



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 10425

To cite this version : Jouini, Manel and Soualmia, Amel and Saad, Karem and Masbernat, Lucien and Dartus, Denis. *Modélisation des écoulements dans une méche en pierres en canal*. (2013)
In: 3ème Conférence Internationale sur l'Eau (CLEAU 2013), 18 November 2013 - 20 November 2013 (Alger, Algeria). (Unpublished)

Any correspondance concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

MODELISATION DES ECOULEMENTS DANS UNE MECHE EN PIERRES EN CANAL

FLOW MODELING IN A WICK STONES CHANNEL

M. Jouini¹, A. Soualmia¹, K. Saad¹, L. Masbenat², D. Dartus²

¹Laboratoire Sciences et Techniques de l'eau (LSTE), de Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), Université de Carthage, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis, Tunisie.
Fax : (+216) 71 799.39, Amel.soualmia@ipeim.rnu.tn

²Institut de Mécanique des fluides de Toulouse, Allée du professeur Camille Soula 31400, Toulouse, France. Fax : (33) 05 61 62 09 76, lucien.masbenat@imft.fr

Résumé

Dans cette étude, on s'intéresse aux écoulements dans un milieu poreux constitué de blocs de différentes dimensions. L'objectif de l'étude expérimentale, est de déterminer les pertes de charge pour différentes configurations d'écoulement, afin de vérifier la formule de Stephenson. Celle ci permet d'exprimer la perte de charge en fonction de la pente du canal, du débit, de la section du canal et des caractéristiques géométriques des pierres. Des essais ont été réalisés dans un nouveau canal rectangulaire construit à l'INAT, ayant une longueur 10 m, une largeur de 0.8 m et une hauteur de 0.6 m (Soualmia et al., 2012). Différentes conditions hydrodynamiques ont été réalisées pour des débits, et des tailles du milieu poreux variables. Les résultats de simulations des différents essais (à deux pentes différentes), ont été comparés aux résultats expérimentaux, une concordance correcte a été notée. Une étude de sensibilité à la forme de ligne d'eau montre qu'une expression de la perte de charge en $\alpha.V^2$ permet de reproduire correctement la ligne d'eau mesurée. Parmi les termes composant le paramètre α de Stephenson, la porosité est le terme le plus sensible. Ceci est le travail préliminaire à d'autres expérimentations et améliorations en perspectives.

Mots clés : Écoulements non-Darcien, équation de Stephenson, canal expérimental, simulation, mèche.

Abstract

In this study, we are interested at flow through porous media formed by different sizes of stones. The objective of the experimental study is to determine the hit losses for different configurations of flow, to check the Stephenson's formula. This allows the expression of the loss in terms of, the slope of channel, the channel section and the geometrical characteristics of stones. Experiments have been made in a new rectangular channel built at INAT with 10 m of length, 0.8 m of width and 0.6 m of height (Jouini, M., 2012, Soualmia, A. et al, 2012). Different hydrodynamic conditions have been made, for different discharges, and different sizes of stones. The simulation results of different trials (with two different slopes), were compared with the experimental ones, a correct concordance was noted. A sensitive analysis of the water level shows that a hit losses formula $\alpha.V^2$ can reproduce correctly the measured water level. The porosity is the most sensitive term among the component terms of the Stephenson's parameter α . This is a preliminary work of others experiments and improvements in prospect.

Keywords: Non-Darcian flows, Stephenson equation, Experimental channel, simulation, wick.

1. Introduction

L'enrochement est le matériau de construction le plus abondant. Il est souvent utilisé pour la rétention de l'eau sous différents contextes, tels que les barrages, les digues ou les systèmes de drainage, les fonds des rivières et les mèches (Chow, 1959). Cette étude se rapporte aux mèches ; elle se base sur la relation de Stephenson, permettant de déduire la hauteur d'eau, à partir des paramètres géométriques et physiques du milieu rocheux. Le régime d'écoulement dans les enrochements est généralement turbulent, d'où la limitation de la relation de Darcy. Il a été ainsi nécessaire de bien analyser les phénomènes hydrauliques dans un canal expérimental (Dubin, 1999).

Dans le but d'atteindre les objectifs visés, dans un premier temps, une revue de la littérature a permis d'analyser les formules empiriques les plus utilisées, pour caractériser la relation non-linéaire entre le gradient hydraulique, et la vitesse d'infiltration d'écoulement dans les enrochements. Pour chacune de ces relations empiriques, les paramètres caractérisant les enrochements doivent être précisés, tels que le rayon hydraulique moyen, la porosité et la granulométrie.

Dans un second temps, des essais ont été réalisés dans un nouveau canal conçu et construit dans le cadre de cette étude, au laboratoire Sciences et Technique de l'Eau (LSTE) de l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT), en collaboration avec MECATER et deux experts de l'IMF Toulouse (Jouini, 2012). A l'aide de ces essais, a été décrite la variation de la hauteur d'eau dans les enrochements, sous l'influence de différentes variables, tels que le débit de l'écoulement, la porosité de l'enrochement, le diamètre des particules et la pente du canal. Les résultats ont révélé, d'une part des tendances non linéaires entre la hauteur d'eau et la distance entre les sections du canal, et d'autre part une bonne concordance entre la hauteur d'eau observée et celle simulée par l'équation de Stephenson (Stephenson, 1979). Cette cohérence entre les valeurs mesurées et celles simulées, a donc justifié l'utilisation de cette relation.

2. Matériels et méthodes

Nous avons effectué douze essais numérotés de I à XII. Chaque essai correspond à une mèche de caractéristiques données, diamètre moyen d des cailloux, porosité n , pente I , longueur de la mèche, Lm . Les valeurs de ces paramètres sont reportées dans le tableau ci après. Pour chaque mèche, quatre expériences ont été réalisées avec quatre débits, 10 l/s, 20 l/s, 30 l/s, 45 l/s. Dans chaque expérience, on a déterminé l'évolution longitudinale de la hauteur piézométrique, et du tirant d'eau lorsque l'écoulement est à surface libre. Dans le tableau 1, figurent également les valeurs de h_0 à l'entrée de la mèche. La hauteur du canal construit à l'INAT est $h_M = 0.6m$ lorsque $h_0 > 0.6m$, l'écoulement est en charge à l'entrée de la mèche, et à surface libre lorsque $h_0 \leq 0.6m$. Les deux dernières colonnes dans le tableau 1 sont relatives aux résultats des calculs numériques où sont indiquées les valeurs de la constante d'angularité déterminées dans la simulation de chaque expérience ($K_{I(ch)}$ est relatif à la simulation de la partie en charge de l'écoulement, $K_{I(sl)}$ à l'écoulement à surface libre).

Tableau 1. Résultats des expériences (définition des deux séries d'essais utilisés) et des simulations correspondantes (valeurs de K_t)

N°essai	d (m)	n	Pente	L_m (m)	Q l/s	h_0 (m)	K_t (sl)	K_t (ch)
I	0.05	0.485	5%	2.5	10	0.354	7	
					20	0.486	6.2	
					30	0.645	5	2.8
					45	0.88	2.8	2.5
II	0.05	0.485	5%	5	10	0.41	7.54	
					20	0.62	6.3	4
					30	0.77	4.1	2.8
					45	1.23	4	2.5
III	0.05	0.485	10%	2.5	10	0.32	8.56	
					20	0.54	7.26	
					30	0.63	4	3.6
					45	0.88	4	2.8
IV	0.05	0.485	10%	5	10	0.36	7.55	
					20	0.6	7.35	
					30	0.66	4	3.6
					45	1.145	3.6	2.8
V	0.07	0.496	5%	2.5	10	0.26	4.85	
					20	0.45	4.9	
					30	0.605	4.8	5
					45	0.72	3.4	2.6
VI	0.07	0.496	5%	5	10	0.31	5.8	
					20	0.52	4.92	
					30	0.62	4	2.8
					45	0.87	3.3	2.3
VII	0.07	0.496	10%	2.5	10	0.24	6.6	
					20	0.42	5.9	
					30	0.575	5.52	5
					45	0.74	5.3	3.4
VIII	0.07	0.496	10%	5	10	0.245	6.44	
					20	0.475	6.47	
					30	0.61	5	5
					45	0.71	2.7	2.6

Le tableau ci-dessus, présente un exemple des essais expérimentaux effectués pour les cailloux de diamètre moyen 0.05 et 0.07 m.



Figure1 : photo de l'essai I-1, Cailloux de diamètre moyen 0,05 m, pente = 5% et $Q = 10$ l/s)

Les équations permettant de calculer, l'évolution de la pression dans une mèche en charge, ou le tirant d'eau en écoulement à surface libre, sont regroupées dans le tableau 1.

Tableau 2. Modèle de l'écoulement dans des mèches en enrochements

ÉQUATION DE QUANTITÉ DE MOUVEMENT ET LOI DE PERTE DE CHARGE	
$\cos \alpha \frac{dh}{dx} = I - J - \frac{d}{dx} \left(\frac{V_p^2}{2g} \right) \quad J = (800Re_p^{-1} + K_t) \frac{V_p^2}{gd} \quad (1)$	
ÉCOULEMENT À SURFACE LIBRE	ÉCOULEMENT EN CHARGE
$V_p = \frac{Q}{nhB} \quad (2-a)$	$V_p = \frac{Q}{nh_M B} = \text{constante} \quad (2-b)$
$\frac{dh}{dx} = \frac{I - J}{1 - Fr_p^2} \quad \text{avec} \quad Fr_p^2 = \frac{V_p^2}{gh} \quad (3-a)$	$\frac{dh}{dx} = \frac{1}{\rho g} \frac{dp}{dx} = I - J \quad (3-b)$

Les équations (2-a) et (2-b) traduisent la conservation de la masse dans l'écoulement à surface libre et dans l'écoulement en charge. En écoulement à surface libre, la vitesse V_p , (2-a), est variable le long de la mèche et l'équation de quantité de mouvement peut se mettre sous la forme (3-a). En écoulement en charge, la vitesse V_p est constante ainsi que le gradient hydraulique, et l'équation de quantité de mouvement (3-b) exprime que le gradient de pression est constant, et que la pression décroît linéairement le long de la mèche (Prasad, 1970).

Notons que nous avons admis que l'inclinaison de la mèche était relativement faible, telle que $\cos \alpha \approx 1$.

Les équations précédentes sont résolues en imposant la pression exprimée en hauteur d'eau ou le tirant d'eau h_0 déterminé expérimentalement à l'entrée de la mèche. Soit :
 $x = 0 \quad h = h_0$

Lorsque $h_0 > h_M$, l'écoulement est en charge à l'entrée de la mèche, et suivant (3-b) la pression s'écrit :

$$h - h_0 = \frac{1}{\rho g} (p - p_0) = (I - J)x \quad (4)$$

Lorsque $h_0 < h_M$, l'écoulement est à surface libre et l'évolution du tirant d'eau h est obtenue par résolution numérique de l'équation (3-a) en utilisant le solveur ODE45 du logiciel Matlab avec la condition limite : $x=0 \quad h=h_0$

Quand l'écoulement est partiellement en charge à l'amont de la mèche puis est à surface libre en aval, on démarre le calcul avec l'équation (4) jusqu'à l'abscisse x_L où $h = h_M$.

Le calcul se poursuit en résolvant l'équation (3-a) avec la condition à la limite : $x = x_L, h = h_M$.

Le paramètre de calage des profils de pression ou de tirant d'eau est la constante d'angularité K_t . Nous examinons dans la suite l'ensemble des résultats des expériences réalisées au laboratoire science et technique de l'eau de l'INAT ainsi que les résultats des simulations numériques et du calage de la constante d'angularité (Soualmia et al., 2012).

Résultats

Sur les figures 2-1 à 2-4, on présente les profils de la pression ou/et de la ligne d'eau le long de la mèche, pour chaque série d'expériences. Les points expérimentaux notés a, b, c, d , correspondent aux débits 10, 20, 30, 45 l/s. Les courbes en trait continu représentent les profils simulés après ajustement des valeurs de $K_{t(sl)}$ et $K_{t(ch)}$ reportées dans le tableau 1. Sur chaque graphique, la droite $h=0.6m$ délimite les zone d'écoulement à surface libre et d'écoulement en charge.

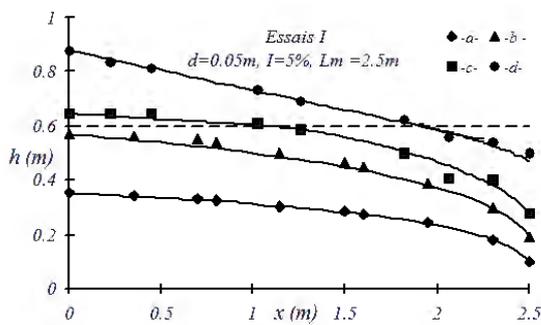


Figure 2-1

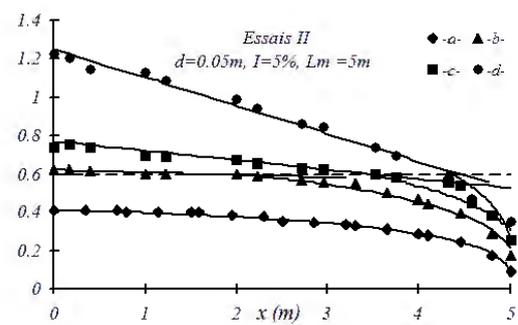


Figure 2-2

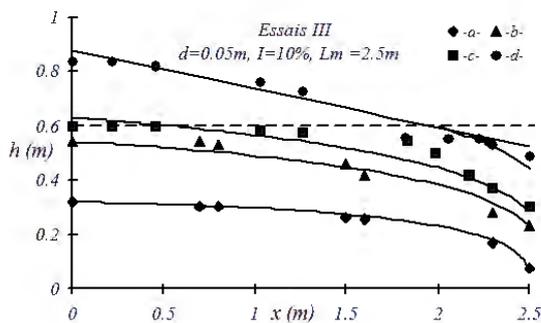


Figure 2-3

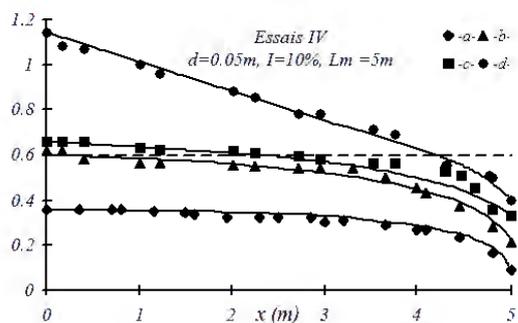


Figure 2-4

Figure 2 : ESSAIS : I-II-III-IV- Cailloux de diamètre $d=0.05m$, porosité $n=0.485$

Les figures 2 correspondent aux essais réalisés avec des cailloux de taille $d=0.05$ m. Chaque graphique correspond à une pente et une longueur de mèche données. Évidemment on observe que la charge hydraulique augmente avec le débit. Seuls les écoulements à 30 et 45 l/s sont partiellement en charge, avec un effet sensible de la longueur de la mèche à pente fixée. Pour un débit et une pente fixés, (figures 2-1 et 2-2 d'une part et figures 2-3 et 2-4 d'autre part), l'augmentation de la longueur de mèche entraîne une dissipation d'énergie plus importante dans tout le volume de la mèche et en conséquence un accroissement de la charge hydraulique (et donc de la pression ou du tirant d'eau) à l'entrée de la mèche. Par contre, l'effet de la pente est beaucoup moins sensible sur les figures 2-1 et 2-3 d'une part et les figures 2-2 et 2-4 d'autre part. Ceci explique que les courbes $h(x)$ sur les figures 2-1 et 2-3 soient très proches les unes des autres.

3. Discussion

Sur les figures 2-1 à 2-4, les lignes continues représentent les résultats numériques obtenus par la résolution du modèle, dont les équations sont regroupées dans le tableau 2, incluant la formulation de Stephenson pour le calcul du gradient hydraulique. Ces équations ont été résolues en imposant la condition à la limite, $x=0$, $h=h_0$ où les valeurs de h_0 sont les valeurs expérimentales figurant dans le tableau 1. Le paramètre de calage, est la constante d'angularité K_t introduite dans la formule de Stephenson.

Quand l'écoulement est en charge à l'entrée de la mèche, ($h_0 > 0.6m$), l'évolution de la pression est linéaire, donnée par l'équation (3-b) et l'on a noté $K_{t(ch)}$ la valeur de K_t qui lisse au mieux les points expérimentaux. Comme le montre l'ensemble des résultats expérimentaux, l'écoulement n'est en charge que sur une partie amont de la mèche. Lorsque $h \leq h_0$, l'on poursuit le calcul en résolvant numériquement l'équation (3-a) avec la condition $x = x_L$, $h = h_M = 0.06m$.

Quand l'écoulement est à surface libre à l'entrée de la mèche, l'évolution du tirant d'eau est obtenue par la résolution numérique de l'équation (3-a) avec la condition $x=0$, $h=h_0$. La simulation des écoulements à surface libre conduit au calage de K_t , noté $K_{t(sl)}$.

Le premier constat qu'indiquent les profils de la ligne d'eau, sur les figures 2-1 à 2-4, dans les écoulements à surface libre, est que la loi de Stephenson permet de reproduire l'évolution observée le long de la mèche à condition d'ajuster la valeur de la constante pour chaque débit.

Cependant le résultat de ces ajustements est que la constante d'angularité $K_{t(sl)}$ est variable, comme l'indique le tableau 1, d'autant plus grande que le débit est faible, et que les cailloux sont de petite dimension. Cette dispersion des valeurs du paramètre d'angularité avec le débit et la taille des matériaux est selon nous, plutôt attribuable à l'inhomogénéité du milieu notamment suivant la verticale

4. Conclusion générale

Les expériences réalisées au LSTE de l'INAT ont permis la mise en œuvre d'un modèle de perte de charge pour calculer l'évolution de la pression, et de la ligne d'eau correspondant à chaque essai. Les résultats des simulations numériques ont permis de mieux appréhender l'effet des paramètres caractéristiques du milieu en enrochements, comme la taille des matériaux, la porosité, la longueur de la mèche et son inclinaison. En effet, la taille des matériaux constitutifs et la porosité jouent un rôle décisif dans les processus de perte de charge.

La formule de Stephenson semble pertinente pour calculer le gradient hydraulique dans ces écoulements à grand nombre de Reynolds de pore, dominés par les effets inertiels. La loi en puissance 2 de la vitesse moyenne semble en effet justifiée dans la mesure où on obtient un lissage très satisfaisant des lignes d'eau. En revanche, la dispersion des valeurs du paramètre d'angularité avec le débit et la taille des matériaux est selon nous plutôt attribuable à l'inhomogénéité du milieu notamment suivant la verticale. Cette variation suivant la verticale des propriétés du milieu est suggérée par le fait que les écoulements à faible débit correspondent aux plus petits tirants d'eau dans la mèche.

Une des conclusions majeures de ces premiers travaux, est qu'il faut améliorer la détermination in situ des paramètres caractéristiques du milieu. Nous pensons que l'on pourrait s'intéresser, dans un premier temps, à l'étude de mèches de différentes hauteurs et à la répétitivité des résultats expérimentaux pour des mèches identiques suivant les modes d'empilement des matériaux.

Remerciements

Nous tenons à remercier vivement les responsables de Mecater, en particulier Mr. Samir Ennour, Mr. Okba Boughanmi. Nous remercions aussi Mr Elies Hamza (professeur et directeur de l'INAT) pour le soutien qu'il a apporté à la réalisation du canal expérimental.

Références

Chow, V.T., 1959. *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Book Co., New York, pp. 217-296

Jouini, M., 2012. *Étude des écoulements dans une mèche en pierres en canal*
Thèse de Master, Institut National Agronomique de Tunis (INAT).

Jorge R. Dubin., 1999. *On gradually varied flow profiles in rectangular open channels*
Journal of Hydraulic Research, 37(1), pp. 99-106

Prasad, R., 1970. *Numerical method of computing flow profiles* ASCE Journal of the Hydraulics Division, 96 (HY1):75-86.

Soualmia, A., Jouini, M., Dartus, D., *Etude des écoulements dans une mèche en canal*
à paraître dans International Journal of PCN, Vol 68.

Stephenson, D., 1979. *Rock fill in Hydraulic Engineering* .Elsevier Science Publishers, New York, USA