

**12<sup>èmes</sup> Journées de l'Hydrodynamique**  
**Nantes , 17-19 novembre 2010**

**HYDRODYNAMIQUE DE PRISES D'EAU  
MUNIES DE PLANS DE GRILLES ORIENTÉS**

***HYDRODYNAMICS OF TILTED INTAKE TRASHRACKS***

L. Chatellier<sup>1</sup>, R.-W. Wang<sup>1</sup>, L. David<sup>1</sup>, D. Courret<sup>2</sup>, M. Larinier<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Pprime, Axe HydEE, CNRS - Université de Poitiers - ENSMA, UPR 3346

Boulevard Marie et Pierre Curie, Téléport 2, BP 30179, 86962 Futuroscope Cédex

<sup>2</sup>ONEMA, Pôle écohydraulique, IMFT - Allée du Professeur Camille Soula, 31 400 Toulouse

**I - INTRODUCTION**

Dans le cadre des directives européennes SER (Développement d'Énergie Renouvelable), DCE (Directive Cadre sur l'Eau), et des plans de restauration de la continuité écologique (Trame bleue, Plan de gestion de l'anguille), la nécessité de limiter, voire d'annuler, les dommages liés à la dévalaison des poissons au niveau des centrales hydroélectriques (mortalités au passage par les turbines) apparaît comme une priorité. Les contraintes biologiques de nombreuses espèces de poissons, essentiellement migratrices, doivent alors être intégrées dans la conception des prises d'eau dites ichtyocompatibles, au même titre que les dimensionnements hydraulique et mécanique. L'objectif est d'obtenir des taux de survie des poissons dévalant proches de 100% au niveau de chaque aménagement, de manière à limiter l'impact cumulé sur les axes de migration.

Pour être ichtyocompatible, une prise d'eau doit (1) arrêter les poissons et les empêcher de transiter par les turbines, (2) assurer un bon guidage du poisson vers les exutoires de dévalaison et (3) transférer les poissons à l'aval de la centrale sans dommage. Un tel dispositif peut être obtenu en adaptant les plans de grilles conventionnels situés en amont des prises d'eau. Les critères biologiques des différentes espèces concernées font notamment ressortir des exigences concernant l'écartement des barreaux constituant les grilles ainsi que les composantes normale et tangentielle de la vitesse d'approche. Parmi les solutions possibles, l'orientation, ou encore l'inclinaison, du plan de grille par rapport à l'écoulement incident peut permettre le respect de ces contraintes. Ces critères biologiques et comportementaux sont alors à mettre en correspondance avec la nécessité d'assurer le transit du débit turbiné autorisé tout en réduisant au maximum les pertes de charge liés à la présence de la grille. Les critères ainsi identifiés figurent dans le Tableau 1 (Courret & Larinier 2008).

Dans ce contexte, une étude expérimentale de l'écoulement à travers un plan de grille orienté est menée. L'influence des paramètres géométriques et cinématiques sur la topologie de l'écoulement est détaillée et confrontée aux critères biologiques admissibles. Dans la perspective de l'implantation d'exutoires permettant d'exploiter un débit réservé à la dévalaison des espèces en

amont du plan de grille, une attention particulière est portée aux composantes normale et tangentielle des vitesses d'approche.

	<b>Critères biologiques</b>
<b>Ecartement</b>	$e < 25\text{mm}$ (smolts, truites de mer)
<b>Vitesse normale</b>	$V_n < 0.5\text{m/s}$
	<b>Critères mécaniques</b>
<b>Débit réservé</b>	2% à 10 % du débit turbiné

Tableau 1: Critères biologiques et mécaniques

## II - PARAMETRES D'ETUDE

La présente étude concerne l'utilisation de plans de grilles orientés dans le plan horizontal de l'écoulement, comme schématisé en Figure 1. Les caractéristiques d'un prototype et du modèle expérimental correspondant à l'échelle 1:2 sont présentées dans le tableau 2.

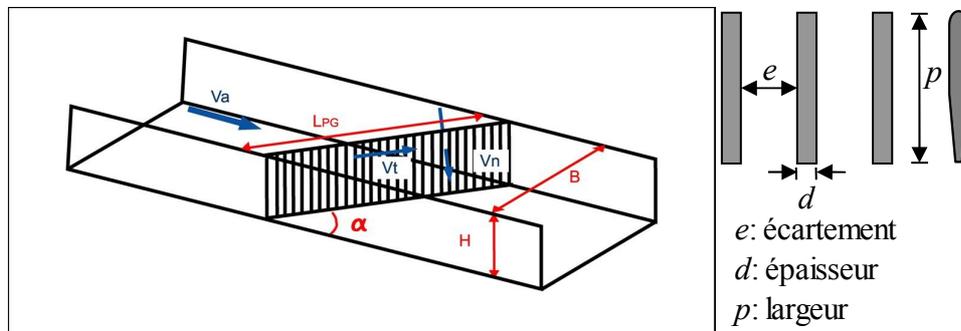


Figure 1 : Plan de grille orienté par rapport à un écoulement incident et configurations de grilles étudiées

		<b>Prototype (éch. 1:1)</b>	<b>Modèle (éch. 1:2)</b>
<b>No Reynolds</b>		$5000 < Re_d < 11000$	$1750 < Re_d < 4000$
<b>No Froude</b>		$0.05 < Fr < 0.2$	$0.15 < Fr < 0.5$
<b>Vitesse d'approche</b>		$0.5\text{m/s} < V_a < 1.1\text{m/s}$	$0.35\text{m/s} < V_a < 0.8\text{m/s}$
<b>Profondeur</b>		$3\text{m} < h < 10\text{m}$	$0,25\text{m} < h < 0.55\text{m}$
<b>Barreau</b>	<b>Largeur</b>	$p = 40\text{mm}$	$p = 20\text{mm}$
	<b>Épaisseur</b>	$d = 10\text{mm}$	$d = 5\text{mm}$
	<b>Ecartement</b>	$10\text{mm} < e < 30\text{mm}$	$e = \{10\text{mm}, 15\text{mm}, 20\text{mm}, 30\text{mm}\}$
	<b>Blocage</b>	$25\% < d/(e+d) < 50\%$	$14\% < d/(e+d) < 33\%$

		<b>Plan de grille orienté</b>
<b>Angle d'approche</b>	$\alpha = \{30^\circ, 60^\circ, 45^\circ\}$	
<b>Profil de barreau</b>	Standard ; Hydrodynamique	

Tableau 2: Paramètres expérimentaux : Prototype et modèle retenus

Les paramètres géométriques de l'étude sont l'angle d'orientation  $\alpha$  du plan de grille et l'écartement  $e$  des barreaux constituant la grille. Deux profils type de barreaux sont étudiés: le profil rectangulaire standard utilisé pour ce type de grilles et un profil dit "hydrodynamique" muni d'un bord d'attaque en demi-cercle et d'un bord de fuite en dièdre tronqué. Ces différents paramètres reprennent pour partie les configurations retenues par Meusburger (2002) et recouvrent les conditions d'ichtyocompatibilité admises.

### III - DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental consiste en un canal ouvert de longueur  $L=1.9\text{m}$ , de largeur  $B=0.6\text{m}$  et de hauteur  $H=0.5\text{m}$  (Figure 1) tracté dans le bassin des carènes de l'institut P'. Le niveau d'eau y est fixé à  $h=0.3\text{m}$ . Les vitesses d'avance retenues sont  $V_c=0.5, 0.7$  et  $1.4\text{m/s}$  pour une distance totale parcourue de  $15\text{m}$ . Le canal ainsi embarqué est réalisé en PMMA de manière à permettre les mesures par PIV. Des mesures de pression statique et dynamique sont également réalisées à différentes positions en amont et en aval de la grille.

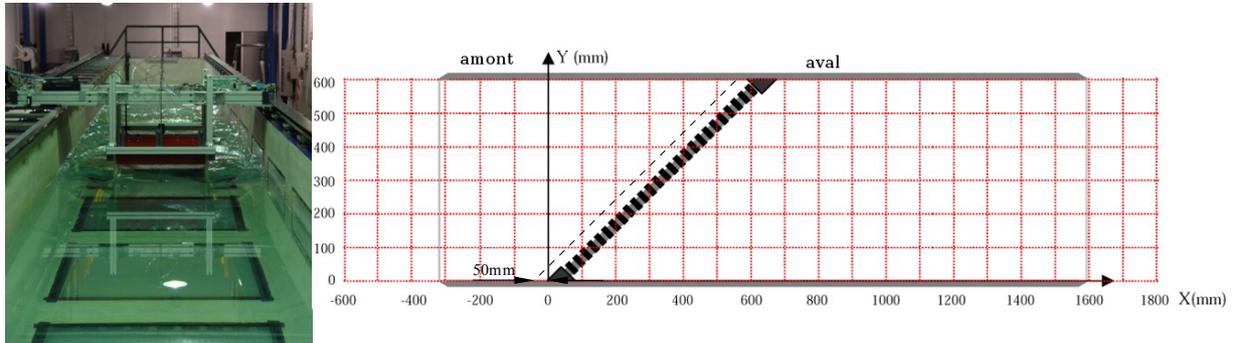


Figure 1: Aperçu et dimensions en plan du canal embarqué ; système de coordonnées associé et ligne de mesure des vitesses d'approche.

Le dispositif PIV est synchronisé avec le système de contrôle du déplacement du chariot de traction comme schématisé en Figure 2. Le déplacement automatisé du chariot permet la spécification de paliers d'accélération, fixés ici à  $\pm 0.5\text{m/s}^2$  en phases de démarrage et d'arrêt, et de paliers de vitesse constante. Des mesures optiques indépendantes de l'automate de contrôle montrent que les consignes de vitesse sont respectées avec une précision de l'ordre de  $0.01\text{m/s}$ .

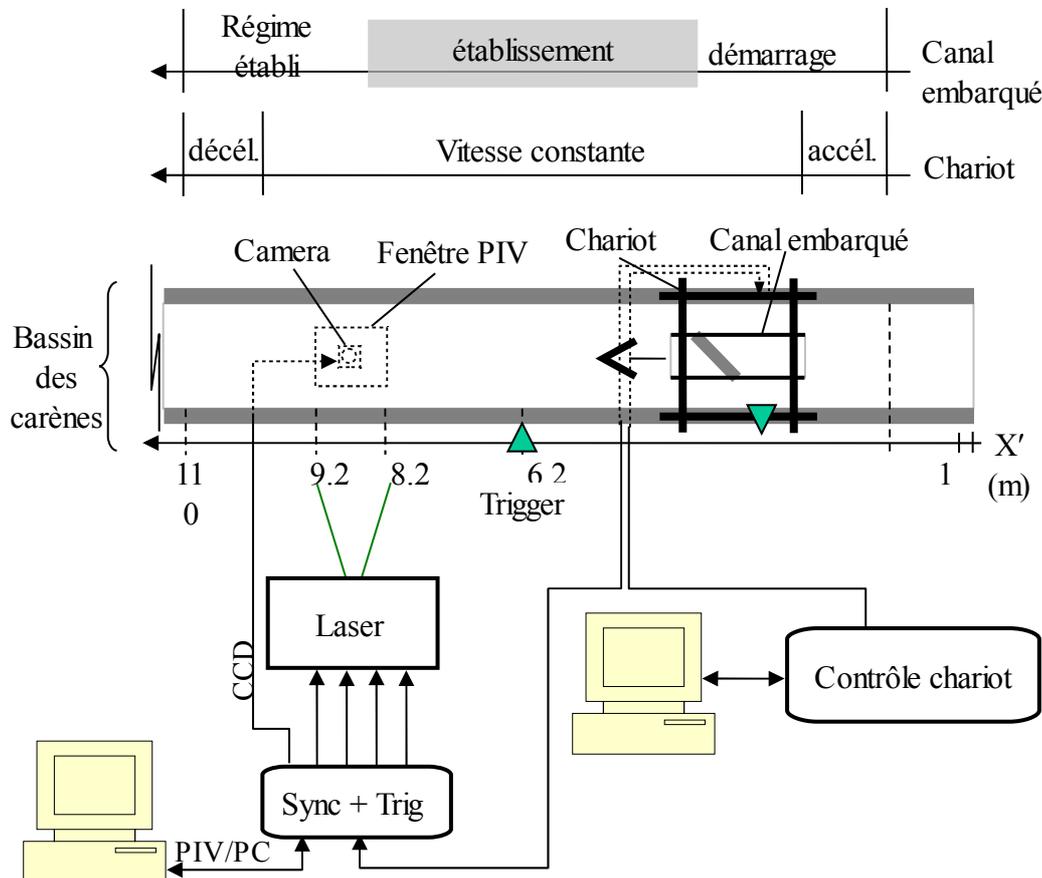


Figure 2: Dispositif PIV synchronisé avec le déplacement du chariot

Les mesures de pression ont mis en évidence les zones de démarrage et d'établissement de l'écoulement de grille. Sur cette base, les mesures de PIV ont été réalisées dans la zone de régime établi précédant la zone de décélération du système de traction. La fenêtre d'interrogation PIV recouvre la largeur du canal embarqué de manière à permettre la reconstruction partielle des champs instantanés en amont comme en aval du plan de grille, couvrant ainsi l'intégralité du canal embarqué. Les paramètres de prise de vue et de calcul PIV sont résumés dans le tableau 3. Chaque mesure PIV est réalisée trois fois afin d'en vérifier la reproductibilité: l'analyse des images et des champs de vitesse obtenus montrent que la précision de synchronisation entre le déplacement et la prise de vue est inférieure à  $3\mu\text{s}$  et que les champs de vitesse en amont de la grille sont quasi-identiques. Malgré le taux élevé de turbulence générée en aval du plan de grille, la topologie de l'écoulement y est également fortement similaire dans les trois tests reproduits.

<b>Laser</b>	Big Sky Laser, Quantel USA Nd-Yag double-cavité, 120 mJ
<b>Caméra</b>	PULNIX Dual Tap AccuPiXEL 12bit, 2048*2048 px
<b>Optiques</b>	Nikon 28mm
<b>Plan de mesure</b>	$z=h/2=150\text{mm}$ ; $L_x*L_y=688\text{mm} * 688\text{mm}$
<b>Ensemencement</b>	RILSAN E5 Blanc 160 $\mu\text{m}$
<b>Synchronisation / Acquisition</b>	RD Vision EG v.3.42 / Hiris v.4.1 5*2 images/s ( $V_c=0.5;0.7$ m/s) 6*2 images/s ( $V_c=1.4$ m/s)
<b>Calcul PIV</b>	LaVision Davis 7.2 Multi-passes : 64x64@75% ; 32x32@50%

*Tableau 3: Système et paramètres PIV*

#### **IV - RESULTATS**

L'utilisation d'un canal embarqué muni d'un plan de grille fortement déprimogène génère un écoulement amont dont les conditions d'entrée ne sont pas précisément contrôlées. Ainsi, les vitesses d'avance de 0.5, 0.7 et 1.4m/s se traduisent par des vitesses d'approche respectives proches de 0.3, 0.4 et 0.7m/s, qui correspondent aux paramètres du Tableau 2. Les champs PIV instantanés obtenus permettent donc de caractériser la topologie de l'écoulement en amont et en aval du plan de grille dans les différentes zones observées lors du passage du canal embarqué, mais la variabilité des conditions d'entrée en limitera l'analyse.

Selon la vitesse de déplacement et la fréquence d'acquisition, une reconstruction du champs de vitesses en amont de la grille est effectuée à partir de la superposition de 3 ( $V_c=1.4\text{m/s}$ ), 5 ( $V_c=0.7\text{m/s}$ ) ou 7 ( $V_c=0.5\text{m/s}$ ) champs consécutifs. En aval, cette reconstruction est effectuée à partir de 3 ( $V_c=1.4\text{m/s}$ ), 11 ( $V_c=0.7\text{m/s}$ ) ou 14 ( $V_c=0.5\text{m/s}$ ) champs consécutifs, la forte aération de l'écoulement à  $V_c=1.4\text{m/s}$  ne permettant pas le traitement des images au delà de  $X=1100\text{mm}$ . Le voisinage immédiat du plan de grille a pu être analysé jusqu'à des distances de l'ordre de 50mm en amont comme en aval.

Qualitativement, la présence du plan de grille orienté provoque un confinement marqué de l'écoulement vers la partie aval de la grille. Le flux tangentiel lié à ce confinement est lui même en compétition avec la paroi opposée et le flux normal au plan de grille induit par l'orientation des barreaux. Dans le cas de référence ( $\alpha=45^\circ$ ,  $e=20\text{mm}$ ), les déflexions associées à ces deux flux sont aisément visibles sur les lignes de courant amont des Figures 3 et 4, pour les deux profils étudiés. Selon la zone observée, des déflexions de  $30^\circ$  à  $60^\circ$  de l'écoulement en direction de la normale au plan de grille s'effectuent sur une distance de l'ordre de 50mm en amont de la grille.

Le flux normal au plan de grille ainsi que les jets créés dans l'entrefer de la grille apparaissent également nettement dans la zone aval de l'écoulement, et se traduisent par une zone de

recirculation marquée dont l'emprise est de l'ordre d'une demi largeur de canal. L'étendue longitudinale de cette zone peut être estimée comme étant de l'ordre de 2 largeurs de canal. Celle-ci s'accompagne d'une zone de survitesse concentrant la quasi-intégralité du débit traversant le plan de grille. L'étendue importante de la zone de recirculation implique que la partie aval de l'écoulement est fortement marquée par le confinement. D'un point de vue topologique, ceci se caractérise par la limitation de la pénétration du flux normal au plan de grille, et donc par un redressement artificiel des lignes de courant qui en sont issues. L'emprise de la zone de recirculation en est par conséquent elle-même limitée. Ces observations sont à comparer avec les résultats obtenus par Tsitaka et al. (2009), bien que la partie aval de l'écoulement n'y soit pas traitée, pour lesquels il existe une déflexion initiale liée à la seule l'orientation des barreaux.

Malgré le confinement observé, l'écoulement amont à la grille respecte la conservation du débit, calculée avec les deux composantes de vitesses prises dans le plan PIV. L'hypothèse de bidimensionnalité est donc retenue dans cette zone, tout en n'étant pas valable en aval.

$a = 45, e = 20 \text{ mm}$

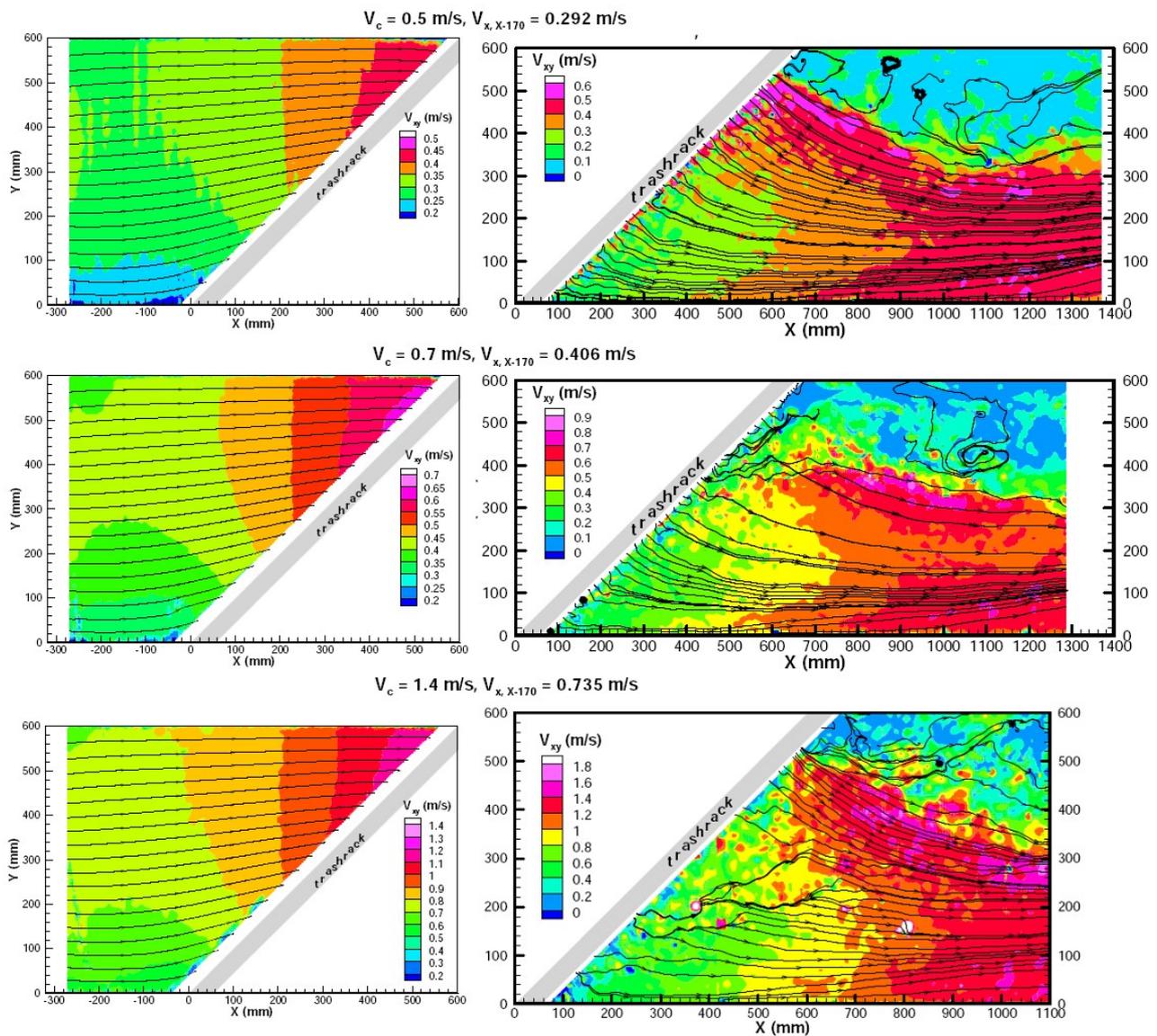


Figure 3: Champs de vitesses instantanées reconstruits en amont et en aval d'un plan de grille à profils hydrodynamiques orienté à  $45^\circ$  pour un écartement  $e=20\text{mm}$  (cas de référence).  $V_c=0.5;0.7;1.4\text{m/s}$ .

a = 45, e = 20 mm, rectangular bars

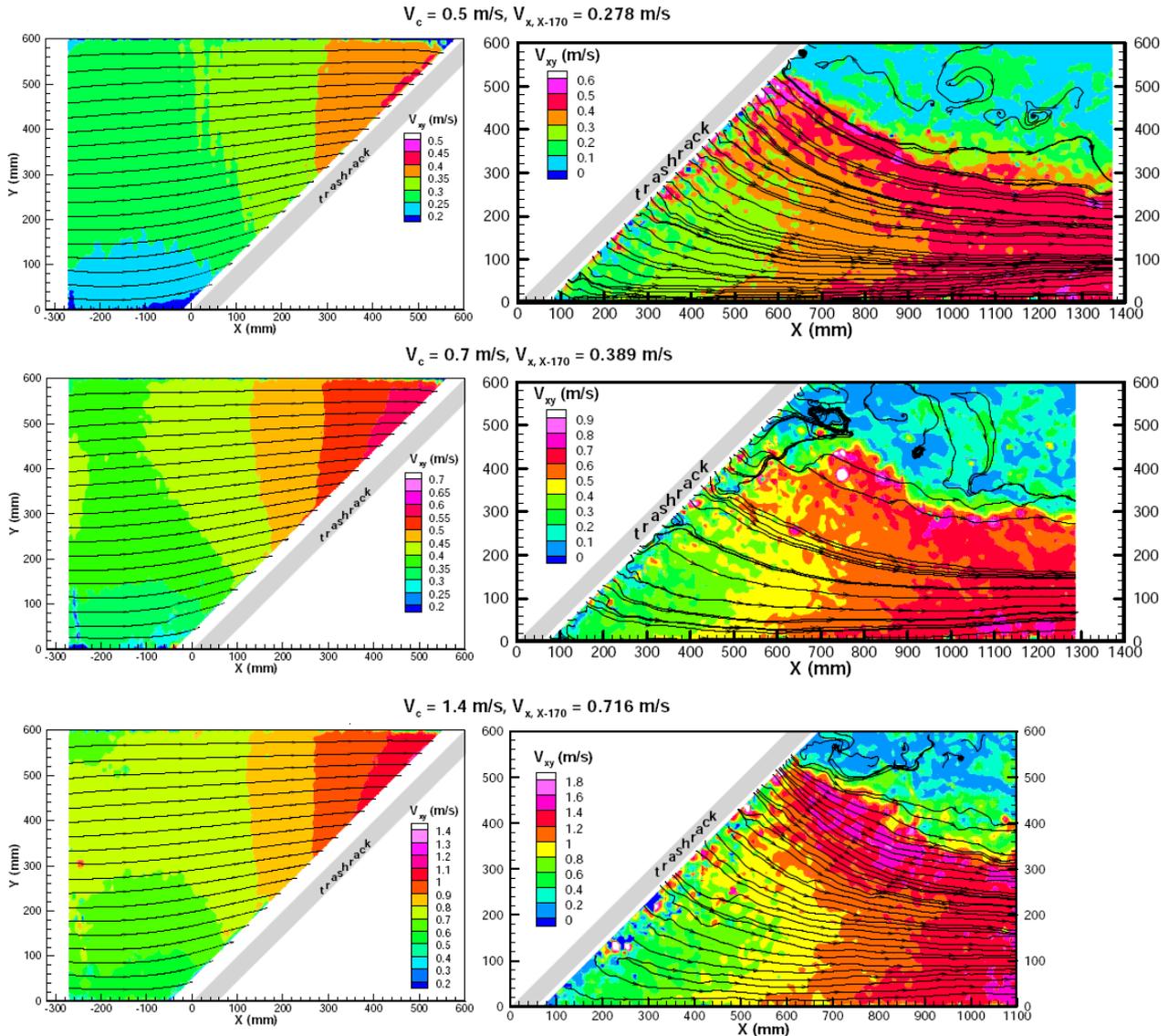


Figure 4: Champs de vitesses instantanées reconstruits en amont et en aval d'un plan de grille à profils standards orienté à 45° pour un écartement e=20mm.  $V_c=0.5;0.7;1.4$ m/s.

L'adéquation de l'écoulement aux critères biologiques des espèces piscicoles doit être qualifiée à partir de la distribution des vitesses normale et tangentielle à l'approche du plan de grille. Ces profils sont ici relevés sur une ligne parallèle au plan de grille positionnée à 50mm en amont de celui-ci (Figure 1).

Les Figures 5 à 7 indiquent en premier lieu que les composantes normale et tangentielle sont caractéristiques du confinement de l'écoulement, avec une prédominance du flux tangential en partie amont du plan de grille et une prédominance graduelle du flux normal à l'approche du montant aval de la grille. Pour ces deux flux, les vitesses maximales sont du même ordre que celle relevées en entrée de canal, les limites biologiques peuvent alors être localement dépassées dans la zone de forte accélération l'écoulement ( $V_c=1.4$ m/s,  $Y>B/2$ ).

L'augmentation du nombre de Reynolds a pour effet de retarder la décroissance de la vitesse tangentielle au niveau du montant aval de la grille ( $Y>2B/3$ ), atténuant ainsi la prédominance d'un flux normal dont les vitesses excèdent les limites biologiques admissibles.

L'utilisation d'un profil de barreau rectangulaire ou hydrodynamique ne modifie significativement ni la topologie générale de l'écoulement (Figures 3 et 4) ni la distribution de la

vitesse d'approche en amont du plan de grille (Figure 5). Le profil hydrodynamique apporte une augmentation de 4% à 8% de la vitesse longitudinale, essentiellement reportée sur la vitesse tangentielle, ainsi que sur la vitesse normale à hauteur du montant aval de grille. Par ailleurs, l'étude du paramètre géométrique écartement (Figure 6) montre que la topologie de l'écoulement est peu sensible au taux de blocage. La conjonction d'un profil hydrodynamique à un faible écartement de barreaux semble donc à même de favoriser le respect de contraintes biologiques sans provoquer le blocage de l'écoulement.

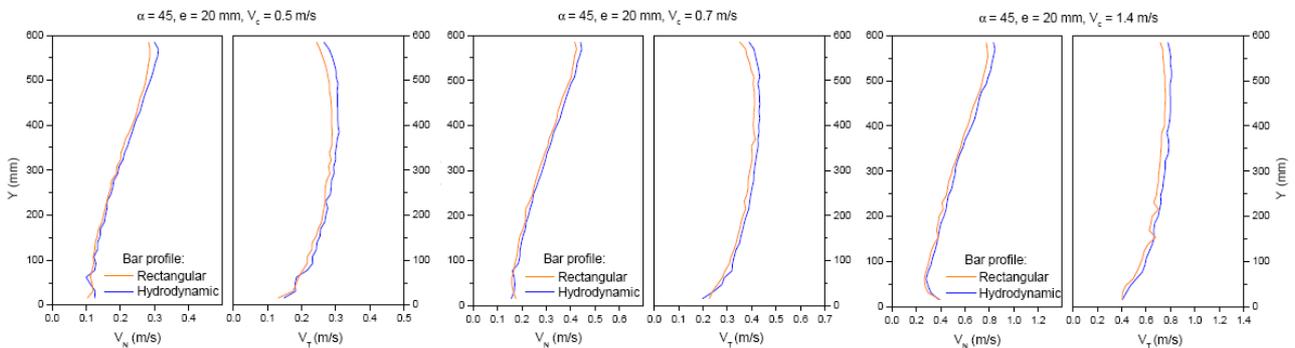


Figure 5: Vitesses d'approche normale et tangentielle : influence du profil de barreau

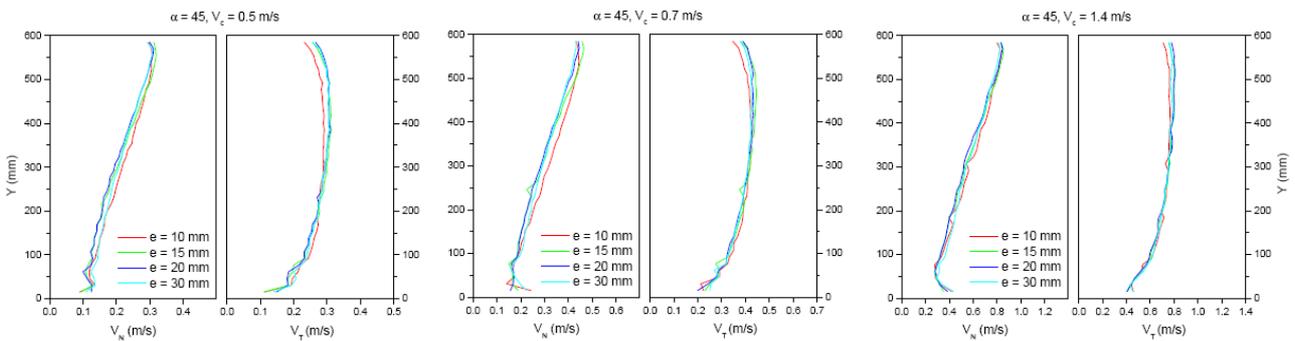


Figure 6: Vitesses d'approche normale et tangentielle : influence de l'entrefer de grille

L'orientation du plan de grille est logiquement le facteur influant le plus fortement la topologie de l'écoulement. Par rapport au cas de référence, un angle de  $30^\circ$  provoque un blocage conduisant à un défaut de vitesse débitante amont de l'ordre de 7% alors qu'un angle de  $60^\circ$  autorise une vitesse 18% plus élevée. Ce paramètre conditionne de plus la répartition entre flux tangential et flux normal, comme le montre la Figure 7.

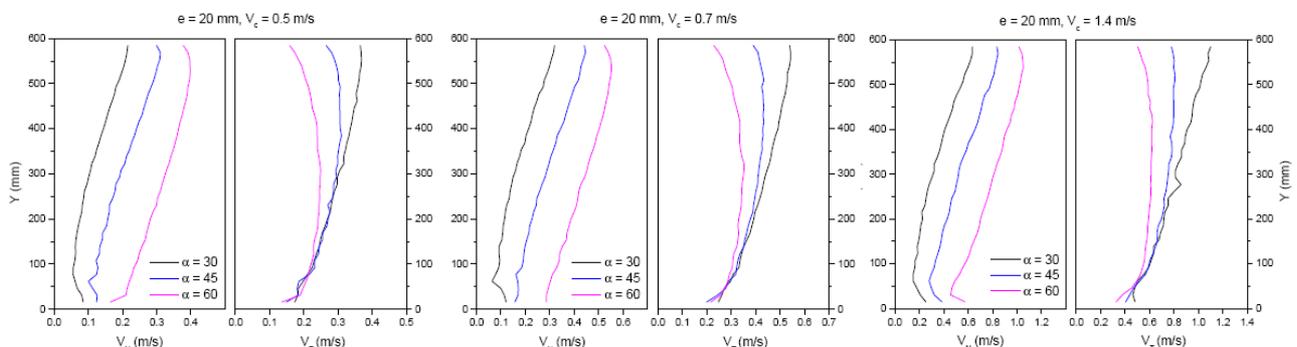


Figure 7: Vitesses d'approche normale et tangentielle : influence de l'angle d'orientation

D'un strict point de vue biologique, les vitesses normales restent en deçà des limites retenues pour un angle de  $30^\circ$  uniquement, le blocage générant un déficit supplémentaire de vitesse débitante de l'ordre de 9% au niveau du plan de grille. A l'inverse, le faible blocage généré dans le cas d'un

angle de 60° ajoute 8% à la vitesse débitante dans cette zone, provoquant le dépassement de la limite biologique sur 80% de l'envergure de grille.

## **V - CONCLUSION**

Différentes configurations géométriques de plans de grilles orientés par rapport à un écoulement incident ont été testées en canal ouvert. Les mesures par PIV ont permis de décrire les topologies amont et aval de l'écoulement à travers les grilles et on fait ressortir les cas de compatibilité avec les contraintes biologiques à respecter. Il apparaît notamment qu'une orientation supérieure à 45° s'avère fortement pénalisante. Ces observations sont à mettre en correspondance avec les pertes de charge provoquées au passage du plan de grille. Dans la perspective de l'implantation d'exutoires exploitant un débit d'attrait représentant un faible pourcentage du débit turbiné, la forte déflexion et la prédominance marquée d'un flux normal au niveau du montant aval du plan de grille conditionnent l'existence de zones propices à l'insertion d'éléments de guidage.

## **VI - REMERCIEMENTS**

Cette étude est financée par la Société Hydro Electricque du Midi (SHEM), la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) et France HydroElectricité.

## **VII - REFERENCES**

H. Meusburger, F. Hermann, R. Hollenstein 1999, Comparison of numerical and experimental investigations of trashrack losses, XXVIII IAHR Congress, Graz.

H. Meusburger, P. Volkart, H.E. Minor 2001 A new improved formula for calculating trashrack losses, XXIX IAHR Congress, Beijing.

D. Courret, M. Larinier 2008 Guide pour la conception de prises d'eau ichtyocompatibles pour les petites centrales hydroélectriques, Rapport GHAAPPE RA.08.09

J.M. Tsikata, M.F. Tachie, C. Katopodis 2009 Particle Image Velocimetry Study of Flow near Trashrack Models, Journal of Hydraulic Engineering