

[cursus]

François G. Brière

Distribution et collecte des eaux

Troisième édition

 PRESSES
INTERNATIONALES
POLYTECHNIQUE

Distribution et collecte des eaux, troisième édition
François G. Brière

Révision et correction d'épreuves : Monique Thouin
Illustrations : Flavio Mini
Couverture : Cyclone Design

Pour connaître nos distributeurs et nos points de vente, veuillez consulter notre site Web à l'adresse suivante : www.pressespoly.ca

Courriel des Presses internationales Polytechnique : pip@polymtl.ca

Nous reconnaissons l'aide financière du gouvernement du Canada par l'entremise du Fonds du livre du Canada (FLC) pour nos activités d'édition.

Gouvernement du Québec – Programme de crédit d'impôt pour l'édition de livres – Gestion SODEC.

Tous droits réservés
© Presses internationales Polytechnique, 2012

Réimpression, printemps 2014

On ne peut reproduire ni diffuser aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit, sans avoir obtenu au préalable l'autorisation écrite de l'éditeur.

Dépôt légal : 3^e trimestre 2012
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
Bibliothèque et Archives Canada

ISBN 978-2-553-01637-0
Imprimé au Canada

TABLE DES MATIÈRES

Avertissement.....	V
Avant-propos.....	VII
Remerciements.....	IX
Liste des symboles.....	XXI

Chapitre 1

Connaissances préalables à la gestion des eaux potables et usées.....	1
Introduction.....	1
1.1 Cycles du transport de l'eau.....	1
1.1.1 Cycle d'utilisation des eaux de surface.....	1
1.1.2 Cycle d'utilisation des eaux souterraines.....	3
1.2 Sources d'approvisionnement en eau.....	4
1.2.1 Eaux de surface.....	4
1.2.2 Eaux souterraines.....	5
1.2.3 Eaux de pluie.....	6
1.2.4 Eaux de mer et eaux saumâtres.....	6
1.3 Estimation des populations à desservir.....	7
1.3.1 Sources d'information.....	7
1.3.2 Modélisation de la croissance de la population.....	8
1.3.3 Densité de population.....	22
1.3.4 Durée d'utilisation prévue.....	22
1.4 Propriétés physiques de l'eau et de la glace.....	24
Conclusion.....	24
Problèmes.....	25

Chapitre 2

Caractéristiques hydrauliques des écoulements dans les conduites d'égout et de distribution d'eau.....	27
Introduction.....	27
2.1 Équations de base des écoulements en conduite.....	27
2.2 Pertes de charge.....	40
2.2.1 Pertes de charge dues au frottement dans les conduites.....	40
2.2.2 Pertes de charge singulières dues aux structures.....	40
2.2.3 Calcul des pertes de charge singulières (conduites sous pression).....	40
2.2.4 Longueur de conduite équivalente (conduites sous pression).....	41
2.3 Calcul des écoulements lorsque les conduites ne coulent pas à plein débit.....	44
2.4 Usages des différents types de conduites.....	48
Conclusion.....	49
Problèmes.....	51

Chapitre 3

Volumes et débits d'eau de consommation	55
Introduction.....	55
3.1 Précisions lexicales.....	55
3.2 Consommations moyennes comparées et consommations suggérées.....	57
3.3 Répartition de la consommation d'eau.....	62
3.4 Facteurs affectant les débits de consommation.....	63
3.5 Calcul des débits maximaux (ou débits de pointe) et des débits minimaux.....	65
Conclusion.....	71
Problèmes.....	72

Chapitre 4

Capture, adduction et distribution des eaux de consommation	75
Introduction.....	75
4.1 Prise d'eau de surface.....	75
4.1.1 Prise d'eau dans une rivière.....	76
4.1.2 Prise d'eau dans un lac.....	77
4.2 Prise d'eau souterraine.....	77
4.3 Relevé hydraulique et sanitaire.....	78
4.4 Estimation de l'épaisseur de la glace sur les eaux de surface.....	78
4.5 Conception de la prise d'eau.....	82
4.6 Conception de la conduite d'adduction.....	82
4.7 Conception du réservoir d'eau brute.....	83
4.8 Grilles à l'entrée d'eau du réservoir d'eau brute.....	84
4.9 Pompes à basse pression.....	84
4.10 Station de purification et réservoir d'équilibre.....	86
4.11 Poste de surpression et vanne de réduction de pression.....	87
4.12 Réseau de distribution.....	88
4.12.1 Ossature des différents réseaux.....	88
4.12.2 Systèmes de distribution.....	90
4.12.3 Réservoir d'eau.....	92
4.12.4 Conduites de distribution existant sur le marché : diamètres et matériaux.....	100
4.12.5 Profondeur de gel dans le sol.....	104
4.12.6 Protection des conduites contre le gel.....	108
4.12.7 Vannes.....	112
4.12.8 Poteaux d'incendie.....	114
4.12.9 Entrée ou branchement de service.....	117
4.12.10 Joints entre les conduites.....	120
4.12.11 Ventouse et reniflard.....	121
4.12.12 Pressions de service minimales et maximales.....	122
4.12.13 Vitesses d'écoulement.....	122
4.12.14 Débits nécessaires pour combattre les incendies.....	122
4.12.15 Installations fixes pour lutter contre les incendies.....	125
4.12.16 Stratégie hydraulique et déploiement au site d'un incendie.....	129

4.12.17	Répartition et installation des poteaux d'incendie : approche préliminaire	130
4.12.18	Coefficient de rugosité.....	130
4.12.19	Pertes de charge singulières.....	131
4.12.20	Coup de bélier.....	131
4.13	Butées et attaches	137
4.13.1	Butées	137
4.13.2	Attaches ou joints de retenue.....	140
4.14	Mise en service d'une nouvelle conduite.....	145
4.15	Approvisionnement en eau des édifices élevés.....	145
4.16	Franchissement d'un cours d'eau	146
	Conclusion	146
	Problèmes.....	147

Chapitre 5

	Conception des réseaux de distribution d'eau de consommation.....	153
	Introduction.....	153
5.1	Définitions	153
5.1.1	Conduites principales	153
5.1.2	Conduites secondaires	154
5.1.3	Conduites locales.....	154
5.1.4	Nœud, boucle et saignée.....	154
5.2	Exigences relatives au réseau	154
5.2.1	Consommation de pointe horaire.....	154
5.2.2	Consommation journalière maximale durant un ou plusieurs incendies.....	154
5.2.3	Consommation journalière maximale en cas de bris d'une conduite secondaire ou principale	155
5.2.4	Situations particulières	155
5.3	Conception d'un réseau de distribution d'eau	155
5.3.1	Obtention du mandat	155
5.3.2	Recension des services existants	155
5.3.3	Étude du milieu physique et détermination des besoins actuels et à venir.....	156
5.3.4	Détermination des choix possibles et étude économique	157
5.3.5	Choix final	157
5.4	Étude hydraulique d'un réseau de distribution.....	157
5.4.1	Choix initial des diamètres des conduites et règles de l'art.....	157
5.4.2	Relation entre le débit, Q , et les pertes de charge, H_L , dans une conduite coulant sous pression	158
5.4.3	Calcul des conduites équivalentes.....	159
5.5	Analyse des réseaux de distribution par la méthode de linéarisation de Wood-Charles	165
5.6	Analyse des réseaux de distribution à l'aide de la méthode de Newton-Raphson	166
5.7	Analyse des réseaux de distribution à l'aide de la méthode de Hardy-Cross.....	167

8.2	Planification de la construction d'un réseau d'égouts	262
8.3	Éléments d'un réseau d'égouts	264
8.3.1	Types de conduites d'égout	264
8.3.2	Regard d'égout et regard avec chute	266
8.3.3	Bouche d'égout.....	268
8.3.4	Branchements ou entrées de service.....	269
8.4	Réseau d'égouts : matériaux, équipements divers et normes.....	272
8.4.1	Matériaux de fabrication des conduites d'égout et de distribution d'eau.....	272
8.4.2	Diamètres minimaux des conduites d'égout.....	276
8.4.3	Formes particulières de la section des conduites d'égout.....	277
8.4.4	Diamètre intérieur réel des conduites d'égout.....	277
8.4.5	Regard d'égout	278
8.4.6	Alignement des conduites d'égout.....	279
8.4.7	Profondeur d'enfouissement des conduites d'égout	279
8.4.8	Pente des conduites d'égout	280
8.4.9	Branchements et bouches d'égout	282
8.4.10	Classification des conduites d'égout en béton armé selon leur résistance aux charges.....	287
8.5	Pertes de charge dans un réseau d'égouts.....	287
8.5.1	Pertes de charge dans les conduites d'égout.....	287
8.5.2	Pertes de charge dues aux équipements.....	287
8.5.3	Altitude des conduites d'égout aux regards.....	288
8.6	Pompes et stations de pompage (poste de relèvement).....	288
8.6.1	Types de pompes	289
8.6.2	Puissance requise.....	290
8.6.3	Courbes caractéristiques de pompes.....	291
8.6.4	Courbes d'exploitation et d'équilibre.....	291
8.6.5	Conduite de refoulement d'eaux usées.....	293
8.6.6	Hauteur de charge totale, H_T	293
8.6.7	Débits d'eaux usées à pomper	295
8.6.8	Nombre et type de pompes dans les stations de pompage	295
8.6.9	Conception des stations de pompage.....	296
8.6.10	Cavitation et les pompes.....	297
8.6.11	Suggestions relatives à la conception	298
8.7	Siphon inversé et tunnel	298
8.8	Ponceau	300
8.9	Installation des conduites dans les tranchées.....	300
8.10	Mesure des débits d'eaux usées.....	302
8.10.1	Types de mesures des débits.....	303
8.10.2	Appareils enregistreurs de débit	303
8.11	Stabilité des structures souterraines.....	309
8.12	Réseaux d'égouts alternatifs.....	315
	Conclusion	315
	Problèmes.....	317

Chapitre 9**Conception hydraulique des réseaux d'égouts sanitaires, pluviaux**

et unitaires	321
Introduction.....	321
9.1 Conception des réseaux d'égouts pluviaux.....	321
9.1.1 Calcul du débit maximal à la décharge d'un sous-bassin versant urbain.....	323
9.1.2 Calculs relatifs aux conduites d'égout pluviales en béton armé devant desservir un bassin versant formé de plusieurs sous-bassins versants urbains.....	324
9.2 Conception de réseaux d'égouts sanitaires.....	336
9.2.1 Calcul des débits sanitaires moyens, maximaux et minimaux dans un égout sanitaire.....	336
9.2.2 Conception d'un intercepteur (sanitaire) desservant deux réseaux d'égouts sanitaires.....	342
9.2.3 Calculs relatifs à un intercepteur sanitaire desservant un bassin sanitaire et un bassin unitaire.....	346
9.3 Sites des bouches d'égout.....	350
9.3.1 Distance maximale entre deux bouches d'égout lorsque la pente longitudinale de la rue est égale ou supérieure à 0,5 %.....	351
9.3.2 Distance maximale entre deux bouches d'égout lorsque la pente longitudinale de la rue est inférieure à 0,5 %.....	353
9.3.3 Autre approche selon les travaux de la Federal Highway Administration (Dual Heuristic Programming, DHP).....	354
9.3.4 Autre critère applicable au choix des sites des bouches d'égout.....	354
9.4 Sites des conduites dans les rues et aux intersections de rues.....	355
9.4.1 Sites des conduites d'égout sanitaire et d'égout pluvial dans les rues.....	355
9.4.2 Sites des conduites de distribution d'eau dans les rues.....	356
9.4.3 Installation des conduites aux intersections de rues.....	359
9.5 Ponceaux.....	368
9.5.1 Caractéristiques hydrauliques générales.....	368
9.5.2 Vitesse de l'eau dans les ponceaux au débit maximal (débit de conception).....	373
Conclusion.....	373
Problèmes.....	376

Chapitre 10**Maladies et dangers liés à l'eau**.....387

Introduction.....387

10.1 Maladies contractées par la consommation d'eau contaminée ou à la suite de contacts de l'épiderme avec des eaux polluées.....	387
10.1.1 Maladies contractées par la consommation d'eaux contaminées.....	388

Chapitre 9**Conception hydraulique des réseaux d'égouts sanitaires, pluviaux et unitaires**

	Introduction.....	321
9.1	Conception des réseaux d'égouts pluviaux.....	321
9.1.1	Calcul du débit maximal à la décharge d'un sous-bassin versant urbain	323
9.1.2	Calculs relatifs aux conduites d'égout pluviales en béton armé devant desservir un bassin versant formé de plusieurs sous-bassins versants urbains	324
9.2	Conception de réseaux d'égouts sanitaires	336
9.2.1	Calcul des débits sanitaires moyens, maximaux et minimaux dans un égout sanitaire	336
9.2.2	Conception d'un intercepteur (sanitaire) desservant deux réseaux d'égouts sanitaires	342
9.2.3	Calculs relatifs à un intercepteur sanitaire desservant un bassin sanitaire et un bassin unitaire.....	346
9.3	Sites des bouches d'égout.....	350
9.3.1	Distance maximale entre deux bouches d'égout lorsque la pente longitudinale de la rue est égale ou supérieure à 0,5 %.....	351
9.3.2	Distance maximale entre deux bouches d'égout lorsque la pente longitudinale de la rue est inférieure à 0,5 %.....	353
9.3.3	Autre approche selon les travaux de la Federal Highway Administration (Dual Heuristic Programming, DHP).....	354
9.3.4	Autre critère applicable au choix des sites des bouches d'égout.....	354
9.4	Sites des conduites dans les rues et aux intersections de rues	355
9.4.1	Sites des conduites d'égout sanitaire et d'égout pluvial dans les rues.....	355
9.4.2	Sites des conduites de distribution d'eau dans les rues	356
9.4.3	Installation des conduites aux intersections de rues	359
9.5	Ponceaux	368
9.5.1	Caractéristiques hydrauliques générales.....	368
9.5.2	Vitesse de l'eau dans les ponceaux au débit maximal (débit de conception)	373
	Conclusion	373
	Problèmes.....	376

Chapitre 10**Maladies et dangers liés à l'eau**

	Introduction.....	387
10.1	Maladies contractées par la consommation d'eau contaminée ou à la suite de contacts de l'épiderme avec des eaux polluées.....	387
10.1.1	Maladies contractées par la consommation d'eaux contaminées	388

10.1.2	Maladies contractées par le contact de l'épiderme avec des eaux souillées	392
10.1.3	Maladies contractées par la respiration de gouttelettes d'eau polluée	393
10.1.4	Noyade.....	393
10.1.5	Maladies contractées lors d'activités aquatiques dans les piscines et les spas	393
10.1.6	Désinfection de l'eau par le chlore (chloration)	394
10.2	Gaz et vapeurs mettant en danger la santé et la vie des égoutiers	395
10.3	Plomb, aluminium, fluor et cuivre	396
10.4	Autres risques que courent les travailleurs de l'eau	398
10.5	Règles d'hygiène personnelle.....	399
10.6	Moyens permettant de se protéger contre les maladies causées par des virus, des bactéries, des protozoaires ou des vers	400
10.6.1	Vaccination	400
10.6.2	Ébullition de l'eau à gros bouillons pendant quelques minutes	400
10.6.3	Abstention de contact physique externe avec les eaux douces naturelles des pays chauds.....	400
10.7	Expression de la concentration de gaz dans les mélanges gazeux.....	401
10.8	Concentration aqueuse et analyses	403
10.9	Analyses microbiologiques.....	403
	Conclusion	403
	Problèmes.....	403

Chapitre 11

Forces externes qui s'exercent sur les conduites souterraines :

	choix et installation de conduites appropriées	407
	Introduction.....	407
11.1	Divers types d'installation des conduites dans le sol.....	408
11.1.1	Construction en tranchée	408
11.1.2	Enfouissement	408
11.1.3	Construction en tunnel.....	410
11.1.4	Largeur de la tranchée de transition.....	410
11.2	Variables et symboles utilisés dans ce chapitre	410
11.3	Calcul des forces dues au remblai et au sol naturel qui s'exercent sur les conduites installées en tranchée	413
11.3.1	Conduites rigides	413
11.3.2	Conduites souples (installation en tranchée et en remblai positifs).....	416
11.4	Calcul des forces dues au remblai qui s'exercent sur les conduites rigides enfouies.....	417
11.4.1	Conduite installée en remblai positif.....	417
11.4.2	Conduite installée en remblai négatif.....	420
11.4.3	Conduite installée en remblai nul	420
11.5	Calcul des effets sur la conduite de charges vives concentrées	423
11.5.1	Théoriquement.....	423

11.5.2	Pratiquement, pour les charges vives de route.....	426
11.5.3	Charges vives de chemin de fer.....	433
11.6	Calcul des effets sur la conduite de charges mortes horizontales uniformément réparties à la surface du sol et symétriques par rapport à la conduite.....	436
11.7	Forces résultantes dues aux charges mortes et aux charges vives qui s'exercent sur les conduites.....	437
11.8	Capacité portante des conduites en béton armé.....	438
11.9	Dimensions minimales des sections verticales transversales des tranchées.....	439
11.9.1	Pentes des parois de la tranchée.....	439
11.9.2	Largeur du fond de la tranchée et épaisseur de l'assise.....	440
11.10	Assises, aménagement des fonds de tranchée et facteurs d'assise.....	440
11.10.1	Conduites de béton armé : installation traditionnelle.....	441
11.10.2	Conduites de thermoplastique PVC (selon les fabricants).....	446
11.10.3	Conduites de fonte ductile (selon les fabricants).....	447
11.11	Matériau de remblai.....	447
11.12	Nouvelle approche pour le calcul des forces agissant sur les conduites rigides en béton.....	448
11.12.1	Installation en remblai positif.....	448
11.12.2	Nouvelles installations standards.....	449
11.12.3	Facteurs d'assise pour les charges mortes (L_f) _{CM}	450
11.12.4	Facteurs d'assise pour les charges vives (L_f) _{CV}	452
11.12.5	Poids de l'eau dans les conduites.....	452
	Conclusion.....	457
	Problèmes.....	461

Chapitre 12

Conduites (souples) de thermoplastique : chlorure de polyvinyle (PVC) et polyéthylène (PE ou HDPE)	467
Introduction.....	467
12.1 Identification des conduites de thermoplastique.....	468
12.2 Pressions hydrauliques internes des conduites de thermoplastique et tensions de charge.....	468
12.3 Relations entre DR/SDR , la pression nominale, p_N et le taux de pression (<i>Pressure rating</i>).....	471
12.4 Classes des conduites selon les normes C900 et C905 de l'American Water Works Association (AWWA).....	471
12.5 Effets de la température sur les conduites de PVC.....	472
12.6 Surpressions cycliques fréquentes.....	477
12.7 Affaissement ou inflexion de couronne des conduites en thermoplastique (PVC).....	479
12.8 Diamètres extérieurs des conduites de PVC.....	486
Conclusion.....	487
Problèmes.....	489

Chapitre 13

Corrosion des conduites et des équipements divers	493
Introduction.....	493
13.1 Quelques définitions préliminaires.....	493
13.2 Conséquences de la corrosion des conduites et de divers équipements.....	495
13.3 Les quatre conditions pour qu'il y ait corrosion métallique.....	495
13.4 Nature de la corrosion.....	496
13.5 En milieu aqueux, le fer peut toujours être oxydé.....	496
13.6 Assistance bactérienne à la corrosion.....	497
13.7 Facteurs qui favorisent la corrosion en milieu aqueux.....	498
13.8 Causes de la corrosion externe des conduites.....	498
13.9 Dégradation du béton.....	498
13.10 Stratégies habituelles pour contrer la corrosion des réseaux de distribution et de collecte des eaux.....	499
13.11 Coûts relatifs à la protection externe contre la corrosion.....	500
13.12 Pertinence de la protection externe contre la corrosion de la fonte.....	500
13.13 Protection cathodique.....	502
13.14 Conception.....	503
Conclusion.....	504
Problèmes.....	505
Réponses aux problèmes	507
Annexe A Graphiques des conditions d'écoulement pour diverses sections de conduites d'égout.....	525
Annexe B Graphiques de la capacité hydraulique de ponceaux en béton de différents diamètres.....	531
Annexe C Unités de mesure.....	541
Annexe D Grilles pour les calculs relatifs aux réseaux d'égouts pluvial et sanitaire.....	543
Annexe E Guide relatif à la réalisation des réseaux d'eau aux fins de la protection contre l'incendie (1999).....	547
Bibliographie	563
Index	567