frottement pour un écoulement laminaire ou turbulent.

Chapitre 2 :

La dimension caractéristique des conduites a section circulaire

Chapitre 2 : La dimension caractéristique des conduites a section circulaire.

2-1-Introduction :

Les matériaux constitutifs d'une canalisation dépendent de la nature et de l'état des produits qu'elle doit acheminer.

- Les oléoducs et gazoducs sont le plus souvent construits à partir de tubes d'acier soudés bout à bout, revêtus extérieurement voire intérieurement et généralement enfouis dans le sol ;
- Les saumoducs ainsi que les oléoducs et les gazoducs de transport à haute pression sont construits avec des tubes d'acier soudés bout à bout et revêtus ;
- Les gazoducs de distribution de gaz moyenne pression sont généralement en polyéthylène haute densité (PEHD) ;
- Les canalisations d'eau, jadis maçonnées ou en fonte grise à graphite lamellaire, sont aujourd'hui en fonte grise à graphite sphéroïdal (également appelée fonte ductile), en polychlorure de vinyle, le polyéthylène mais également en béton armé ou en acier ;
- Les canalisations d'évacuation des eaux usées sont en polychlorure de vinyle, en polyéthylène ou en grès cérame
- Les canalisations de produits alimentaires sont souvent en acier inoxydable ;
- Les conduites en PRV.

Certaines canalisations en plomb ou en amiante-ciment sont sources de produits toxiques durant leur fabrication, mise en œuvre et fin de vie ou recyclage.

Les risques majeurs de défaillance physique des pipelines sont liés aux agressions (volontaires ou involontaires) et à la corrosion interne ou externe.

La corrosion externe est maintenant freinée par des dispositifs de protection cathodique et parfois par l'injection de substances (orthophosphates par exemple) destinés à déposer un film protecteur.

2-2- Le matériau de construction des conduites :

2 -2-1- Conduites en Amiante ciment

Ciment-amiante. Les diamètres nominaux des conduites en *amiante-ciment* existantes varient de 100 à 900 mm Ces conduites peuvent aussi bien servir à l'évacuation des eaux usées par gravité et à l'évacuation sous pression (conduite de refoulement de pompe) qu'à la distribution de l'eau de consommation. Elles existent en cinq classes structurales : 1500. 2400. 3300. 4000 et 5000. À cause de leur fragilité, on n'utilise plus que rarement les conduites de ciment-amiante, Deux classes sont fabriquées en Algérie. Classe 20 et Classe30. ^[28]



Figure 2-1- Conduites en Amiante ciment ^[g]

2 -2-2- Conduite en fonte :

Ce type de conduite a été imposé à titre de sécurité pour la traversée d'un bassin hydrominéral par un collecteur d'eau usée. Les raffineries de pétrole utilisent couramment ce type de matériel pour évacuer les eaux usées industrielles. ^[9]



Figure 2-2 - Conduites en fonte ^[b]

2 -2-3- Conduites en pvc :

Le tuyau en PVC s'utilise principalement pour les évacuations des eaux usées où il a supplanté le plomb. Ces tubes sont d'un usage pratique par leur légèreté et leur relative facilité à mettre en œuvre. Les caractéristiques du (PVC) sont:

- Matière plastifiée de synthèse polychlorure de vinyle (CH₂-CHCL) ;
- Imperméable
- Facilite du transport et du branchement ;
- Légère de poids ;
- Résistance aux gazs chimiques ;
- La longueur minimale est de 6 ml ;
- Capacité hydraulique maximale
- Etanchéité
- Résistance mécanique aux chocs, à l'abrasion et à la corrosion
- Recyclable ^[13]



Figure 2-3 - Conduites en pvc ^[j]

2 -2-4- Conduits en pehd :

Les conduits en PEHD sont fabriqués à partir de pétrole, sont plus résistantes et plus solides que celles en PVC. Ce type de tuyauterie est semi-cristallin et a tendance à être plus dispendieux que les tuyaux en PVC. De plus, les tuyaux en PEHD sont capables de résister à des températures plus élevées, les joints offrent une plus grande résistance à la pression, et sont plus résistantes à l'abrasion que les conduites en PVC. Elles ont la capacité d'amortir et d'absorber les chocs, ce qui a pour effet de minimiser les variations de puissance lorsque le système est utilisé. Ce qui fait qu'elles sont souvent un choix de prédilection pour les applications souterraines. [28]



Figure 2-4 - Conduites en pehd [c]

2 -2-5- Conduites en acier :

Un acier est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone (dans des proportions comprises entre 0,02 % et 2 % en masse pour le carbone). [25]

C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal qu'on appelle « acier ». Il existe d'autres métaux à base de fer qui ne sont pas des aciers, comme les fontes et les ferroalliages. [15]



Figure 2-5 – Conduites en Acier [h]

2-3- Les diamètres des conduites selon le matériau de construction :**Tableau 2-1-** Les diamètres des conduites en pvc : ^[5] tubes Pvc série 10 bars

Vitesse m/s	Diamètre 45,2 / 50 section 0,001605 m ²		Diamètre 57 / 63 section 0,002552 m ²		Diamètre 67,8 / 75 section 0,003610 m ²		Diamètre 81,4 / 90 section 0,005204 m ²	
	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml
0,1	0,16	0,00049	0,255	0,00036	0,361	0,00029	0,52	0,00023
0,15	0,241	0,001	0,383	0,00074	0,542	0,00059	0,781	0,00047
0,2	0,321	0,00166	0,51	0,00123	0,722	0,00098	1,041	0,00078
0,25	0,401	0,00247	0,638	0,00183	0,903	0,00147	1,301	0,00116
0,3	0,481	0,00343	0,766	0,00255	1,083	0,00204	1,561	0,00162
0,35	0,562	0,00453	0,883	0,00337	1,264	0,0027	1,821	0,00214
0,4	0,642	0,00578	1,021	0,00429	1,444	0,00344	2,082	0,00273
0,45	0,722	0,00716	1,148	0,00533	1,625	0,00427	2,342	0,00339
0,5	0,802	0,00869	1,276	0,00646	1,805	0,00519	2,602	0,00412
0,55	0,883	0,01035	1,403	0,0077	1,986	0,00618	2,862	0,00491
0,6	0,963	0,01216	1,531	0,00983	2,166	0,00726	3,122	0,00577
0,65	1,043	0,0141	1,659	0,0105	2,347	0,00843	3,383	0,00669
0,7	1,123	0,01619	1,786	0,01285	2,527	0,00967	3,643	0,00768
0,75	1,203	0,01841	1,914	0,0137	2,708	0,011	3,903	0,00874
0,8	1,284	0,02077	2,041	0,01546	2,888	0,01242	4,163	0,00986
0,85	1,364	0,02326	2,169	0,01732	3,069	0,01391	4,423	0,01105
0,9	1,444	0,02589	2,297	0,01929	3,249	0,01549	4,684	0,01231
0,95	1,524	0,02867	2,424	0,02135	3,43	0,01715	4,944	0,01363
1	1,605	0,03157	2,552	0,02352	3,61	0,01889	5,204	0,01501
1,05	1,635	0,03462	2,679	0,02579	3,791	0,02071	5,464	0,01646
1,1	1,726	0,0378	2,807	0,02816	3,971	0,02262	5,724	0,01798
1,15	1,846	0,04111	2,935	0,03063	4,152	0,02461	5,985	0,01956
1,2	1,926	0,04457	3,062	0,03321	4,332	0,02668	6,245	0,0212
1,25	2,006	0,04816	3,19	0,03588	4,513	0,02883	6,505	0,02291
1,3	2,086	0,05189	3,317	0,03866	4,693	0,03106	6,765	0,02469

Vitesse m/s	Diamètre 45,2 / 50 section 0,001605 m ²		Diamètre 57 / 63 section 0,002552 m ²		Diamètre 67,8 / 75 section 0,003610 m ²		Diamètre 81,4 / 90 section 0,005204 m ²	
	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml
1,35	2,166	0,05575	3,445	0,04154	4,874	0,03338	7,025	0,02653
1,4	2,246	0,5975	3,572	0,04452	5,054	0,03577	7,286	0,02844
1,45	2,327	0,06388	3,7	0,04761	5,235	0,03825	7,546	0,03041
1,5	2,407	0,06816	3,828	0,05079	5,415	0,04081	7,806	0,03244
1,55	2,487	0,07256	3,955	0,05408	5,596	0,04345	8,066	0,03454
1,6	2,567	0,07711	4,083	0,05747	5,777	0,04618	8,326	0,03671
1,65	2,648	0,08179	4,21	0,06098	5,957	0,04898	8,587	0,03894
1,7	2,728	0,0866	4,338	0,06455	6,138	0,05187	8,847	0,04124
1,75	2,808	0,09156	4,466	0,06824	6,318	0,05483	9,107	0,0436
1,8	2,888	0,09664	4,593	0,07203	6,499	0,05788	9,367	0,04602
1,85	2,968	0,10187	4,721	0,07593	6,679	0,06101	9,627	0,04851
1,9	3,049	0,10729	4,848	0,07992	6,86	0,06423	9,888	0,05107
1,95	3,129	0,11272	4,976	0,08402	7,04	0,06752	10,148	0,05369
2	3,209	0,11835	5,103	0,08822	7,221	0,0709	10,408	0,05637
2,05	3,289	0,12412	5,231	0,09252	7,401	0,07435	10,668	0,05912
2,1	3,37	0,13003	5,359	0,09692	7,582	0,07789	10,928	0,06193
2,15	3,45	0,13606	5,486	0,10142	7,762	0,08151	11,189	0,06481
2,2	3,53	0,14224	6,614	0,10603	7,943	0,08521	11,449	0,06776
2,25	3,61	0,14855	5,741	0,11073	8,123	0,08899	11,709	0,07076
2,3	3,691	0,155	5,869	0,11554	8,304	0,09286	11,969	0,07384
2,35	3,771	0,16158	5,997	0,12045	8,484	0,0968	12,229	0,07697
2,4	3,851	0,1683	6,124	0,12546	8,665	0,10083	12,49	0,08018
2,45	3,931	0,17515	6,252	0,13057	8,845	0,10494	12,75	0,08344

Vitesse m/s	Diamètre 99,4 / 110 section 0,007760 m ²		Diamètre 113,0 / 125 section 0,010028 m ²		Diamètre 125,6 / 140 section 0,012583 m ²		Diamètre 144,6 / 160 section 0,016422 m ²	
	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml
0,1	0,776	0,00018	1,103	0,00015	1,259	0,00013	1,642	0,00011
0,15	1,164	0,00036	1,504	0,00031	1,888	0,00027	2,463	0,00023
0,2	1,552	0,00061	2,116	0,00051	2,518	0,00045	3,284	0,00038
0,25	1,94	0,0009	2,507	0,00077	3,147	0,00067	4,105	0,00056
0,3	2,328	0,00126	3,009	0,00107	3,776	0,00093	4,927	0,00079
0,35	2,716	0,00166	3,51	0,00142	4,406	0,00123	5,748	0,00104
0,4	3,104	0,00212	4,011	0,00181	5,035	0,00157	6,569	0,00133
0,45	3,492	0,00264	4,513	0,00225	5,605	0,00195	7,39	0,00165
0,5	3,88	0,0032	5,014	0,00273	6,294	0,00237	8,211	0,00201
0,55	4,268	0,00382	5,516	0,00325	6,923	0,00282	9,032	0,00239
0,6	4,656	0,00449	6,017	0,00382	7,553	0,00332	9,853	0,00281
0,65	5,044	0,00521	6,519	0,00444	8,182	0,00385	10,674	0,00327
0,7	5,432	0,00598	7,12	0,0051	8,812	0,00443	11,495	0,00375
0,75	5,82	0,00681	7,522	0,0058	9,441	0,00504	12,316	0,00427
0,8	6,208	0,00768	8,023	0,00655	10,07	0,00568	13,138	0,00482
0,85	6,596	0,00861	8,524	0,00734	10,7	0,00637	13,959	0,0054
0,9	6,984	0,00958	9,026	0,00817	11,329	0,00709	14,78	0,00602
0,95	7,372	0,01061	9,527	0,00905	11,959	0,00785	15,601	0,00666
1	7,76	0,01169	10,029	0,00997	12,586	0,00865	16,422	0,00734
1,05	8,148	0,01282	10,53	0,01093	13,217	0,00949	17,243	0,00805
1,1	8,536	0,014	11,032	0,01194	13,847	0,01037	18,064	0,00879
1,15	8,924	0,01524	11,533	0,01299	14,476	0,01128	18,885	0,00957
1,2	9,312	0,01652	12,034	0,01408	15,106	0,01223	19,706	0,01037

Vitesse m/s	Diamètre 99,4 / 110 section 0,007760 m ²		Diamètre 113,0 / 125 section 0,010028 m ²		Diamètre 125,6 / 140 section 0,012583 m ²		Diamètre 144,6 / 160 section 0,016422 m ²	
	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml	Débit l/s	Perte de charge m/ml
1,25	9,7	0,01785	12,536	0,01522	15,735	0,01322	20,527	0,01121
1,3	10,088	0,01924	13,037	0,0164	16,364	0,01424	21,348	0,01208
1,35	10,476	0,02067	13,539	0,01762	16,994	0,0153	22,17	0,01298
1,4	10,864	0,02216	14,04	0,01889	17,623	0,0164	22,991	0,01392
1,45	11,252	0,02369	14,542	0,0202	18,253	0,01754	23,812	0,01488
1,5	11,64	0,02528	15,043	0,02155	18,882	0,01872	24,633	0,01588
1,55	12,028	0,02692	15,544	0,02295	19,511	0,01993	25,454	0,01691
1,6	12,416	0,02861	16,046	0,02439	20,141	0,02118	26,275	0,01797
1,65	12,804	0,03034	16,547	0,02587	20,77	0,02247	27,096	0,01906
1,7	13,192	0,03213	17,049	0,0274	21,399	0,02379	27,917	0,02019
1,75	13,58	0,03397	17,55	0,02896	22,029	0,02516	28,738	0,02134
1,8	13,968	0,03586	18,052	0,03058	22,658	0,02656	29,559	0,02253
1,85	14,356	0,0378	18,553	0,03223	23,288	0,028	30,38	0,02375
1,9	14,744	0,0398	19,054	0,03393	23,917	0,02947	31,202	0,025
1,95	15,132	0,04184	19,556	0,03567	24,546	0,03098	32,023	0,02629
2	15,52	0,04393	20,057	0,03746	25,176	0,03253	32,844	0,0296
2,05	15,908	0,04607	20,559	0,03928	25,805	0,03412	33,665	0,02895
2,1	16,296	0,04827	21,06	0,04115	26,435	0,03575	34,486	0,03033
2,15	16,684	0,05051	21,562	0,04307	27,064	0,03741	35,307	0,03174
2,2	17,072	0,0528	22,063	0,04502	27,693	0,03911	36,128	0,03318
2,25	17,46	0,05515	22,564	0,04702	28,323	0,04985	36,949	0,03466
2,3	17,848	0,05755	23,066	0,04907	28,952	0,04262	37,77	0,03616
2,35	18,236	0,05999	23,567	0,05115	29,582	0,04443	38,591	0,0377
2,4	18,624	0,06249	24,069	0,05328	30,211	0,04628	39,412	0,03927
2,45	19,012	0,06503	24,57	0,05545	30,84	0,04817	40,234	0,04087

Tableau 2-2- Les diamètres des conduites en Fonte : ^[5]

Vitesse m	D de conduite 0.04 m Section de conduite 0.0012366 m ²			D de conduite 0.05 m Section de conduite 0.0019635 m ²			D de conduite 0.06 m Section de conduite 0.00282744 m ²			D de conduite 0.08 m Section de conduite 0.0050265 m ²		
	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s
	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³	
0,01			0,0125			0,0196			0,0283			0,0503
0,05			0,0628			0,0982			0,1414			0,2513
0,1			0,01256			0,1963			0,2827	0,000256		0,5027
0,15			0,1884			0,2945	0,000153		0,4241	0,00052		0,754
0,2	0,002115		0,2513	0,00159		0,3927	0,001249		0,5655	0,000863	0,001438	1,0053
0,25	0,003138		0,314	0,002358		0,4909	0,001856		0,7069	0,00128	0,002213	1,2566
0,3	0,004329		0,3769	0,00248		0,589	0,002557	0,004713	0,8482	0,001775	0,003154	1,508
0,35	0,005694		0,4396	0,004281	0,008237	0,6872	0,003364	0,006354	0,9896	0,002336	0,004263	1,7593
0,4	0,007242		0,5024	0,005451	0,01069	0,7854	0,004227	0,008262	1,131	0,002994	0,005539	2,0106
0,45	0,008966	0,018576	0,5652	0,006708	0,013458	0,8836	0,005289	0,010406	1,2723	0,003702	0,006969	2,262
0,5	0,010861	0,022868	0,628	0,008115	0,016587	0,9817	0,006412	0,012803	1,4137	0,004467	0,008568	2,5133
0,55	0,012895	0,02764	0,6908	0,009668	0,020046	1,0799	0,007633	0,015466	1,5551	0,005339	0,010347	2,7646
0,6	0,015116	0,032856	0,7538	0,01134	0,023826	1,1781	0,008961	0,018374	1,6965	0,006274	0,01029	3,0159
0,65	0,017493	0,038512	0,8164	0,013118	0,027924	1,2763	0,010388	0,02153	1,8378	0,00728	0,014396	3,2672
0,7	0,20072	0,044652	0,8792	0,015013	0,032374	1,3744	0,011907	0,024955	1,9792	0,008353	0,01668	3,5186
0,75	0,022793	0,051212	0,942	0,01703	0,037128	1,4726	0,013523	0,028612	2,1206	0,00945	0,01912	3,7699
0,8	0,025647	0,058227	1,0048	0,019213	0,04221	1,5708	0,015223	0,032522	2,2619	0,010646	0,021733	4,0212
0,85	0,028681	0,065742	1,0678	0,021509	0,047658	1,669	0,017034	0,036682	2,4033	0,01191	0,024515	4,2726
0,9	0,031845	0,073703	1,1304	0,023948	0,053429	1,7671	0,018939	0,041084	2,5447	0,013249	0,027454	4,3239
0,95	0,03519	0,08211	1,1932	0,026496	0,059524	1,8653	0,020968	0,045771	2,6861	0,014651	0,03059	4,7752
1	0,038546	0,090981	1,2566	0,029155	0,065955	1,9635	0,023064	0,050715	2,8274	0,016119	0,033895	5,0266
1,05	0,042143	0,100299	1,3194	0,031916	0,07271	2,0617	0,025575	0,055909	2,9688	0,017644	0,037367	5,2779
1,1	0,046021	0,110061	1,3822	0,034782	0,079801	2,1598	0,027556	0,061361	3,1102	0,019241	0,041011	5,5292
1,15	0,050052	0,120327	1,4451	0,03775	0,087229	2,258	0,029941	0,067073	3,2516	0,020906	0,044828	5,7805

Vitesse m	D de conduite 0.04 m Section de conduite 0.0012366 m ²			D de conduite 0.05 m Section de conduite 0.0019635 m ²			D de conduite 0.06 m Section de conduite 0.00282744 m ²			D de conduite 0.08 m Section de conduite 0.0050265 m ²		
	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s
	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³	
1,2	0,054224	0,131019	1,5079	0,040884	0,09498	2,3562	0,032418	0,073033	3,3929	0,022635	0,048811	6,0319
1,25	0,058535	0,142157	1,5707	0,044152	0,103054	2,4544	0,034975	0,079244	3,5343	0,024426	0,052961	6,2832
1,3	0,063011	0,15376	1,6335	0,047549	0,111465	2,5525	0,037615	0,085709	3,6757	0,026273	0,057283	6,5345
1,35	0,067647	0,165809	1,6963	0,05109	0,1202	2,6507	0,040392	0,092426	3,817	0,028181	0,061772	6,7858
1,4	0,072428	0,178322	1,7592	0,054745	0,129271	2,7489	0,043257	0,099401	3,9584	0,030145	0,066434	7,0372
1,45	0,077423	0,191281	1,822	0,058509	0,138665	2,8471	0,046204	0,106624	4,0998	0,032175	0,071261	7,2885
1,5	0,08257	0,204704	1,8846	0,062386	0,148396	2,9452	0,049255	0,114106	4,2412	0,034261	0,076262	7,5398
1,55	0,087865	0,218591	1,9474	0,066373	0,158463	3,0434	0,052392	0,121848	4,3825	0,036478	0,081436	7,7911
1,6	0,093293	0,232907	2,0105	0,070459	0,168841	3,1416	0,055606	0,129828	4,5239	0,038753	0,086769	8,0425
1,65	0,098874	0,247704	2,0733	0,074658	0,179568	3,2397	0,058908	0,138076	4,6653	0,041093	0,092283	8,2937
1,7	0,104567	0,262931	2,1362	0,078953	0,190606	3,3379	0,062308	0,146364	4,8066	0,04349	0,091955	8,3451
1,75	0,110597	0,278639	2,199	0,08342	0,201993	3,4361	0,065796	0,15532	4,948	0,045952	0,103807	8,7965
1,8	0,116671	0,294775	2,2608	0,08802	0,213691	3,5343	0,069359	0,164314	5,0894	0,048489	0,109818	9,0478
1,85	0,122893	0,311375	2,3236	0,092732	0,225725	3,6324	0,073003	0,173368	5,2308	0,051089	0,116003	9,2998
1,9	0,12926	0,32844	2,3864	0,097557	0,238006	3,7306	0,076759	0,18308	5,3721	0,053751	0,12226	9,5505
1,95	0,135764	0,345951	2,4499	0,102487	0,25079	3,8288	0,080625	0,192841	5,5135	0,056472	0,128888	9,8018
2	0,14241	0,363926	2,5132	0,107526	0,263821	3,927	0,084576	0,202861	5,6549	0,059253	0,13558	10,0531
2,05	0,149244	0,382347	2,576	0,112669	0,277175	4,0251	0,088607	0,213129	5,7963	0,062118	0,142463	10,3044
2,1	0,156222	0,401232	2,6388	0,11792	0,290865	4,1233	0,092722	0,223656	5,9376	0,065046	0,149479	10,5558
2,15	0,163337	0,420564	2,7016	0,123271	0,304879	4,2215	0,096914	0,234432	6,079	0,068032	0,15668	10,8071
2,2	0,170586	0,440342	2,7645	0,128772	0,319217	4,3197	0,101266	0,245457	6,2204	0,071078	0,164049	11,0384
2,25	0,178048	0,460601	2,8273	0,134336	0,333904	4,4179	0,10571	0,256749	6,3617	0,074187	0,171597	11,3097
2,3	0,185708	0,48129	2,8888	0,140046	0,348901	4,516	0,110234	0,268282	6,5031	0,07735	0,179304	11,561
2,35	0,193518	0,502442	2,9516	0,145863	0,364235	4,6142	0,114844	0,280072	6,6445	0,080574	0,187184	11,8124
2,4	0,201476	0,524058	3,0158	0,151786	0,379905	4,7124	0,11954	0,292122	6,7859	0,083857	0,195238	12,0637
2,45	0,209576	0,546121	3,0786	0,15787	0,395899	4,8106	0,124318	0,30442	6,9272	0,087196	0,203457	12,315
2,5	0,217815	0,56863	3,1412	0,164058	0,412217	4,9087	0,129176	0,316967	7,0686	0,090591	0,211842	12,5664
3	0,307923	0,818833	3,7698	0,233035	0,593597	5,8903	0,18311	0,456436	8,4823	0,128731	0,305056	15,0795
3,5	0,414432	1,114518	4,3981	0,31219	0,807948	6,8723	0,24611	0,621258	9,896	0,172875	0,415213	17,5928
4	0,536204	1,455703	5,0264	0,404498	1,055283	7,854	0,318732	0,811442	11,3098	0,224268	0,542321	20,106

Vitesse m	D de conduite 0.1 m Section de conduite 0.007854 m ²			D de conduite 0.125 m Section de conduite 0.0012272 m ²			D de conduite 0.15 m Section de conduite 0.0176725 m ²			D de conduite 0.2 m Section de conduite 0.031416 m ²		
	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s
	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³	
0.01			0.0785			0.1227			0.1767			0.3142
0.05			0.3927			0.6316	0.000034		0.8836	0.000024	0.00003	1.5708
0.1	0.000191		0.7854	0.000144	0.000207	1.2272	0.000114	0.000163	1.7671	0.000079	0.00011	3.1416
0.15	0.000388	0.000604	1.1781	0.000291	0.000449	1.8408	0.000323	0.000352	2.6507	0.000162	0.000238	4.7124
0.2	0.000643	0.001054	1.5708	0.000486	0.000783	2.4544	0.000387	0.000612	3.5343	0.00027	0.000413	6.2832
0.25	0.000956	0.001622	1.9635	0.000726	0.001204	3.068	0.000578	0.0000941	4.4179	0.0004	0.000636	7.854
0.3	0.001335	0.002312	2.3562	0.001009	0.001712	3.6816	0.000801	0.001336	5.3014	0.000557	0.000903	9.4248
0.35	0.001763	0.00312	2.7489	0.00133	0.002311	4.2952	0.001059	0.00181	6.185	0.000736	0.001217	10.9956
0.4	0.002248	0.00406	3.1416	0.001701	0.003004	4.9088	0.001351	0.002347	7.0686	0.00094	0.001581	12.5664
0.45	0.002786	0.005111	3.5343	0.002104	0.003785	5.5224	0.001674	0.002948	7.9522	0.001169	0.001989	14.1372
0.5	0.00337	0.006281	3.927	0.002548	0.004656	6.136	0.002031	0.003622	8.8357	0.001421	0.002443	15.706
0.55	0.004009	0.007584	4.3197	0.003037	0.005618	6.7496	0.002421	0.004374	9.7193	0.001692	0.002945	17.2788
0.6	0.004707	0.009006	4.7124	0.00356	0.006668	7.3632	0.002842	0.005187	10.6029	0.001986	0.003491	18.8496
0.65	0.005447	0.010543	5.1051	0.00412	0.007804	7.9768	0.003293	0.00607	11.4865	0.002298	0.00408	20.4204
0.7	0.006245	0.012215	5.4978	0.004726	0.009037	8.5904	0.003777	0.007028	12.37	0.002642	0.004734	21.9912
0.75	0.00709	0.014	5.8905	0.005369	0.010356	9.204	0.004289	0.008054	13.2536	0.002996	0.005433	23.562
0.8	0.007985	0.015912	6.2832	0.006059	0.011769	9.8176	0.004834	0.009155	14.1372	0.003376	0.006181	25.1328
0.85	0.008931	0.017951	6.6759	0.006765	0.013279	10.4312	0.005411	0.010329	15.0208	0.003784	0.006979	26.7036
0.9	0.00993	0.020108	7.0686	0.007531	0.014878	11.0448	0.006017	0.011572	15.9043	0.004212	0.007824	28.27444
0.95	0.01098	0.022402	7.4613	0.008332	0.016367	11.6584	0.006652	0.012883	16.7879	0.004658	0.008717	29.8452
1	0.01208	0.024822	7.854	0.009166	0.018349	12.272	0.007316	0.014268	17.6715	0.005122	0.009659	31.416
1.05	0.013233	0.027365	8.2467	0.010047	0.020228	12.8856	0.008009	0.015722	18.555	0.005619	0.010648	32.9868
1.1	0.014431	0.030033	8.6394	0.010962	0.022201	13.4992	0.008732	0.017247	19.4386	0.006139	0.011686	34.5576
1.15	0.015673	0.032829	9.0321	0.011913	0.024268	14.1228	0.009487	0.018852	20.3222	0.00668	0.012774	36.1284
1.2	0.016955	0.035746	9.4248	0.012901	0.026424	14.7264	0.010271	0.020527	21.2058	0.007241	0.013909	37.6992

Vitesse m	D de conduite 0.1 m Section de conduite 0.007854 m ²			D de conduite 0.125 m Section de conduite 0.0012272 m ²			D de conduite 0.15 m Section de conduite 0.0176725 m ²			D de conduite 0.2 m Section de conduite 0.031416 m ²		
	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s
	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³	
1.25	0.018301	0.038785	9.8175	0.013921	0.02867	15.84	0.011086	0.022273	22.0893	0.007821	0.015092	39.27
1.3	0.019692	0.04195	10.2102	0.014988	0.03101	15.9536	0.011933	0.024091	22.9729	0.008424	0.016324	40.8408
1.35	0.021142	0.045237	10.6029	0.016089	0.03344	16.5672	0.012813	0.025978	23.8665	0.009047	0.017603	42.4116
1.4	0.022637	0.048651	10.9956	0.017231	0.035964	17.1808	0.013726	0.027939	24.7401	0.009695	0.018931	43.9824
1.45	0.024197	0.052187	11.3883	0.018406	0.038578	17.7944	0.014667	0.02997	25.6237	0.010362	0.020302	45.5532
1.5	0.025803	0.055849	11.781	0.019615	0.041285	18.408	0.015642	0.032072	26.5072	0.011049	0.021737	47.124
1.55	0.027456	0.059638	12.1737	0.020857	0.044086	19.0216	0.016646	0.034248	27.3908	0.011756	0.023206	48.6948
1.6	0.029149	0.063544	12.5664	0.02214	0.046973	19.6352	0.017684	0.036491	28.2744	0.01248	0.024726	50.2656
1.65	0.03089	0.067581	12.9591	0.023458	0.049957	20.2488	0.018752	0.038809	29.158	0.013232	0.026297	51.8364
1.7	0.032671	0.071735	13.3518	0.024805	0.053028	20.8624	0.019846	0.041195	30.0415	0.014001	0.027913	53.4072
1.75	0.034514	0.076021	13.7445	0.0262	0.056196	21.476	0.02097	0.043656	30.9251	0.01479	0.029581	54.978
1.8	0.036397	0.080423	14.1372	0.027625	0.05945	22.0896	0.022129	0.046184	31.8087	0.015597	0.031294	56.5488
1.85	0.038324	0.084952	14.5299	0.029097	0.062798	22.7032	0.023317	0.048785	32.6922	0.016424	0.033056	58.1196
1.9	0.040296	0.089608	14.9226	0.030588	0.06624	22.3168	0.024533	0.051459	33.5758	0.017268	0.034868	59.6904
1.95	0.042347	0.094285	15.3153	0.032126	0.069772	23.9304	0.025777	0.054202	34.4594	0.018141	0.036727	61.2612
2	0.044446	0.09929	15.7081	0.033714	0.073397	24.544	0.027062	0.057018	35.343	0.019032	0.038635	62.832
2.05	0.046589	0.104315	16.1007	0.035334	0.077112	25.1576	0.028374	0.059905	36.2265	0.019942	0.040591	64.4028
2.1	0.048777	0.109468	16.4934	0.03699	0.080921	25.7712	0.029716	0.062862	37.1101	0.020882	0.042596	65.9736
2.15	0.05101	0.114742	16.8861	0.038678	0.08482	26.3848	0.031085	0.065892	37.9937	0.021841	0.044648	67.5444
2.2	0.053285	0.120138	17.2788	0.040437	0.088808	26.9984	0.032497	0.068991	38.8772	0.022831	0.046748	69.1152
2.25	0.055608	0.125665	17.6715	0.042236	0.093894	27.612	0.033941	0.072165	39.7608	0.023845	0.048899	70.686
2.3	0.05797	0.13131	18.0642	0.044068	0.097067	28.2256	0.035411	0.075406	40.6444	0.024873	0.051095	72.2568
2.35	0.060377	0.137081	18.4569	0.04696	0.101333	28.8592	0.036911	0.078728	41.5379	0.025924	0.05334	73.8276
2.4	0.062828	0.142978	18.8496	0.04789	0.105692	29.4538	0.038441	0.082107	42.4118	0.026981	0.054593	75.3984
2.45	0.06532	0.148998	19.2423	0.049868	0.110142	30.0664	0.039998	0.085564	43.2951	0.028071	0.055233	76.9692
2.5	0.065853	0.155139	19.635	0.051862	0.114682	30.68	0.041581	0.08909	44.1787	0.02918	0.05611	78.54
3	0.066133	0.223402	23.562	0.07358	0.165143	36.816	0.059023	0.128291	53.0415	0.0414	0.066927	94.248
3.5	0.067259	0.301073	27.489	0.098802	0.224777	42.952	0.079296	0.174618	61.8503	0.055757	0.11832	109.956
4	0.067989	0.0307158	31.416	0.128004	0.293587	49.088	0.102483	0.228073	70.686	0.072051	0.122775	125.684

Vitesse m	D de conduite 0.25 m Section de conduite 0.0490875 m ²			D de conduite 0.3 m Section de conduite 0.070686 m ²			D de conduite 0.35 m Section de conduite 0.0962115 m ²			D de conduite 0.4 m Section de conduite 0.125664 m ²		
	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s
	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³	
0,01			0,04909			0,7069			0,9621			1,2566
0,05	0,000017	0,000022	2,4544	0,000014	0,000018	3,5343	0,000011	0,000014	4,8106	0,00001	0,000012	6,2832
0,1	0,00006	0,000081	4,9087	0,000048	0,000064	7,0686	0,000039	0,000052	9,6211	0,000033	0,000044	12,5664
0,15	0,000122	0,000175	7,3631	0,000097	0,000139	10,6029	0,000081	0,000112	14,4317	0,000068	0,000094	18,8496
0,2	0,000204	0,000305	9,8175	0,000163	0,000241	14,1372	0,000135	0,000195	19,2423	0,000115	0,000164	25,1328
0,25	0,000303	0,000469	12,2719	0,000244	0,00037	17,6715	0,000203	0,000298	20,0529	0,000172	0,000253	31,416
0,3	0,000424	0,000668	14,7262	0,000339	0,000527	21,2058	0,000282	0,000425	28,8634	0,000239	0,00036	37,6992
0,35	0,000563	0,000902	17,1806	0,00045	0,000711	24,7401	0,000374	0,000574	33,674	0,000317	0,000485	43,9824
0,4	0,00072	0,001173	19,635	0,000574	0,000925	28,2744	0,000477	0,000747	38,4846	0,000406	0,000631	50,2656
0,45	0,00089	0,001477	22,0894	0,000712	0,001164	31,8087	0,000594	0,000941	43,2952	0,000506	0,000795	56,5488
0,5	0,00108	0,001815	24,5437	0,000864	0,001431	35,343	0,000721	0,001157	48,1057	0,000615	0,000978	62,832
0,55	0,001286	0,002188	26,9981	0,001031	0,001725	38,8773	0,00086	0,001396	52,9163	0,000732	0,00118	69,1152
0,6	0,001512	0,002594	29,4525	0,001215	0,002046	42,4116	0,001009	0,001657	57,7269	0,000858	0,0014	75,3984
0,65	0,001753	0,003034	31,9069	0,001411	0,002393	45,9459	0,001172	0,001942	62,5375	0,000996	0,00164	81,6816
0,7	0,002013	0,003511	34,3612	0,001622	0,002769	49,4802	0,001348	0,002252	67,348	0,001146	0,001899	87,9648
0,75	0,002294	0,004024	36,8156	0,001845	0,00317	53,0145	0,001533	0,002584	72,1586	0,001305	0,002177	94,248
0,8	0,002586	0,004573	39,27	0,002079	0,003603	56,5488	0,00173	0,00294	76,9692	0,001472	0,002473	100,5312
0,85	0,002896	0,005159	41,7244	0,002326	0,004064	60,0831	0,001936	0,00332	81,7798	0,001648	0,00279	106,8144
0,9	0,003226	0,005781	44,1787	0,002588	0,004556	63,6174	0,002153	0,003722	86,5903	0,001832	0,003128	113,0976
0,95	0,003571	0,00644	46,6331	0,002866	0,005076	67,1517	0,002383	0,004147	91,4009	0,002026	0,003485	119,3808
1	0,003935	0,007136	49,0875	0,003157	0,005624	70,686	0,002626	0,004595	96,2115	0,002233	0,003861	125,664
1,05	0,004315	0,007867	51,5418	0,003461	0,0062	74,2203	0,002878	0,005065	101,0221	0,002447	0,004257	131,9472
1,1	0,004712	0,008634	53,9962	0,003778	0,006804	77,7546	0,003142	0,005559	105,8326	0,002672	0,004672	138,2304
1,15	0,005123	0,009437	56,4506	0,00411	0,007438	81,2889	0,003417	0,006077	110,6432	0,002905	0,005106	144,5138
1,2	0,005555	0,010276	58,905	0,004453	0,008099	84,8232	0,003701	0,006616	115,4538	0,003147	0,00556	150,7968

Vitesse m	D de conduite 0.25 m Section de conduite 0.0490875 m ²			D de conduite 0.3 m Section de conduite 0.070686 m ²			D de conduite 0.35 m Section de conduite 0.0962115 m ²			D de conduite 0.4 m Section de conduite 0.125664 m ²		
	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s
	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³	
1.25	0.006002	0.01115	61.3593	0.004808	0.008787	88.3575	0.003998	0.007179	120.2644	0.003399	0.006033	157.08
1.3	0.006464	0.01206	63.8137	0.005177	0.009504	91.8918	0.004304	0.007765	125.0749	0.003659	0.006525	163.3632
1.35	0.006944	0.013005	66.2681	0.005561	0.010249	95.4261	0.004623	0.008373	129.8855	0.003929	0.007037	169.6465
1.4	0.007441	0.013986	68.7225	0.005957	0.011022	98.9604	0.004952	0.009005	134.6961	0.004208	0.007567	175.9297
1.45	0.007956	0.015002	71.1769	0.006365	0.011823	102.4947	0.005291	0.00966	139.5067	0.004498	0.008117	182.2128
1.5	0.008486	0.016055	73.6312	0.006785	0.012653	106.029	0.005642	0.010338	144.3172	0.004796	0.008687	188.4966
1.55	0.009033	0.017144	76.0856	0.007217	0.013511	109.5633	0.006004	0.011039	149.1278	0.005107	0.009276	194.7791
1.6	0.009593	0.018267	78.54	0.007659	0.014397	113.0976	0.006375	0.011762	153.9384	0.005425	0.009884	201.0623
1.65	0.010169	0.019428	80.9944	0.008123	0.015311	116.6319	0.00676	0.012509	158.749	0.005725	0.010512	207.3456
1.7	0.010759	0.020622	83.4487	0.008602	0.016252	120.1662	0.007155	0.013278	163.5595	0.006087	0.011158	213.5286
1.75	0.011364	0.021854	85.9031	0.00909	0.017223	123.7005	0.00756	0.014071	168.3701	0.006431	0.011825	219.9125
1.8	0.011989	0.02312	88.3575	0.009595	0.018221	127.2348	0.007979	0.014886	173.1807	0.006783	0.012509	226.1958
1.85	0.012629	0.024422	90.8118	0.010106	0.019247	130.7691	0.008403	0.015725	177.9913	0.007143	0.013214	232.4782
1.9	0.013285	0.02576	93.2662	0.010635	0.020302	134.3034	0.008842	0.016586	182.8018	0.007516	0.013938	238.7612
1.95	0.013954	0.027133	95.7206	0.01117	0.021384	137.8377	0.009286	0.01747	187.6124	0.007898	0.014681	245.0447
2	0.014639	0.028543	98.175	0.011723	0.022495	141.372	0.009745	0.018378	192.423	0.008288	0.015444	251.3284
2.05	0.015345	0.029988	100.6293	0.012288	0.023633	144.9063	0.010214	0.019309	197.2336	0.008686	0.016226	257.6113
2.1	0.016067	0.031469	103.0837	0.012865	0.024801	148.4406	0.010693	0.020262	202.0441	0.009092	0.017027	263.8944
2.15	0.016804	0.032985	105.5381	0.013461	0.025996	151.9749	0.011188	0.021239	206.8547	0.009513	0.017848	269.1774
2.2	0.017564	0.034537	107.9924	0.01407	0.027218	155.5092	0.011693	0.022237	211.6653	0.009942	0.018687	276.4601
2.25	0.018341	0.036126	110.4468	0.014691	0.02847	159.0435	0.012209	0.023261	216.4759	0.01038	0.019547	282.7445
2.3	0.019133	0.037748	112.9012	0.015324	0.029749	162.5778	0.012734	0.024305	221.2864	0.010826	0.020425	289.0278
2.35	0.01994	0.039407	116.3888	0.015989	0.031037	166.1131	0.01337	0.025373	226.097	0.01128	0.021333	296.3105
2.4	0.020763	0.041103	117.8099	0.016627	0.032393	169.6464	0.013816	0.026465	230.9076	0.011744	0.02224	301.5936
2.45	0.0216	0.042833	120.2643	0.017296	0.033756	173.1807	0.014371	0.027579	235.7182	0.012215	0.023176	307.8761
2.5	0.022465	0.044598	122.7187	0.017988	0.035148	176.715	0.014945	0.028716	240.5287	0.012695	0.024131	314.1603
3	0.031873	0.064222	147.2625	0.02549	0.050613	212.058	0.021167	0.041351	288.6345	0.017971	0.034749	376.9927
3.5	0.042907	0.087413	171.8063	0.034341	0.06889	247.4012	0.028543	0.056283	336.7403	0.024273	0.047297	439.8246
4	0.055455	0.114173	196.35	0.044527	0.089979	282.744	0.036908	0.073513	384.846	0.031296	0.061276	502.6569

Vitesse m	D de conduite 0.45 m Section de conduite 0.1590435 m ²		Débit en l/s	D de conduite 0.5 m Section de conduite 0.19635 m ²		Débit en l/s	D de conduite 0.6 m Section de conduite 0.282744 m ²		Débit en l/s	D de conduite 0.8 m Section de conduite 0.502656 m ²		Débit en l/s
	Charge de longueur de conduite			Charge de longueur de conduite			Charge de longueur de conduite			Charge de longueur de conduite		
	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³	K=2.10 ⁻³	K=2.10 ⁻³	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³				
0.01			1.5904			1.9635			2.8274			5.0265
0.05	0.000008	0.00001	7.9522	0.000007	0.000009	9.8175	0.000006	0.000007	14.1372	0.000004	0.000005	25.1328
0.1	0.000029	0.000037	15.9043	0.000025	0.000033	19.635	0.00002	0.000026	28.2744	0.000014	0.000018	50.2656
0.15	0.000059	0.000081	23.8565	0.000052	0.00007	29.4525	0.000041	0.000056	42.4116	0.000029	0.000039	75.3984
0.2	0.000099	0.000141	31.8087	0.000088	0.000123	39.27	0.000068	0.000095	56.5488	0.000049	0.000067	100.5312
0.25	0.000149	0.000217	39.7609	0.000131	0.000189	49.0875	0.000105	0.000149	70.686	0.000074	0.000103	125.664
0.3	0.000207	0.000309	47.713	0.000182	0.00027	58.905	0.000146	0.000212	84.8232	0.000103	0.000147	150.7968
0.35	0.000275	0.000418	55.6652	0.000242	0.000365	68.7225	0.000193	0.000287	98.9604	0.000137	0.000198	175.9296
0.4	0.000352	0.000543	63.6174	0.00031	0.000474	78.54	0.000247	0.000372	113.0976	0.000174	0.000258	201.0624
0.45	0.000438	0.000684	71.5696	0.000386	0.000597	88.3575	0.000307	0.000469	127.2348	0.000216	0.000324	226.1952
0.5	0.000533	0.000841	79.5217	0.000469	0.000735	98.175	0.000372	0.000577	141.372	0.000262	0.000398	251.328
0.55	0.000636	0.001016	87.4739	0.00056	0.000887	107.9925	0.000443	0.000697	155.5092	0.000312	0.000481	276.4608
0.6	0.000746	0.001206	95.4261	0.000658	0.001053	117.81	0.000521	0.000827	169.6464	0.000367	0.000537	301.5936
0.65	0.000865	0.001412	103.3783	0.000763	0.001233	127.6275	0.000605	0.000969	183.7836	0.000425	0.000637	326.7264
0.7	0.000994	0.001634	111.3304	0.000875	0.001427	137.445	0.000695	0.001122	197.9208	0.000489	0.000776	351.8592
0.75	0.001131	0.001872	119.2826	0.000995	0.001635	147.2625	0.00079	0.001287	212.058	0.000557	0.00089	376.992
0.8	0.001276	0.002127	127.2348	0.001123	0.001856	157.08	0.00089	0.001463	226.1952	0.000628	0.001012	402.1248
0.85	0.001429	0.002399	135.187	0.001258	0.002093	166.8975	0.000996	0.001651	240.3324	0.000703	0.001142	427.2576
0.9	0.001589	0.002688	143.1391	0.0014	0.002343	176.715	0.001107	0.001849	254.4696	0.000781	0.001279	452.3904
0.95	0.001757	0.002991	151.0913	0.001548	0.002606	186.5325	0.001221	0.002059	268.6068	0.000864	0.001425	477.5232
1	0.001936	0.003313	159.0435	0.001704	0.002885	196.35	0.001341	0.002279	282.744	0.000952	0.001579	502.656
1.05	0.002122	0.003652	166.9957	0.001869	0.003183	206.1675	0.001472	0.002513	296.8812	0.001044	0.001742	527.7888
1.1	0.002316	0.004008	174.9478	0.00204	0.003491	215.985	0.001609	0.002758	311.0184	0.001139	0.00191	552.9216
1.15	0.00252	0.004382	182.9	0.002219	0.003815	225.8025	0.00175	0.003014	325.1556	0.001228	0.002088	578.0544
1.2	0.00273	0.004771	190.8522	0.002405	0.004154	235.62	0.001897	0.003282	339.2928	0.001341	0.002274	603.1872

Vitesse m	D de conduite 0.45 m Section de conduite 0.1590435 m ²			D de conduite 0.5 m Section de conduite 0.19635 m ²			D de conduite 0.6 m Section de conduite 0.282744 m ²			D de conduite 0.8 m Section de conduite 0.502656 m ²		
	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s
	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³	
1.25	0.002948	0.005177	198.8044	0.002596	0.004508	245.4375	0.002049	0.003561	353.43	0.001448	0.002167	628.32
1.3	0.003174	0.005599	206.7565	0.002794	0.0004876	255.255	0.002208	0.003852	367.5672	0.001559	0.002668	653.4528
1.35	0.003408	0.006038	214.7087	0.003	0.005258	265.0725	0.002372	0.004154	381.7044	0.001673	0.002877	678.5856
1.4	0.00365	0.006494	222.6609	0.003213	0.005654	274.89	0.002541	0.004467	395.8416	0.001791	0.003095	703.7184
1.45	0.003901	0.006965	230.6131	0.003436	0.006065	284.7075	0.002715	0.004792	409.9788	0.001914	0.003319	728.8512
1.5	0.004162	0.007454	238.5652	0.003665	0.006491	294.525	0.002896	0.005128	424.116	0.002041	0.003552	753.984
1.55	0.00443	0.00796	246.5174	0.003902	0.006931	304.3425	0.003082	0.005476	438.2532	0.002174	0.003793	779.1168
1.6	0.004706	0.008481	254.4696	0.004144	0.007385	314.16	0.003273	0.005835	452.3904	0.002309	0.004042	804.2496
1.65	0.00499	0.00902	262.4218	0.004393	0.007854	323.9775	0.003469	0.006205	466.5276	0.002449	0.004298	829.3824
1.7	0.00528	0.009574	270.3739	0.004649	0.008337	333.795	0.003673	0.006587	480.6648	0.002593	0.004563	854.5152
1.75	0.005578	0.010147	278.3261	0.004911	0.008835	343.6125	0.003879	0.00698	494.802	0.00274	0.004835	879.648
1.8	0.005883	0.010734	286.2783	0.005179	0.009347	353.43	0.00409	0.007384	508.9392	0.00289	0.005115	904.7808
1.85	0.006194	0.011338	294.2305	0.005456	0.009873	363.2475	0.004309	0.0078	523.0764	0.003044	0.005403	929.9185
1.9	0.006518	0.01196	302.1826	0.005741	0.010414	373.065	0.004533	0.008228	537.2136	0.003202	0.005699	955.0469
1.95	0.006848	0.012598	310.1348	0.006031	0.01097	382.8825	0.004761	0.008666	551.3508	0.003363	0.006003	980.1792
2	0.007186	0.013252	318.087	0.006328	0.01154	392.7	0.004995	0.009117	565.488	0.00353	0.006315	1005.312
2.05	0.00753	0.013923	326.0392	0.006632	0.012124	402.5175	0.005234	0.009578	579.6252	0.0037	0.006635	1030.4448
2.1	0.007887	0.014611	333.9913	0.006946	0.012723	412.335	0.005477	0.010051	593.7624	0.003875	0.006963	1055.5776
2.15	0.008252	0.015315	341.9435	0.007266	0.013336	422.1525	0.005729	0.010536	607.8996	0.004052	0.007298	1080.7104
2.2	0.008263	0.016035	349.8957	0.007593	0.013963	431.97	0.005986	0.011031	622.0368	0.004234	0.007641	1105.8432
2.25	0.009003	0.016773	357.8479	0.007927	0.014605	441.7875	0.006249	0.011539	636.174	0.004419	0.007993	1130.976
2.3	0.009389	0.017526	365.8	0.008267	0.015261	451.005	0.006516	0.012057	650.3112	0.004611	0.008352	1156.1084
2.35	0.009783	0.018296	373.7522	0.008613	0.015932	461.4225	0.006788	0.012597	664.4484	0.004806	0.008719	1181.241
2.4	0.010184	0.019083	381.5044	0.008906	0.016617	471.24	0.007066	0.013128	678.5856	0.005006	0.009091	1206.3744
2.45	0.010593	0.019887	389.6566	0.009325	0.017317	481.0573	0.007353	0.013681	692.7228	0.005209	0.009477	1231.5072
2.5	0.011008	0.020706	397.6087	0.009697	0.01803	490.875	0.007645	0.014245	706.86	0.005416	0.009867	1256.64
3	0.015607	0.029817	477.1505	0.013762	0.025964	589.05	0.010841	0.020513	848.2325	0.007695	0.014209	1507.9681
3.5	0.021035	0.040585	556.6523	0.018519	0.03534	687.2254	0.01461	0.02792	989.6042	0.010357	0.01914	1759.2968
4	0.027034	0.053009	636.1745	0.023976	0.046158	785.4223	0.018893	0.036467	1130.976	0.013405	0.025261	2010.624

Vitesse m	D de conduite 1 m Section de conduite 0.785398 m ²		D de conduite 1.25 m Section de conduite 1.22719 m ²		D de conduite 1.5 m Section de conduite 1.76715 m ²		D de conduite 1.75 m Section de conduite 2.405281 m ²					
	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s			
	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³				
0,01			7,8539			12,2715			17,671			24,053
0,05	0,000003	0,000004	39,2694	0,000002	0,000003	61,3575	0,000002	0,000002	88,355	0,000002	0,000002	120,264
0,1	0,00001	0,000013	78,5389	0,000008	0,00001	122,715	0,000006	0,000008	176,71	0,000005	0,000007	240,528
0,15	0,000022	0,000029	117,8083	0,000017	0,000022	184,0725	0,000013	0,000018	265,065	0,000011	0,000014	360,792
0,2	0,000037	0,000051	157,0778	0,000028	0,000038	245,43	0,000023	0,00003	353,42	0,000019	0,000025	481,056
0,25	0,000056	0,00078	196,3472	0,000043	0,000059	306,7875	0,000034	0,000047	441,775	0,000028	0,000038	601,32
0,3	0,000078	0,000111	235,6167	0,00006	0,000084	368,145	0,000048	0,000067	530,13	0,00004	0,000055	721,584
0,35	0,000103	0,00015	274,8861	0,000079	0,000113	429,5025	0,000063	0,00009	618,485	0,000053	0,000074	841,848
0,4	0,000132	0,000195	314,1556	0,000101	0,000147	490,86	0,000081	0,000117	706,84	0,000068	0,000096	962,112
0,45	0,000164	0,000246	353,425	0,000125	0,000185	552,2175	0,000101	0,000148	795,195	0,000084	0,000121	1082,376
0,5	0,0002	0,000302	392,6945	0,000152	0,000227	613,5755	0,000122	0,000182	883,55	0,000102	0,000149	1202,641
0,55	0,000239	0,000365	431,9639	0,000182	0,000274	674,9325	0,000146	0,000219	971,905	0,000122	0,000181	1322,905
0,6	0,00028	0,000433	471,2334	0,000213	0,000326	736,29	0,000172	0,00026	1060,26	0,000144	0,000215	1443,169
0,65	0,000325	0,000507	510,5028	0,000248	0,000382	797,6475	0,0002	0,000305	1148,615	0,000167	0,000251	1563,433
0,7	0,000372	0,000587	549,7723	0,000285	0,000443	859,005	0,00023	0,000353	1236,97	0,000191	0,000291	1683,697
0,75	0,000423	0,000673	589,0417	0,000324	0,000509	920,3625	0,000261	0,000405	1325,325	0,000217	0,000334	1803,961
0,8	0,000478	0,000765	628,3112	0,000366	0,000579	981,72	0,000295	0,000461	1413,68	0,000246	0,00038	1924,225
0,85	0,000536	0,000863	667,5806	0,000409	0,000653	1043,0775	0,00033	0,000521	1502,035	0,000276	0,000429	2044,489
0,9	0,000596	0,000966	706,8501	0,000456	0,000732	1104,435	0,000368	0,000584	1590,39	0,000306	0,000481	2164,753
0,95	0,00066	0,001076	746,1195	0,000505	0,000815	1165,7925	0,000406	0,000651	1678,745	0,000339	0,000536	2285,017
1	0,000726	0,001193	785,398	0,000556	0,000903	1227,15	0,000447	0,000721	1767,1	0,000373	0,000594	2405,281
1,05	0,000795	0,001315	824,6584	0,000609	0,000995	1288,5075	0,00049	0,000795	1855,455	0,000409	0,000654	2525,545
1,1	0,00086	0,001443	863,9279	0,000665	0,001092	1349,865	0,000525	0,000872	1943,81	0,000447	0,000718	2645,809
1,15	0,000944	0,001577	903,1973	0,000723	0,001193	1411,2225	0,000582	0,000953	2032,165	0,000486	0,000785	2766,073
1,2	0,001024	0,001718	942,4668	0,000783	0,001299	1472,58	0,000631	0,001038	2120,52	0,000527	0,000854	2886,337

Vitesse m	D de conduite 1 m Section de conduite 0.785398 m ²			D de conduite 1.25 m Section de conduite 1.22719 m ²			D de conduite 1.5 m Section de conduite 1.76715 m ²			D de conduite 1.75 m Section de conduite 2.405281 m ²		
	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s	Charge de longueur de conduite		Débit en l/s
	K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³		K=10 ⁻⁴	K=2.10 ⁻³	
1,25	0,001106	0,001864	971,7362	0,000846	0,001409	1533,9375	0,000682	0,001126	2208,875	0,00057	0,000927	3006,601
1,3	0,001191	0,002016	1021,0057	0,000911	0,001524	1595,295	0,000735	0,001218	2297,23	0,000644	0,001003	3126,865
1,35	0,00128	0,002174	1050,2751	0,000979	0,001644	1656,6525	0,000789	0,001314	2385,585	0,000659	0,001081	3247,129
1,4	0,001372	0,002338	1099,5446	0,001049	0,001767	1718,01	0,000845	0,001412	2473,94	0,000706	0,001163	3367,393
1,45	0,001466	0,002508	1138,814	0,001121	0,001895	1779,3675	0,000903	0,001515	2562,295	0,000754	0,001247	3487,657
1,5	0,001563	0,002684	1178,0835	0,001196	0,002028	1840,725	0,000963	0,001621	2630,65	0,000805	0,001335	3607,922
1,55	0,001663	0,002866	1217,3529	0,001274	0,002166	1902,0825	0,001025	0,001731	2739,005	0,000857	0,001425	3728,185
1,6	0,001767	0,003053	1256,6224	0,001353	0,002307	1963,44	0,001089	0,001844	2827,36	0,000911	0,001519	3848,56
1,65	0,001873	0,003247	1295,8918	0,001434	0,002454	2024,7975	0,001155	0,001961	2915,715	0,000966	0,001615	3968,714
1,7	0,001983	0,003447	1335,1613	0,001518	0,002604	2086,155	0,001223	0,002082	3004,07	0,001023	0,001715	4088,978
1,75	0,002096	0,003653	1374,4307	0,001603	0,00276	2147,5125	0,001292	0,002206	3092,425	0,00108	0,001817	4209,242
1,8	0,002213	0,003864	1413,7002	0,001691	0,00292	2208,87	0,001363	0,002334	3180,78	0,0011	0,001922	4329,506
1,85	0,002332	0,004082	1452,9696	0,001782	0,003084	2270,2275	0,001436	0,002466	3269,135	0,001201	0,00203	4449,77
1,9	0,002455	0,004306	1492,2381	0,001875	0,003253	2331,585	0,001512	0,002601	3357,49	0,001264	0,002142	4570,034
1,95	0,00258	0,004535	1531,5075	0,001971	0,003427	2392,9425	0,001589	0,002739	3445,845	0,001329	0,002256	4690,298
2	0,002708	0,004771	1570,778	0,002068	0,003605	2454,3	0,001669	0,002882	3534,2	0,001396	0,002373	4810,563
2,05	0,002838	0,005012	1610,0474	0,002168	0,003787	2515,6575	0,001749	0,003027	3622,555	0,001463	0,002493	4930,826
2,1	0,002972	0,00526	1649,3169	0,002209	0,003974	2577,015	0,001833	0,003177	3710,91	0,001531	0,002617	5051,096
2,15	0,003108	0,005513	1688,0863	0,002373	0,004166	2638,3725	0,001916	0,00333	3799,265	0,001602	0,002742	5171,254
2,2	0,003246	0,005783	1727,0558	0,002483	0,004361	2699,73	0,002003	0,003487	3887,62	0,001675	0,002872	5291,618
2,25	0,003388	0,006018	1767,1252	0,002593	0,004562	2761,0875	0,002092	0,003647	3975,975	0,001769	0,003009	5411,387
2,3	0,003513	0,0064	1806,3947	0,002703	0,004967	2777,084	0,002137	0,003811	4064,33	0,001804	0,003406	5532,146
2,35	0,003679	0,006587	1845,6641	0,002819	0,004976	2883,8025	0,002274	0,003978	4152,685	0,001901	0,003409	5652,41
2,4	0,003831	0,00687	1884,9336	0,002936	0,005191	2945,16	0,002378	0,004149	4241,04	0,00198	0,003417	5773,674
2,45	0,003985	0,007159	1924,203	0,003055	0,005409	3006,5175	0,004324	0,004324	4329,395	0,002058	0,003361	5892,938
2,5	0,004141	0,007454	1963,4725	0,003178	0,005632	3067,875	0,002557	0,004502	4417,75	0,002159	0,003708	6013,203
3	0,005895	0,010734	2356,195	0,00451	0,00811	3681,57	0,003633	0,006483	5301,45	0,003029	0,00534	7215,843
3,5	0,00793	0,01461	2748,893	0,006084	0,011039	4395,165	0,004891	0,008825	6185,073	0,004092	0,007268	8418,484
4	0,010259	0,019083	3141,592	0,007875	0,014418	4908,96	0,00632	0,011526	7068,6	0,005303	0,009493	9671,124

Tableau 2-3- Les diamètres des conduites en acier : ^[10]

TUBES EN ACIER SANS SOUDURE A EXTREMITES FILETABLES (N.F. 49 110)								
DESIGNATION		DIAMETRE EXTERIEUR REEL	SERIE USUELLE			SERIE FORTE		
en pouces	en mm		DIAMETRE INTERIEUR EN mm	SECTION DE PASSAGE EN cm ²	MASSE LINEIQUE EN kg (POIDS AU m)	DIAMETRE INTERIEUR EN mm	SECTION DE PASSAGE EN cm ²	MASSE LINEIQUE EN kg (POIDS AU m)
(1/8 ")	5/10	10,2	6	0,302	0,40	4,9	0,189	0,49
1/4 "	8/13	13,5	8	0,622	0,65	7,7	0,466	0,77
3/8 "	12/1	17,2	1	1,247	0,85	11,4	1,021	1,02
1/2 "	15/2	21,3	1	2,036	1,22	14,9	1,744	1,45
3/4 "	20/2	26,9	2	3,698	1,58	20,5	3,301	1,90
1 "	26/3	33,7	2	5,853	2,44	25,7	5,187	2,97
1 1/4 "	33/4	42,4	3	10,180	3,14	34,4	9,294	3,84
1 1/2 "	40/4	48,3	4	13,790	3,61	40,3	12,760	4,43
2 "	50/6	60,3	5	22,150	5,10	51,3	20,670	6,17
(2 1/4 ")	60/7	70,0	6	30,970	5,97			
2 1/2 "	66/7	76,1	6	37,280	6,51	67,1	35,360	7,90
3 "	80/9	88,9	8	51,400	8,47	79,1	49,140	10,10
(3 1/2 ")	92/10	101,6	9	68,810	9,72	91,8	66,190	11,60
4 "	102/1	114,3	10	87,090	12,10	103,5	84,120	14,40
5 "	127/1	139,7	13	134,100	15,00	128,9	130,500	17,80

Nota : les tubes de 1/8 " ne figurent pas sur la norme NF 49 110 ; mais ils se trouvent dans le commerce. L'emploi des tubes de 2 1/4 " (en série usuelle seulement) et de 3 1/2 " n'est pas recommandés.

Tableau 2-4- Les diamètres des conduites en pehd : [i]
TUBES PE 80 – PN12,5 –

		<i>r = pertes de charge linéiques, mm C.E./m</i>															
		<i>G = débit, l/h</i>															
		<i>v = vitesse, m/s</i>															
<i>r</i>	<i>Øe</i>	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	<i>Øe</i>	<i>r</i>
	<i>Øi</i>	16	20,4	26	32,6	40,8	51,4	61,4	73,6	90	102,2	114,6	130,8	147,2	163,6	<i>Øi</i>	
2	G	79	154	297	548	1.008	1.887	3.058	5.001	8.633	12.190	16.634	23.815	32.817	43.714	G	2
	v	0,11	0,13	0,16	0,18	0,21	0,25	0,29	0,33	0,38	0,41	0,45	0,49	0,54	0,58	v	
4	G	118	228	441	815	1.498	2.804	4.544	7.431	12.828	18.114	24.718	35.390	48.766	64.959	G	4
	v	0,16	0,19	0,23	0,27	0,32	0,38	0,43	0,49	0,56	0,61	0,67	0,73	0,80	0,86	v	
6	G	149	288	556	1.027	1.889	3.536	5.728	9.368	16.173	22.837	31.163	44.617	61.481	81.896	G	6
	v	0,21	0,24	0,29	0,34	0,40	0,47	0,54	0,61	0,71	0,77	0,84	0,92	1,00	1,08	v	
8	G	175	339	655	1.211	2.226	4.167	6.752	11.042	19.063	26.918	36.731	52.589	72.466	96.528	G	8
	v	0,24	0,29	0,34	0,40	0,47	0,56	0,63	0,72	0,83	0,91	0,99	1,09	1,18	1,28	v	
10	G	199	385	744	1.376	2.529	4.734	7.670	12.544	21.655	30.578	41.726	59.741	82.321	109.656	G	10
	v	0,28	0,33	0,39	0,46	0,54	0,63	0,72	0,82	0,95	1,04	1,12	1,23	1,34	1,45	v	
12	G	221	428	826	1.527	2.807	5.254	8.512	13.921	24.033	33.936	46.308	66.300	91.361	121.697	G	12
	v	0,31	0,36	0,43	0,51	0,60	0,70	0,80	0,91	1,05	1,15	1,25	1,37	1,49	1,61	v	
14	G	242	467	902	1.667	3.065	5.738	9.296	15.203	26.246	37.061	50.572	72.405	99.773	132.903	G	14
	v	0,33	0,40	0,47	0,55	0,65	0,77	0,87	0,99	1,15	1,25	1,36	1,50	1,63	1,76	v	
16	G	261	504	974	1.799	3.308	6.193	10.033	16.409	28.327	40.000	54.582	78.146	107.684	143.440	G	16
	v	0,36	0,43	0,51	0,60	0,70	0,83	0,94	1,07	1,24	1,35	1,47	1,62	1,76	1,90	v	
18	G	279	539	1.042	1.925	3.539	6.624	10.732	17.551	30.299	42.784	58.382	83.587	115.181	153.427	G	18
	v	0,39	0,46	0,54	0,64	0,75	0,89	1,01	1,15	1,32	1,45	1,57	1,73	1,88	2,03	v	
20	G	296	573	1.106	2.044	3.758	7.035	11.397	18.640	32.180	45.439	62.005	88.774	122.329	162.948	G	20
	v	0,41	0,49	0,58	0,68	0,80	0,94	1,07	1,22	1,41	1,54	1,67	1,84	2,00	2,15	v	
22	G	313	605	1.168	2.159	3.969	7.429	12.035	19.683	33.981	47.983	65.475	93.743	129.176	172.069	G	22
	v	0,43	0,51	0,61	0,72	0,84	0,99	1,13	1,29	1,48	1,62	1,76	1,94	2,11	2,27	v	
24	G	329	636	1.228	2.269	4.171	7.807	12.649	20.687	35.713	50.429	68.813	98.522	135.761	180.840	G	24
	v	0,45	0,54	0,64	0,75	0,89	1,05	1,19	1,35	1,56	1,71	1,85	2,04	2,22	2,39	v	
26	G	344	665	1.285	2.375	4.366	8.173	13.241	21.655	37.384	52.789	72.033	103.133	142.115	189.304	G	26
	v	0,48	0,57	0,67	0,79	0,93	1,09	1,24	1,41	1,63	1,79	1,94	2,13	2,32	2,50	v	
28	G	359	694	1.341	2.478	4.555	8.526	13.814	22.592	39.002	55.072	75.149	107.594	148.263	197.492	G	28
	v	0,50	0,59	0,70	0,82	0,97	1,14	1,30	1,48	1,70	1,86	2,02	2,22	2,42	2,61	v	
30	G	373	722	1.395	2.577	4.738	8.869	14.369	23.500	40.570	57.287	78.171	111.921	154.224	205.434	G	30
	v	0,52	0,61	0,73	0,86	1,01	1,19	1,35	1,53	1,77	1,94	2,11	2,31	2,52	2,71	v	
35	G	408	788	1.523	2.814	5.175	9.686	15.692	25.664	44.306	62.562	85.370	122.227	168.426	224.351	G	35
	v	0,56	0,67	0,80	0,94	1,10	1,30	1,47	1,68	1,93	2,12	2,30	2,53	2,75	2,96	v	
40	G	440	851	1.644	3.038	5.585	10.454	16.937	27.699	47.819	67.523	92.138	131.918	181.780	242.140	G	40
	v	0,61	0,72	0,86	1,01	1,19	1,40	1,59	1,81	2,09	2,29	2,48	2,73	2,97	3,20	v	
45	G	471	910	1.758	3.249	5.974	11.181	18.116	29.628	51.148	72.224	98.553	141.102	194.436	258.998	G	45
	v	0,65	0,77	0,92	1,08	1,27	1,50	1,70	1,93	2,23	2,45	2,65	2,92	3,17	3,42	v	
50	G	500	967	1.867	3.451	6.344	11.875	19.240	31.466	54.322	76.706	104.669	149.858	206.502	275.070	G	50
	v	0,69	0,82	0,98	1,15	1,35	1,59	1,80	2,05	2,37	2,60	2,82	3,10	3,37	3,63	v	
60	G	555	1.073	2.072	3.830	7.041	13.179	21.353	34.921	60.287	85.128	116.162	166.313	229.177	305.274	G	60
	v	0,77	0,91	1,08	1,27	1,50	1,76	2,00	2,28	2,63	2,88	3,13	3,44	3,74	4,03	v	
70	G	606	1.172	2.263	4.182	7.689	14.393	23.319	38.137	65.838	92.967	126.859	181.628	250.280	333.384	G	70
	v	0,84	1,00	1,18	1,39	1,63	1,93	2,19	2,49	2,87	3,15	3,42	3,75	4,09	4,41	v	
80	G	654	1.265	2.443	4.514	8.299	15.534	25.168	41.161	71.058	100.338	136.917	196.029	270.124	359.818	G	80
	v	0,90	1,07	1,28	1,50	1,76	2,08	2,36	2,69	3,10	3,40	3,69	4,05	4,41	4,75	v	
90	G	700	1.353	2.613	4.828	8.877	16.616	26.920	44.026	76.006	107.324	146.450	209.677	288.931	384.869	G	90
	v	0,97	1,15	1,37	1,61	1,89	2,22	2,53	2,87	3,32	3,63	3,94	4,33	4,72	5,09	v	
100	G	743	1.437	2.775	5.128	9.428	17.647	28.590	46.758	80.722	113.984	155.538	222.689	306.861	408.752	G	100
	v	1,03	1,22	1,45	1,71	2,00	2,36	2,68	3,05	3,52	3,86	4,19	4,60	5,01	5,40	v	

Se = surface extérieure, m²/m *Si = section interne, mm²* *V = volume d'eau, l/m*

<i>Øe [mm]</i>	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	<i>Øe [mm]</i>
<i>Øi [mm]</i>	16	20,4	26	32,6	40,8	51,4	61,4	73,6	90	102,2	114,6	130,8	147,2	163,6	<i>Øi [mm]</i>
<i>Se [m2/m]</i>	0,063	0,079	0,101	0,126	0,157	0,198	0,236	0,283	0,346	0,393	0,440	0,503	0,565	0,628	<i>Se [m2/m]</i>
<i>Si [mm2]</i>	201	327	531	835	1.307	2.075	2.961	4.254	6.362	8.203	10.315	13.437	17.018	21.021	<i>Si [mm2]</i>
<i>V [l/m]</i>	0,20	0,33	0,53	0,83	1,31	2,07	2,96	4,25	6,36	8,20	10,31	13,44	17,02	21,02	<i>V [l/m]</i>

TUBES PE 80 – PN 20

<i>r = pertes de charge linéiques, mm C.E./m</i>																	<i>G = débit, l/h</i>										<i>v = vitesse, m/s</i>																
<i>r</i>	<i>Øe</i>	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	<i>Øe</i>	<i>r</i>																										
	<i>Øi</i>	16,8	21,8	28	35,2	44	55,4	66	79,2	96,8	110,2	123,4	141	158,6	176,2	<i>Øi</i>																											
2	G	91	184	363	675	1.238	2.313	3.720	6.102	10.520	14.957	20.333	29.199	40.182	53.466	G	2																										
	v	0,11	0,14	0,16	0,19	0,23	0,27	0,30	0,34	0,40	0,44	0,47	0,52	0,56	0,61	v																											
4	G	135	273	539	1.004	1.839	3.437	5.528	9.067	15.633	22.226	30.215	43.390	59.710	79.451	G	4																										
	v	0,17	0,20	0,24	0,29	0,34	0,40	0,45	0,51	0,59	0,65	0,70	0,77	0,84	0,91	v																											
6	G	170	345	680	1.265	2.319	4.333	6.969	11.432	19.709	28.021	38.093	54.704	75.279	100.166	G	6																										
	v	0,21	0,26	0,31	0,36	0,42	0,50	0,57	0,64	0,74	0,82	0,88	0,97	1,06	1,14	v																											
8	G	200	406	801	1.491	2.733	5.107	8.214	13.474	23.230	33.028	44.899	64.478	88.729	118.064	G	8																										
	v	0,25	0,30	0,36	0,43	0,50	0,59	0,67	0,76	0,88	0,96	1,04	1,15	1,25	1,34	v																											
10	G	228	461	910	1.694	3.104	5.802	9.332	15.306	26.389	37.519	51.006	73.246	100.796	134.120	G	10																										
	v	0,29	0,34	0,41	0,48	0,57	0,67	0,76	0,86	1,00	1,09	1,18	1,30	1,42	1,53	v																											
12	G	253	512	1.010	1.880	3.445	6.439	10.356	16.987	29.287	41.639	56.606	81.289	111.864	148.847	G	12																										
	v	0,32	0,38	0,46	0,54	0,63	0,74	0,84	0,96	1,11	1,21	1,31	1,45	1,57	1,70	v																											
14	G	276	559	1.103	2.053	3.763	7.032	11.310	18.551	31.984	45.473	61.819	88.774	122.164	162.553	G	14																										
	v	0,35	0,42	0,50	0,59	0,69	0,81	0,92	1,05	1,21	1,32	1,44	1,58	1,72	1,85	v																											
16	G	298	604	1.191	2.216	4.061	7.590	12.207	20.022	34.519	49.079	66.720	95.813	131.851	175.442	G	16																										
	v	0,37	0,45	0,54	0,63	0,74	0,87	0,99	1,13	1,30	1,43	1,55	1,70	1,85	2,00	v																											
18	G	318	646	1.274	2.370	4.344	8.118	13.056	21.416	36.923	52.496	71.365	102.484	141.030	187.656	G	18																										
	v	0,40	0,48	0,57	0,68	0,79	0,94	1,06	1,21	1,39	1,53	1,66	1,82	1,98	2,14	v																											
20	G	338	686	1.353	2.517	4.613	8.622	13.867	22.745	39.214	55.754	75.794	108.844	149.782	199.301	G	20																										
	v	0,42	0,51	0,61	0,72	0,84	0,99	1,13	1,28	1,48	1,62	1,76	1,94	2,11	2,27	v																											
22	G	357	724	1.428	2.658	4.871	9.104	14.643	24.018	41.409	58.874	80.037	114.936	158.166	210.457	G	22																										
	v	0,45	0,54	0,64	0,76	0,89	1,05	1,19	1,35	1,56	1,71	1,86	2,04	2,22	2,40	v																											
24	G	375	761	1.501	2.794	5.120	9.568	15.389	25.243	43.520	61.876	84.117	120.795	166.229	221.185	G	24																										
	v	0,47	0,57	0,68	0,80	0,94	1,10	1,25	1,42	1,64	1,80	1,95	2,15	2,34	2,52	v																											
26	G	393	797	1.572	2.925	5.359	10.016	16.109	26.424	45.557	64.771	88.053	126.449	174.009	231.537	G	26																										
	v	0,49	0,59	0,71	0,83	0,98	1,15	1,31	1,49	1,72	1,89	2,05	2,25	2,45	2,64	v																											
28	G	410	831	1.639	3.051	5.591	10.449	16.806	27.567	47.527	67.573	91.862	131.918	181.536	241.553	G	28																										
	v	0,51	0,62	0,74	0,87	1,02	1,20	1,36	1,55	1,79	1,97	2,13	2,35	2,55	2,75	v																											
30	G	426	865	1.705	3.174	5.816	10.870	17.482	28.676	49.438	70.290	95.556	137.223	188.835	251.266	G	30																										
	v	0,53	0,64	0,77	0,91	1,06	1,25	1,42	1,62	1,87	2,05	2,22	2,44	2,66	2,86	v																											
35	G	466	944	1.862	3.466	6.352	11.871	19.092	31.316	53.991	76.763	104.355	149.859	206.224	274.403	G	35																										
	v	0,58	0,70	0,84	0,99	1,16	1,37	1,55	1,77	2,04	2,24	2,42	2,67	2,90	3,13	v																											
40	G	502	1.019	2.010	3.741	6.855	12.812	20.606	33.799	58.272	82.850	112.630	161.741	222.575	296.161	G	40																										
	v	0,63	0,76	0,91	1,07	1,25	1,48	1,67	1,91	2,20	2,41	2,62	2,88	3,13	3,37	v																											
45	G	537	1.090	2.150	4.001	7.333	13.704	22.040	36.152	62.329	88.618	120.471	173.002	238.071	316.780	G	45																										
	v	0,67	0,81	0,97	1,14	1,34	1,58	1,79	2,04	2,35	2,58	2,80	3,08	3,35	3,61	v																											
50	G	571	1.158	2.284	4.250	7.788	14.554	23.408	38.396	66.197	94.117	127.947	183.737	252.845	336.438	G	50																										
	v	0,72	0,86	1,03	1,21	1,42	1,68	1,90	2,16	2,50	2,74	2,97	3,27	3,56	3,83	v																											
60	G	633	1.285	2.534	4.716	8.643	16.152	25.978	42.612	73.465	104.451	141.996	203.913	280.608	373.380	G	60																										
	v	0,79	0,96	1,14	1,35	1,58	1,86	2,11	2,40	2,77	3,04	3,30	3,63	3,95	4,25	v																											
70	G	692	1.403	2.768	5.151	9.439	17.640	28.370	46.536	80.230	114.069	155.071	222.689	306.447	407.762	G	70																										
	v	0,87	1,04	1,25	1,47	1,72	2,03	2,30	2,62	3,03	3,32	3,60	3,96	4,31	4,65	v																											
80	G	747	1.514	2.987	5.559	10.187	19.038	30.620	50.226	86.592	123.114	167.367	240.346	330.746	440.093	G	80																										
	v	0,94	1,13	1,35	1,59	1,86	2,19	2,49	2,83	3,27	3,59	3,89	4,28	4,65	5,01	v																											
90	G	799	1.620	3.195	5.946	10.896	20.364	32.752	53.722	92.620	131.685	179.019	257.080	353.773	470.733	G	90																										
	v	1,00	1,21	1,44	1,70	1,99	2,35	2,66	3,03	3,50	3,84	4,16	4,57	4,97	5,36	v																											
100	G	848	1.720	3.393	6.315	11.572	21.627	34.784	57.056	98.368	139.857	190.128	273.033	375.726	499.944	G	100																										
	v	1,06	1,28	1,53	1,80	2,11	2,49	2,82	3,22	3,71	4,07	4,42	4,86	5,28	5,70	v																											

Se = surface extérieure, m²/m

Si = section interne, mm²

V = volume d'eau, l/m

<i>Øe [mm]</i>	16	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	<i>Øe [mm]</i>
<i>Øi [mm]</i>	11,4	14	18	23,2	29	36,2	45,8	54,4	65,4	79,8	90,8	101,6	116,2	130,8	<i>Øi [mm]</i>
<i>Se [m2/m]</i>	0,050	0,063	0,079	0,101	0,126	0,157	0,198	0,236	0,283	0,346	0,393	0,440	0,503	0,565	<i>Se [m2/m]</i>
<i>Si [mm2]</i>	102	154	254	423	661	1.029	1.647	2.324	3.359	5.001	6.475	8.107	10.605	13.437	<i>Si [mm2]</i>
<i>V [l/m]</i>	0,10	0,15	0,25	0,42	0,66	1,03	1,65	2,32	3,36	5,00	6,48	8,11	10,60	13,44	<i>V [l/m]</i>

TUBES PE 100 – PN 10 :

<i>r = pertes de charge linéiques, mm C.E./m</i>		<i>G = débit, l/h</i>															<i>v = vitesse, m/s</i>	
<i>r</i>	\varnothing_e	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	\varnothing_e	<i>r</i>	
	\varnothing_i	16,8	21,8	28	35,2	44	55,4	66	79,2	96,8	110,2	123,4	141	158,6	176,2	\varnothing_i		
2	G	91	184	363	675	1.238	2.313	3.720	6.102	10.520	14.957	20.333	29.199	40.182	53.466	G	2	
	v	0,11	0,14	0,16	0,19	0,23	0,27	0,30	0,34	0,40	0,44	0,47	0,52	0,56	0,61	v		
4	G	135	273	539	1.004	1.839	3.437	5.528	9.067	15.633	22.226	30.215	43.390	59.710	79.451	G	4	
	v	0,17	0,20	0,24	0,29	0,34	0,40	0,45	0,51	0,59	0,65	0,70	0,77	0,84	0,91	v		
6	G	170	345	680	1.265	2.319	4.333	6.969	11.432	19.709	28.021	38.093	54.704	75.279	100.166	G	6	
	v	0,21	0,26	0,31	0,36	0,42	0,50	0,57	0,64	0,74	0,82	0,88	0,97	1,06	1,14	v		
8	G	200	406	801	1.491	2.733	5.107	8.214	13.474	23.230	33.028	44.899	64.478	88.729	118.064	G	8	
	v	0,25	0,30	0,36	0,43	0,50	0,59	0,67	0,76	0,88	0,96	1,04	1,15	1,25	1,34	v		
10	G	228	461	910	1.694	3.104	5.802	9.332	15.306	26.389	37.519	51.006	73.246	100.796	134.120	G	10	
	v	0,29	0,34	0,41	0,48	0,57	0,67	0,76	0,86	1,00	1,09	1,18	1,30	1,42	1,53	v		
12	G	253	512	1.010	1.880	3.445	6.439	10.356	16.987	29.287	41.639	56.606	81.289	111.864	148.847	G	12	
	v	0,32	0,38	0,46	0,54	0,63	0,74	0,84	0,96	1,11	1,21	1,31	1,45	1,57	1,70	v		
14	G	276	559	1.103	2.053	3.763	7.032	11.310	18.551	31.984	45.473	61.819	88.774	122.164	162.553	G	14	
	v	0,35	0,42	0,50	0,59	0,69	0,81	0,92	1,05	1,21	1,32	1,44	1,58	1,72	1,85	v		
16	G	298	604	1.191	2.216	4.061	7.590	12.207	20.022	34.519	49.079	66.720	95.813	131.851	175.442	G	16	
	v	0,37	0,45	0,54	0,63	0,74	0,87	0,99	1,13	1,30	1,43	1,55	1,70	1,85	2,00	v		
18	G	318	646	1.274	2.370	4.344	8.118	13.056	21.416	36.923	52.496	71.365	102.484	141.030	187.656	G	18	
	v	0,40	0,48	0,57	0,68	0,79	0,94	1,06	1,21	1,39	1,53	1,66	1,82	1,98	2,14	v		
20	G	338	686	1.353	2.517	4.613	8.622	13.867	22.745	39.214	55.754	75.794	108.844	149.782	199.301	G	20	
	v	0,42	0,51	0,61	0,72	0,84	0,99	1,13	1,28	1,48	1,62	1,76	1,94	2,11	2,27	v		
22	G	357	724	1.428	2.658	4.871	9.104	14.643	24.018	41.409	58.874	80.037	114.936	158.166	210.457	G	22	
	v	0,45	0,54	0,64	0,76	0,89	1,05	1,19	1,35	1,56	1,71	1,86	2,04	2,22	2,40	v		
24	G	375	761	1.501	2.794	5.120	9.568	15.389	25.243	43.520	61.876	84.117	120.795	166.229	221.185	G	24	
	v	0,47	0,57	0,68	0,80	0,94	1,10	1,25	1,42	1,64	1,80	1,95	2,15	2,34	2,52	v		
26	G	393	797	1.572	2.925	5.359	10.016	16.109	26.424	45.557	64.771	88.053	126.449	174.009	231.537	G	26	
	v	0,49	0,59	0,71	0,83	0,98	1,15	1,31	1,49	1,72	1,89	2,05	2,25	2,45	2,64	v		
28	G	410	831	1.639	3.051	5.591	10.449	16.806	27.567	47.527	67.573	91.862	131.918	181.536	241.553	G	28	
	v	0,51	0,62	0,74	0,87	1,02	1,20	1,36	1,55	1,79	1,97	2,13	2,35	2,55	2,75	v		
30	G	426	865	1.705	3.174	5.816	10.870	17.482	28.676	49.438	70.290	95.556	137.223	188.835	251.266	G	30	
	v	0,53	0,64	0,77	0,91	1,06	1,25	1,42	1,62	1,87	2,05	2,22	2,44	2,66	2,86	v		
35	G	466	944	1.862	3.466	6.352	11.871	19.092	31.316	53.991	76.763	104.355	149.859	206.224	274.403	G	35	
	v	0,58	0,70	0,84	0,99	1,16	1,37	1,55	1,77	2,04	2,24	2,42	2,67	2,90	3,13	v		
40	G	502	1.019	2.010	3.741	6.855	12.812	20.606	33.799	58.272	82.850	112.630	161.741	222.575	296.161	G	40	
	v	0,63	0,76	0,91	1,07	1,25	1,48	1,67	1,91	2,20	2,41	2,62	2,88	3,13	3,37	v		
45	G	537	1.090	2.150	4.001	7.333	13.704	22.040	36.152	62.329	88.618	120.471	173.002	238.071	316.780	G	45	
	v	0,67	0,81	0,97	1,14	1,34	1,58	1,79	2,04	2,35	2,58	2,80	3,08	3,35	3,61	v		
50	G	571	1.158	2.284	4.250	7.788	14.554	23.408	38.396	66.197	94.117	127.947	183.737	252.845	336.438	G	50	
	v	0,72	0,86	1,03	1,21	1,42	1,68	1,90	2,16	2,50	2,74	2,97	3,27	3,56	3,83	v		
60	G	633	1.285	2.534	4.716	8.643	16.152	25.978	42.612	73.465	104.451	141.996	203.913	280.608	373.380	G	60	
	v	0,79	0,96	1,14	1,35	1,58	1,86	2,11	2,40	2,77	3,04	3,30	3,63	3,95	4,25	v		
70	G	692	1.403	2.768	5.151	9.439	17.640	28.370	46.536	80.230	114.069	155.071	222.689	306.447	407.762	G	70	
	v	0,87	1,04	1,25	1,47	1,72	2,03	2,30	2,62	3,03	3,32	3,60	3,96	4,31	4,65	v		
80	G	747	1.514	2.987	5.559	10.187	19.038	30.620	50.226	86.592	123.114	167.367	240.346	330.746	440.093	G	80	
	v	0,94	1,13	1,35	1,59	1,86	2,19	2,49	2,83	3,27	3,59	3,89	4,28	4,65	5,01	v		
90	G	799	1.620	3.195	5.946	10.896	20.364	32.752	53.722	92.620	131.685	179.019	257.080	353.773	470.733	G	90	
	v	1,00	1,21	1,44	1,70	1,99	2,35	2,66	3,03	3,50	3,84	4,16	4,57	4,97	5,36	v		
100	G	848	1.720	3.393	6.315	11.572	21.627	34.784	57.056	98.368	139.857	190.128	273.033	375.726	499.944	G	100	
	v	1,06	1,28	1,53	1,80	2,11	2,49	2,82	3,22	3,71	4,07	4,42	4,86	5,28	5,70	v		

Se = surface extérieure, m²/m

Si = section interne, mm²

V = volume d'eau, l/m

\varnothing_e [mm]	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	\varnothing_e [mm]
\varnothing_i [mm]	16,8	21,8	28	35,2	44	55,4	66	79,2	96,8	110,2	123,4	141	158,6	176,2	\varnothing_i [mm]
<i>Se</i> [m ² /m]	0,063	0,079	0,101	0,126	0,157	0,198	0,236	0,283	0,346	0,393	0,440	0,503	0,565	0,628	<i>Se</i> [m ² /m]
<i>Si</i> [mm ²]	222	373	616	973	1.521	2.411	3.421	4.927	7.359	9.538	11.960	15.615	19.756	24.384	<i>Si</i> [mm ²]
<i>V</i> [l/m]	0,22	0,37	0,62	0,97	1,52	2,41	3,42	4,93	7,36	9,54	11,96	15,61	19,76	24,38	<i>V</i> [l/m]

TUBES PE 100 – PN 16 :

<i>r = pertes de charge linéiques, mm C.E./m</i>		<i>G = débit, l/h</i>															<i>v = vitesse, m/s</i>	
<i>r</i>	<i>Øe</i>	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	<i>Øe</i>	<i>r</i>	
	<i>Øi</i>	16	20,4	26	32,6	40,8	51,4	61,4	73,6	90	102,2	114,6	130,8	147,2	163,6	<i>Øi</i>		
2	G	79	154	297	548	1.008	1.887	3.058	5.001	8.633	12.190	16.634	23.815	32.817	43.714	G	2	
	v	0,11	0,13	0,16	0,18	0,21	0,25	0,29	0,33	0,38	0,41	0,45	0,49	0,54	0,58	v		
4	G	118	228	441	815	1.498	2.804	4.544	7.431	12.828	18.114	24.718	35.390	48.766	64.959	G	4	
	v	0,16	0,19	0,23	0,27	0,32	0,38	0,43	0,49	0,56	0,61	0,67	0,73	0,80	0,86	v		
6	G	149	288	556	1.027	1.889	3.536	5.728	9.368	16.173	22.837	31.163	44.617	61.481	81.896	G	6	
	v	0,21	0,24	0,29	0,34	0,40	0,47	0,54	0,61	0,71	0,77	0,84	0,92	1,00	1,08	v		
8	G	175	339	655	1.211	2.226	4.167	6.752	11.042	19.063	26.918	36.731	52.589	72.466	96.528	G	8	
	v	0,24	0,29	0,34	0,40	0,47	0,56	0,63	0,72	0,83	0,91	0,99	1,09	1,18	1,28	v		
10	G	199	385	744	1.376	2.529	4.734	7.670	12.544	21.655	30.578	41.726	59.741	82.321	109.656	G	10	
	v	0,28	0,33	0,39	0,46	0,54	0,63	0,72	0,82	0,95	1,04	1,12	1,23	1,34	1,45	v		
12	G	221	428	826	1.527	2.807	5.254	8.512	13.921	24.033	33.936	46.308	66.300	91.361	121.697	G	12	
	v	0,31	0,36	0,43	0,51	0,60	0,70	0,80	0,91	1,05	1,15	1,25	1,37	1,49	1,61	v		
14	G	242	467	902	1.667	3.065	5.738	9.296	15.203	26.246	37.061	50.572	72.405	99.773	132.903	G	14	
	v	0,33	0,40	0,47	0,55	0,65	0,77	0,87	0,99	1,15	1,25	1,36	1,50	1,63	1,76	v		
16	G	261	504	974	1.799	3.308	6.193	10.033	16.409	28.327	40.000	54.582	78.146	107.684	143.440	G	16	
	v	0,36	0,43	0,51	0,60	0,70	0,83	0,94	1,07	1,24	1,35	1,47	1,62	1,76	1,90	v		
18	G	279	539	1.042	1.925	3.539	6.624	10.732	17.551	30.299	42.784	58.382	83.587	115.181	153.427	G	18	
	v	0,39	0,46	0,54	0,64	0,75	0,89	1,01	1,15	1,32	1,45	1,57	1,73	1,88	2,03	v		
20	G	296	573	1.106	2.044	3.758	7.035	11.397	18.640	32.180	45.439	62.005	88.774	122.329	162.948	G	20	
	v	0,41	0,49	0,58	0,68	0,80	0,94	1,07	1,22	1,41	1,54	1,67	1,84	2,00	2,15	v		
22	G	313	605	1.168	2.159	3.969	7.429	12.035	19.683	33.981	47.983	65.475	93.743	129.176	172.069	G	22	
	v	0,43	0,51	0,61	0,72	0,84	0,99	1,13	1,29	1,48	1,62	1,76	1,94	2,11	2,27	v		
24	G	329	636	1.228	2.269	4.171	7.807	12.649	20.687	35.713	50.429	68.813	98.522	135.761	180.840	G	24	
	v	0,45	0,54	0,64	0,75	0,89	1,05	1,19	1,35	1,56	1,71	1,85	2,04	2,22	2,39	v		
26	G	344	665	1.285	2.375	4.366	8.173	13.241	21.655	37.384	52.789	72.033	103.133	142.115	189.304	G	26	
	v	0,48	0,57	0,67	0,79	0,93	1,09	1,24	1,41	1,63	1,79	1,94	2,13	2,32	2,50	v		
28	G	359	694	1.341	2.478	4.555	8.526	13.814	22.592	39.002	55.072	75.149	107.594	148.263	197.492	G	28	
	v	0,50	0,59	0,70	0,82	0,97	1,14	1,30	1,48	1,70	1,86	2,02	2,22	2,42	2,61	v		
30	G	373	722	1.395	2.577	4.738	8.869	14.369	23.500	40.570	57.287	78.171	111.921	154.224	205.434	G	30	
	v	0,52	0,61	0,73	0,86	1,01	1,19	1,35	1,53	1,77	1,94	2,11	2,31	2,52	2,71	v		
35	G	408	788	1.523	2.814	5.175	9.686	15.692	25.664	44.306	62.562	85.370	122.227	168.426	224.351	G	35	
	v	0,56	0,67	0,80	0,94	1,10	1,30	1,47	1,68	1,93	2,12	2,30	2,53	2,75	2,96	v		
40	G	440	851	1.644	3.038	5.585	10.454	16.937	27.699	47.819	67.523	92.138	131.918	181.780	242.140	G	40	
	v	0,61	0,72	0,86	1,01	1,19	1,40	1,59	1,81	2,09	2,29	2,48	2,73	2,97	3,20	v		
45	G	471	910	1.758	3.249	5.974	11.181	18.116	29.628	51.148	72.224	98.553	141.102	194.436	258.998	G	45	
	v	0,65	0,77	0,92	1,08	1,27	1,50	1,70	1,93	2,23	2,45	2,65	2,92	3,17	3,42	v		
50	G	500	967	1.867	3.451	6.344	11.875	19.240	31.466	54.322	76.706	104.669	149.858	206.502	275.070	G	50	
	v	0,69	0,82	0,98	1,15	1,35	1,59	1,80	2,05	2,37	2,60	2,82	3,10	3,37	3,63	v		
60	G	555	1.073	2.072	3.830	7.041	13.179	21.353	34.921	60.287	85.128	116.162	166.313	229.177	305.274	G	60	
	v	0,77	0,91	1,08	1,27	1,50	1,76	2,00	2,28	2,63	2,88	3,13	3,44	3,74	4,03	v		
70	G	606	1.172	2.263	4.182	7.689	14.393	23.319	38.137	65.838	92.967	126.859	181.628	250.280	333.384	G	70	
	v	0,84	1,00	1,18	1,39	1,63	1,93	2,19	2,49	2,87	3,15	3,42	3,75	4,09	4,41	v		
80	G	654	1.265	2.443	4.514	8.299	15.534	25.168	41.161	71.058	100.338	136.917	196.029	270.124	359.818	G	80	
	v	0,90	1,07	1,28	1,50	1,76	2,08	2,36	2,69	3,10	3,40	3,69	4,05	4,41	4,75	v		
90	G	700	1.353	2.613	4.828	8.877	16.616	26.920	44.026	76.006	107.324	146.450	209.677	288.931	384.869	G	90	
	v	0,97	1,15	1,37	1,61	1,89	2,22	2,53	2,87	3,32	3,63	3,94	4,33	4,72	5,09	v		
100	G	743	1.437	2.775	5.128	9.428	17.647	28.590	46.758	80.722	113.984	155.538	222.689	306.861	408.752	G	100	
	v	1,03	1,22	1,45	1,71	2,00	2,36	2,68	3,05	3,52	3,86	4,19	4,60	5,01	5,40	v		

Se = surface extérieure, m²/m *Si = section interne, mm²* *V = volume d'eau, l/m*

<i>Øe [mm]</i>	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	<i>Øe [mm]</i>
<i>Øi [mm]</i>	16	20,4	26	32,6	40,8	51,4	61,4	73,6	90	102,2	114,6	130,8	147,2	163,6	<i>Øi [mm]</i>
<i>Se [m2/m]</i>	0,063	0,079	0,101	0,126	0,157	0,198	0,236	0,283	0,346	0,393	0,440	0,503	0,565	0,628	<i>Se [m2/m]</i>
<i>Si [mm2]</i>	201	327	531	835	1.307	2.075	2.961	4.254	6.362	8.203	10.315	13.437	17.018	21.021	<i>Si [mm2]</i>
<i>V [l/m]</i>	0,20	0,33	0,53	0,83	1,31	2,07	2,96	4,25	6,36	8,20	10,31	13,44	17,02	21,02	<i>V [l/m]</i>

TUBES PE 100 – PN 25 :

r = pertes de charge linéiques, mm C.E./m *G = débit, l/h* *v = vitesse, m/s*

r	Øe	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	Øe	r
	Øi	14	18	23,2	29	36,2	45,8	54,4	65,4	79,8	90,8	101,6	116,2	130,8	145,2	Øi	
2	G	55	109	218	399	729	1.380	2.201	3.629	6.228	8.843	11.997	17.272	23.815	31.621	G	2
	v	0,10	0,12	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26	0,30	0,35	0,38	0,41	0,45	0,49	0,53	v	
4	G	82	163	324	593	1.083	2.051	3.271	5.393	9.255	13.140	17.827	25.666	35.390	46.989	G	4
	v	0,15	0,18	0,21	0,25	0,29	0,35	0,39	0,45	0,51	0,56	0,61	0,67	0,73	0,79	v	
6	G	104	205	408	748	1.365	2.585	4.124	6.799	11.668	16.566	22.475	32.358	44.617	59.240	G	6
	v	0,19	0,22	0,27	0,31	0,37	0,44	0,49	0,56	0,65	0,71	0,77	0,85	0,92	0,99	v	
8	G	122	242	481	881	1.609	3.047	4.861	8.013	13.753	19.526	26.491	38.139	52.589	69.825	G	8
	v	0,22	0,26	0,32	0,37	0,43	0,51	0,58	0,66	0,76	0,84	0,91	1,00	1,09	1,17	v	
10	G	139	274	546	1.001	1.828	3.461	5.522	9.103	15.623	22.182	30.094	43.326	59.741	79.321	G	10
	v	0,25	0,30	0,36	0,42	0,49	0,58	0,66	0,75	0,87	0,95	1,03	1,13	1,23	1,33	v	
12	G	154	305	606	1.111	2.029	3.842	6.128	10.103	17.339	24.617	33.398	48.084	66.300	88.030	G	12
	v	0,28	0,33	0,40	0,47	0,55	0,65	0,73	0,84	0,96	1,06	1,14	1,26	1,37	1,48	v	
14	G	168	333	662	1.214	2.216	4.195	6.693	11.033	18.935	26.884	36.473	52.511	72.405	96.136	G	14
	v	0,30	0,36	0,44	0,51	0,60	0,71	0,80	0,91	1,05	1,15	1,25	1,38	1,50	1,61	v	
16	G	181	359	715	1.310	2.391	4.528	7.223	11.908	20.437	29.016	39.365	56.675	78.146	103.759	G	16
	v	0,33	0,39	0,47	0,55	0,65	0,76	0,86	0,98	1,14	1,24	1,35	1,48	1,62	1,74	v	
18	G	194	384	765	1.401	2.558	4.843	7.726	12.737	21.860	31.036	42.106	60.621	83.587	110.983	G	18
	v	0,35	0,42	0,50	0,59	0,69	0,82	0,92	1,05	1,21	1,33	1,44	1,59	1,73	1,86	v	
20	G	206	408	812	1.488	2.716	5.144	8.206	13.527	23.216	32.962	44.719	64.383	88.774	117.870	G	20
	v	0,37	0,45	0,53	0,63	0,73	0,87	0,98	1,12	1,29	1,41	1,53	1,69	1,84	1,98	v	
22	G	218	431	857	1.571	2.868	5.432	8.665	14.284	24.515	34.807	47.222	67.986	93.743	124.468	G	22
	v	0,39	0,47	0,56	0,66	0,77	0,92	1,04	1,18	1,36	1,49	1,62	1,78	1,94	2,09	v	
24	G	229	453	901	1.651	3.015	5.708	9.107	15.012	25.765	36.581	49.629	71.452	98.522	130.813	G	24
	v	0,41	0,49	0,59	0,69	0,81	0,96	1,09	1,24	1,43	1,57	1,70	1,87	2,04	2,19	v	
26	G	239	474	943	1.729	3.156	5.976	9.533	15.715	26.971	38.293	51.952	74.796	103.133	136.935	G	26
	v	0,43	0,52	0,62	0,73	0,85	1,01	1,14	1,30	1,50	1,64	1,78	1,96	2,13	2,30	v	
28	G	250	494	984	1.803	3.292	6.234	9.945	16.395	28.138	39.950	54.199	78.031	107.594	142.858	G	28
	v	0,45	0,54	0,65	0,76	0,89	1,05	1,19	1,36	1,56	1,71	1,86	2,04	2,22	2,40	v	
30	G	260	514	1.024	1.876	3.425	6.485	10.345	17.054	29.269	41.556	56.379	81.169	111.921	148.603	G	30
	v	0,47	0,56	0,67	0,79	0,92	1,09	1,24	1,41	1,63	1,78	1,93	2,13	2,31	2,49	v	
35	G	284	561	1.118	2.049	3.740	7.082	11.298	18.624	31.964	45.383	61.570	88.643	122.227	162.287	G	35
	v	0,51	0,61	0,73	0,86	1,01	1,19	1,35	1,54	1,78	1,95	2,11	2,32	2,53	2,72	v	
40	G	306	606	1.207	2.211	4.037	7.643	12.194	20.101	34.499	48.981	66.452	95.672	131.918	175.154	G	40
	v	0,55	0,66	0,79	0,93	1,09	1,29	1,46	1,66	1,92	2,10	2,28	2,51	2,73	2,94	v	
45	G	328	648	1.291	2.365	4.318	8.176	13.043	21.501	36.901	52.391	71.079	102.333	141.102	187.349	G	45
	v	0,59	0,71	0,85	0,99	1,17	1,38	1,56	1,78	2,05	2,25	2,44	2,68	2,92	3,14	v	
50	G	348	688	1.371	2.512	4.585	8.683	13.852	22.835	39.191	55.643	75.489	108.683	149.858	198.975	G	50
	v	0,63	0,75	0,90	1,06	1,24	1,46	1,66	1,89	2,18	2,39	2,59	2,85	3,10	3,34	v	
60	G	386	764	1.521	2.788	5.089	9.636	15.373	25.342	43.494	61.752	83.778	120.617	166.313	220.823	G	60
	v	0,70	0,83	1,00	1,17	1,37	1,62	1,84	2,10	2,42	2,65	2,87	3,16	3,44	3,70	v	
70	G	422	834	1.661	3.044	5.538	10.524	16.789	27.676	47.499	67.439	91.493	131.724	181.628	241.157	G	70
	v	0,76	0,91	1,09	1,28	1,50	1,77	2,01	2,29	2,64	2,89	3,13	3,45	3,75	4,05	v	
80	G	455	900	1.793	3.286	5.998	11.358	18.120	29.870	51.265	72.786	98.747	142.168	196.029	260.278	G	80
	v	0,82	0,98	1,18	1,38	1,62	1,92	2,17	2,47	2,85	3,12	3,38	3,72	4,05	4,37	v	
90	G	487	963	1.918	3.514	6.416	12.149	19.381	31.950	54.834	77.853	105.622	152.066	209.677	278.399	G	90
	v	0,88	1,05	1,26	1,48	1,73	2,05	2,32	2,64	3,05	3,34	3,62	3,98	4,33	4,67	v	
100	G	517	1.023	2.037	3.732	6.814	12.903	20.584	33.933	58.237	82.685	112.177	161.503	222.689	295.675	G	100
	v	0,93	1,12	1,34	1,57	1,84	2,18	2,46	2,81	3,23	3,55	3,84	4,23	4,60	4,96	v	

Se = surface extérieure, m²/m *Si = section interne, mm²* *V = volume d'eau, l/m*

Øe [mm]	20	25	32	40	50	63	75	90	110	125	140	160	180	200	Øe [mm]
Øi [mm]	14	18	23,2	29	36,2	45,8	54,4	65,4	79,8	90,8	101,6	116,2	130,8	145,2	Øi [mm]
Se [m2/m]	0,063	0,079	0,101	0,126	0,157	0,198	0,236	0,283	0,346	0,393	0,440	0,503	0,565	0,628	Se [m2/m]
Si [mm2]	154	254	423	661	1.029	1.647	2.324	3.359	5.001	6.475	8.107	10.605	13.437	16.559	Si [mm2]
V [l/m]	0,15	0,25	0,42	0,66	1,03	1,65	2,32	3,36	5,00	6,48	8,11	10,60	13,44	16,56	V [l/m]

2-4- Conclusion

L'utilisation des canalisations est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres formes de transport concurrentes, au moins sur de petites et moyennes distances.

Certaines canalisations de gros diamètre et ou de grande longueur s'avèrent coûteuses et parfois difficiles à mettre en œuvre selon les caractéristiques des terrains traversés. C'est le cas des ouvrages subaquatiques, des ouvrages enterrés au passage des fleuves, des ouvrages aériens sur du pergélisol qui fond, en zone de risque sismique ou politiquement instable).

Chapitre 3 :

**La relation entre le nombre de Reynolds
et le diamètre des conduites circulaires**

Chapitre 3 : La relation entre le nombre de Reynolds et le diamètre des conduites circulaires

3-1-Introduction

En fonction des nombres de Reynolds croissants, on distingue quatre régimes principaux : régime de Stokes, régime laminaire, régime transitoire, régime turbulent.

L'écoulement de Stokes correspond aux très faibles valeurs du Reynolds (inférieures à 1). Dans ce cas les forces d'inertie liées aux vitesses étant négligeables, les forces visqueuses et les forces de pression s'équilibrent. Cette notion correspond au domaine de la microfluidique. Pour des valeurs plus élevées, les forces d'inertie entrent en jeu : c'est le domaine de la dynamique des fluides.

On observe d'abord un écoulement laminaire avec des lignes de courant bien identifiées. Dans ce type d'écoulement l'effet de la viscosité s'atténue au fur et à mesure que l'on s'éloigne des parois, les vitesses du fluide tendant à s'homogénéiser. Il est alors souvent commode de considérer que l'approximation du fluide parfait (non visqueux) est suffisante hors d'une zone proche d'une paroi, appelée couche limite. Cette dernière concentre les effets visqueux qui peuvent y être modélisés sous une forme simplifiée.

À partir d'un certain Reynolds se produit une transition qui fait apparaître des instabilités dues à l'amplification des perturbations. La valeur du Reynolds de transition et la nature des instabilités dépendent essentiellement du type d'écoulement considéré.

Ensuite, les instabilités augmentent au point de donner naissance à un phénomène chaotique dans lequel il est difficile de voir une organisation : c'est la turbulence.

3-2- Cas des conduites à section constante :

3-2-1- Fluide parfait :

Un fluide parfait est un fluide dont les molécules se déplacent sans aucun frottement les uns par rapport aux autres ; donc sans viscosité $\mu = \mathbf{0}$. (C'est théorique) ^[4]

Le débit d'écoulement s'exprime par les relations suivantes :

- $Q = AV$: Débit volumique (volume par unité de temps), Unité SI = m^3/s
- $Q_m = \rho Q$: Débit massique, Unité SI = Kg/s

Etant donné que le débit d'écoulement reste constant (mouvement permanent),
L'équation de continuité:

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = C^{ste} \quad (3-2)$$

Q : le débit en mètre cube par seconde.

V : la vitesse en mètre par seconde.

A : la surface en mètre carré. ^[12]

3-2-4- Equation de quantité du mouvement :

- le fluide peut en général être considéré parfait (les forces de frottement visqueuses sont négligeables) a grand nombre de Reynolds et loin des parois solides. Au niveau des parois, le fluide doit être libre de glisser (vitesse tangentielle non nulle).

- le fluide peut être considéré incompressible pour des nombres de Mach faibles (Pratiquement $< 0,3$).

Dans ces conditions les équations du mouvement sont, sous forme globale :

$$\begin{aligned} \iint_S \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} \, dS &= 0 \\ \frac{d}{dt} \iiint_V \rho \mathbf{v} \, dV + \iint_S (\rho \mathbf{v}) \mathbf{v} \cdot \mathbf{n} \, dS &= \iint_S -p \mathbf{n} \, dS + \iiint_V \rho \mathbf{g} \, dV \end{aligned} \quad (3-3)$$

Sur un tube de courant, ces équations deviennent :

$$\begin{aligned} v_e S_e &= v_s S_s \\ \frac{dP}{dt} &= (p_e + \rho v_e^2) - (p_s + \rho v_s^2) - \mathbf{F}_{\text{Fluide/Solide}} + M \mathbf{g} \end{aligned} \quad (3-4)$$

P : la quantité de mouvement totale du tube.

M : la masse de fluide dans le tube.

$vS = Q$: le débit volumique en m^3/s .

$F_{\text{fluide/solide}}$: la force exercée par le fluide sur les parois latérales du tube. ^[24]

- Pour des fluides parfaits. Où $\nu = 0$, les équations de Navier Stokes se réduisent aux équations d'Euler. Pour des fluides qui ne sont pas en mouvement. $v = 0$

$$\rho \vec{f} - \overrightarrow{\text{grad}P} = \rho \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (3-5)$$

$\rho \vec{f}$: force de volume par volume unitaire.

$\overrightarrow{\text{grad}P}$: force de pression par volume unitaire.

$\rho \frac{d\vec{v}}{dt}$: force d'inertie par volume unitaire. [26]

3-2-5- Calcul le nombre de Reynolds dans le cas de section constante :

Tout se passe comme si la viscosité du fluide était nulle. Le fluide a un comportement de fluide parfait et son mouvement est régi par l'équation d'Euler :

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v} = -\overrightarrow{\text{grad}P} + \vec{f}$$

L'épaisseur de la couche limite $\delta \approx \frac{L}{\sqrt{R_e}}$ est alors faible.

Pour un nombre de Reynolds faible, les transferts de quantité de mouvement par diffusion sont plus importants que ceux par convection ; le temps caractéristique associé à ces transferts par diffusion est plus court que par convection.

L'équation de Navier-Stokes devient alors :

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = -\overrightarrow{\text{grad}P} + \vec{f} + \eta \Delta \vec{v}$$

Donc

$$R_e = \frac{\|\rho(\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}})\vec{v}\|}{\|\eta \Delta \vec{v}\|} \approx \frac{Dv}{\nu} \quad (3-6)$$

3-3- Cas des conduites à section variable :

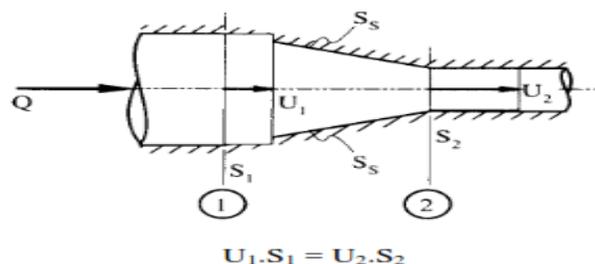


Figure 3-3 : conduite à section variable [19]

3-3-1- Fluide réel :

Contrairement à un fluide parfait, qui n'est qu'un modèle pour simplifier les calculs, pratiquement inexistant dans la nature, dans un fluide réel les forces tangentielles de frottement interne qui s'opposent au glissement relatif des couches fluides sont prises en considération. Ce phénomène de frottement visqueux apparaît lors du mouvement du fluide. C'est uniquement au repos, qu'on admettra que le fluide réel se comporte comme un fluide parfait, et on suppose que les forces de contact sont perpendiculaires aux éléments de surface sur lesquels elles s'exercent. La statique des fluides réels se confond avec la statique des fluides parfaits. [28]

3-3-2- Equation de Bernoulli :

Contrairement au fluide parfait non visqueux, la charge H pour un fluide réel visqueux diminue dans la direction de l'écoulement ($dH/dx < 0$).

Ceci est dû à la nature visqueuse du fluide qui dissipe une partie de l'énergie: cette perte d'énergie est appelée 'Perte de charge'.

La représentation graphique en cas de fluide réel est donc montrée par le schéma suivant :

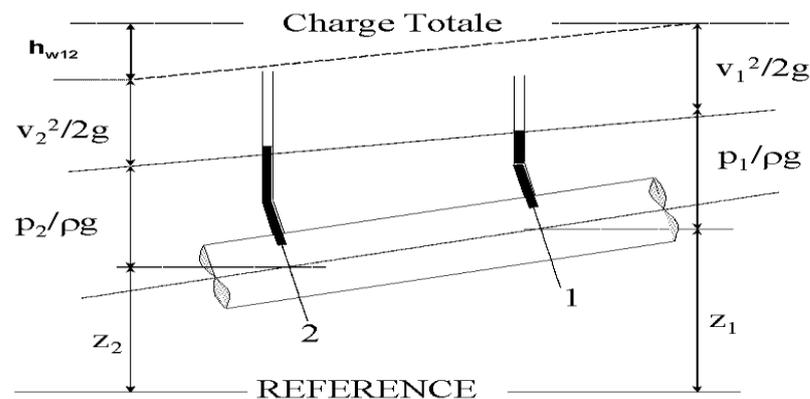


Figure 3-4 : schéma pour Fluides réels

L'équation de Bernoulli, pour un liquide réel, devient donc (voir schéma)

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{w1-2} \quad (3-7)$$

3-3-3- Equation de Continuité :

Considérons un volume matériel Ω . La masse contenue dans ce volume est :

$$m = \int_{\Omega} \rho dv \quad (3-8)$$

Où ρ désigne la densité locale. Si le volume matériel ne contient ni sources ni puits, la masse qui se trouve dans Ω est constante et on peut écrire :

$$\frac{d}{dt}m = \frac{d}{dt} \iiint_{\Omega} \rho dv = 0 \quad (3-9)$$

Nous pouvons maintenant appliquer le théorème de transport au volume Ω :

$$\frac{d}{dt} \iiint_{\Omega} \rho dv = \iiint_{\Omega} \frac{\partial \rho}{\partial t} dv + \iint_{\Sigma} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) ds \quad (3-10)$$

Σ est la surface de contrôle. D'après (3-9) on peut écrire :

$$\iiint_{\Omega} \frac{\partial \rho}{\partial t} dv + \iint_{\Sigma} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) ds = 0 \quad (3-11)$$

Si le volume Ω ne contient pas de surface de discontinuité, l'intégrale sur Σ peut être remplacée par une intégrale de volume et "le théorème de GreenOstrogradsky" permet d'écrire :

$$\iint_{\Sigma} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) ds = \iiint_{\Omega} \nabla \cdot (\rho \cdot \vec{V}) dv \quad (3-12)$$

Dans ces conditions, l'équation (3-11) devient :

$$\iiint_{\Omega} \left[\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot \vec{V}) \right] dv = 0 \quad (3-13)$$

Le volume d'intégration est arbitraire et par conséquent l'intégrale doit être identiquement nulle :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \cdot \vec{V}) = 0 \quad (3-14)$$

L'équation (3-14) est souvent appelée équation de continuité (forme différentielle). ^[29]

3-3-4- Equation de quantité du mouvement :

En absence de viscosité, l'équation de bilan de quantité de mouvement s'écrit

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = -\vec{\nabla}p + \rho \quad (3-15)$$

Intuitivement, la notion de viscosité est associée à la résistance qu'oppose tout fluide à sa mise en mouvement. Pour préciser cette propriété de façon quantitative, considérons deux éléments de surface dS parallèles placés dans un écoulement de vitesse $\vec{V} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}$, l'un situé en y , l'autre $y+\delta y$

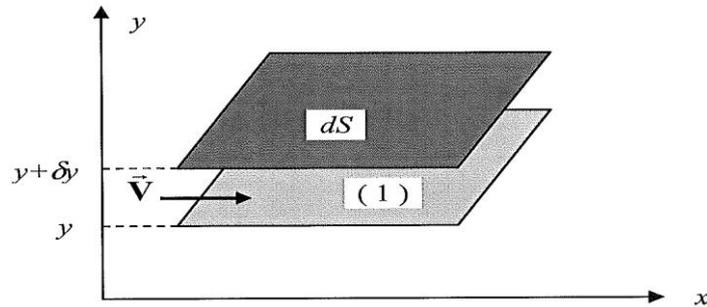


Figure 3-5 : Surface parallèles placées dans un écoulement

Force exercée par la couche supérieure à (1) sur dS en $y+\delta y$

$$\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y+\delta y} dS \quad (3-16)$$

Force exercée par la couche inférieure à (1) sur dS en y

$$-\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_y dS$$

Au total, on a, en supposant μ constante

$$\left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_{y+\delta y} - \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_y \right] \mu dS = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \delta y dS = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) dV$$

L'équation de bilan de quantité de mouvement pour un fluide visqueux s'écrit donc

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = -\vec{\nabla} p + \rho \vec{f} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \vec{x} \quad (3-17)$$

u : composante de vitesse par rapport l'axe x

p : la pression

ρ : la masse volumique

v : la vitesse en m/s

f : la force de frottement

μ : la viscosité dynamique

S : la surface en m^2 . [12]

- Les équations de Navier Stokes et l'équation de continuité sont les quatre équations simultanées nécessaires pour résoudre les problèmes de la mécanique des fluides à quatre inconnues. à savoir les composantes de la vitesse v (u, v, w) et la pression.

$$\rho \vec{f} - \overrightarrow{\text{grad}P} + \mu \nabla^2 v = \rho \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (3-18)$$

$\rho \vec{f}$: force de volume par volume unitaire.

$-\overrightarrow{\text{grad}P}$: force de pression par volume unitaire.

$\mu \nabla^2 v$: force de viscosité par volume unitaire.

$\rho \frac{d\vec{v}}{dt}$: force d'inertie par volume unitaire. [26]

3-3-5- Calcul le nombre de Reynolds dans le cas de section variable :

La complexité de l'équation de Navier - Stokes :

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v} \right] = -\overrightarrow{\text{grad}P} + \rho \vec{g} + \eta \Delta \vec{v}$$

est due essentiellement à deux termes :

- Le terme de convection de quantité de mouvement $(\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v}$, qui rend l'équation non linéaire.
- Le terme de diffusion visqueuse $\eta \Delta \vec{v}$ dû au transfert de quantité de mouvement, qui introduit des dérivées du second ordre.
- On considère un écoulement dont les paramètres sont v (vitesse du fluide loin de l'obstacle) et D une taille caractéristique (la longueur de l'obstacle, par exemple).
- L'ordre de grandeur du rapport du terme convectif sur le terme de diffusion vaut :

$$\frac{\|\rho(\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v}\|}{\|\eta \Delta \vec{v}\|} \approx \frac{\rho \frac{v^2}{D}}{\eta \frac{v}{D^2}} = \frac{\rho D v}{\eta}$$

Avec $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ((viscosité dynamique du fluide)) :

$$\frac{\|\rho(\vec{v} \cdot \overrightarrow{\text{grad}}) \vec{v}\|}{\|\eta \Delta \vec{v}\|} \approx \frac{D v}{\nu} = R_e \quad (3-19)$$

R_e est le nombre de Reynolds.

3-4- Conclusion :

Dans un circuit ou système hydraulique l'écoulement doit toujours être, si possible, laminaire avec, comme seule dissipation d'une partie de l'énergie mécanique, sa transformation en chaleur. Au-delà il est en phase dite critique, puis en régime turbulent qui utilise une partie de l'énergie mécanique pour créer des mouvements de plus en plus désordonnés, le rendement chutant alors considérablement.

Sur un schéma hydraulique pour calculer les pertes en charges et le rendement d'un système hydraulique, il faut soit ajouter chaque élément pour obtenir le nombre de Reynolds complet, soit utiliser un abaque pour définir les diamètres des tuyauteries, raccords et flexibles hydraulique

Conclusion générale :

Conclusion Générale :

La première chapitre de ce mémoire nous a permis d'observer les différents types d'écoulements qu'on peut rencontrer dans les conduites circulaire en charge ; permanent et non permanent par rapport au temps, uniforme et non uniforme par rapport a leur déplacement, compressible et incompressible par rapport a la masse volumique du liquide qui représentent en faite les caractéristiques d'écoulement et de l'autre coté la rugosité et les pertes de charge pour chaque type de matériaux de construction des conduites donc les caractéristiques des conduites ;

Et on a passé en revue dans le 2eme chapitre le diamètre des conduites selon le matériau de construction ou les plus utilisées parmi ceux cité dans le travail sont principalement le PVC , PEHD et l'acier et le fonte dans certain cas ;

L'utilisation des canalisations est relativement peu coûteuse par rapport à d'autres formes de transport concurrentes, au moins sur de petites et moyennes distances. Certaines canalisations de gros diamètre et ou de grande longueur s'avèrent coûteuses et parfois difficiles à mettre en œuvre selon les caractéristiques des terrains traversés. C'est le cas des ouvrages subaquatiques, des ouvrages enterrés au passage des fleuves, ...etc.

Dans un circuit ou système hydraulique l'écoulement doit toujours être, si possible, laminaire avec, comme seule dissipation d'une partie de l'énergie mécanique, sa transformation en chaleur. Au-delà il est en phase dite critique, puis en régime turbulent qui utilise une partie de l'énergie mécanique pour créer des mouvements de plus en plus désordonnés, le rendement chute alors considérablement.

Sur un schéma hydraulique pour calculer les pertes en charges et le rendement d'un système hydraulique, il faut soit ajouter chaque élément pour obtenir le nombre de Reynolds complet, soit utiliser un abaque pour définir les diamètres des tuyauteries, raccords et flexibles hydraulique.

Références bibliographiques :

Les références bibliographiques

- 1- **Armando LENCASTRE (1986)**. Hydraulique générale, 2ème édition EYROLLES, Paris
- 2- **Armando LENCASTRE(1996)** . HYDRAULIQUE GÉNÉRALE. “ Profstsseur en hydraulique Université nouvelle - Lisbonne – Portugal” . ÉDITIONS EYROLLES.
- 3- **B. Achour, A. Bedjaoui (2006)** .Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface, ISSN 1112-3680, n 05 197-200
- 4- **Bouajila Sofiane (2016)**. Transmission des puissances hydraulique et pneumatique. Département de maintenance industrielle .Institut supérieur des études technologiques de Nabeul, Tunisie.
- 5- **CARLIER, M (1986)**. Hydraulique générale et appliquée, Paris, Editions Eyrolles
- 6- **CHAUDHRY, M. H (1979)** . "Applied hydraulic transients". Van Nostrand,
- 7- **CHOW, V.T (1959)**. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill, NewYork, NY.)
- 8- **Clancy L,J. Kundu P,K. Cohen I,M (1975)** .Aerodynamics, p.xviii. Chapter 10, sub-chapter.
- 9- **DERNOUNI.F. ENSH (2006)** . d’assainissement de la ville de FOUKA. ENSH 2005.
- 10- Dimensions des tubes en acier sans soudure 2005**
- 11- **Générale des eaux (2009)** . Manuel de l’utilisateur, version française.
- 12- **Gillet Steve (2007)**. Sciences appliquées, département technique, Haute école Charlemagne, Verviers, Belgique.
- 13- **GOMELLA, C., GUERREE, H (1986)**. « Guide d’assainissement dans les agglomérations urbaines et rurales (tome 1), EYROLLES, Paris,
- 14- **GRAF, W. H., ALTINAKAR, M.S (2000)**. Hydraulique fluviale: écoulement et phénomènes de transport dans les canaux à géométrie simple, Traité de Génie Civil, Ed. Presses Polytechniques Romandes, Vol.16, Suisse.)
- 15- **Hazard et al. , Mémotech (Casteilla, 2000)** . Structures métalliques p. 14
- 16- **Ion Paraschivoiu, Michel Prud'homme, Luc Robillard et Patrick Vasseur (2003)**, Mécanique des fluides, Montréal, Presses internationales Polytechnique, 450 p.
- 17- **Jacques PREVERT (2004)** .COURS MECANIQUE DES FLUIDES Chapitre 4 (écoulement à surface libre) et Chapitre 6 hauteur normale selon la section d’écoulement) année académique

- 18- **Jimmy Roussel (2011)** Dynamique des fluides visqueux. Cours de mécanique des fluides, Rennes, France.
- 19- **José VAZQUEZ (2010)** .Systèmes Hydrauliques Urbains – ENGEES
- 20- **Lewis A. Rossman (2003)** .Water Supply and Water Resources Division. National Risk Management Research Laboratory.
- 21- **Linsly, R.k, M.A.KOHLER et J.L.H.T.PAULHUS (1958)** , hydrology for engineers. New York
- 22- **M. Agoussine**, cours d'alimentation en eau potable du milieu rural, p.4 et p.31
- 23- **M. Elguerri (2015)**.Mécanique des fluides – Théorie et applications, National Risk Management Research Laboratory 2003
- 24- **Olivier LOUISNARD (2012)** . Cours de mécanique des fluides.
- 25- **Philibert et al. (2002)** , Métallurgie du minerai au matériau (Dunod,), p. 660
- 26- **Redhouane Ghernaout (2010)** . Mécanique des fluides et Hydraulique cours et exercices. Office des publications universitaires
- 27- **Renald V . all (1995)**, Mécanique des fluides et Hydraulique ,cours et problèmes,
- 28- **Riadh BEN HAMOUDA (2008)** .Notions de mécanique des fluides. Cours et exercices corrigés.
- 29- **S. CANDEL (1995)**. "Mécanique des fluides". Edition Dunod, Paris,

D'autres sources de documentation

- a- http://vppyr.free.fr/pages_transversales/voie_aure/va_etapes.php?etp=stlary-bielsa
- b- http://www.algerie.prixconstruction.info/espaces_urbains/Reseaux_divers/Distribution_d_eau/Eau_potable/Tube_en_fonte_ductile_0_10_0.html
- c- http://www.pipelife.fr/fr/produits/gaz/transport_de_gaz_combustibles.php
- d- <http://www.viscosimetre.fr/wp-content/uploads/2013/04/courbe-temp-visco.gif>
- e- https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_de_Moody
- f- https://sites.uclouvain.be/didacticielhydraulique/Lecons/Lecon_V_5/Lecon_V_5.html
- g- https://www.avito.ru/velikiy_novgorod/remont_i_stroitelstvo/truba_zhb_dlya_peree_zda_cherez_kanavu_-_5metro_911107013
- h- <https://www.baldinger.biz/shop/fr/conduite-acier-inoxydable-40-x-15-mm/>
- i- https://www.caleffi.com/italy/it/Caleffi_S.p.A._|_Soluzioni_Idrotermosanitarie
- j- <https://www.superplastic.be/catalogue/sanitaire---evacuation/pvc-gris-tuyau/M0ML0M46FJ>