

Réaction d'une canopée modèle 2D face à un écoulement stationnaire

S. BARSU^a, J. JOHN SOUNDAR JEROME^b, D. DOPPLER^c, N. RIVIÈRE^d, M. LANCE^e

LMFA - Université Lyon 1, INSA de Lyon, Ecole Centrale de Lyon,
43 bd du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex, France

a. sylvie.barsu@univ-lyon1.fr
c. delphine.doppler@univ-lyon1.fr

b. john-soundar@univ-lyon1.fr
d. nicolas.riviere@insa-lyon.fr

e. michel.lance@ec-lyon.fr

Mots clefs : interaction fluide-structure ; reconfiguration ; canopée submergée

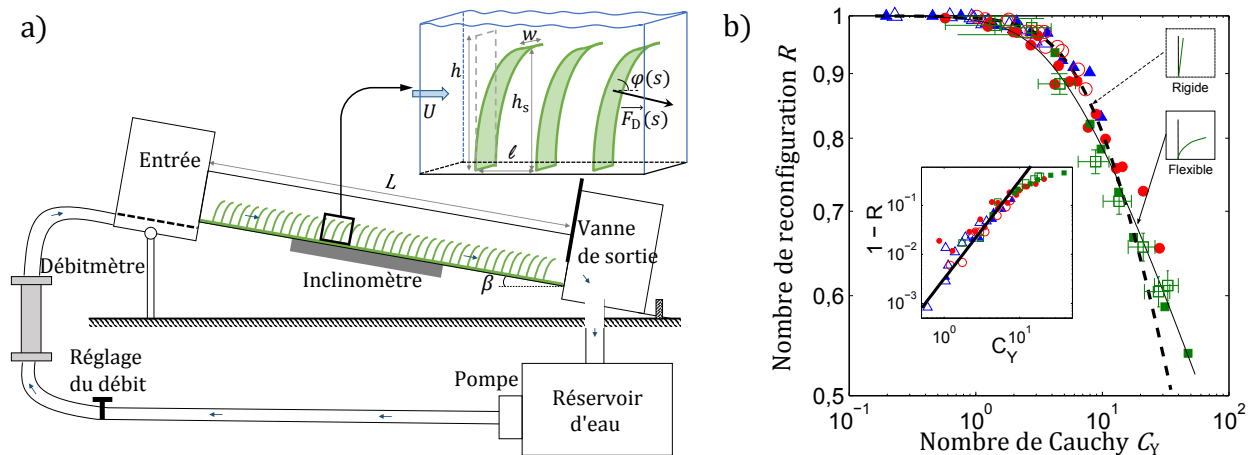


FIGURE 1: a) Schéma du montage expérimental. Le canal à surface libre a un débit d'eau et un angle d'inclinaison β ajustables. Il est tapissé sur toute sa longueur d'une rangée de feuilles de PVC rectangulaires modélisant une canopée aquatique. La hauteur d'eau est réglée par la vanne de sortie. b) Courbe de reconfiguration représentant le nombre de reconfiguration \mathcal{R} en fonction du nombre de Cauchy C_Y . Les symboles pleins et creux représentent deux largeurs de tiges (resp. $w = 10$ et 20 mm) dans des canopées d'espacements variés $\ell = 32$ mm (\square), 16 mm (\circ) et 8 mm (\triangle). Les lignes pointillée et continue sont les modèles rigide et flexible. L'insert montre la tendance pour les petits nombres de Cauchy, $1 - \mathcal{R} \propto C_Y^2$.

Résumé :

La végétation aquatique qui se trouve au fond des cours d'eau est souvent considérée comme une source de frottement, provoquant donc une perte d'énergie qui ralentit le débit d'eau et diminue l'efficacité de l'écoulement. Mais c'est aussi une composante importante dans l'équilibre des rivières, dans la mesure où les plantes aquatiques sont un refuge pour de nombreuses espèces animales, ce qui garantit la biodiversité locale ; elle empêche aussi l'érosion des sols en ralentissant l'écoulement près du sol, ce qui limite le transport sédimentaire. Ainsi l'étude du comportement mécanique des plantes face à un écoulement peut être utile par exemple pour la gestion de l'aménagement du territoire, en essayant de limiter l'impact d'évènements extrêmes comme

les crues et inondations.

La plupart des études déjà réalisées considèrent la végétation aquatique comme un élément de rugosité, de hauteur petite devant la hauteur d'eau et caractérisée par un coefficient de frottement qui affecte l'écoulement au-dessus. Cependant, à l'intérieur du couvert végétal, les plantes réelles sont flexibles et ont leur propre dynamique. Elles se déforment sous l'effet du courant, ce qui réduit la force de traînée qui s'applique sur elles. C'est le phénomène de reconfiguration. Vogel [7] introduit un coefficient, \mathcal{V} , en général négatif, pour signifier cette modification dans l'expression de la force de traînée : $F_D \propto \bar{U}^{2+\mathcal{V}}$. Sa valeur dépend du système considéré, puisque la forme d'un objet flexible soumis à un écoulement est le résultat de l'équilibre entre la force de traînée exercée sur lui, F_D , et sa propre force de rappel élastique, F_E . C'est pourquoi la reconfiguration est une fonction du nombre de Cauchy qui est défini comme le rapport des deux ($\mathcal{C}_Y = F_D/F_E$) [2]. Des mesures ont déjà été faites sur des systèmes naturels (arbres, feuilles) ou artificiels (cône [6], plaque flexible dans l'air [4] ou dans l'eau [5], fibre dans un film de savon [1]), mais, à part [3], il n'existe pas encore de mesure combinée de déformation et de traînée sur des canopées, c'est-à-dire des assemblées d'objets flexibles non indépendants.

En effet, dans les rivières, les canopées sont des zones de plantes aquatiques très proches les unes des autres, ce qui est à l'origine d'un fort effet d'écran : face à un écoulement, une plante à l'intérieur d'une canopée ne réagit pas de la même manière qu'une plante isolée. Il n'est a priori pas évident de prévoir la manière dont le confinement et la densité de canopée affecteront la déformation individuelle des plantes. L'objet de cette étude expérimentale est donc de mesurer la déformation des tiges à l'intérieur de canopées de densités variées, soumises à différentes vitesses d'écoulement, afin de faire le lien entre la traînée globale et la forme des tiges.

Pour cela, la canopée est modélisée en deux dimensions par une rangée de fines feuilles de PVC alignées au fond d'un canal à surface libre de longueur $L \simeq 2$ m (voir schéma du dispositif fig. 1a). La force de traînée globale est obtenue en mesurant la pente du canal nécessaire pour maintenir une hauteur d'eau constante sur toute la longueur, ce qui permet de calculer C_D^g , le coefficient de traînée individuel des tiges dans la canopée (voir [8]). L'analyse d'images donne la valeur de la déflexion individuelle des tiges qui permet le calcul du nombre de reconfiguration $\mathcal{R} = h_s/h$. Ici, elles sont considérées être toutes défléchies de la même manière puisque l'écoulement est stationnaire. Les résultats sont présentés fig. 1b, où le nombre de reconfiguration est tracé en fonction du nombre de Cauchy $\mathcal{C}_Y = C_D^g \rho w h^3 \bar{U}^2 / 2EI$. Les données correspondant aux diverses configurations expérimentales sont bien décrites par les courbes de deux modèles de flexion pour un objet élastique unique. Le comportement global de la canopée est donc fortement lié à la forme individuelle de chaque tige.

Concernant l'effet de la densité, on remarque que les tiges à l'intérieur des canopées se déforment moins que des tiges seules soumises au même écoulement moyen, à cause de l'écrantage dû aux tiges voisines. Le coefficient de traînée individuel décroît quand la densité de canopée augmente, avec la tendance suivante (données non montrées ici) :

$$C_D^g \sim (\ell/h)^{4/3}, \quad (1)$$

où ℓ est l'espacement entre tiges et h la hauteur de la canopée non défléchie. Pour des grands nombres de Cauchy, on a un coefficient de Vogel $\mathcal{V} \simeq 1/2$ (ajusté sur la courbe de reconfiguration). On en déduit une loi d'échelle pour la force de traînée sur une tige dans une canopée :

$$F_D \sim (\ell/h)^{4/3} \bar{U}^{3/2}. \quad (2)$$

La force de traînée effective sur la tige dans la canopée est donc plus faible que pour une tige isolée, et elle dépend fortement de la densité de plantes, cela à cause d'un important effet d'écran dû aux plantes voisines. En effet, leur présence ralentit considérablement la vitesse d'écoulement à l'intérieur de la canopée.

Références

- [1] S. Alben, M. J. Shelley, and J. Zhang. Drag reduction through self-similar bending of a flexible body. *Nature*, 420(6915) :479–81, Dec. 2002.
- [2] E. de Langre. Effects of Wind on Plants. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 40(1) :141–168, Jan. 2008.
- [3] F. P. Gosselin and E. de Langre. Drag reduction by reconfiguration of a poroelastic system. *Journal of Fluids and Structures*, 27(7) :1111–1123, Oct. 2011.
- [4] F. P. Gosselin, E. de Langre, and B. A. Machado-Almeida. Drag reduction of flexible plates by reconfiguration. *Journal of Fluid Mechanics*, 650 :319–341, Mar. 2010.
- [5] M. Luhar and H. M. Nepf. Flow-induced reconfiguration of buoyant and flexible aquatic vegetation. *Limnology and Oceanography*, 56(6) :2003–2017, 2011.
- [6] L. Schouveiler and A. Boudaoud. The rolling up of sheets in a steady flow. *Journal of Fluid Mechanics*, 563 :71–80, Sept. 2006.
- [7] S. Vogel. Drag and reconfiguration of broad leaves in high winds. *Journal of Experimental Botany*, 40(217) :941–948, 1989.
- [8] F. Wu, H. Shen, and Y. Chou. Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(9) :934–942, 1999.