

DETERMINATION DES DEBITS EN ROUTE DANS UN RÉSEAU MAILLE PAR LA MÉTHODE DU MODÈLE RUGUEUX DE RÉFÉRENCE (MMR)

DESIGN OF THE WATER NETWORKS USING THE ROUGH MODEL METHOD (RMM)

A. BEDJAOUÏ⁽¹⁾, B. ACHOUR⁽²⁾

^(1,2)Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface - LARHYSS Université de Biskra,
BP 145 RP, 07000, Biskra, Algérie

ali_bedjaoui@yahoo.com, bachir.achour@larhyss.net

RESUME

La détermination explicite des débits répartis dans les différents tronçons constituant un réseau de distribution est très délicate et exige l'utilisation de programmes et logiciels (LOOP à titre d'exemple). Ce problème se rencontre souvent dans les études de schémas directeurs réalisés par les bureaux d'études spécialisés en Hydraulique.

C'est sur la base de ces études que les différents plans communaux de développement (PCD) voient la lumière et cela par l'inscription de différents projets (extension, rénovation ou inscription des réseaux).

L'objectif de cette étude est d'examiner la possibilité d'appliquer la méthode du modèle rugueux de référence pour la détermination explicite des débits en route dans les tronçons formant un réseau maillé (réseau existant).

Une application sera présentée pour mieux comprendre l'emploi de cette méthode pour résoudre ce type de problème.

MOTS CLES: Diamètre, débit, nombre de Reynolds, réseau, réseau maillé, rugosité absolue, rugosité relative, gradient hydraulique, perte de charge, pression, Hardy-Cross, Méthode du modèle rugueux, cote piézométrique.

ABSTRACT

The explicit determination of flows divided in different sections constituting a distribution network is very delicate and requires the use of programs and software (LOOP for example). This problem is encountered in many blueprints studies carried out by offices specializing in Hydraulics.

It is on the basis of these studies the various communal development plans (CDP) see the light. (Extension, renovation or registration).

The objective of this study is to investigate the possibility of applying the method of rough reference model for the explicit determination of flows in road sections forming a mesh network (existing network).

We used the relationships and formulas of the MMR and applied to solve this problem. Once the rates are calculated by the relation (10) the balance of nodes is reached and it requires no additional iteration if we want to use the method of Hardy-cross.

An application will be made to better understand the use of this method to resolve this problem.

KEYWORDS: Diameter, discharge, Reynolds number, Network, Absolute roughness, Relative roughness, Hydraulic gradient, Charge loss, Pressure, Hardy-Cross, Rough model method.

1 INTRODUCTION

Les recherches menées actuellement dans le domaine des réseaux d'eau potable concernent essentiellement le vieillissement des conduites, la réalisation de diagnostic et la construction de programme de maintenance

(réhabilitation) et enfin l'optimisation dans le calcul des réseaux. Ces différents problèmes constituent, de nos jours, une préoccupation majeure pour les gestionnaires des réseaux d'A.E.P [1].

Le distributeur d'eau potable a toujours le souci de couvrir

les besoins des consommateurs, en quantité et qualité suffisantes. Il a aussi le souci de veiller à la bonne gestion et à la perfection de toutes les infrastructures concourant l'approvisionnement en eau.

L'objectif du calcul d'un réseau de distribution est la détermination des paramètres géométriques et hydrauliques des canalisations formant le réseau. Un très bon calcul avec une bonne réalisation facilitent largement la tâche aux gérants des réseaux et font satisfaction des abonnés.

2 ETAPES DE CALCUL D'UN RÉSEAU MAILLÉ PAR LA MÉTHODE DE HARDY-CROSS

L'objectif du calcul d'un réseau de distribution est la détermination des paramètres géométriques et hydrauliques des canalisations formant le réseau de distribution c'est-à-dire le diamètre D (m), le gradient de la perte de charge J , la vitesse de l'écoulement v (m/s) en fonction d'une répartition arbitraire des débits Q (m³/s), puis la vérification de la pression au sol au niveau de chaque nœud qui doit être comprise entre 10 m.c.e et 40 m.c.e pour conclure que le calcul est acceptable ou non.

Ce calcul ne peut se faire qu'après avoir évalué les différents débits susceptibles d'être évacués par chaque tronçon et cela après avoir estimé les différents besoins en eau de l'agglomération urbaine (population, industrie, équipements, etc....).

Un réseau maillé est constitué d'une série de tronçons disposés de telle manière qu'il soit possible de décrire une ou plusieurs boucles fermées en suivant son tracé : une telle boucle s'appelle une « maille ». Ce système qui présente de nombreux avantages par rapport au réseau ramifié s'adapte très bien au plan des agglomérations urbaines.

D'après sa définition, il est aisé de comprendre qu'un réseau maillé présente une indétermination sur les grandeurs et les signes, donc sur les sens des débits et des pertes de charge dans chaque tronçon. Plusieurs auteurs ont cherché à résoudre le problème et les méthodes utilisées reposent toutes sur le principe d'équilibre des débits en chaque nœud et sur le principe d'équilibre des pertes de charge le long de chaque maille. Ces deux principes ne sont autres que la traduction des lois de Kirchhoff utilisées en électricité.

C'est le Professeur Hardy-Cross de l'Université d'Illinois (USA) qui a proposé en 1936 une méthode de calcul des réseaux maillés par approximation successive ; cette méthode reste valable et applicable de nos jours et porte le nom de méthode de Hardy Cross.

2.1 Principe de la méthode

Dans un réseau maillé, le sens de circulation de l'eau dans une canalisation ne peut être déterminé avec exactitude du premier coup. La répartition des débits dans les canalisations ne peut être évaluée que d'après des hypothèses, en tenant compte du fait que, pour assurer une circulation normale, il doit y avoir égalité des pressions au

point de rencontre de deux courants.

Le calcul d'un réseau maillé est assuré par l'utilisation de la méthode de Hardy-cross basée sur des approximations successives et qui repose sur deux lois, la loi des mailles et la loi des nœuds [1].

2.1.1 Loi des nœuds

Pour chaque nœud, la somme des débits qui y entrent est égale à la somme des débits qui en sortent.

2.1.2 Loi des mailles ou loi de la conservation de la charge

Le long d'un parcours fermé et orienté, la somme algébrique des pertes de charge est nulle (figure 1). Pour chaque maille, on se fixera une répartition arbitraire des débits ainsi qu'un sens d'écoulement, tout en respectant la première loi.

Le problème revient à résoudre le système d'équations suivant :

1. Pour chaque nœud :

$$Q_{\text{sortant}} - Q_{\text{entrant}} = 0 \quad (1)$$

2. Le long d'un contour fermé et orienté :

$$\Delta H_{t,i} = 0 \quad (2)$$

$\Delta H_{t,i}$ étant la perte de charge totale le long d'un tronçon i (m).

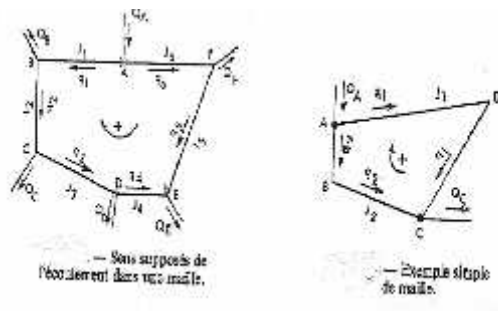


Figure 1: Principe de la méthode de Hardy-Cross

Considérons une maille quelconque d'un réseau maillé constitué de p tronçons.

Dans chaque tronçon de la maille, on se donne a priori les débits Q_1, Q_2, \dots, Q_n , de façon à respecter le principe d'équilibre des débits.

Soit ΔH_t la perte de charge totale dans un tronçon quelconque de la maille. Elle est reliée au débit Q qui y passe par la formule :

$$\Delta H_t = r Q_i^2 \quad (3)$$

Avec r : Résistance de la conduite .

Le principe d'équilibre des pertes de charge se traduit par :

$$\sum \Delta H_i = \sum r Q_i^2 = 0 \quad (4)$$

Le symbole \sum représente la somme algébrique de toutes les pertes de charge dans une maille formée par des tronçons véhiculant chacun le débit Q_i .

Le débit supposé Q' diffère du débit réel à l'équilibre Q d'une quantité Δq , qui représente la correction à apporter au débit arbitraire Q' pour satisfaire au principe d'équilibre des pertes de charge. D'où l'équation :

$$Q = Q' + \Delta q \quad (5)$$

Δq étant exprimé en valeur algébrique.

L'application de la formule (4) donne alors :

$$\sum \Delta H_i = \sum r Q_i^2 = \sum (Q' + \Delta q)^2 = 0 \quad (6)$$

Or Δq est supposé petit par rapport à Q' , donc on peut dans le développement de la formule (6), négliger les infiniment petits et on a [1] :

$$\Delta q = - \frac{\sum \Delta H}{2 \sum \frac{\Delta H}{Q}} = - \frac{\sum \Delta H}{2 \sum \frac{\Delta H}{Q}} \quad (7)$$

La correction Δq ainsi calculée est ajoutée algébriquement à chacun des débits initialement choisis Q' , de façon à obtenir une meilleure répartition des débits dans la maille considérée. Compte tenu du principe de l'équilibre des débits en chaque nœud, on calcule les nouveaux débits approchés Q' dans les tronçons d'une des mailles contiguës à la précédente et sur laquelle on effectue le même calcul.

On procède ainsi successivement sur les différentes mailles du réseau de manière à serrer de plus en plus près l'équilibre des pertes de charge dans chacune des mailles, tout en vérifiant après chaque calcul, si le principe de l'équilibre des débits est établi en chaque nœud.

La méthode de Hardy-Cross, méthode itérative, peut donc être facilement informatisée. Parmi les programmes utilisés

Hysys, Worteau et sont basés sur cette méthode ; dans ces programmes la connaissance du coefficient de William-Hazen est indispensable.

3 DETERMINATION DES DEBITS EN ROUTE DANS UN RESEAU PAR LA METHODE DU MODEL RUGUEUX

3.1 Rappel sur la méthode du model rugueux de référence MMR

C'est une nouvelle méthode pour le calcul de l'écoulement turbulent dans une conduite proposée par Achour (2007) [2, 3, 4,5 et 6], Professeur au département d'Hydraulique de l'université de Biskra et chef du laboratoire LARHYSS. Elle repose d'une part sur les relations universellement admises de Darcy-Weisbach et de Colebrook-White, et sur un modèle rugueux de référence d'autre part. Les relations explicites proposées par cette méthode donnent des résultats très acceptables. Elles s'appliquent dans toute la gamme de rugosités relatives $0 < \frac{V}{D} < 5.10^{-2}$ et pour toute valeurs du nombre de Reynolds $R > 2300$.

3.2 Etapes de calcul proposées

En application de cette méthode, les principales relations utilisées sont celles de la théorie du modèle rugueux de référence d'une part et la relation de Darcy-Weisbach pour l'évaluation des gradients des pertes de charge d'autre part.

Les étapes préconisées pour un tel calcul sont :

- Proposition de pressions aux niveaux des nœuds (Pressions aux sols) variant entre 10 m.c.e et 40 m.c.e et qu'il faut vérifier après le calcul hydraulique (après avoir déterminé les débits en route) ;
- Détermination du gradient hydraulique J pour chaque tronçon suivant la relation :

$$J = \frac{\Delta H_t}{L} = \frac{PA - PB}{L}, (m) \quad (8)$$

PA : Pression supposée en amont du tronçon (m.c.e)

PB : Pression supposée en aval du tronçon (m.c.e) ;

L : Longueur du tronçon (m).

- Pour les valeurs données du diamètre géométrique D de chaque conduite, la rugosité absolue ϵ , le gradient de la perte de charge unitaire J et la viscosité cinématique ν du liquide véhiculé, le nombre de Reynolds caractérisant l'écoulement dans le modèle rugueux de référence \bar{R} est calculé en application de la relation (9), (Achour and Bedjaoui ,2013) c'est à dire :

$$\bar{R} = 4\sqrt{2} \sqrt{\frac{gJD^3}{\nu}} \quad (9)$$

Les paramètres D , ε , ν et \bar{R} permettent d'évaluer le débit volume Q véhiculé par chaque conduite (Achour and Bedjaoui, 2006 ; Achour, 2012 ; Achour and Bedjaoui, 2013) selon la relation (10) :

$$Q = -\frac{fD^{\frac{5}{2}}}{8} \bar{R} \log\left(\frac{\nu}{3.7D} + \frac{10.04}{\bar{R}}\right) \tag{10}$$

- On vérifie avec les valeurs du débit Q ainsi calculé et le diamètre D de la conduite le gradient de la perte de charge unitaire obtenu dans l'étape 1 en appliquant la relation de Darcy (1854):

$$J = \frac{8fQ^2}{gf^2D^5} \tag{11}$$

- Le coefficient de frottement sera déterminé par la relation (12), (Achour and Bedjaoui ,2013) c'est-à-dire la relation :

$$f = \left[-2 \times \log\left(\frac{\nu}{3.7D} + \frac{10.04}{\bar{R}}\right) \right]^{-2} \tag{12}$$

Enfin, la vérification des pressions supposées au début (première étape) peut faire l'objet d'une validation des résultats obtenus.

4 EXEMPLE D'APPLICATION

Soit un réseau de distribution de type maillé (Figure 2) qui alimente une ville. Lors de l'étude du schéma directeur de ce réseau, on a pu observer les diamètres et pressions mentionnés dans le tableau 1 ci-après. Il est demandé de vérifier les débits répartis dans les tronçons en utilisant la méthode du modèle rugueux de référence.

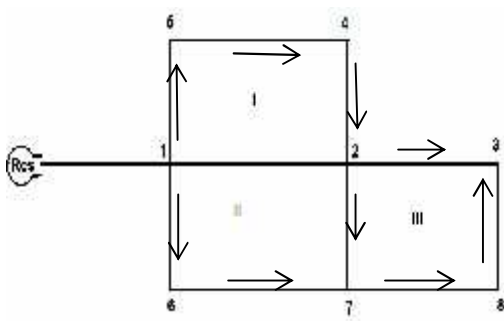


Figure 2: Schéma du Réseau maillé étudié

Tableau 1 : Paramètres géométrique et hydrauliques du réseau étudié

MP	MA	Tronçons	L (m)	D (m)	CTN		Pression supposées	
					Amont	Aval	Amont	Aval
		R-1	500	0.400	110	80	0	25,5
I	II	1_2	500	0.250	80	76,5	25,5	24,5
		1_5	300	0.250	80	79,5	25,5	24
	I	5_4	500	0.200	79,5	78,5	24	23,8
		4_2	500	0.200	78,5	76,5	23,8	24,5
II	I	1_6	300	0.250	80	79	25,5	25
		6_7	500	0.200	79	77	25	23,7
	II	2_7	300	0.200	76.5	77	24.5	23,7
		I	1_2	500	0.250	80	76,5	25,5
III	I	7_8	800	0.150	77	58	23,7	24
		II	2_7	300	0.200	76.5	77	24.5
	II	2_3	800	0.200	76,5	56,6	24,5	23,5
		I	8_3	300	0.150	58	56,6	24

CTN : Côtes du terrain Naturel

4.1 Résolution par la méthode du modèle rugueux de référence (MMR)

Le calcul hydraulique porte sur la détermination des différents débits en route, en fonction des pertes de charges unitaires et des diamètres géométriques de chaque tronçon tout en vérifiant les deux critères ou les deux lois (loi des mailles et la loi des nœuds), Les résultats obtenus sont portés dans les tableaux 2 et 3 en respectant les étapes proposées au paragraphe 3.2.

4.2 Discussion des résultats obtenus

Suite aux résultats obtenus il est à remarquer que :

- Une seule et unique itération sera faite si on veut recalculer ou vérifier le fonctionnement du réseau par la méthode de Hardy-cross en utilisant dans le calcul les valeurs des débits obtenus ;
- Les pressions vérifiées à la fin de l'application sont les mêmes supposées au début ;
- En application de méthode du modèle rugueux de référence tous les calculs sont explicites et l'utilisation du coefficient de Williams-Hazen exigé dans tous les logiciels. et programmes n'est

pas nécessaire lors de l'évaluation des débits en route.

L'emploi du coefficient de William-Hazen est dorénavant un obstacle résolu et sera remplacé par la rugosité absolue de la conduite paramètre facilement reconnu, soit donné par le fabricant des canalisations soit par mesure directe par le biais d'un rugosimètre. Le nombre d'itérations en respectant les étapes décrites au paragraphe 3.2 sera égal à l'unité car l'équilibre des mailles est atteint après la première itération.

5 CONCLUSION

Le présent travail traite la possibilité d'utiliser la méthode du modèle rugueux de référence pour l'évaluation des débits en route dans un réseau maillé. Ce dernier calcul exige l'utilisation d'un programme ou d'un logiciel approprié.

On remarque que les calculs sont explicites et ne nécessitent pas l'utilisation ni des abaques ni des tables.

Tableau 2: détermination des débits en route selon la relation (10)

Tronçons	CTN		Pression supposées		Cotes Piézométriques		L (m)	UHt (m)	J	D(m)	\bar{R}	Q (m ³ /s)
	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval						
R-1	110	80	0	25,5	110,00	105,50	500	4,50	0,009	0,400	4,25E+05	0,270
1_2	80	76,5	25,5	24,5	105,50	101,00	500	4,50	0,009	0,250	2,10E+05	0,078
1_5	80	79,5	25,5	24	105,50	103,50	300	2,00	0,0067	0,250	1,81E+05	0,067
5_4	79,5	78,5	24	23,8	103,50	102,30	500	1,20	0,0024	0,200	7,76E+04	0,022
4_2	78,5	76,5	23,8	24,5	102,30	101,00	500	1,30	0,0026	0,200	8,08E+04	0,023
1_6	80	79	25,5	25	105,50	104,00	300	1,50	0,005	0,250	1,57E+05	0,058
6_7	79	77	25	23,7	104,00	100,70	500	3,30	0,0066	0,200	1,29E+05	0,037
2_7	76,5	77	24,5	23,7	101,00	100,70	300	0,30	0,001	0,150	3,25E+04	0,006
7_8	77	58	23,7	24	100,7	82	800	18,70	0,02338	0,150	1,57E+05	0,033
2_3	76,5	56,6	24,5	23,5	101	80,1	800	20,90	0,02613	0,150	1,66E+05	0,035
8_3	58	56,6	24	23,5	82	80,1	300	1,90	0,00633	0,150	8,19E+04	0,017

Tableau 3: Vérification de l'état de fonctionnement du réseau maillé par la méthode de Hardy-cross en fonction des débits calculés

M P	MA	Tro n çons	L (m)	D (m)	V (m/s)	J	UHt (m)	UHt/Q	C,M,P	C,M,A	Q cor (m ³ /s)	Cotes Piézométriques		Pressions(PS) (mce)	
												Amont	Aval	Amont	Aval
		R-1	500	0.400	2,15	0,0090	4,50	16,67			0,270	110,00	105,50	0,00	25,50
I	II	1_2	500	0.250	1,60	0,0090	-4,49	57,27	0	0	0,078	105,50	101,01	25,50	24,51
		1_5	300	0.250	1,37	0,0067	2,00	29,74	0		0,067	105,50	103,51	25,50	24,01
		5_4	500	0.200	0,69	0,0024	1,20	54,98	0		0,022	103,51	102,31	24,01	23,81
		4_2	500	0.200	0,72	0,0026	1,30	57,09	0		0,023	102,31	101,01	23,81	24,51
somme							0,0003	199,07	Uq	0,00					
II		1_6	300	0.250	1,18	0,0050	-1,50	25,91	0		0,058	105,50	104,01	25,50	25,01
		6_7	500	0.200	1,18	0,0066	-3,30	88,84	0		0,037	104,01	100,71	25,01	23,71
	III	7_2	300	0.200	0,36	0,0010	0,30	47,24	0	0	0,006	100,71	101,01	23,71	24,51
	I	1_2	500	0.250	1,60	0,0090	4,49	57,27	0	0	0,078	105,50	101,01	25,50	24,51
somme							0,00	219,25	Uq	0					
III		7_8	800	0.150	1,90	0,0233	-18,68	558,04	0		0,033	100,71	82,03	23,71	24,03
	II	7_2	300	0.200	0,36	0,0010	-0,30	47,24	0	0	0,006	100,71	101,01	23,71	24,51
		2_3	800	0.200	2,01	0,0261	20,88	588,95	0		0,035	101,01	80,13	24,51	23,53
		8_3	300	0.150	0,96	0,0063	-1,90	111,83	0		0,017	80,10	78,20	23,50	20,20
somme							0,00	1306,07	Uq	0					

Principales notations

Symbole	Désignation	Unité
A	Aire de la section mouillée du modèle rugueux	(m²)
D	Diamètre d'un profil circulaire	(m)
f	Coefficient de frottement	(-)
g	Accélération de la pesanteur	(m/s²)
J	Gradient de la perte de charge linéaire	(-)
Q	Débit volume	(m³/s)
R	Nombre de Reynolds caractérisant l'écoulement	(-)
\bar{R}	Nombre de Reynolds de l'écoulement dans le modèle rugueux	(-)
ν	Rugosité absolue de la paroi du modèle rugueux	(m)
$\sum h_l$	Perte de charge totale	(m)
C_M, P_l	Correction Maille principale	(-)
C_M, A	Correction de la maille adjacente	(-)
Q_{cor}	Débit corrigé	(-)
PS	Pression au sol	(-)

REFERENCES

- [1] Dupont A. (1979), Hydraulique urbaine, Ouvrages de transport, élévation et distribution des eaux, Tome 2, Edition Eyrolles, Paris.
- [2] BEDJAOUI A. ACHOUR B. (2014). Dimensionnement des réseaux de distribution d'eau potable par la méthode du modèle rugueux de référence (MMR), Journal courrier du savoir, N°18, 129-136.
- [3] ACHOUR B., BEDJAOUI A. (2012). Turbulent Pipe-flow computation using the rough model method (RMM), Journal of civil engineering and science, Vol.1, n°1, 36-41.
- [4] BEDJAOUI A. ACHOUR B. (2010). Nouvelle Approche pour le dimensionnement des conduites circulaires sous pression, Journal courrier du savoir, N°10, 23-29 .
- [5] ACHOUR B. (2007). Calcul des conduits et canaux par la MMR, Tome 1 : Calcul des conduites en charge, Larhys Edition Capitale, 2007, 610p.
- [6] ACHOUR B., BEDJAOUI A. (2006a). Calcul coefficient de frottement en conduite circulaire pression, Note Technique, Larhys/Journal, N°5, 200.
- [7] ACHOUR B., BEDJAOUI A. (2006b). Discussion of « Explicit Solutions for Normal Depth problem » by Prabhata K. Swamee, Pushpa N. Rathie, J. Hydraulic Research, Vol.44, 5, 715-717.
- [8] SINNINGR R.O., HAGER. W.H, Construcrions Hydrauliques, 1ere ED., ED. Lausane, Duisse: Presse Polytechniques Romandes, 1989.
- [9] PK.SWAMEE., JAIN A.K, Explicit equations for pipe-flow problems, J.Hyd. Engineering, ASCE, 102(5) 1976) 657-664.

