

Préface

Le terme de “perte de charge” désigne l'ensemble des frottements qui accompagne inévitablement l'écoulement d'un fluide dans une canalisation. Les pertes de charge sont exprimées en hauteur de colonne de fluide ou en différence de pression.

Même si le calcul des pertes de charge est souvent long et fastidieux, c'est une étape incontournable d'une étude hydraulique ou aéraulique : dimensionnement des réseaux, choix des pompes et ventilateurs, équilibrage des circuits caloporteurs, vérification des pressions disponibles...

L'ouvrage de Jean LIGEN et Michel LE GUAY reprend le travail de référence réalisé par André BOUSSICAUD et publié pour la première fois par EDITIONS PARI-SIENNES et la revue CFP (CHAUD FROID PLOMBERIE) en 1964, objet de nombreuses rééditions qui ont constitué la seule référence dans ce domaine pendant des décennies.

La première partie de cet ouvrage développe très largement la théorie des pertes de charge, en s'appuyant notamment sur les travaux de REYNOLDS, de NIKURADSE et de COLEBROOK et propose une nouvelle approche du régime transitoire. Le lecteur trouvera dans cette partie, les formules et des abaques universels, utilisables pour tous les fluides, liquides ou gazeux. Le calcul des pertes de charge singulières y est aussi traité de manière très complète.

La seconde partie donne des informations spécifiques sur les fluides les plus courants : eau (chaude, froide, glacée, glycolée), air, air comprimé, fioul, gaz combustibles, vapeur d'eau et pour les conduits standard (acier, cuivre, matériaux de synthèse) :

- Des tableaux, formules ou abaques permettant de déterminer les valeurs numériques des grandeurs physiques indispensables à l'utilisation des formules universelles (masse volumique, viscosités dynamique et cinématique, rugosité...),
- Des formules de perte de charge approchées, spécifiques à chaque fluide et simple d'utilisation, en unités internationales ou pratiques,
- Plus de 130 abaques de perte de charge linéiques précis, tracés point par point, à partir des formules universelles.
- Les données permettant de déterminer les pertes de charge singulières des matériels spécifiques aux installations thermiques utilisant l'eau, les fiouls ou l'air.

L'utilisateur pourra donc choisir le moyen à employer en fonction de la précision requise ou de ses préférences liées à la spécificité de sa profession.

Juillet 2007

Sommaire

| | |
|---|----|
| Chapitre 1 - Généralités | 11 |
| 1. Principaux problèmes posés par la circulation d'un fluide dans un conduit | |
| 2. Viscosité | |
| 3. Rugosité | |
| 4. Notion de perte de charge | |
| 5. Hauteur manométrique Hm | |
| 5.1. Les transports de fluide | |
| 5.2. Les circuits caloporteurs ouverts | |
| 5.3. Les circuits caloporteurs fermés | |
| 6. Perte de charge linéique | |
| 7. Nombre de Reynolds Re | |
| 7.1. Régimes d'écoulement | |
| 8. Autre forme de l'expression générale des pertes de charge linéiques | |
| 9. Le millimètre de colonne d'eau | |
| 10. Vitesses critiques | |
| Chapitre 2 - Le régime laminaire | 25 |
| 1. Profil des vitesses | |
| 2. Coefficient de perte de charge λ | |
| 3. Perte de charge | |
| 4. Longueur d'établissement du régime laminaire | |
| 5. Remarques sur le régime laminaire | |
| 6. Annexe 1 : coefficient de perte de charge | |
| 7. Annexe 2 : vitesses d'écoulement | |
| Chapitre 3 - Le régime turbulent | 31 |
| 1. Profil des vitesses | |
| 2. Coefficient de perte de charge | |
| 3. Formules de λ fonction de Re | |
| 4. Formules de λ fonction de Re et D | |
| 5. Formules de λ fonction de Re, D et ε | |
| 5.1. Formules de Nikuradse | |
| 5.2. Formules implicites | |
| 5.3. Formules explicites | |
| 5.4. Diagramme de Moody | |
| 6. Comparaison des formules du régime turbulent avec celle de Colebrook | |
| 7. Longueur d'établissement du régime turbulent | |
| Chapitre 4 - Le régime transitoire | 43 |
| 1. Instabilité de l'écoulement dans le régime transitoire | |
| 2. Limites du régime transitoire | |
| 3. Evolution du coefficient de perte de charge | |
| 4. Formule de Churchill en régime laminaire, transitoire et turbulent | |
| Chapitre 5 - Calcul des pertes de charge linéiques dans les trois régimes d'écoulement | 47 |
| 1. Variation du coefficient de perte de charge dans les trois régimes d'écoulement | |

2. Calcul de la perte de charge linéique
 - 2.1. Calcul du nombre de Reynolds Re
 - 2.2. Calcul du coefficient de perte de charge λ
 - 2.3. Calcul de la perte de charge linéique j
3. Résolution de la formule implicite de Colebrook par un tableur

Chapitre 6 - Les pertes de charge singulières.....51

1. Introduction
2. Méthode directe
 - 2.1. Elargissement brusque
 - 2.2. Rétrécissement brusque
 - 2.3. Entrée et sortie de réservoir
 - 2.4. Coefficients de pertes de charge singulières ζ des matériels de tuyauterie
 - 2.5. Exploitation des documents relatifs aux coefficients de pertes de charge singulières
3. Méthode des longueurs équivalentes
 - 3.1. Calcul d'une longueur équivalente en régime turbulent
 - 3.2. Calcul d'une longueur équivalente en régime laminaire
4. Pertes de charge des matériels spécifiques
5. K_v et coefficient de perte de charge

Chapitre 7 - Pertes de charge des fluides compressibles79

1. Variations des grandeurs physiques dues à la circulation d'un fluide compressible dans un conduit
2. Conditions de référence et de distribution
 - 2.1. Conditions de référence (normales ou standard)
 - 2.2. Conditions de distribution
 - 2.2.1. Débit volume Q_v
 - 2.2.2. Vitesse V
 - 2.2.3. Masse volumique ρ
 - 2.2.4. Exemple de conversion
3. Grandeurs caractéristiques d'un fluide compressible à température constante
 - 3.1. Nombre de Reynolds Re et coefficient de perte de charge λ
 - 3.2. Variation de pression
4. Pertes de charge des fluides compressibles
 - 4.1. Calcul de la perte de charge $J_{A \rightarrow B}$ par fractionnement
 - 4.2. Calcul de la perte de charge $J_{A \rightarrow B}$ avec le coefficient de détente isotherme k_d
 - 4.2.1. Valeurs limites du rapport J_A / P_A et du coefficient de détente isotherme k_d
 - 4.2.2. Calcul de la perte de charge d'un circuit comprenant des pertes de charge singulières
5. Calcul de la perte de charge linéique et quadratique avec les formules monômes de la forme $\lambda = \alpha \cdot Re^{-n}$
 - 5.1. Perte de charge linéique à température constante
 - 5.2. Perte de charge linéique avec correction de température
 - 5.3. Perte de charge linéique avec correction du diamètre
 - 5.4. Perte de charge quadratique

Chapitre 8 - Pertes de charge des conduits de section non circulaire95

1. Introduction
 - 1.1. Diamètre isocinétique : $Diso$
 - 1.2. Diamètres hydraulique et équivalent
2. Diamètre hydraulique D_h
3. Diamètre équivalent

Chapitre 9 - Abaque général des pertes de charge linéiques.....101

1. Principe de construction
2. Utilisation de l'abaque

Chapitre 10 - Critères de choix du diamètre d'un conduit et de la vitesse de circulation.....107

1. Facteurs ayant une incidence sur le choix d'un conduit
 - 1.1. Température, masse volumique et viscosité du fluide
 - 1.2. Diamètre intérieur et rugosité
 - 1.3. Pression, température de service et réactions chimiques
 - 1.4. Coût et amortissement
2. Estimation rapide du diamètre en fonction de la vitesse

Chapitre 11 - Critères de choix du diamètre d'un conduit et de la vitesse de circulation.....111

1. Introduction
2. Norme, référentiel, certification, marque NF
3. Contraintes mécaniques
4. Tubes en acier
 - 4.1. Principaux types de fabrication
 - 4.2. Désignation
 - 4.3. Diamètre nominal DN
 - 4.4. Pression et température
 - 4.5. Normes des tubes en acier
 - 4.6. Nuance et caractéristiques mécaniques des aciers
 - 4.7. Caractéristiques des principales normes en fonction de la température d'emploi
 - 4.8. Tolérances de fabrication
 - 4.9. Calcul de la pression maximale admissible
 - 4.10. Rugosité et dimensions des tubes en acier
 - 4.11. Tubes en acier inoxydable
5. Tubes en cuivre
6. Tubes en matériau de synthèse
 - 6.1. Avantages des tubes en matériau de synthèse
 - 6.2. Limites d'emploi
 - 6.3. Classes
 - 6.4. Tubes en PVC
 - 6.5. Tubes en HPF
 - 6.6. Tubes en alliage vinylique ductile
 - 6.7. Tubes en polyéthylène
 - 6.8. Tubes en polyéthylène réticulé
7. Conduits aérauliques

Chapitre 12 - Distribution de l'eau ECFS, ECBT, ECHT, glacée, glycolée.....127

1. Masse volumique et viscosités de l'eau
2. Masse volumique et viscosité cinématique des eaux glycolées
3. Formules approchées
 - 3.1. Le régime turbulent lisse
 - 3.2. Régime turbulent rugueux
 - 3.3. Résumé des formules approchées
 - 3.4. Formule DE HAZEN-WILLIAMS
4. Abaques de pertes de charge linéiques
 - 4.1. Les tubes en acier noir
 - 4.2. Les tubes en acier galvanisé
 - 4.3. Les tubes en cuivre
 - 4.4. Les tubes en matériaux de synthèse : HPF, PVC, PE, PER
 - 4.5. Correction de rugosité
5. Pertes de charge singulières
 - 5.1. Exploitation des documents relatifs aux données concernant les pertes de charge singulières

- 6. Détermination du débit volume dans les installations thermiques
 - 6.1. Principe
 - 6.2. Enthalpie et chaleur massique de l'eau
 - 6.3. Exemple de calcul du débit volume moyen Q_{v_m}
- 7. Exemples de calcul de pertes de charge
 - 7.1. Dimensionnement d'un réseau de distribution d'eau froide
 - 7.2. Dimensionnement d'une installation de chauffage individuel centralisé (CIC) d'un petit immeuble d'habitation (R + 3)
 - 7.2.1. Pertes de charge du réseau individuel
 - 7.2.2. Pertes de charge du réseau collectif

Chapitre 13 - Distribution des fiouls225

- 1. Caractéristiques générales des fiouls
- 2. Régimes d'écoulement
- 3. Perte de charge linéique
 - 3.1. Coefficient de perte de charge λ
 - 3.2. Formules pratiques
- 4. Prédétermination du diamètre
 - 4.1. Choix de la vitesse
 - 4.2. Incidence de l'augmentation de la viscosité cinématique sur la puissance de la pompe de transfert
 - 4.3. Choix du matériau
 - 4.4. Détermination du diamètre
- 5. Abaques
 - 5.1. Abaques pour le fioul domestique : 13-5A à 13-5D
 - 5.2. Abaques pour le fioul lourd : 13-5E à 13-5N
 - 5.3. Perte de charge linéique pour d'autres diamètres
 - 5.4. Perte de charge linéique pour d'autres fluides
- 6. Pompage du fioul
 - 6.1. Aspiration
 - 6.2. Refoulement
- 7. Alimentation directe des brûleurs
 - 7.1. Systèmes d'alimentation
 - 7.2. Hauteur d'aspiration et de charge
 - 7.3. Réservoir en aspiration
 - 7.4. Réservoir en charge
 - 7.5. Limite pratique d'aspiration
- 8. Dimensionnement des conduites
 - 8.1. Perte de charge linéique
 - 8.2. Pertes de charge singulières
 - 8.3. Perte de charge des appareils
 - 8.4. Détermination du diamètre en fonction de la longueur de la tuyauterie
 - 8.5. Longueur maximale des conduites de fioul
 - 8.6. Correction d'altitude
 - 8.7. Etablissement de tableaux à usage pratique
- 9. Alimentation par boucle de gavage
 - 9.1. Aspiration
 - 9.2. Conclusions

Chapitre 14 - Distribution de l'air271

- 1. Caractéristiques de l'air sec
 - 1.1. Lois de Mariotte et de Gay-Lussac
 - 1.2. Masse volumique de l'air sec
 - 1.3. Viscosité dynamique et cinématique de l'air sec
- 2. Caractéristiques de l'air humide
 - 2.1. Teneur en humidité et hygrométrie
 - 2.2. Masse volumique de l'air humide

3. Vitesse d'écoulement
 - 3.1. Calcul de la vitesse d'écoulement
4. Caractéristiques des conduits aérauliques en tôle d'acier galvanisé
 - 4.1. Géométrie des conduits
 - 4.2. Caractéristiques dimensionnelles
5. Formules approchées pour conduits circulaires en tôle d'acier galvanisé
 - 5.1. Coefficient de perte de charge λ
 - 5.2. Pertes de charge linéiques
 - 5.3. Vitesse et diamètre - Formules approchées
6. Abaques de perte de charge linéique
 - 6.1. Rugosité absolue des conduits aérauliques
 - 6.2. Abaques de pertes de charge linéiques pour conduits circulaires
 - 6.3. Coefficient correcteur de perte de charge en fonction de la pression et de la température
7. Perte de charge des conduits aérauliques non circulaires
 - 7.1. Formule US
 - 7.2. Formule fonction de Re et n
 - 7.3. Formule fonction de Diso et Dh
 - 7.4. Diamètre isocinétique, hydraulique, équivalent des conduits rectangulaires et oblongs
 - 7.5. Abaques de pertes de charge linéiques des conduits rectangulaires et oblongs
8. Pertes de charge singulières
9. Méthodes de dimensionnement des réseaux aérauliques
 - 9.1. Méthode 1 : Section constante
 - 9.2. Méthode 2 : Vitesse dégressive
 - 9.3. Méthode 3 : Perte de charge linéique constante
 - 9.4. Méthode 4 : Pression statique constante

Chapitre 15 - Distribution de l'air comprimé.....327

1. Caractéristiques physiques de l'air comprimé
 - 1.1. Caractéristiques de l'air comprimé
2. Les vitesses d'écoulement
3. Formules approchées, appliquées au tube en acier galvanisé
 - 3.1. Coefficient de perte de charge λ
 - 3.2. Abaques de pertes de charge linéiques des tubes en acier galvanisé
4. Formules approchées, appliquées aux tubes en cuivre et en matériaux de synthèse
 - 4.1. Coefficient de perte de charge λ
 - 4.2. Formules pratiques
 - 4.3. Abaques pour les tubes en cuivre et en alliage vinylique ductile
5. Correction de détente
6. Formules approchées de la perte de charge quadratique
 - 6.1. Perte de charge quadratique des tubes en acier galvanisé
 - 6.2. Perte de charge quadratique des tubes en cuivre
7. Pertes de charge singulières
8. Correction de température
9. Air comprimé et humidité
10. Air comprimé : résumé des formules approchées

Chapitre 16 - Distribution des gaz.....351

1. Différents types de gaz
2. Caractéristiques des gaz
 - 2.1. Conditions de référence et de distribution
 - 2.2. Masse volumique, viscosité dynamique et cinématique
 - 2.3. Pouvoirs calorifiques
 - 2.4. Indice de Wobbe
3. Débit et vitesse d'écoulement
 - 3.1. Calcul des débits

- 3.2. Calcul de la vitesse d'écoulement
- 3.3. Débit maximal d'une tuyauterie
- 4. Tubes en acier
 - 4.1. Formules de Renouard
 - 4.2. Abaques de pertes de charge linéiques
 - 4.3. Choix du diamètre en fonction de la longueur de la conduite
 - 4.4. Perte de charge quadratique
- 5. Tubes en cuivre
 - 5.1. Coefficient de correction pour tubes en cuivre
 - 5.2. Formules approchées
 - 5.3. Abaques de perte de charge linéique
- 6. Tubes en polyéthylène
 - 6.1. Abaques pour les tubes en polyéthylène
 - 6.2. Abaques spécifiques type GDF
 - 6.3. Branchements des immeubles d'habitation
- 7. Corrections de perte de charge
 - 7.1. Correction en fonction de la pression
 - 7.2. Correction en fonction de l'altitude
 - 7.3. Correction en fonction de la température
 - 7.4. Correction de détente
- 8. Détermination pratique des diamètres
 - 8.1. Installations au gaz naturel
 - 8.2. Installations au butane ou propane

Chapitre 17 - Distribution de la vapeur d'eau.....419

- 1. Caractéristiques de la vapeur d'eau
- 2. Equations utilisables pour la vapeur dans le domaine du chauffage
 - 2.1. Equations applicables à la vapeur surchauffée
- 3. Vitesse d'écoulement
- 4. Abaques de pertes de charge pour le tube acier
 - 4.1. Vapeur saturée sèche
 - 4.2. Vapeur surchauffée
 - 4.3. Vapeur saturée humide
 - 4.3.1. Entraînement total
 - 4.3.2. Entraînement nul
- 5. Formules approchées de pertes de charge pour le tube acier
 - 5.1. Coefficient de perte de charge λ pour vapeur d'eau saturée et le tube acier
 - 5.2. Formules pratiques pour la vapeur d'eau saturée et le tube acier
 - 5.3. Vapeur d'eau surchauffée
- 6. Perte de charge tube cuivre
 - 6.1. Détermination du coefficient λ pour la vapeur d'eau saturée et le tube cuivre
 - 6.2. Formules pratiques pour la vapeur d'eau saturée et le tube cuivre
 - 6.3. Abaque de perte de charge pour la vapeur saturée et le tube cuivre
- 7. Méthodes de calcul de la perte de charge d'un conduit
 - 7.1. Calcul de la perte de charge d'un conduit par fractionnement
 - 7.2. Calcul de la perte de charge avec le coefficient de détente isotherme k_d
- 8. Pertes de charge singulières