

## Augmenter le coefficient de Strickler par la technique de réduction de la traînée dans les écoulements à surface libre

### [ Increasing Strickler coefficient by the drag reduction technique in open-channel flows ]

*Walid Bouchenafa, Arnaud Lefevre, and Bernard Quillien*

SNF SAS, ZAC de Milieux, Rue Adriene Bolland, 42160. Andrézieux-Bouthéon, France

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The drag reduction method by polymer additives is generally used to reduce friction losses in pipes over long-distances. The interactions between the polymer and the turbulent flow structures tend to change the velocity profile close to the walls by adding an elastic sub-layer between the viscous layer and the logarithmic zone of the boundary layer. This new sub-layer prevents the destabilization of the boundary layer. The gain in linear head losses can reach up to 80%, depending on the roughness of the walls and the concentration of the polymers. The application of this technique to sewer networks and the considerable effect on the reduction of water depth led us to study experimentally the drag reduction in an open-channel flows. Two measurement campaigns are performed on a laboratory flume for different discharges and several polymer concentrations. The surface flow velocities are measured by the LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) technique before and after the polymer injection. Backwater curves will be represented for smooth and rough flume walls. The addition of polymers even at low concentrations causes a sharp reduction in friction with a Strickler coefficient increased to 45% and 37% respectively for smooth and rough wall configurations and a decrease in water depth up to 17%. The drag reduction method by adding polymers seems to be a promising technique for limiting freshet levels and controlling river floods.

**KEYWORDS:** Uniform flow, friction, polymers, flood, boundary layer, LSPIV, flood risk.

**RESUME:** La technique de réduction de la traînée par l'ajout des polymères est généralement appliquée pour réduire les frottements dans les écoulements en charge à grande distance. Les interactions entre le polymère et les structures turbulentes de l'écoulement ont tendance de modifier le profil de vitesse à proximité de la paroi par la mise en place d'une sous couche élastique entre la couche visqueuse et la zone logarithmique de la couche limite. Cette nouvelle sous couche empêche la déstabilisation de la couche limite. Le gain en perte de charge linéaire peut atteindre jusqu'à 80 % en fonction de la rugosité des parois et la concentration des polymères. L'application de cette technique dans un réseau d'assainissement et l'effet considérable sur la diminution de la hauteur d'eau nous a conduit à étudier expérimentalement la réduction de la traînée dans un canal à ciel- ouvert. Deux campagnes de mesures sont effectuées sur un canal en laboratoire pour différents débits d'écoulement et plusieurs concentrations des polymères. Les vitesses de surface de l'écoulement sont mesurées par la technique LSPIV avant et après l'injection des polymères. Les profils de hauteur d'eau seront représentés pour les parois en mode lisses et rugueuse. L'ajout des polymères même à des faibles concentrations provoque une forte diminution de frottement, avec un coefficient de Strickler augmenté à 45 % et 35% respectivement pour les configurations des parois en mode lisse et rugueuse et une baisse de niveau d'écoulement jusqu'au 17 %. La méthode de réduction de la traînée par l'addition des polymères semble finalement être une technique prometteuse pour limiter l'impact des inondations des rivières.

**MOTS-CLEFS :** écoulement uniforme, frottement, polymères, risque d'inondation, crue, polyacrylamide, couche limite, LSPIV.

## 1 INTRODUCTION

Découverte par Toms en 1948 [1], la méthode de réduction de la traînée par l'addition des polymères est une stratégie utilisée pour minimiser les frottements dans les écoulements en charge à grande distance. Les applications industrielles des polymères ont commencé dans les années 1970 et se développent régulièrement dans différents secteurs. Elles sont couramment utilisées dans les conduites d'oléoducs, les puits de pétrole, la lutte contre les incendies, l'irrigation, les réseaux d'assainissement, les systèmes de chauffage et de refroidissement d'eau, les systèmes marins et l'aéronautique [2].

Pour un écoulement développé dans un canal lisse, les polymères modifient les profils de vitesse dans la couche limite, pour un écoulement de l'eau claire, les profils de vitesse à proximité de la paroi sont composés d'une sous couche visqueuse laminaire très proche de la paroi ( $\gamma u^*/\nu < 10$  avec  $\gamma$  est la hauteur des aspérités,  $u^*$  la vitesse de cisaillement et  $\nu$  est la viscosité cinématique du liquide) et d'une couche logarithmique un peu plus loin ( $\gamma u^*/\nu > 50$ ). Pendant l'ajout des polymères, une sous couche élastique se place entre les deux zones auquel le profil de vitesse suit une loi logarithmique avec une pente liée à la concentration des polymères [3]. Il est noté que lorsque l'extension de cette couche augmente, l'efficacité de la réduction de la traînée augmente également [4], [5].

La référence [6] a également étudié la possibilité des polymères à réduire la traînée sur les surfaces rugueuses. Les résultats montrent que la rugosité de la paroi tend à diminuer le processus de la réduction de la traînée. Dans ce cas-là, l'auteur a proposé des relations entre la réduction de la traînée, la rugosité relative du canal, le débit d'écoulement et les paramètres polymériques. Pour établir ses relations, un coefficient de rugosité relative  $k_s^+$  a été utilisé tel que,  $k_s^+ = k_s u^*/\nu$ . Le coefficient  $k_s$  correspond à la rugosité du sable. Les expériences ont montré que l'effet de la rugosité de la paroi commence à être efficace pour  $k_s^+ > 12$  pour un mélange eau - polymère, (comparé à  $k_s^+ > 5$  dans l'eau pure). Ceci confirme que l'extension de la sous-couche visqueuse augmente lors de l'ajout de polymères. Ensuite, pour  $12 < k_s^+ < 50$  un régime effectivement lisse est observé, et pour  $k_s^+ > 50$  la réduction de la traînée diminue par rapport au régime lisse jusqu'à la limite expérimentale de  $k_s^+ \sim 150$ .

Les interactions entre les polymères et les structures turbulentes de l'écoulement restent mal comprises et les recherches sur ce sujet se poursuivent. La référence [7] a montré que les polymères permettent de diminuer le taux de cisaillement turbulent dans la sous couche élastique, de sorte que la contrainte totale diminue également. Une hypothèse stipule que des agrégats de polymères de taille comparable à la structure turbulente peuvent limiter l'existence de ces structures turbulentes et limiter donc l'intensité turbulente globale. La référence [8] a décrit le mécanisme de ces réducteurs dont les polymères dans la région plus proche de la paroi stockent l'énergie élastique prélevée dans l'écoulement et la libèrent plus loin de la paroi lorsqu'ils sont transportés vers la couche intermédiaire par des structures turbulentes cohérentes.

La plupart des travaux cités ci-dessus rapportent l'utilisation des polymères comme réducteurs de la traînée dans les conduites en charge sous pressions. Néanmoins, quelques essais ont également eu lieu pour les écoulements à surface libre en particulier dans les réseaux d'assainissement [9]. La référence [10] a étudié l'utilisation des polymères afin d'éviter le débordement du réseau d'assainissement de Whistler (Canada) pendant les Jeux Olympiques d'hiver en 2010 où les écoulements usés ont fortement augmenté en raison d'une population particulièrement élevée dans la région. Les essais ont montré une augmentation de 30 % de la vitesse d'écoulement et une réduction de 20 % de hauteur d'eau.

Il est à noter que l'utilisation des polymères dans les écoulements urbains s'est rendue possible selon la fiche de données de sécurité pour les polymères anionique qui indique que ces produits chimiques ne sont pas toxiques pour des concentrations à dosages limitées [10], [11], [12].

En dehors de ces applications d'ingénierie dans le réseau d'assainissement, très peu d'attention semble avoir été consacrée à la réduction de la traînée dans les écoulements à surface libre. La référence [13] a étudié l'effet de l'ajout des polymères en cas de rupture de barrage dans un canal à lit sec et humide. Les résultats confirment les constatations de [14] selon lesquelles la réduction de la traînée n'est efficace que si la turbulence est forcée par une couche limite lisse. La présence de cette couche de quelques millimètres d'épaisseur dans le canal a effectivement détruit la réduction de la traînée en utilisant une très petite quantité de polymères. Leurs résultats ont montré aussi que la réduction du frottement par les polymères est forte lorsque l'écoulement est établi sur une paroi lisse. À l'opposé, cette réduction est moins efficace lorsque la turbulence est fortement hétérogène, notamment lors de la présence de déferlement, ressaut, bulles...etc.

En conclusion, même si la technique de la réduction de la traînée par l'ajout des polymères est souvent utilisée pour les écoulements en charge, très peu des travaux ont été réalisés sur l'étude des additifs réducteur de la traînée pour les écoulements à surface libre. Le but du présent travail est donc de combler cette lacune et d'estimer l'efficacité de réduction de la traînée pour les écoulements dans un canal à ciel ouvert, avec différentes rugosités de la paroi.

Le dispositif expérimental est les techniques de mesure dans le canal sont présentés avec une description des concentrations des polymères testés. Ensuite, les caractéristiques d'écoulement (hauteur d'eau et champs de vitesse) sont mesurées avec et sans polymères et comparées les unes aux autres pour différentes rugosités de la paroi.

## 2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

SNF est une société leader pour la fabrication des polymères pour la réduction de la traînée, principalement utilisés pour l'extraction du pétrole et gaz. Les essais expérimentaux sont effectués au sein du laboratoire SNF sur un canal à ciel ouvert, en utilisant une eau claire d'une température comprise entre 20°C et 30°C. Les additifs sont des polymères de polyacrylamide solubles dans l'eau (PAM), couramment utilisés comme floculants dans les procédés du traînage d'eau (potable ou usée) comme décrit par [15]. Des études rhéologiques effectuées sur l'eau mélangé avec des concentrations faibles des polymères montre que ce mélange reste newtonien et que sa viscosité augmente d'environ 15% par rapport à l'eau pure [16].

Un canal rectangulaire est installé pour étudier l'effet de réduction de traînée pour les écoulements à surface libre dans différentes conditions. Le canal d'essai est lisse, fabriqué en pvc, d'une longueur de 435 m et d'une section rectangulaire de 12 cm de largeur, et 80 cm de hauteur, la pente est constante et de l'ordre de 0,011%. L'eau claire est pompée avant l'expérience et stockée dans un grand réservoir situé à l'entrée.

Un canal d'alimentation permet d'introduire l'eau directement dans le canal d'essai et de le mixer avec une concentration contrôlée de polymères en forme liquide avant l'arrivée au canal. Le débit est contrôlé et mesuré par un système d'alimentation en amont contenant une soupape et un débitmètre électromagnétique. À la sortie aval, l'écoulement est en chute libre et l'eau est évacuée en dehors du laboratoire. La hauteur d'eau et le débit d'écoulement sont mesurés sur différents point de mesure au long du canal.



*Fig. 1. Canal d'essai. Laboratoire SNF*

Les hauteurs d'eau sont mesurées à l'aide d'une sonde radar à ultrasons (Veagpuls 64). Le déplacement de la sonde ultrasons le long du canal permet de définir la ligne d'eau. Les vitesses en surface de l'écoulement sont mesurées par la méthode LSPIV (Large Scale Particule Image Velocimetry), une technique couramment utilisée pour les écoulements in situ (rivière, réseau urbain) et en laboratoires [17]. Deux états de rugosité ont été étudiés. Le premier cas correspond un fond et parois latérales lisses avec une rugosité absolue de 1,6  $\mu\text{m}$ . Pour le deuxième cas, la rugosité du fond et des parois latérales a été modifiée sur le tronçon aval du canal. Nous calculons pour chaque essai, la vitesse de l'écoulement  $U$ , le nombre de Reynolds, le rayon hydraulique  $R_h$  et le coefficient de résistance à l'écoulement Strickler.

## 3 ESSAI AVEC PAROI LISSE

La réduction de la traînée par injection des polymères est évaluée tout d'abord dans un canal à paroi lisse. Cinq différents débits en amont sont proposés avec différentes concentrations contrôlées de polymères. Le coefficient de Strickler est calculé pour chaque débit en utilisant la formule d'Achour et Bedjaoui [18] tel que :

$$\eta = 4 R_h^{-1/6} \sqrt{2g} \log \left( \frac{\varepsilon}{14,8R_h} + \frac{10,04}{R} \right)$$

Le coefficient de Strickler calculé varie en fonction de la rugosité absolue caractérisant l'état de la paroi du canal  $\varepsilon$ , le rayon hydraulique  $R_h$  et le nombre de Reynolds, lui-même en fonction de la pente  $i$ , de la largeur du canal  $l_i$ , de la hauteur d'eau et de la viscosité cinématique  $\nu$  du liquide en écoulement. On peut exprimer le nombre de Reynolds en fonction du débit  $Q$  et de périmètre mouillée  $P$  par la relation :

$$R = \frac{4Q}{P \cdot \nu}$$

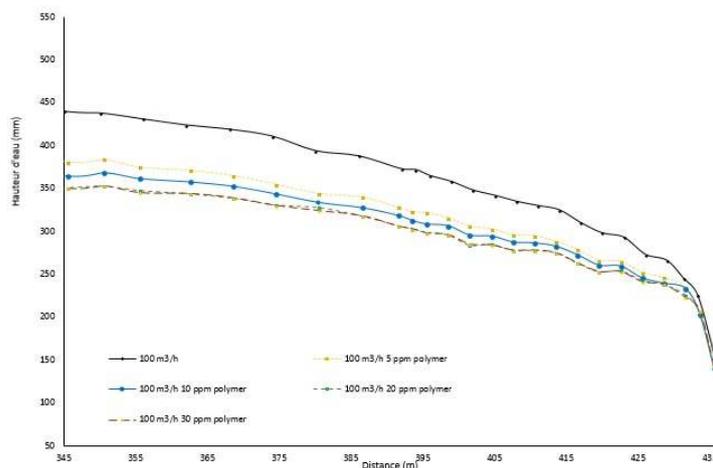
Les résultats de calcul pour les cinq différents débits testés avec un écoulement sans polymères et avec une concentration de 20 ppm (partie par million) de polymères sont récapitulé dans le tableau 1.

**Tableau 1. Nombre de Reynolds et coefficient de Strickler calculés pour différents débits pour un écoulement sans et avec polymères**

Débit d'écoulement Q m <sup>3</sup> /h	Eau claire			Eau avec polymères (20 PPM)		
	Hauteur d'eau - m-	Nombre de Reynolds	Coef de Strickler $\eta$	Hauteur d'eau -m-	Nombre de Reynolds	Coef de Strickler $\eta$
50	0,2	10×10 <sup>4</sup>	104	0,17	12×10 <sup>4</sup>	149
75	0,3	11×10 <sup>4</sup>	102	0,25	13×10 <sup>4</sup>	151
100	0,35	13×10 <sup>4</sup>	107	0,29	15×10 <sup>4</sup>	158
125	0,4	15×10 <sup>4</sup>	108	0,33	17×10 <sup>4</sup>	163
150	0,5	15×10 <sup>4</sup>	109	0,4	19×10 <sup>4</sup>	165

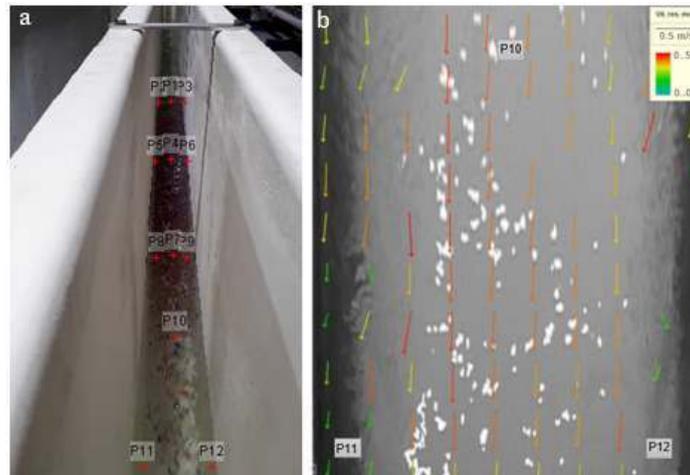
Pour un débit donné, la différence de hauteur d'eau pour un écoulement sans et avec polymères conduit à une différence très limitée de nombre de Reynolds, mais à une forte augmentation du coefficient de Strickler  $\eta$  d'environ 45 % pour chaque débit d'écoulement. De même la hauteur d'eau est réduite de 15% à 20 %.

La figure 3 présente le profil de hauteur d'eau pour un débit de 100 m<sup>3</sup>/h sur le tronçon aval du canal de 100 mètres de longueur, pour un écoulement sans et avec quatre différentes concentrations des polymères. Cette figure confirme que, *i*) l'utilisation des polymères réduit la hauteur d'eau et en retour augmente la vitesse d'écoulement, *ii*) la réduction de la hauteur d'eau augmente avec la concentration croissante des polymères et *iii*) la réduction de la traînée n'augmente plus lorsque la concentration en polymère dépasse 20 ppm, en accord avec la valeur maximal (MDR) ou l'asymptote de Virk détaillée dans la littérature [19].



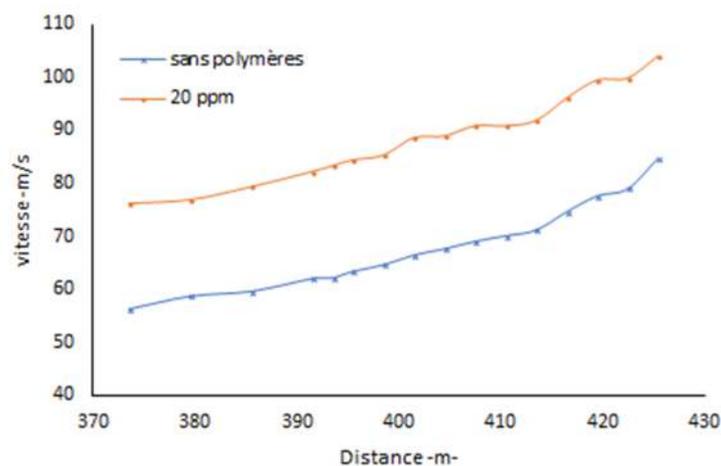
**Fig. 2. Profil de hauteur d'eau mesuré pour un débit de 100 m<sup>3</sup>/h avec différentes concentrations des polymères**

La figure suivante présente le champ de vitesse mesuré par la technique LSPIV pour un débit d'écoulement de 100 m<sup>3</sup>/h avec une concentration de 20 ppm de polymères.



**Fig. 3.** Champs de vitesses pour 100 m<sup>3</sup>/h et 20ppm de polymères a) Ortho rectification du canal, b) champs de vitesses

Les vitesses d'écoulement sans polymères et avec une concentration de 20 ppm de polymères pour un débit de 100 m<sup>3</sup>/h sont illustrées dans la figure 4. La vitesse d'écoulement avec 20 ppm de polymères est supérieure à 30 % à celle de l'écoulement sans polymères.



**Fig. 4.** Comparaison des vitesses d'écoulement sans et avec polymères pour une paroi lisse

En conclusion, le coefficient de résistance à l'écoulement de Strickler calculé lors de l'application de la technique de réduction de la traînée par l'ajout des polymères pour un écoulement dans un canal à ciel ouvert devient supérieur à celui d'une paroi parfaitement lisse.

#### 4 ESSAI AVEC PAROI RUGUEUSE

Les essais précédents ont montré que les polymères permettent d'augmenter le coefficient de Strickler pour un canal à paroi lisse. Cette section a pour vocation d'évaluer la technique de réduction de la traînée pour un canal à paroi rugueuse. Une rugosité d'un tronçon de 30 mètres en aval du canal a été imposée par la mise en place d'une tôle larmée de 1 mm de rugosité. La largeur du canal est réduite à  $l_2 = 11$  cm.

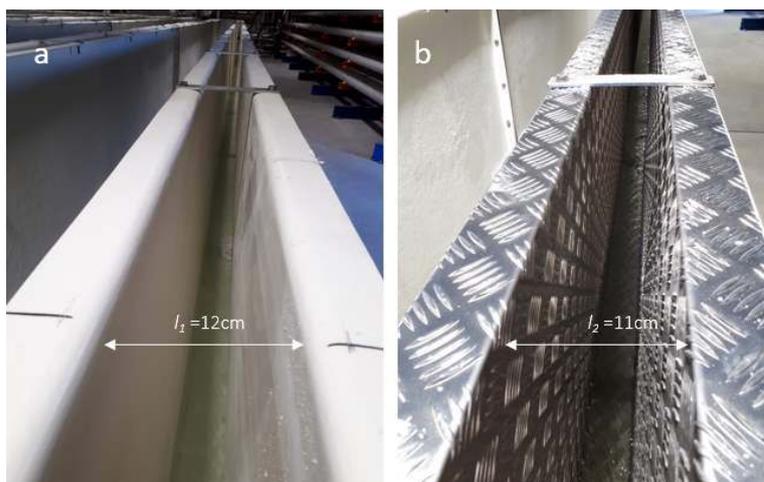


Fig. 5. Canal d'essai a) paroi lisse et b) paroi rugueuse

Les profils de hauteur d'eau mesurée pour un débit égale à 100 m<sup>3</sup>/h d'un écoulement sans polymères et avec une concentration de 20 ppm de polymères sont comparés dans la figure 6.

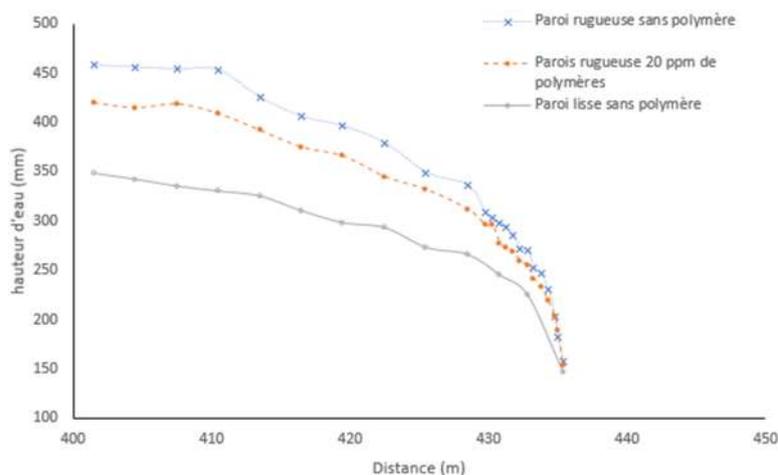


Fig. 6. Profils de hauteur d'eau pour différente rugosité pour un débit de 100 m<sup>3</sup>/h

Les résultats de calcul du coefficient de Strickler pour les différents débits testés avec un écoulement sans polymères et avec une concentration de 20 ppm (de polymères sont récapitulé dans le tableau 2.

Tableau 2. Coefficients de Strickler calculés pour différents débits pour un écoulement sans et avec polymères

Débit d'écoulement - m <sup>3</sup> /h-	Eau claire		Eau avec polymères (20 PPM)	
	Hauteur d'eau -m-	Coef de Strickler	Hauteur d'eau -m-	Coef de Strickler
50	0,17	42	0,14	57
75	0,26	44	0,22	59
100	0,3	46	0,26	60
125	0,35	47	0,30	62
150	0,43	47	0,36	62

Le coefficient de Strickler calculé pour la paroi rugueuse augmente de 35% par rapport à un écoulement de référence (sans polymères). Une faible diminution par rapport à la configuration lisse mais une réduction considérable de la traînée.

## 5 CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Les résultats des essais expérimentaux, effectués, ont permis de constater que l'ajout des polymères à l'eau diminue fortement la force de la traînée exercée par les parois sur l'écoulement, ce qui entraîne une augmentation de vitesse de l'écoulement et une diminution de hauteur d'eau. Le coefficient de résistance d'écoulement de Strickler  $\eta$  augmente environ 45% pour une paroi lisse et de 35% pour une paroi rugueuse. La réduction de la traînée demeure toujours efficace mais elle diminue avec l'augmentation de la rugosité.

La couche limite développée sur le fond du canal et autour des parois latérales contrôle les forces de résistances. La modification de cette couche par les polymères permet de changer la dynamique de l'écoulement et donc limiter les hauteurs d'eau et spécifiquement les débordements sur les berges. Cette méthode peut être utilisée comme une technique de protection contre les inondations des rivières.

Il existe des résultats satisfaisants et probants sur l'efficacité de la méthode de réduction de la traînée par l'ajout des polymères dans les réseaux d'assainissement [9]. Néanmoins, cette technique n'a jamais été testée à plus grande échelle pour les écoulements à surface libre comme les rivières. Afin d'évaluer son efficacité, des expériences similaires à celle décrites ici seront effectuées prochainement sur un cours d'eau de 30 km de longueur et d'un débit moyen de 12 m<sup>3</sup>/s [20].



**Fig. 7.** Photo du cours d'eau sélectionné pour l'essai. Tunja, Turquie

## REFERENCES

- [1] B. A. Toms, "Some observation on the flow of linear polymer solutions through straight tubes at large Reynolds number", *Proceedings of the First International Congress of Rheology*, vol. II, pp. 135-141, 1949.
- [2] W. Brostow, "Drag Reduction in Flow: Review of Applications, Mechanism and Prediction", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* vol. 14, no. 4, pp. 409-416, 2008.
- [3] F. Hadri, "Contribution à l'étude de la réduction de la traînée en écoulement turbulent d'une solution de CTAC", Thèse de doctorat, Université de Caen Basse Normandie, 600 p, 2008.
- [4] P. S. Virk, "Drag reduction fundamentals", *AIChE Journal*, vol 21, pp. 625-656, 1975.  
[Online] Available: [https://courses.physics.ucsd.edu/2018/Winter/physics116\\_216/Virk.pdf](https://courses.physics.ucsd.edu/2018/Winter/physics116_216/Virk.pdf)
- [5] W. H. Cai, F. C. Li, H. N. Zhang, X. B. Li, B. Yu, J. Wei, Y. Kawaguchi, K. Hishida, "Study on the characteristics of turbulent drag-reducing channel flow by particle image velocimetry combining with proper orthogonal decomposition analysis" *Physics of Fluids*, 21, 115103, 2009.
- [6] P. S. Virk, "Drag reduction in rough pipes", *Journal of Fluid Mechanics*, 45 (2), pp.225-246. 1971.
- [7] K. J. Harder and W.G. Tiederman, "Drag reduction and turbulent structure in two-dimensional channel flows", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Physical and Engineering Sciences*, 336, 1640, pp. 19-34.,1991.
- [8] T. Min, J. Y. Yoo, H. Choi, D.D. Joseph, "Drag reduction by polymer additives in a turbulent channel flow", *Journal of Fluid Mechanics*, 486, pp. 213-238, 2003.

- [9] R. H. J. Sellin R.H.J and M. Ollis, "Polymer Drag Reduction in Large Pipes and Sewers: Results of Recent Fields Trials", *Journal of Rheology*, 24, 667, 1980.
- [10] J. Hart, L. Cotter, V. Jason," Polymer Addition to Increase Trunk Sewer Flow Capacity at the Resort Municipality of Whistler during the 2010 Winter Olympic Games", *Proceedings of the Water Environment Federation, WEFTEC 2011: session 88, 12, pp. 5763-5774*" 2011.  
[Online] Available: [https://www.kwl.ca/sites/default/files/WEF2011\\_JCH\\_Abstract.pdf](https://www.kwl.ca/sites/default/files/WEF2011_JCH_Abstract.pdf).
- [11] A. G. Guezennec, C. Michel, K. Bru, S. Touze, N. Desroche, I. Mnif, M. Motelica -Heino, "Transfer and degradation of polyacrylamide -based flocculants in hydro systems", *Environmental Science and Pollution Research*, V. 22, 99. 6390-6406, 2015.
- [12] I. Mnif, "Devenir des flocculants à base de polyacrylamide dans un site de granulat: interactions avec les solides naturels et photodegradation", Thèse de doctorat, Université de Nice Siphia Antipolis, 2015.  
[Online] Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01237278/document>.
- [13] I. M. Janosi, J. K Dominique, K. Gabor Szabo, T. Tel, "Turbulent drag reduction in dam-break flows", *Experiments in Fluids*, vol. 37, pp. 219 -229. 2004.
- [14] O. Cadot, "Turbulent drag reduction in a closed flow system: Boundary layer versus bulk effects", *Physics of Fluids*, vol. 10, pp. 426-436, 1998.
- [15] W. J. Han, Y. Z. Dong, H. J. C, "Applications of Water-Soluble Polymers in Turbulent Drag Reduction", *Processes*, 5, 24. 2017.
- [16] Y. Amarouchene, "Etude de l'interaction Polymère – Ecoulement", Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 2002.  
[Online] Available: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00003794/document>.
- [17] W. Bouchenafa, O. Boucher, N. Voyneau, P.Sergent, "Mesure des champs de vitesse et débit d'écoulement par la méthode LSPIV : application sur un modèle réduit d'une bouche de métro", *XIVèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil*, Toulon, 29 juin au 1er juillet 2016.  
[Online] Available: [http://www.paralia.fr/jngcgc/14\\_37\\_bouchenafa.pdf](http://www.paralia.fr/jngcgc/14_37_bouchenafa.pdf).
- [18] B. Achour, A Bedjaoui, « Discussion. Exact solutions for Normal Depth Problem, by Prabatha K. Swamee and Pushpa N. Rathie, *J. Hydraul. Res.*, Vol.44, n°5, pp.715-717, 2006.
- [19] G. Mompean, "Réduction de la traînée : injection de polymères pour l'économie d'énergie", *Sciences conferences*. 2018.  
[Online] Available : [https://jet2018.sciencesconf.org/data/program/Paper\\_JET\\_2018\\_Mompean\\_VF\\_1.pdf](https://jet2018.sciencesconf.org/data/program/Paper_JET_2018_Mompean_VF_1.pdf).
- [20] R. Pich, "Method for limiting freshet levels and controlling floods ", *Patent# WO 2014199037 A1.*, 2014.