

DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE PAR LA METHODE DU MODELE RUGUEUX DE REFERENCE (MMR)

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

A. BEDJAQUI, B. ACHOUR

Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface - LARHYSS Université de Biskra,
BP 145 RP, 07000, Biskra, Algérie
ali_bedjaoui@yahoo.com

RESUME

Parmi les problèmes que l'on rencontre en hydraulique, le problème de calcul des réseaux de distribution, ce calcul qui fait appel soit à des abaques et tables pour le choix des diamètres soit à l'utilisation de programmes et logiciels, ces derniers sont basés sur des relations et formules où l'estimation et le choix de certains coefficients s'avère difficile et imprécise tel que le coefficient de *Williams-Hazen* qui remplace la rugosité absolue de la conduite, ce coefficient beaucoup utilisé dans certains pays anglo-saxon est utilisé pour l'évaluation du gradient hydraulique.

L'objectif de cette étude est d'examiner la possibilité d'appliquer la méthode du modèle rugueux de référence pour le dimensionnement des réseaux de, tout en essayant de réduire le nombre des itérations exigées par l'emploi de la méthode de *Hardy-Croos* pour le cas des réseaux maillés. Des applications seront présentées pour mieux comprendre l'emploi de cette méthode pour le dimensionnement des réseaux maillés.

MOTS CLES

Diamètre, débit, nombre de Reynolds, réseau, réseau maillé, rugosité absolue, rugosité relative, gradient hydraulique, perte de charge, pression, Hardy-Cross.

ABSTRACT

The objective of this study is to examine the possibility of applying the rough model method (RMM) for the design of networks, while trying to reduce the number of iterations required by the use of the method of Hardy-croos for the case of mesh networks.

Applications will be presented to better understand the use of this method for the design of mesh networks.

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 en fin 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 taches aux gérants des réseaux et font satisfaction des abonnés.

2 ETAPES DE CALCUL D'UN RESEAU MAILLE PAR LA METHODE 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 dire 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 approximations successives 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 :

Pour chaque nœud :

$$Q \text{ sortant} - Q \text{ entrant} = 0 \tag{1}$$

Le long d'un contour fermé et orienté

$$\sum \Delta H_{t,i} = 0 \tag{2}$$

ΔH_t étant la perte de charge totale le long d'un tronçon i (m).

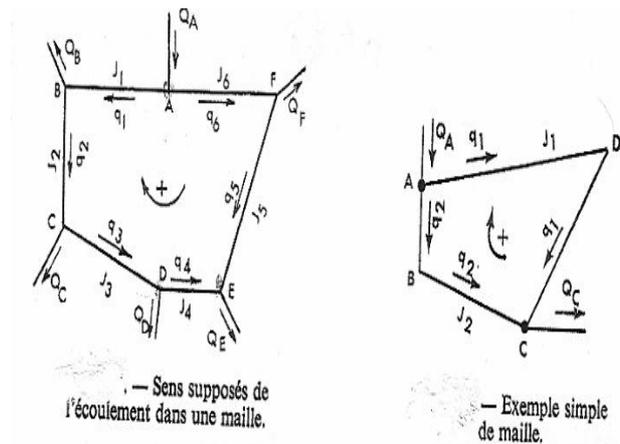


Figure 1: Principe de la méthode de Hardy-Cross

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 :

$$\Delta H_t = r Q_i^2 \tag{3}$$

Avec r : Résistance de la conduite

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

$$\sum \Delta H_t = \sum r Q_i^2 = 0 \tag{04}$$

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 :

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

Or Δq est supposé petit par rapport à Q' , donc on peut dans le développement de la formule

Δq est supposé petit par rapport à Q' , donc on peut dans le développement de la formule (06), 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 actuellement (*Faast, Loop, Epanet, Hysys, Worteau*) et sont basés sur cette méthode, dans ces programmes la connaissance du coefficient de *William-Hazen* est indispensable.

3 CALCUL D'UN RÉSEAU MAILLÉ PAR LA MÉTHODE DU MODEL RUGUEUX

3.1 Rappel sur la méthode du model rugueux de référence MMR

Proposée par *Achour.B* (2007), [2, 3, 4-5], Professeur au département d'Hydraulique de Biskra et chef du laboratoire *LARHYSS* c'est une nouvelle méthode et approche pour le calcul de l'écoulement turbulent dans une conduite. 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 $0 \leq \varepsilon/D \leq 5.10^{-2}$ 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 (choix du diamètre) ;
- Détermination du gradient hydraulique J pour chaque tronçon suivant la relation :

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

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*).

- Elaboration d'une répartition arbitraire des débits (cas des réseaux maillés)
- Détermination du diamètre géométrique D pour chaque tronçon en fonction des débits des tronçons et des gradients J en application de la relation (12) ou (13) ou (16). Cette évaluation repose sur le calcul des paramètres \bar{D}, \bar{R}, ψ et R^* du modèle rugueux de référence. Selon la relation (09), le diamètre \bar{D} est :

$$\bar{D} = (2\pi^2)^{-1/5} [(Q)^2 / (g \times J)]^{1/5} \quad (9)$$

Le nombre de Reynolds \bar{R} est, en vertu de la relation (10) pour $\bar{Q} = Q$:

$$\bar{R} = 4 \times Q / (\pi \times \bar{D} \times \nu) \quad (10)$$

Les paramètres \bar{D} et \bar{R} permettent d'évaluer le facteur ψ selon la relation (11), soit :

$$\psi = 1,35 \times \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/\bar{D}}{4,75} + \frac{8,5}{\bar{R}} \right) \right]^{-2/5} \quad (11)$$

Le diamètre D se calcule par la relation (12), soit,

$$D = \psi \bar{D} \quad (12)$$

Le nombre de Reynolds R^* est donné par la relation : $R^* = \psi^{3/2} \bar{R}$

Le diamètre peut se calculé aussi par la relation (13), après avoir évalué le nombre de Reynolds R en application de (14), soit :

$$D = \frac{4Q}{\pi Rv} \quad (13)$$

$$R = \frac{1}{2} R^* \log \left(\frac{\varepsilon/\bar{D}}{3,7\psi} + \frac{10,04}{R^*} \right)^{-1} \quad (14)$$

Comme également, le diamètre D peut être déduit de la relation de Darcy après avoir évalué le coefficient de frottement f, c'est-à-dire [5] :

$$f = \frac{\psi^5}{16} \quad (15)$$

Ainsi, le diamètre D est :

$$D = \left(\frac{8fQ^2}{gJ\pi^2} \right)^{1/5} \quad (16)$$

Après avoir déterminé le diamètre géométrique qui est un diamètre calculé on choisit un diamètre normalisé ou commercialisé (qui diffère généralement de celui calculé) : $D_n = f(D)$

- On vérifie avec le diamètre normalisé les paramètres suivants :

Le gradient de la perte de charge J selon la relation de Darcy :

$$J = \frac{8fQ^2}{g\pi^2 D^5} \quad (17)$$

Le coefficient de frottement sera déterminé par la relation (18), c'est-à-dire la relation :

$$f = \left[-2 \times \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \times \bar{D}} + \frac{10,04}{\bar{R}} \right) \right]^2 \quad (18)$$

Où le nombre de Reynolds \bar{R} sera évalué en application de la relation (19) :

$$\bar{R} = 2R \left[-\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,5}{R^{0,9}} \right) \right]^{-1} \quad (19)$$

Le nombre de Reynolds R sera obtenu à partir de la relation (20) :

$$R = 4 \times Q / (\pi Dv) \quad (20)$$

L'évaluation de la perte de charge totale pour chaque tronçons est donnée par : $\Delta H_t = J.L (m)$.

En fin la vérification des pressions aux sols au niveau de chaque nœud et leurs comparaison avec les pressions supposées au début (première étape) :

4 EXEMPLE D'APPLICATION

Soit à dimensionner un réseau de distribution de type maillé de la figure 2, alimentant un centre urbain avec un débit de pointe de 171 l/s, la distribution se fait par un réservoir dont la cote radier est de 99.3 m NGA. Les données du réseau sont regroupées dans le tableau 1. la rugosité absolue des parois internes des conduites est $\varepsilon = 0.0001m$

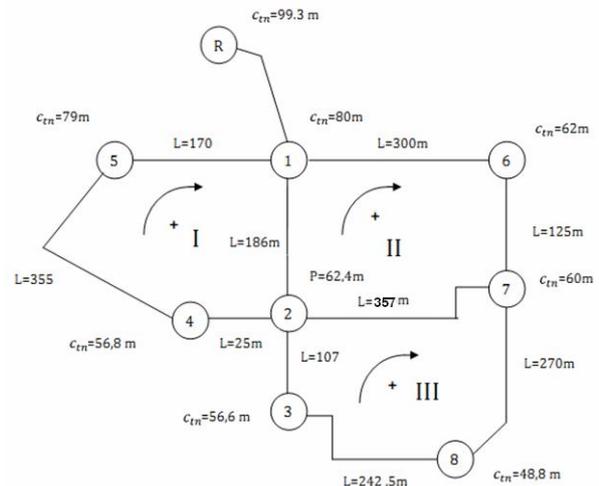


Figure 2 : Schéma du Réseau maillé étudié

Tableau 1 : Paramètres géométrique et hydrauliques du réseau étudié

Maille	Tronçons	L (m)	Débites (m3/s)	ε (m)	CTN (m)	
I	1-2	186	0,171	0,0001	99,3	80
	5-1	170	0,04833	0,0001	80	62,4
	5-4	355	0,04833	0,0001	80	79
	4-2	25	0,03333	0,0001	79	56,8
II	1-6	300	0,04833	0,0001	80	62
	6-7	125	0,03133	0,0001	62	60
	7-2	357	0,02033	0,0001	60	62,4
III	2-1	186	0,04833	0,0001	80	62,4
	7-8	270	0,021	0,0001	60	48,5
	7-2	357	0,02033	0,0001	60	62,4
	2-3	107	0,02033	0,0001	62,4	56,6
	3-8	242,5	0,00533	0,0001	56,6	48,5

4.1 Résolution par la méthode du modèle rugueux d référence MMR

Le calcul hydraulique porte sur la détermination des diamètres géométriques, les pertes de charges et les pressions aux sols, 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, 3,4,5 et 6. en respectant les étapes proposées au paragraphe 3.2, tout en fixant les pressions aux sols pour deux cas :

- Cas où le diamètre de calcul est celui obtenu par la méthode du modèle de référence.
- Cas où le diamètre de calcul est pris égale au diamètre normalisé $D_{Thé} = DN$

4.2 Discussion des résultats obtenus

Suite aux résultats obtenus il est à remarquer que :

Les pressions obtenues dès la première itération et les pressions supposées avant la correction sont quasi identiques dans le cas où on utilise les diamètres calculés comme diamètres normalisés où on peut s'en passer des itérations successives exigées parfois par la méthode de *Hardy-cross*.

Le nombre d'itérations sera réduit si les diamètres normalisés seront proches du point de vue valeurs des diamètres calculés par la méthode du modèle rugueux de référence.

Pour le cas où l'écart entre les diamètres calculés et les diamètres normalisés est grand on obtient des écarts sur les pressions calculées par rapport aux pressions supposées au début du calcul mais ces écarts restent acceptables vue que les pressions sont dans les normes exigées de 10 à 40 m.c.e Par cette méthode tous les calculs sont explicites et l'utilisation du coefficient de *Williams-Hazen* exigé dans tous les logiciels et programmes ne trouve pas sa place dans la méthode proposée

Tableau 2 : Calcul du réseau maillé par la nouvelle méthode Etape : détermination des diamètres des conduites

MP	MA	Tronçons	Q (m³/s)	PS supposées		CP	ΔHt (m)	J	\bar{D} (m)	\bar{R}	ψ	D _{thé} (m)	DN (m)	
I		R-1	0,171	0	19	99,30	99,00	0,3	0,0027	0,562	3,88E+05	0,83	0,4646	0,500
	II	1-2	0,04833	19	30	99,00	92,40	6,6	0,0355	0,202	3,04E+05	0,78	0,1589	0,150
		1-5	-0,04833	19	19	99,00	98,00	1	0,0059	0,290	2,12E+05	0,78	0,2260	0,250
		5-4	-0,03333	19	36	98,00	92,80	5,2	0,0146	0,208	2,04E+05	0,79	0,1640	0,150
II		4-2	-0,01833	36	30	92,80	92,40	0,4	0,016	0,161	1,45E+05	0,80	0,1285	0,150
		1-6	0,04833	19	35	99,00	97,00	2	0,0067	0,283	2,18E+05	0,78	0,2205	0,200
		6-7	0,03133	35	35	97,00	95,00	2	0,016	0,200	2,00E+05	0,79	0,1575	0,150
	III	7-2	-0,02033	35	30	95,00	92,40	2,6	0,0073	0,197	1,32E+05	0,79	0,1561	0,150
III	I	1-2	-0,04833	19	30	99,00	92,40	6,6	0,0355	0,202	3,04E+05	0,78	0,1589	0,150
		7-8	0,021	35	34	95,00	92,00	3	0,0111	0,183	1,46E+05	0,79	0,1454	0,150
	II	7-2	0,02033	35	30	95,00	92,40	2,6	0,0073	0,197	1,32E+05	0,79	0,1561	0,150
		2-3	-0,02033	30	35,6	92,40	92,20	0,2	0,0019	0,258	1,00E+05	0,79	0,2046	0,200
		3-8	-0,00533	35,6	34	92,20	92,00	0,2	0,0008	0,178	3,82E+04	0,82	0,1460	0,150

Tableau 3: Calcul du réseau maillé par application de la méthode du modèle rugueux de référence pour le cas où le diamètre de calcul est pris égal au diamètre théorique

MP	MA	Tronçons	Q (m³/s)	D _{thé} (m)	ΔH _t (m)	ΔH/Q	C,M,P (m³/s)	C,M,A (m³/s)	1ere correction				
									Q _{cor} (m³/s)	C.P (m)	P.S (mce)		
I		R-1	0,171	0,4646	0,30	1,76			0,1710	99,30	99,00	0,00	19,00
	II	1-2	0,04833	0,1589	6,61	136,68	0,0000	0,0000	0,0483	99,00	92,39	19,00	29,99
		1-5	-0,04833	0,2260	-1,00	20,73	0,0000	0,0000	-0,0483	99,00	98,00	19,00	19,00
		5-4	-0,03333	0,1640	-5,21	156,26	0,0000	0,0000	-0,0333	98,00	92,79	19,00	35,99
		4-2	-0,01833	0,1285	-0,40	21,86	0,0000	0,0000	-0,0183	92,79	92,39	35,99	29,99
					somme	-0,01	335,53	ΔQ=	0,0000				
II		1-6	0,04833	0,2205	2,00	41,46	0,0000	0,0000	0,0483	99,00	97,00	19,00	35,00
		6-7	0,03133	0,1575	2,00	63,94	0,0000	0,0000	0,0313	97,00	94,99	35,00	34,99
III		7-2	0,02033	0,1561	2,61	128,19	0,0000	0,0000	0,0203	94,99	92,39	34,99	29,99

I	1-2	-0,04833	0,1589	-6,61	136,68	0,0000	0,0000	-0,0483	99,00	92,39	19,00	29,99
	somme		0,01	370,26	$\Delta Q =$	0,0000						
	7-8	0,021	0,1454	3,01	143,15	0,0000	0,0000	0,0210	94,99	91,99	34,99	33,99
II	7-2	-0,02033	0,1561	-2,61	128,19	0,0000	0,0000	-0,0203	94,99	92,39	34,99	29,99
III	2-3	-0,02033	0,2046	-0,20	9,87	0,0000	0,0000	-0,0203	92,39	92,19	29,99	35,59
	3-8	-0,00533	0,1460	-0,20	37,66	0,0000	0,0000	-0,0053	92,19	91,99	35,59	33,99
somme		0,00	318,88	$\Delta Q =$	0,0000							

Tableau 4: Calcul du réseau maillé par application de la méthode du modèle rugueux de référence pour le cas où le diamètre de calcul est pris égal au diamètre normalisé (Itération n°01)

MP	MA	Tronçons	Q (m ³ /s)	DN (m)	ΔH_t (m)	$\Delta H/Q$	C,M,P (m ³ /s)	C,M,A (m ³ /s)	1ere correction				
									Q _{cor} (m ³ /s)	C.P (m)	P.S (mce)		
		R-1	0,171	0,500	0,20	1,20			0,1710	99,30	99,10	0,00	19,10
I	II	1-2	0,04833	0,150	8,88	183,71	0,0001	0,0002	0,0486	99,10	90,22	19,10	27,82
		1-5	-0,04833	0,250	-0,60	12,46	0,0001	0,0000	-0,0482	99,10	98,49	19,10	19,49
		5-4	-0,03333	0,150	-8,22	246,65	0,0001	0,0000	-0,0332	98,49	90,27	19,49	33,47
		4-2	-0,01833	0,150	-0,18	9,99	0,0001	0,0000	-0,0182	90,27	90,09	33,47	27,69
	somme				-0,13	452,81	ΔQ	0,0001					
II		1-6	0,04833	0,200	3,29	68,04	-0,0002	0,0000	0,0482	99,10	95,81	19,10	33,81
		6-7	0,03133	0,150	2,57	81,95	-0,0002	0,0000	0,0312	95,81	93,24	33,81	33,24
	III	7-2	0,02033	0,150	3,19	156,84	-0,0002	-0,0016	0,0186	93,24	90,05	33,24	27,65
	I	1-2	-0,04833	0,150	-8,88	183,71	-0,0002	-0,0001	-0,0486	99,10	90,22	19,10	27,82
	somme				0,17	490,55	ΔQ	-0,0002					
III		7-8	0,021	0,150	2,57	122,19	0,0016	0,0000	0,0226	93,24	90,67	33,24	32,67
	II	7-2	-0,02033	0,150	-3,19	156,84	0,0016	0,0002	-0,0186	93,24	90,05	33,24	27,65
		2-3	-0,02033	0,200	-0,22	11,06	0,0016	0,0000	-0,0187	90,05	89,83	27,65	33,23
		3-8	-0,00533	0,150	-0,18	32,98	0,0016	0,0000	-0,0037	89,83	89,65	33,23	31,65
	somme				-1,02	323,07	ΔQ	0,0016					

Tableau 5: Calcul du réseau maillé par application de la méthode du modèle rugueux de référence pour le cas où le diamètre de calcul est pris égal au diamètre normalisé (Itération n°03)

MP	MA	Tronçons	Q (m ³ /s)	DN (m)	ΔH_t (m)	$\Delta H/Q$	C,M,P (m ³ /s)	C,M,A (m ³ /s)	3ème correction				
									Q _{cor} (m ³ /s)	C.P (m)	P.S (mce)		
		R-1	0,1710	0,500	0,20	1,20			0,1710	99,30	99,10	0,00	19,10
I	II	1-2	0,0515	0,150	8,78	182,71	0,0002	0,0000	0,0483	99,10	90,32	19,10	27,92
		1-5	-0,0456	0,250	-0,60	12,44	0,0002	0,0000	-0,0480	99,10	98,50	19,10	19,50
		5-4	-0,0306	0,150	-8,18	246,11	0,0002	0,0000	-0,0330	98,50	90,31	19,50	33,51
		4-2	-0,0156	0,150	-0,18	9,96	0,0002	0,0000	-0,0180	90,31	90,13	33,51	27,73
	somme				-0,19	451,22	ΔQ	0,0002	$\Delta Q = (0.2 < 0.5) \text{ l/s}$				
II		1-6	0,0479	0,200	3,33	68,50	0,0000	0,0000	0,0487	99,10	95,76	19,10	33,76

	6-7	0,0309	0,150	2,62	82,82	0,0000	0,0000	0,0317	95,76	93,14	33,76	33,14
III	7-2	0,0220	0,150	2,82	147,93	0,0000	-0,0002	0,0188	93,14	90,32	33,14	27,92
I	1-2	-0,0515	0,150	-8,78	182,71	0,0000	-0,0002	-0,0483	99,10	90,32	19,10	27,92
			somme	0,00	481,96	ΔQ	0,0000		$\Delta Q = (0) \text{ l/s}$			
	7-8	0,0189	0,150	2,96	130,79	0,0002	0,0000	0,0228	93,14	90,18	33,14	32,18
II	7-2	-0,0220	0,150	-2,82	147,93	0,0002	0,0000	-0,0188	93,14	90,32	33,14	27,92
III	2-3	-0,0224	0,200	-0,19	10,28	0,0002	0,0000	-0,0185	90,32	90,12	27,92	33,52
	3-8	-0,0074	0,150	-0,09	24,48	0,0002	0,0000	-0,0035	90,12	90,03	33,52	32,03
			somme	-0,15	313,49	ΔQ	0,0002		$\Delta Q = (0.2 < 0.5) \text{ l/s}$			

Tableau 6 : Comparaison des pressions

MP	Tronçons	Cas où le diamètre de calcul est le diamètre normalisé DN						Cas où le diamètre de calcul est le diamètre théorique $D_{thé}$		
		$D_{thé}$ (m)	DN (m)	PS Supposées		PS Vérifiées		Ps m.c.e	PS Vérifiées	
I	R-1	0,4646	0,500	0	19	0,00	19,10	de 10 à 40 m.c.e	0,00	19,00
	1-2	0,1761	0,150	19	30	19,10	27,92		19,00	29,99
	1-5	0,2169	0,250	19	19	19,10	19,50		19,00	19,00
	5-4	0,1543	0,150	19	36	19,50	33,51		19,00	35,99
	4-2	0,1140	0,150	36	30	33,51	27,73		35,99	29,99
II	1-6	0,2018	0,200	19	35	19,10	33,76		19,00	35,00
	6-7	0,1360	0,150	35	35	33,76	33,14		35,00	34,99
	7-2	0,1794	0,150	35	30	33,14	27,92		34,99	29,99
III	1-2	0,1761	0,150	19	30	19,10	27,92		19,00	29,99
	7-8	0,1427	0,150	35	34	33,14	32,18		34,99	33,99
	7-2	0,1794	0,150	35	30	33,14	27,92	34,99	29,99	
	2-3	0,2084	0,200	30	35,6	27,92	33,52	29,99	35,59	
	3-8	0,1559	0,150	35,6	34	33,52	32,03	35,59	33,99	

5

6 CONCLUSION

Le présent travail traite la possibilité d'utiliser la méthode du modèle rugueux de référence pour le calcul des réseaux maillé selon les démarches décrites au paragraphe 3.2 avec un procédé itératif jusqu'à l'équilibre des mailles et le respect des deux lois de Hardy-croos.

On remarque que les calculs sont explicites ne nécessitent pas l'utilisation ni des abaques ni des tables, l'emploi du coefficient de William-Hazen est dorénavant un obstacle résolu et dépassé 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 bais d'un rugosimètre. Le nombre d'itérations en respectant les étapes décrites au paragraphe 3.2 sera réduit une fois que les diamètres utilisés pour le calcul seront proches des diamètres normalisés.

Principales notations

A	Aire de la section mouillée du modèle rugueux	(m^2)
D	Diamètre d'un profil circulaire	(m)
\bar{D}	Diamètre du modèle rugueux d'un profil circulaire	(m)
f	Coefficient de frottement	(-)
\bar{f}	Coefficient de frottement dans le modèle rugueux (=1/16)	(-)
g	Accélération de la pesanteur	(m/s^2)
J	Gradient de la perte de charge linéaire	(-)
\bar{j}	Gradient de la perte de charge linéaire dans le modèle rugueux	(-)
Q	Débit volume	(m^3/s)
\bar{Q}	Débit volume écoulé par le modèle rugueux	(m^3/s)
R	Nombre de Reynolds d'un écoulement	(-)

\bar{R}	Nombre de Reynolds de l'écoulement dans le modèle rugueux	(-)
ε	Rugosité absolue de la paroi du modèle rugueux	(m)
$\frac{\varepsilon}{D}$	Rugosité relative du modèle rugueux (=0,037)	(-)
ψ	Facteur de correction du diamètre	(-)
ΔH_t	Perte de charge totale	(m)
$C_{M,P}$	Correction Maille principale	(-)
$C_{M,A}$	Correction de la maille adjacente	(-)
Q_{cor}	Débit corrigé	(-)
PS	Pression au sol	(-)
$D_{Thé}$	Diamètre calculé	(m)
DN	Diamètre Normalisé	(m)

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Dupont A. (1979), Hydraulique urbaine, Ouvrages de transport, elevation et distribution des eaux, Tome 2, Edition Eyrolles, Paris,
- [2] 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.
- [3] [3]. BEDJAOUI A. ACHOUR B. (2010). Nouvelle Approche pour le dimensionnement des conduites circulaires sous pression, Journal courrier du savoir, N°10, 23-29
- [4] ACHOUR B. (2007). *Calcul des conduits et canaux par la MMR*, Tome 1 : Calcul des conduites charge, Larhyss Edition Capitale, 2007, 610p.
- [5] ACHOUR B., BEDJAOUI A. (2006a). Calcul coefficient de frottement en conduite circulaire pression, Note Technique, Larhyss/Journal, N°5, 200