



PROJET N°LIFNAT/FR/000083

PROGRAMME DE CONSERVATION DE
L'APRON DU RHONE (*ZINGEL ASPER*) ET
DE SES HABITATS

- Etude pour la conception de passes à poissons adaptées à l'Apron

Décembre 2005





ETUDE POUR LA CONCEPTION DE PASSES A POISSONS ADAPTEES A L'APRON



P. GOMES, S. VIGHETTI, M. LARINIER

DECEMBRE 2005



**Groupe d'Hydraulique Appliquée aux Aménagements Piscicoles
et à la Protection de l'Environnement**

ETUDE POUR LA CONCEPTION DE PASSES A POISSONS ADAPTEES A L'APRON

P. GOMES, S. VIGHETTI, M. LARINIER

Rapport GHAAPPE RA.05.05

RESUME

Un nouveau plan d'action a été mis en œuvre dans le cadre du Programme LIFE II pour permettre de faire passer l'Apron du Rhône du statut d'espèce en danger au statut d'espèce vulnérable. Parmi les actions proposées, il est prévu de décloisonner l'habitat sur certains cours d'eau par la construction de passes à poissons ou par la modification de seuils pour les rendre franchissables par l'apron. Le but de la présente étude est de proposer des critères permettant la conception de passes à poissons adaptées à l'apron. Dans la première partie de l'étude, à partir des connaissances actuelles sur les capacités de nage et le comportement des aprons, et en fonction des contraintes liées aux sites à équiper, on a proposé plusieurs solutions : passes à bassins successifs et passes "rustiques" en enrochements. Dans une deuxième partie de l'étude, des essais hydrauliques sur des configurations géométriques particulières ont été effectués à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse dans des canaux à inclinaisons variables. Les mesures des vitesses et des caractéristiques de la turbulence ont été effectuées par vélocimétrie acoustique à effet doppler. Dans une troisième partie, on a effectué des tests avec le matériel vivant disponible au fluvarium des Ramières du Val de Drôme. Les observations effectuées sur le comportement de l'apron ont permis de préciser certains points, en particulier l'importance de disposer aux fonds des passes des rugosités de fond, et de réduire autant que faire se peut la dimension des obstacles et des zones de recirculation afin de limiter le temps de séjour des poissons dans les passes et les problèmes de désorientation.

Mots clés : Apron, *Zingel asper*, canal expérimental, passe à poissons.

SOMMAIRE

Avant propos.....	4
1. Contexte, objectifs et déroulement de l'étude	5
2. L'Apron du Rhône	7
3. Les critères de dimensionnement des passes adaptées à l'apron	8
3.1. Résultats de l'étude menée par l'Université de Lyon aux Ramières (Gaudin et Pradelle, 2001) ..	8
3.2. Critères de dimensionnement pour les passes adaptées à l'apron	9
4. Les essais hydrauliques à l'IMFT	12
4.1. Objectifs des essais	12
4.2. Canal d'expérience.....	12
4.3. Types de rugosités	12
4.4. Configurations géométriques testées	13
4.5. Métrologie.....	14
4.6. Protocole de mesure	15
4.7. Résultats	17
5. Les expérimentations au Fluvarium des Ramières	26
5.1. L'installation expérimentale.....	26
5.2. Matériel biologique	28
5.3. Matériel d'observation et méthode.....	28
5.4. Métrologie.....	30
5.5. Configuration 1 et configuration 1 bis	30
5.6. Configuration 2.....	33
5.7. Configuration 3.....	36
5.8. Configuration 4.....	38
5.9. Conclusions.....	41
6. Retour sur les critères de dimensionnement et conclusions	43
7. Bibliographie	45

AVANT PROPOS

Cette étude est réalisée dans le cadre du Programme Life Apron II sous la maîtrise d'ouvrage du Conservatoire Rhône-Alpes des Espaces Naturels (CREN) et sous maîtrise d'œuvre MIDIVAL. La responsabilité scientifique a été assurée par le GHAAPPE.

Des essais ont été réalisés à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse (tests hydrauliques) et au fluvarium de la Réserve Naturelle des Ramières du Val de Drôme (expérimentations sur du matériel vivant) par Peggy GOMES (chargé d'étude MIDIVAL) et Stéphane VIGHETTI (technicien de l'environnement au CSP).

À l'occasion de cette étude, nous souhaitons adresser particulièrement nos remerciements à Jacques CHORDA (ingénieur CNRS à l'IMFT) pour ses conseils, son aide précieuse lors des tests hydrauliques à Toulouse et notamment pour la mise au point des réglages de l'ADV (Vélocimétrie Acoustique Doppler).

Nos remerciements s'adressent tout autant à Jean Michel FATON, conservateur de la réserve des Ramières, ainsi qu'à l'ensemble de ses collaborateurs Ariane CELEYRON, Jean Yves LIOTARD, Jacques RASPAIL, Michael AURIAS pour leur accueil chaleureux et leur aide, sans oublier la Communauté de Commune du Val de Drôme (CCVD) gestionnaire de la réserve.

1. CONTEXTE, OBJECTIFS ET DEROULEMENT DE L'ETUDE

L'aire de répartition de l'Apron du Rhône a fortement diminué. Cette régression résulte directement des modifications de ses habitats engendrées par les activités humaines. En effet, en à peine un peu plus d'un siècle, les milieux aquatiques du bassin rhodanien ont connu une sévère dégradation de la qualité de leurs eaux, une altération physique importante et une modification généralisée de leur mode de fonctionnement.

En octobre 1998, un premier programme de conservation de l'espèce a été proposé et coordonné par Réserves Naturelles de France. Ce programme avait pour objectif d'assurer la conservation in situ des populations, de localiser les populations et les habitats importants, de connaître le cycle biologique de l'espèce et ses besoins.

À l'issue de cette première étape, une stratégie de conservation et un plan de gestion de l'espèce ont été proposés avec quatre grands axes :

- Connaître la distribution actuelle des populations d'aprons,
- Restaurer la connectivité entre les habitats favorables à l'apron,
- Augmenter les populations "conservatoires" d'aprons,
- Faire connaître l'espèce au grand public et à certains groupes clefs.

Un nouveau plan d'action a été mis en œuvre dans le cadre du Programme LIFE II pour permettre de faire passer l'Apron du statut d'espèce en danger au statut d'espèce vulnérable. Parmi les actions proposées, il est prévu de décroquer l'habitat sur certains cours d'eau par la construction d'un certain nombre de passes à poissons ou par la modification de seuils pour les rendre franchissables par l'Apron.

La conception d'une passe à poissons sur un site donné pour une espèce donnée se fait par utilisation de critères de dimensionnement spécifiques qui sont fonction des caractéristiques de l'obstacle, du cours d'eau ainsi que des capacités de nage et du comportement migratoire de l'espèce.

Le but de la présente étude est, à partir du retour d'expérience sur les passes adaptées aux petites espèces, des connaissances actuelles sur les capacités de nage de l'apron et d'essais effectués en laboratoire, de définir des critères de dimensionnement de passes adaptées à l'apron et plus généralement aux espèces benthiques de petites tailles et de tester sur cette espèce une ou plusieurs solutions à une échelle faiblement réduite dans le fluvarium de la Réserve Naturelle des Ramières.

Dans la première partie de l'étude, à partir des connaissances actuelles sur les capacités de nage et le comportement des aprons, et en fonction des contraintes liées aux sites à équiper, on a défini les critères de dimensionnement des dispositifs de franchissement pour l'espèce considérée. Ces critères sont basés sur les vitesses d'écoulement maximales, les débits par mètre de largeur, les puissances dissipées, ainsi que les chutes maximales entre bassins dans le cas de passes à bassins. Plusieurs types de solutions sont proposés : passes à bassins successifs et passes "rustiques" en enrochements.

Dans une deuxième partie de l'étude, des essais sur des configurations géométriques particulières ont été effectués à l'Institut de Mécanique des Fluides

de Toulouse dans des canaux à inclinaisons variables. Les mesures des vitesses, des caractéristiques de la turbulence et des débits ont été effectuées par micromoulinet, vélocimétrie acoustique à effet doppler (ADVP et ADV) et débitmètre électromagnétique.

Dans une troisième partie, on a effectué des tests avec le matériel vivant disponible au fluvarium des Ramières du Val de Drôme. Pour ce faire, certaines des caractéristiques du fluvarium ont été modifiées pour les adapter aux contraintes liées aux essais. Les observations effectuées au fluvarium sur le comportement des aprons ont permis de confirmer et de préciser certains critères de dimensionnement et dispositions constructives des dispositifs de franchissement adaptés à l'espèce.

2. L'APRON DU RHONE

L'apron (*Zingel asper*) (Linné, 1758) appartenant à la famille des Percidés (Figure 1), est un poisson rare et endémique du bassin versant du Rhône (Le Rhône moyen, la Drôme, l'Ardèche, la Beaume, le Chassesac, la Durance, le Verdon, la Lanterne, le Doubs, la Loue et l'Ain). Il vit dans les eaux claires et oxygénées à fond de graviers. Le corps est fin et fuselé, le dos est gris-brun, les flancs brun-jaune avec 3 bandes noires transversales sur la partie postérieure du corps. Sa bouche est infère ; le bord de l'opercule porte dans la partie inférieure un long aiguillon. Il existe deux nageoires dorsales séparées. Ses nageoires pelviennes lui servent d'appui. Sa taille n'excède que rarement 18 à 20 cm (Dottrens, 1951-1952 ; Perrin, 2001 ; Spillmann, 1961).

La reproduction a lieu en mars-avril sur les pierres ou la végétation, dans les eaux fraîches et peu profondes. L'alevin présente successivement deux modes de vie, d'abord pélagique il gagne le fond lorsqu'il atteint la taille de 2 à 2,5 cm. L'adulte, solitaire, est tapi au fond de l'eau durant la journée et sort au crépuscule en quête de nourriture (larves d'insectes, vers...).

L'Apron a un comportement territorial très marqué (Boutitie, 1984 ; Danancher, 2000) qui, en captivité, demande habituellement de grands espaces (plusieurs m² par individu). Cependant, il a été démontré qu'une densité supérieure à la capacité d'accueil théorique engendre des déplacements à la recherche d'un patch de plus faible densité (Schaeffer, 2001). Les poissons se déplacent vers les zones de plus forte potentialité énergétique qui correspondent aux zones où le nombre de compétiteurs est le plus faible (Tyler et Gilliam, 1995 ; Schaefer, 2001).

Parce qu'il utilise trois milieux différents le pool, le radier et le plat ; l'Apron est l'un des poissons les plus exigeants de nos rivières. Ses exigences écologiques et la vulnérabilité de sa ponte le rendent très sensible aux modifications du milieu naturel, aux pollutions organiques (rejets urbains, agricoles, agro-alimentaires), chimiques (industriels, agricoles...) et physiques (création de retenues, extraction de granulats...). C'est un poisson indicateur par excellence. L'Apron est considéré comme menacé d'extinction et inclus dans les listes rouges de France (1992) et de Suisse (1991). Ils sont inscrits à l'annexe II et IV de la Directive Habitats-faune-flore et à l'annexe II de la Convention de Berne (Keith et al., 1994).



Figure 1 : Apron adulte

3. LES CRITERES DE DIMENSIONNEMENT DES PASSES ADAPTEES A L'APRON

Les dispositifs de franchissement doivent être adaptés aux espèces considérées, ainsi qu'aux caractéristiques des cours d'eau et aux différentes contraintes liées aux obstacles sur lesquels ils doivent être installés. Le type de dispositif n'est pas unique pour une espèce donnée, et il convient de proposer une gamme de solutions adaptées

- à l'importance du cours d'eau en terme de débit
- à l'importance des variations des niveaux d'eau amont et aval au droit de l'obstacle
- aux contraintes liées à la maintenance et à la protection du dispositif
- à l'importance et à la nature du transport solide en crue
- à la présence des autres espèces à faire passer.

3.1. Résultats de l'étude menée par l'Université de Lyon aux Ramières (Gaudin et Pradelle, 2001)

Une première étude avait été réalisée dans le fluvarium de la Réserve Naturelle des Ramières par l'Université de Lyon pour mettre en évidence l'influence de la nature du substrat sur le comportement de franchissement d'obstacles de juvéniles d'apron (longueur moyenne des individus de 9,7 cm). On a repris ci-dessous les principaux résultats de cette étude (Gaudin et Pradelle, 2001).

« Lors du passage de singularités hydrauliques (zones d'accélération des écoulements), l'Apron peut faire des déplacements dans la lame d'eau, mais de courte durée, et a besoin d'un substrat pour marquer des pauses.

Dans le milieu naturel, l'Apron évolue par étape en marquant régulièrement des arrêts entre les galets, voire sous les galets. La fréquence des pauses est d'autant plus importante que le courant à remonter est fort.

Les vitesses de pointe observées sur des juvéniles en laboratoire sur de courtes distances (< 1 mètre) sont de l'ordre de 18 fois la longueur du corps, soit pour des juvéniles de 1,3 à 1,4 m/s.

Des tests de franchissement ont été réalisés sur divers types de substrat : les Aprons testés étaient âgés de plus d'un an et avaient une taille de 9,7 cm en moyenne, les expérimentations ont été réalisées entre 20°C et 24°C.

Ces tests montrent que des substrats qui présentent des abris permettent aux Aprons de franchir plus facilement des pentes et des vitesses de courant plus élevées. Substrats testés :

- Petite granulométrie : cailloux (de diamètre moyen 2 cm) enchassés dans le béton et dépassant de 0.5 à 1 cm. La vitesse est de 1 m/s.

- Grosse granulométrie : cailloux de 5 à 10 cm, dépassant de 2 à 3 cm. La vitesse est de 0.8 m/s.

Dans ces deux cas étudiés, la plupart des Aprons passent l'obstacle. Dans la petite granulométrie les Aprons ne font pratiquement pas de « pauses » et ont une vitesse relative moyenne de 0.3 m/s avec des pointes de 0.5 à 0.7 m/s. Dans la grosse granulométrie un Apron sur deux a fait des pauses et s'attarde plus longtemps dans l'obstacle, avec une vitesse moyenne de 0.2 m/s avec des vitesses maximales de 0.4 à 0.7 m/s. Cela montre bien, le problème de l'endurance chez l'Apron : dans une passe de

taille réelle, les adultes auront besoin de repos. Une passe à Apron doit, par conséquent, offrir des abris hydrauliques.

En résumé, les tests réalisés montrent qu'un certain nombre de conditions rencontrées dans les passes à poissons peuvent perturber ou s'opposer au franchissement par les aprons (et probablement par d'autres poissons benthiques), à savoir, dans l'état actuel de nos connaissances :

- *Une surface parfaitement lisse ;*
- *La présence de petits seuils verticaux de fond (dans le fluvium, une marche de 5 cm de hauteur pour une lame d'eau de 10 cm a bloqué la quasi-totalité des poissons) ;*
- *Pour des aprons juvéniles (1 an) et de 7 à 8 cm de longueur totale moyenne, des vitesses supérieures à 110 cm.s⁻¹, soit 15 fois la longueur totale. Pour les poissons de plus petite taille (classe d'âge 0+), qui sont également susceptibles de se déplacer, il va sans dire que les vitesses maximales devraient être inférieures. »*

3.2. Critères de dimensionnement pour les passes adaptées à l'apron

L'étude précédente a été réalisée dans des profondeurs d'eau très réduites (<10 cm) et il est difficile d'extrapoler ces résultats au dimensionnement d'une passe à poissons dans laquelle les profondeurs sont généralement significativement plus importantes. En particulier elle ne prend pas en compte ni les gradients de vitesse sur la verticale, ni l'existence de décollements liés à la présence d'une granulométrie très grossière sur le fond, ni l'hétérogénéité de la répartition des vitesses sur un plan horizontal dans une passe à poisson.

On propose trois types de solutions : passes à bassins successifs à fentes verticales, passes « rustiques » composées de rangées de plots régulièrement disposées créant des pseudo-bassins, passes « rustiques » composées de blocs plus ou moins uniformément répartis en respectant une certaine concentration moyenne.

Passe à bassins

Pour les passes à bassins, on adoptera des chutes maximales de 0.15 m entre bassins, ce qui correspond grosso-modo à des vitesses maximales dans les jets de 1.7 m/s, à des vitesses maximales dans les sections de passage obligé (au droit des fentes) de l'ordre de 1.3 m/s, et significativement inférieure à proximité du fond dans l'hypothèse où celui-ci est garni de rugosités de dimensions suffisantes (10-20 cm).

Les caractéristiques sont données ci-dessous (Figure 2).

- De préférence, deux fentes de largeur b (au lieu d'une seule). Les largeurs des fentes pourront varier de 0.25 m à 0.40 m en fonction des sites et des autres espèces concernées (tableau 1). Les fentes pourront avoir des largeurs différentes.

- Longueur des bassins $L = 5 b^{0.5}$ (en m), largeur des bassins $B = 5 b^{0.5}$ (en m).

- Débit approximatif par mètre de profondeur moyenne (Q/T_{moy}) : environ $2.5 b$ m³/s/m

- Puissance dissipée volumique : $P/V = 150$ watts/m³

- Pente : de l'ordre de 5-6% (en fonction de la longueur des bassins et de la largeur des fentes).

b (m)	L (m)	B (m)	Q/Tmoy (m ³ /s/m)	P/V (watts/m ³)
0.25	2.5	2.5	.62	150
0.3	2.75	2.75	.75	150
0.35	2.95	2.95	.87	150
0.4	3.15	3.15	1.0	150

Tableau 1. Caractéristiques des bassins

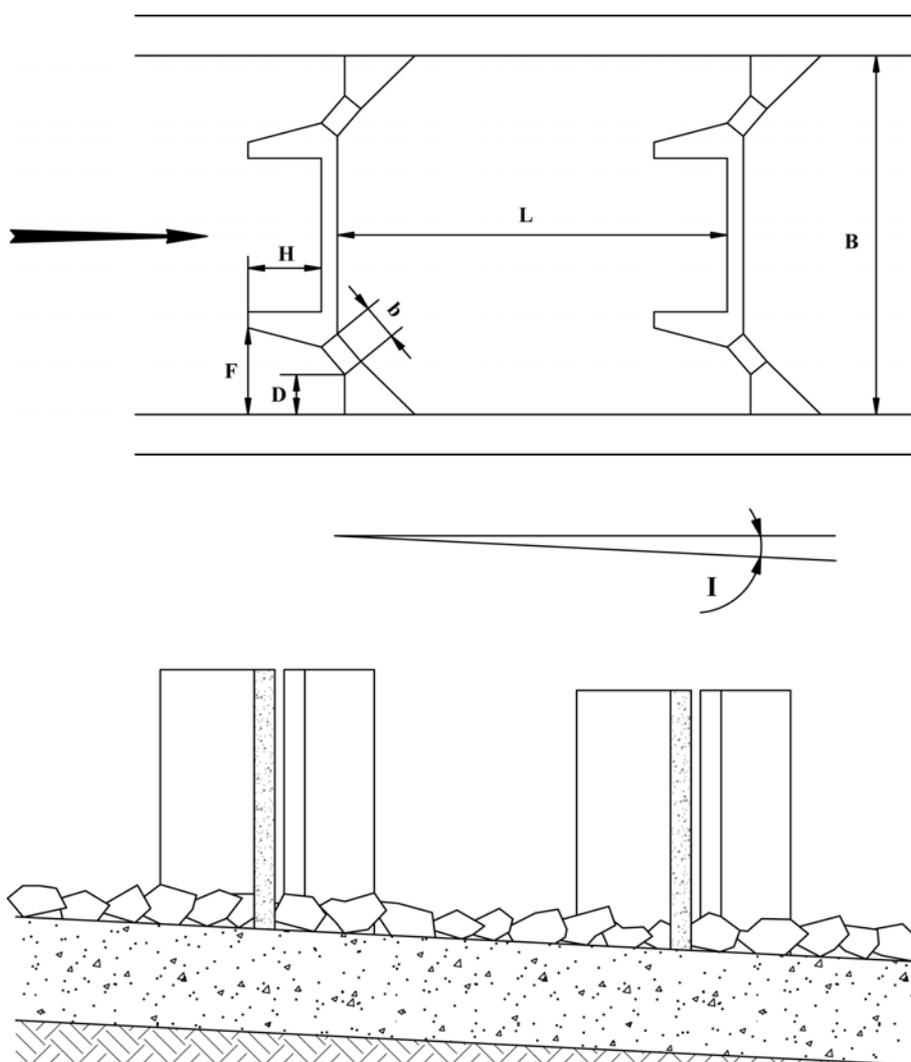


Figure 2 : Schéma des passes à deux fentes verticales

Passes « rustiques » à rangées de plots régulièrement espacés

Ce sont des passes constituées de rangées de blocs rocheux (ou de plots préfabriqués) disposés sur un radier rugueux générant des chutes locales et constituant une série de « pseudo-bassins ».

Dimension des plots : 0.30-0.40 m de largeur (D) par 0.60 m de hauteur (p). Porosité des rangées (1-D/e) : 0.4 (rapport largeur ouverture sur largeur totale de la passe). Espacement des rangées environ 2 m à 3 m. Pente : maximum 5%. Chute au niveau de chaque « pseudo-bassin » : maximum 12 cm.

Le radier ne sera pas rigoureusement horizontal mais comportera au niveau de chaque rangée de blocs une surélévation (sans décrochement brusque) de 10 à 20 cm.

Passes « rustiques » à plots dispersés

Ce sont des passes constituées de blocs rocheux (ou de plots préfabriqués) plus ou moins régulièrement répartis sur un radier rugueux.

Dimension des plots : largeur D face à l'écoulement de 0.30-0.40 m, hauteur p de l'ordre de 0.60 m. La concentration des blocs définie par $C = D^2/e.L$ (e : espacement transversal et L : espacement longitudinal) est fonction de la pente.

Pour une pente de 5%, qui peut être considérée comme la pente maximale, la concentration est de 13%, soit un espacement transversal $e = 2.5 D$ et un espacement suivant l'axe de la passe $L = 3 D$. Pour une pente de 2%, la concentration pourra être plus faible, de l'ordre de 5%, soit un espacement transversal $e = 4 D$ et un espacement suivant l'axe de la passe $L = 5 D$ (Figure 3).

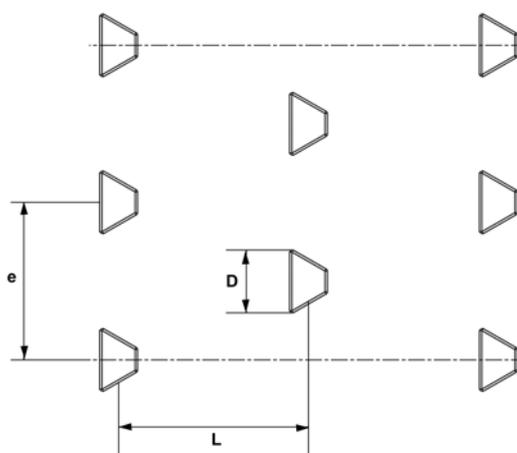


Figure 3 : Schéma des passes à plots

4. LES ESSAIS HYDRAULIQUES A L'IMFT

4.1. Objectifs des essais

L'objectif des essais était de tester sur modèle certaines des configurations de passes « rustiques » proposées pour préciser les gammes de valeurs de certains paramètres caractérisant l'écoulement (comme les vitesses, l'énergie cinétique turbulente (ECT), et la puissance dissipée) obtenues dans certaines zones particulières (jet, sillage, zones de cisaillement).

4.2. Canal d'expérience

L'étude a été réalisée dans le hall d'essais Castex, à l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse sur un canal (Figure 4) de largeur utile 0.625 m, de longueur 6.60 m, d'inclinaison variable (0% à 10% environ) et de débit maximal 50 l/s. Les configurations seront testées à une échelle voisine de 1/2.4 par rapport au prototype.



Figure 4. Canal à rugosités artificielles.

4.3. Types de rugosités

Des plots en PVC de forme trapézoïdale (ou demi trapézoïdale le long des parois), de hauteur 0.30 m, de dimensions 0.125 m x 0.75 m x 0.41 m (et 0.63 m x 0.75 m x 0.21 m pour les demi plots) schématisent les blocs « naturels » (figure 5). Ils sont fixés sur des bandes en PVC placées sur le fond du canal. Une couche de cailloux concassés de 20-40 mm est disposée sur le fond du canal pour en augmenter la rugosité.

4.5. Métrologie

Les différentes mesures de hauteurs d'eau et de vitesses sont réalisées à mi-longueur du canal, distance suffisante pour l'établissement d'un régime uniforme en moyenne. Les mesures sont effectuées à différents débits.

Les nombreuses instabilités de la surface libre et les fluctuations du tirant d'eau en un point donné rendent difficile des mesures précises de la hauteur d'eau. L'utilisation d'un régllet permet d'obtenir une mesure approximative du tirant d'eau.

Les débits dans le canal sont mesurés à l'aide d'un débitmètre électromagnétique KHRONE. La précision de la mesure est de 0.5%.

L'appareillage employé pour les mesures de vitesse est un micro ADV 16 Mhz (Vélocimétrie Acoustique Doppler) développé par la société Sontek. Il est composé d'une sonde munie d'un émetteur acoustique et de trois récepteurs permettant une réception dans les trois directions de l'espace (figure 7). Le pilotage de l'ADV est effectué à partir d'un ordinateur.

L'émetteur produit un signal acoustique court et périodique. Quand l'impulsion acoustique de fréquence fixe de 16 MHz traverse la colonne d'eau, les particules (matières en suspension, bulles d'air, petits organismes...) dispersent une fraction de l'énergie acoustique. Les récepteurs détectent l'écho acoustique provenant du volume de mesure à l'intersection des récepteurs et de l'émetteur. La fréquence de l'écho est modifiée par effet Doppler, en fonction du déplacement relatif des particules dont on suppose qu'elles se déplacent à la vitesse de l'écoulement. Cette modification de fréquence, captée par les trois récepteurs, permet une détermination du vecteur vitesse : il est déterminé à partir des trois projections de la vitesse mesurées par les récepteurs et d'une matrice de transformation qui prend en compte la position géométrique des récepteurs et de l'émetteur.

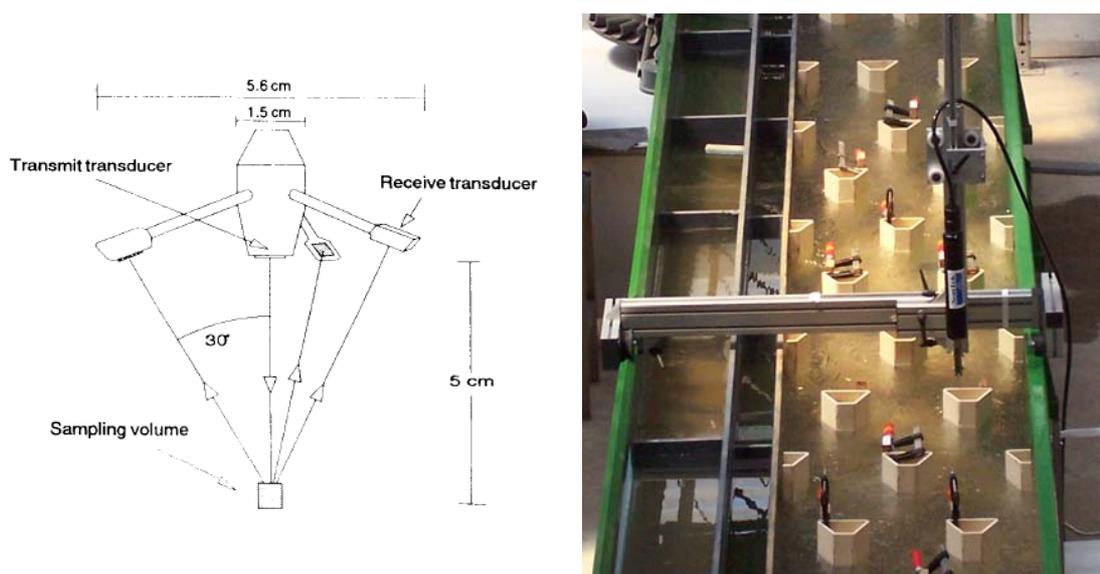


Figure 7. Schéma de l'ADV et vue d'une sonde sur son support

La position du volume de mesure est déterminée par le modèle de sonde utilisé. Dans notre cas, elle se situe à 5 cm de la sonde de façon à ne pas perturber l'écoulement au point d'acquisition. Le volume de prélèvement standard est un cylindre d'eau d'un diamètre de 4.5 mm et d'une taille de 5.6 mm.

L' ADV enregistre neuf valeurs pour chaque échantillon : les trois valeurs de vitesse (une pour chaque composante), les trois valeurs de la force du signal (une pour chaque récepteur), et les trois valeurs de corrélation (une pour chaque récepteur). La force et la corrélation du signal sont employées principalement pour déterminer la qualité de la mesure de la vitesse donnée par l'ADV.

4.6. Protocole de mesure

La mise en place des rangées de plots dans le canal a été effectuée fin mai 2005. On observe, pour une pente de 5% et un fond lisse, un effet très marqué de balancement latéral de l'eau dans le canal : bien que la géométrie soit symétrique, l'écoulement est très dissymétrique, semblant passer au niveau de chaque plot préférentiellement d'un côté, le phénomène étant instable et le jet et l'ensemble de l'écoulement basculant périodiquement d'un côté à l'autre de chaque plot. Ce phénomène est moins marqué lorsque l'on diminue la pente du canal ou que l'on ajoute de la rugosité de fond.

Des mesures ont été réalisées dans cet écoulement instable sur un transect perpendiculaire à l'axe du canal situé à 3 cm à l'aval d'un obstacle. Sur ce profil 11 points espacés chacun de 3 cm (échelle modèle) ont été échantillonnés avec l'ADV sur une durée d'environ 300 s. La distance entre le fond et l'émetteur de la sonde varie approximativement de 3 à 8 cm selon les points en fonction de la position de la sonde suite à la présence des rugosités de fond.

Afin de diminuer l'effet de balancement de l'écoulement et de faciliter les mesures, des baguettes en bois ont été fixées sur la face amont des plots afin de rendre la géométrie dissymétrique.

Des mesures ont été effectuées pour 4 pentes : 1, 3, 5 et 7 %. Pour chacune des pentes, 7 profils transversaux espacés de 5 cm ont été réalisées (figure 8), avec une mesure tous les cm dans la mesure du possible (soit 48 points s'il n'y a pas d'obstacle) sur une durée d'environ 60 s.

Selon les pentes, le débit a été modifié (de 25 à 43 L.s⁻¹) de manière à ce que la sonde soit toujours complètement immergée et que le tirant d'eau soit à peu près constant. On a choisi de travailler à une fréquence d'acquisition de 50 Hz afin d'avoir des valeurs bien représentatives des composantes de la vitesse et de leurs fluctuations temporelles. Le tableau 2 résume les différents essais.

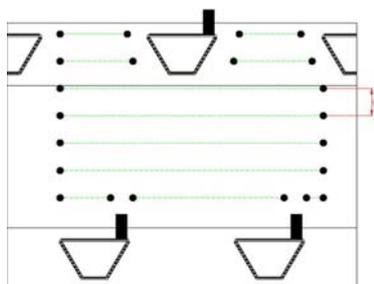


Figure 8. Localisation des profils de mesures

Le logiciel WinADV a été utilisé pour traiter les données. Il dispose de plusieurs filtres comme « Acceleration spike filter » (g) et « Phase-space threshold despiking » permettant d'éliminer l'influence du bruit sur les valeurs des paramètres caractérisant la turbulence de l'écoulement. Lors du traitement, le filtre GN+1.5g a été choisi car c'est celui qui, lors d'essais préliminaires effectués sur des écoulements similaires, semblait le plus efficace.

Le logiciel WinADV permet d'autre part de passer directement des valeurs obtenues sur modèle réduit à celles sur un prototype en utilisant la similitude de Froude classiquement utilisée pour les écoulements à surface libre.

Un traitement statistique des données a été effectué avec le logiciel Statgraphics permettant de tracer les différents profils ainsi que des boîtes de dispersion.

Date	Pente (%)	Transect (cm)	Temps d'échantillonnage (s)	Débit (L. s ⁻¹)	Observations
31/05/05	5	10	300	36.60	Écoulement non stabilisé
3/06/05	5	10	120	37	Écoulement stabilisé
3/06/05	5	15	60	36.91	Écoulement stabilisé
3/06/05	5	20	60	36.87	Écoulement stabilisé
3/06/05	5	25	60	36.95	Écoulement stabilisé
3/06/05	5	30	60	36.71	Écoulement stabilisé
6/06/05	5	5	60	36	Écoulement stabilisé
6/06/05	5	0	60	36	Écoulement stabilisé
6/06/05	3	10	60	37	Écoulement stabilisé
6/06/05	3	15	60	37	Écoulement stabilisé
6/06/05	3	20	60	36.8	Écoulement stabilisé
6/06/05	3	25	60	36.85	Écoulement stabilisé
7/06/05	3	30	60	36.8	Écoulement stabilisé
7/06/05	3	5	60	36.8	Écoulement stabilisé
7/06/05	3	0	60	36.9	Écoulement stabilisé
7/06/05	7	10	60	43	Écoulement stabilisé
7/06/05	7	15	60	43	Écoulement stabilisé
7/06/05	7	20	60	43	Écoulement stabilisé
8/06/05	7	25	60	42	Écoulement stabilisé
8/06/05	7	30	60	42	Écoulement stabilisé
8/06/05	7	5	60	42	Écoulement stabilisé
8/06/05	7	0	60	41.91	Écoulement stabilisé
8/06/05	1	0	60	25	Écoulement stabilisé
8/06/05	1	5	60	24.97	Écoulement stabilisé
8/06/05	1	10	60	24.90	Écoulement stabilisé
9/06/05	1	15	60	25	Écoulement stabilisé
9/06/05	1	20	60	24.85	Écoulement stabilisé
9/06/05	1	25	60	24.85	Écoulement stabilisé
9/06/05	1	30	60	24.85	Écoulement stabilisé

Tableau 2 : Nomenclature des essais (grandeurs modèle réduit)

4.7. Résultats

4.7.1. Profils de vitesses et de l'énergie cinétique turbulente

On a porté sur les figures 9 à 12 les profils des composantes de la vitesses dans les trois directions (longitudinales V_x , transversale V_y , verticale V_z) et de l'énergie cinétique turbulente pour quatre transects (24, 36, 48, 60 cm) et pour une pente de 5% (voir localisation des transects sur la figure 8). **Toutes les valeurs des grandeurs sont données pour le prototype ($D = 30$ cm). Les lois de similitude pourront être appliquées pour obtenir les vitesses pour une dimension D différente de 30 cm (similitude de Froude).**

Les vitesses maximales mesurées dans les jets sont de l'ordre de 1.20-1.35 m/s dans le profil à vitesses maximale. Sur les autres transects, les vitesses maximales sont de l'ordre de 1.00 à 1.20 m/s.

On a porté sur les figures 13 à 16 les profils des composantes de la vitesse dans les trois directions (longitudinales V_x , transversale V_y , verticale V_z) et de l'énergie cinétique turbulente pour un transect particulier et pour les quatre pentes testées (1%, 3%, 5%, 7%).

Les vitesses augmentent nettement avec la pente : les vitesses maximales, lorsque la pente varie de 1% à 7%, varient progressivement de 0.80 m/s à 1.60 m/s.

On a porté sur la figure 21, sous forme de boîtes de dispersion, l'évolution des vitesses mesurées avec la pente. Les espaces interquartiles, incluant 50% des valeurs mesurées, sont respectivement de 30-60 cm/s, 55-90 cm/s, 75-115 cm/s et 90-130 cm/s pour les pentes de 1%, 3%, 5%, 7%.

4.7.2. Influence de la pente sur l'ECT

On a porté sur les figures 17 à 20 une cartographie du champ de vitesses ainsi que les valeurs de l'énergie cinétique turbulente aux points échantillonnés.

S'il est évident que la turbulence est un facteur influant sur le comportement du poisson, aucune étude expérimentale n'a permis de déterminer de façon très claire le ou les paramètres à prendre en compte et a fortiori des valeurs-seuils ou critiques pour ces paramètres. L'énergie cinétique turbulente (ECT) paraît cependant le paramètre le plus adapté pour quantifier l'importance des fluctuations que subit un organisme aquatique, car il intègre naturellement les fluctuations des trois composantes de la vitesse instantanée.

Les valeurs mesurées de l'ECT augmentent avec la pente : elles varient entre 100 et 400 cm^2/s^2 pour la pente de 1%, et entre 400 et 1200 cm^2/s^2 pour la pente de 7%.

On a porté sur la figure 22 et 23 sous forme de boîtes de dispersion l'évolution des ECT mesurées dans les zones à vitesses >30 cm/s et dans les zones à vitesses <30 cm/s, que l'on peut considérer comme les zones dans lesquelles le poisson peut se reposer à condition qu'elles ne soient pas trop agitées. Dans les zones de repos, les espaces interquartiles, incluant 50% des valeurs mesurées, sont respectivement de 180-280, 380-600, 500-800 et 380-940 cm^2/s^2 pour les pentes de 1%, 3%, 5%, 7%. L'agitation augmente nettement avec la pente, bien que la différence entre les pentes de 5% et 7% ne soit pas très marquée.

• Profils de vitesses et d'ECT pour une pente de 5%

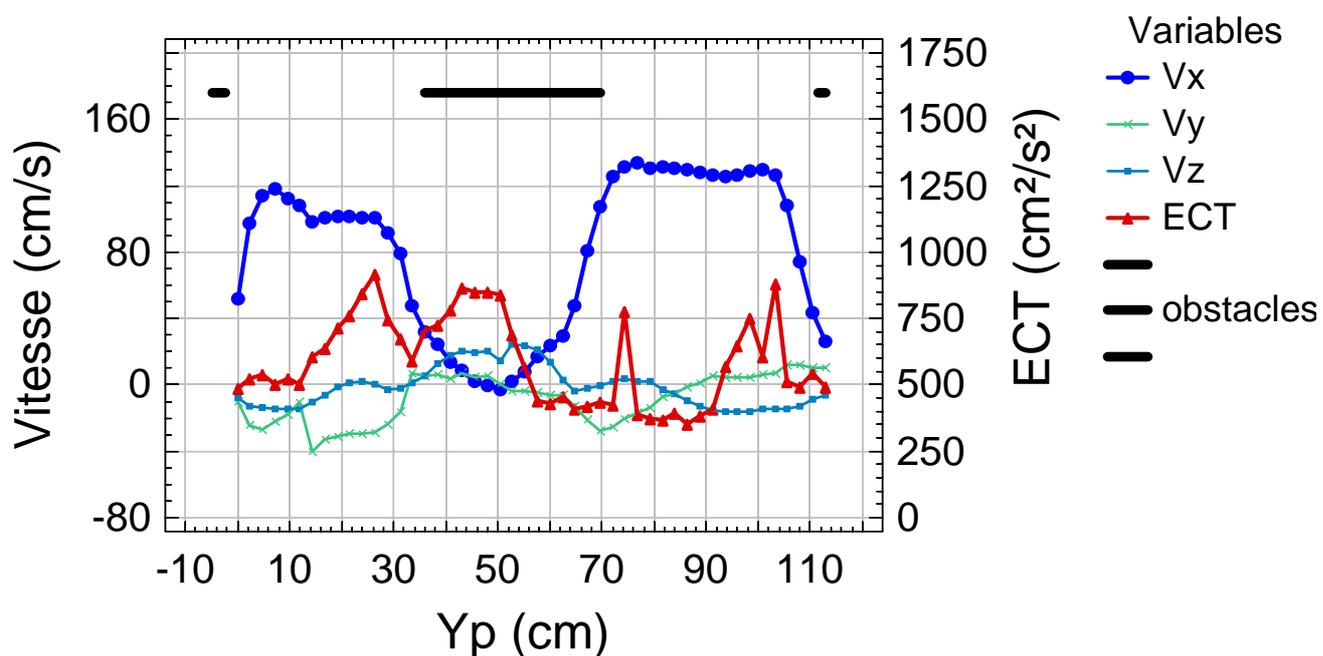


Figure 9. Profils des vitesses et de l'Énergie Cinétique Turbulente (en cm^2/s^2)
Pente 5% - filtre GN+1.5g – transect 24 cm

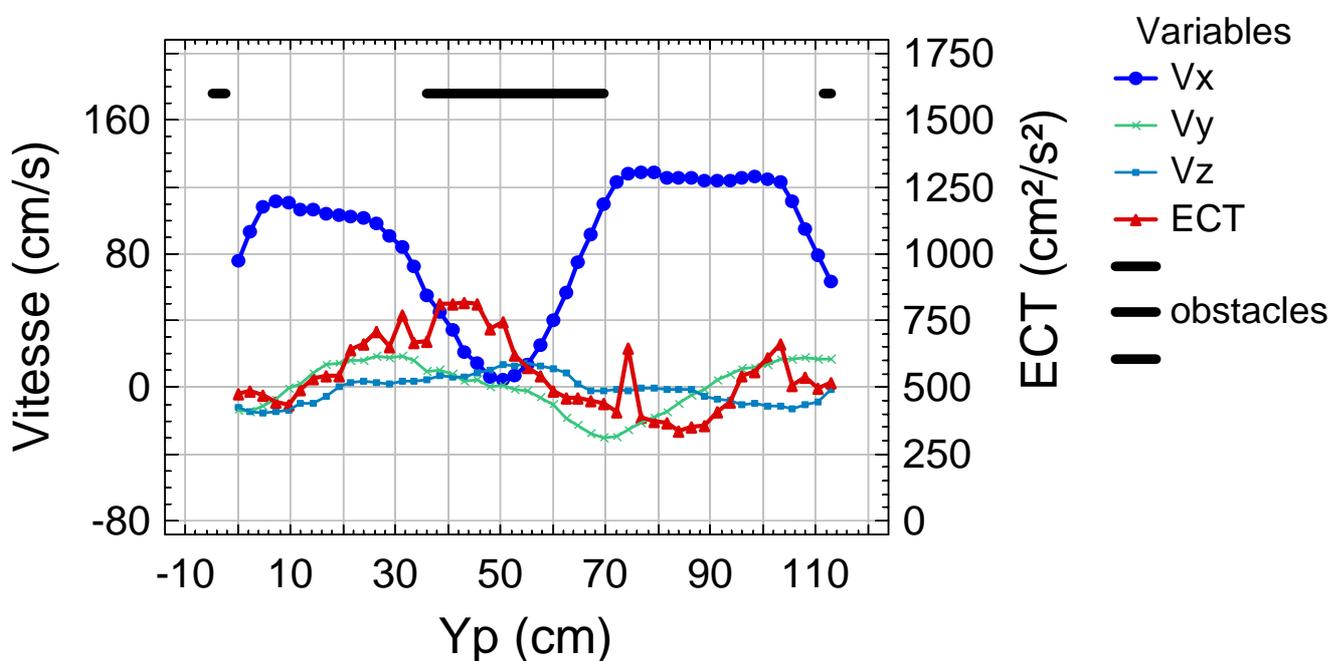


Figure 10. Profils des vitesses et de l'Énergie Cinétique Turbulente (en cm^2/s^2)
Pente 5% - filtre GN+1.5g – transect 36 cm

• Profils de vitesses et d'ECT pour une pente de 5%

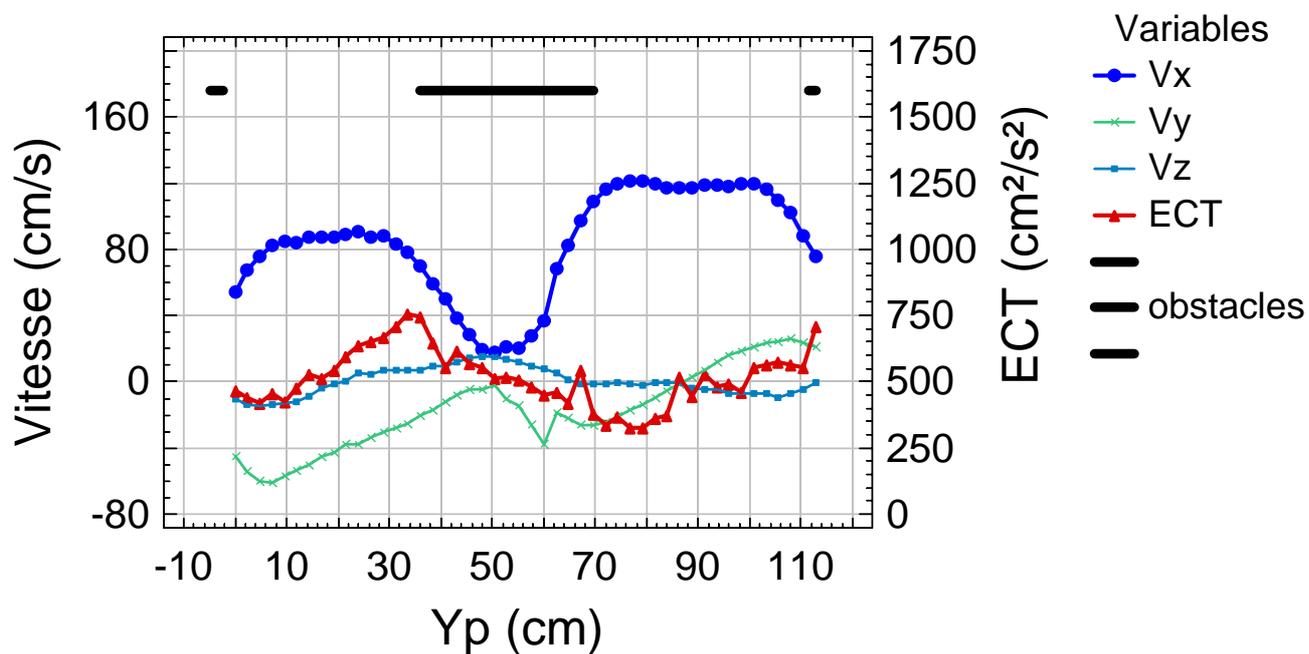


Figure 11. Profils des vitesses et de l'Energie Cinétique Turbulente (en cm^2/s^2)
Pente 5% - filtre GN+1.5g – transect 48 cm

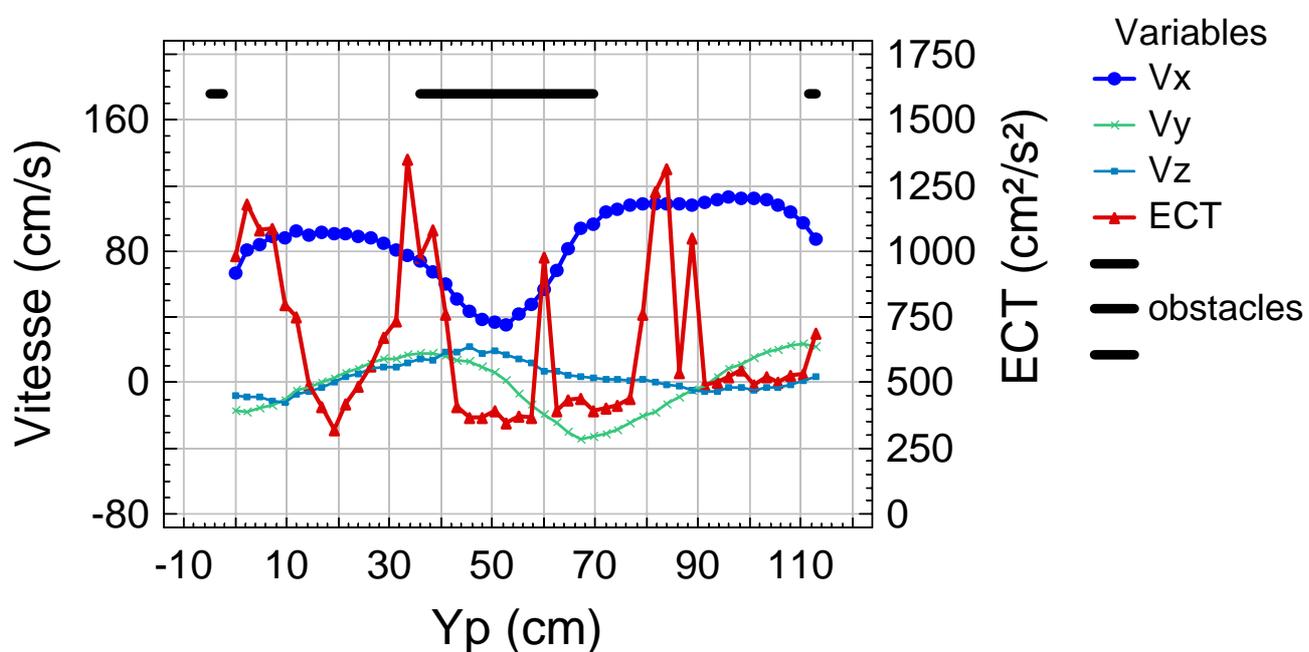


Figure 12. Profils des vitesses et de l'Energie Cinétique Turbulente (en cm^2/s^2)
Pente 5% - filtre GN+1.5g – transect 60 cm

- Profil des vitesses et de l'ECT pour les 4 pentes pour un même transect (24 cm en aval de l'obstacle)

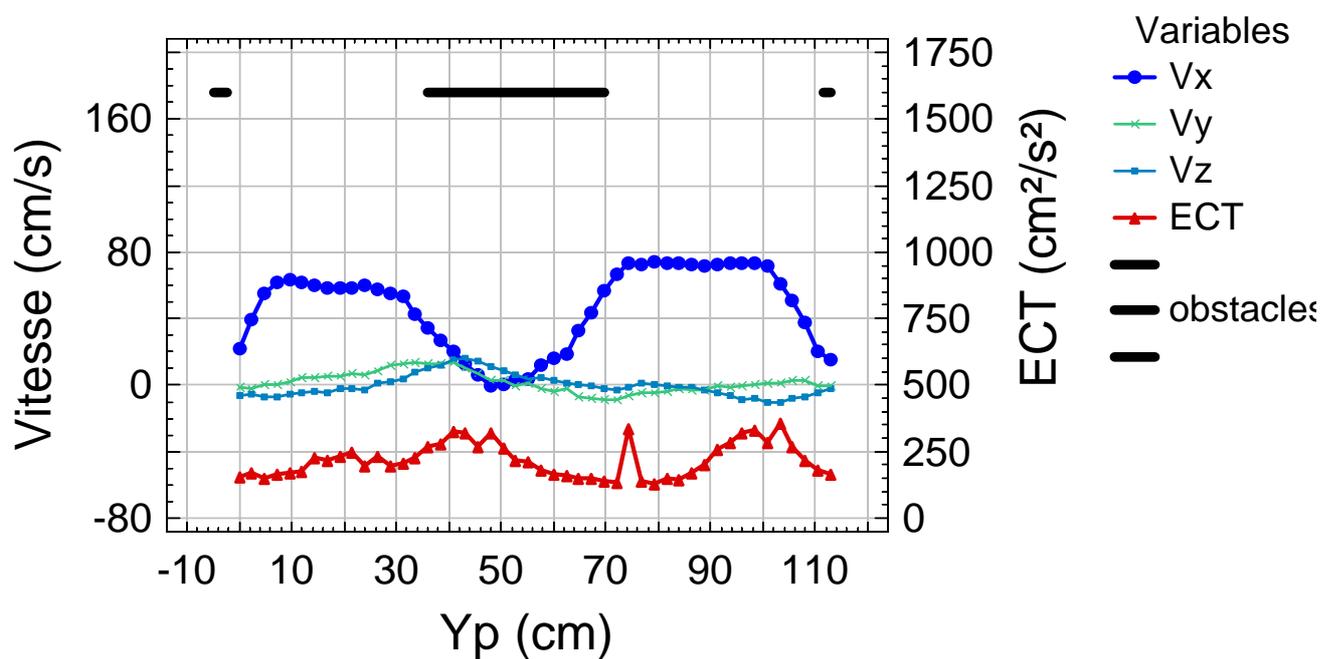


Figure 13. Profils des vitesses et de l'Energie Cinétique Turbulente (en cm^2/s^2)
Pente 1% - filtre GN+1.5g – transect 24 cm

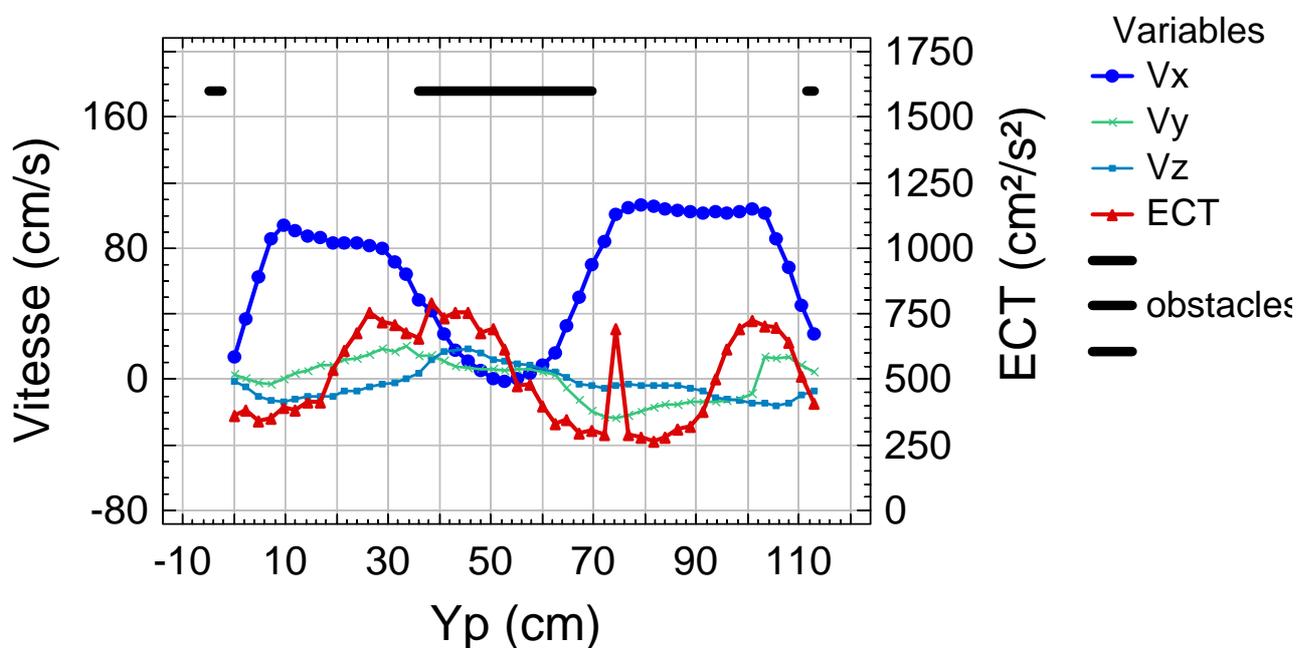


Figure 14. Profils des vitesses et de l'Energie Cinétique Turbulente (en cm^2/s^2)
Pente 3% - filtre GN+1.5g – transect 24 cm

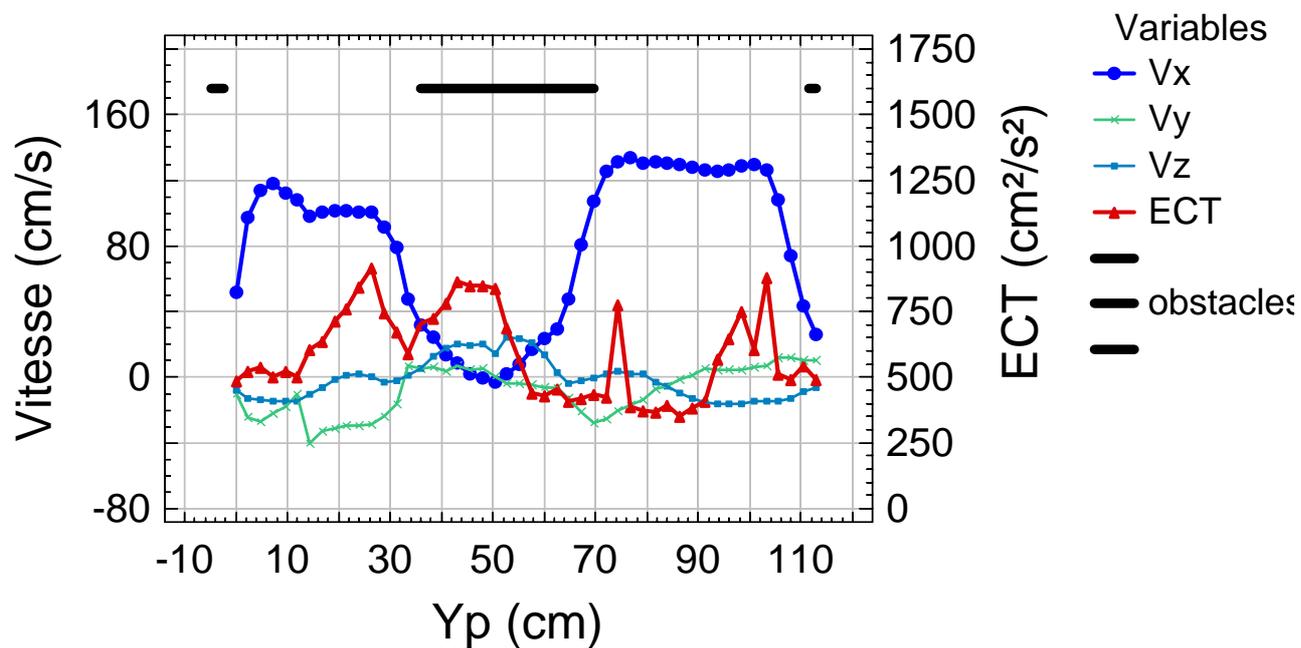


Figure 15. Profils des vitesses et de l'Energie Cinétique Turbulente (en cm^2/s^2)
Pente 5% - filtre GN+1.5g – transect 24 cm

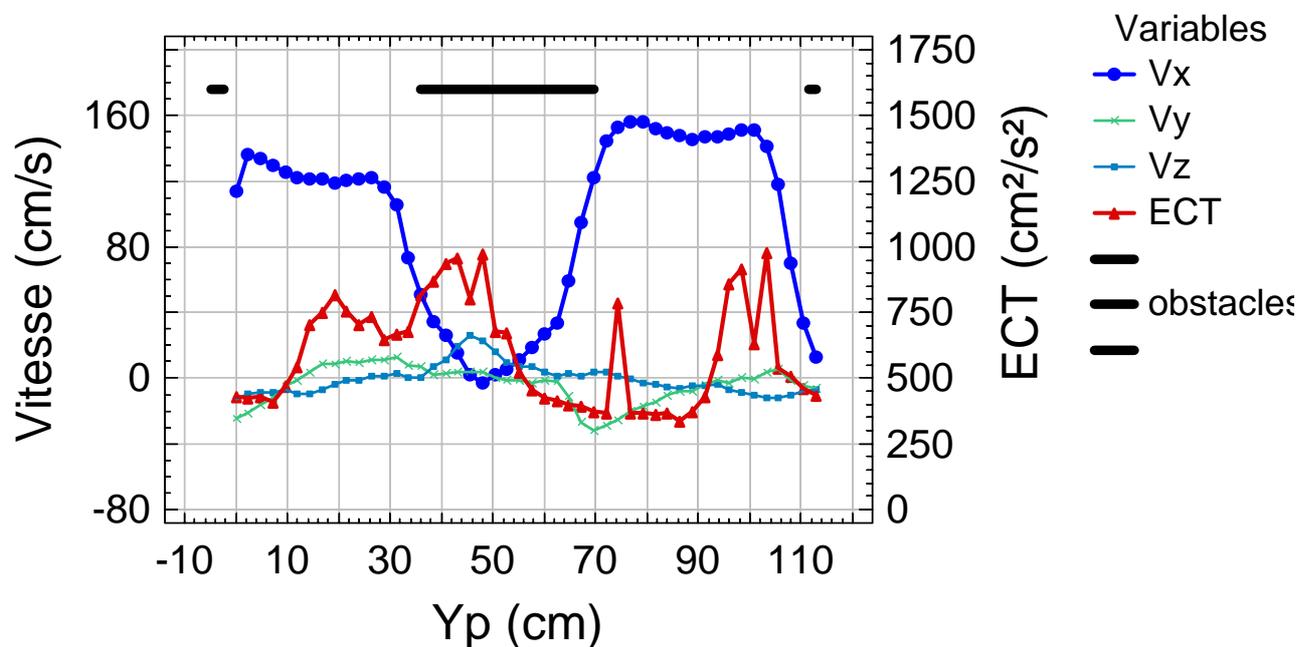


Figure 16. Profils des vitesses et de l'Energie Cinétique Turbulente (en cm^2/s^2)
Pente 7% - filtre GN+1.5g – transect 24 cm

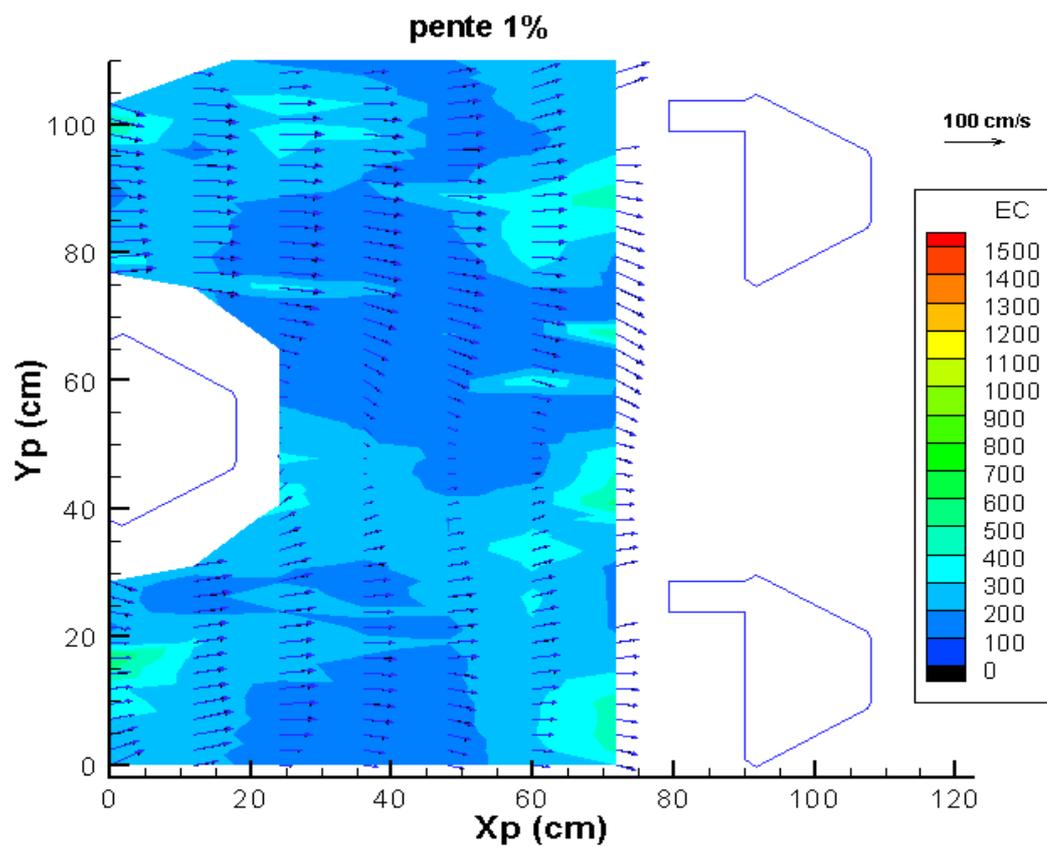


Figure 17. Cartographie des vecteurs vitesses et de l'ECT (en cm^2/s^2). Pente 1%

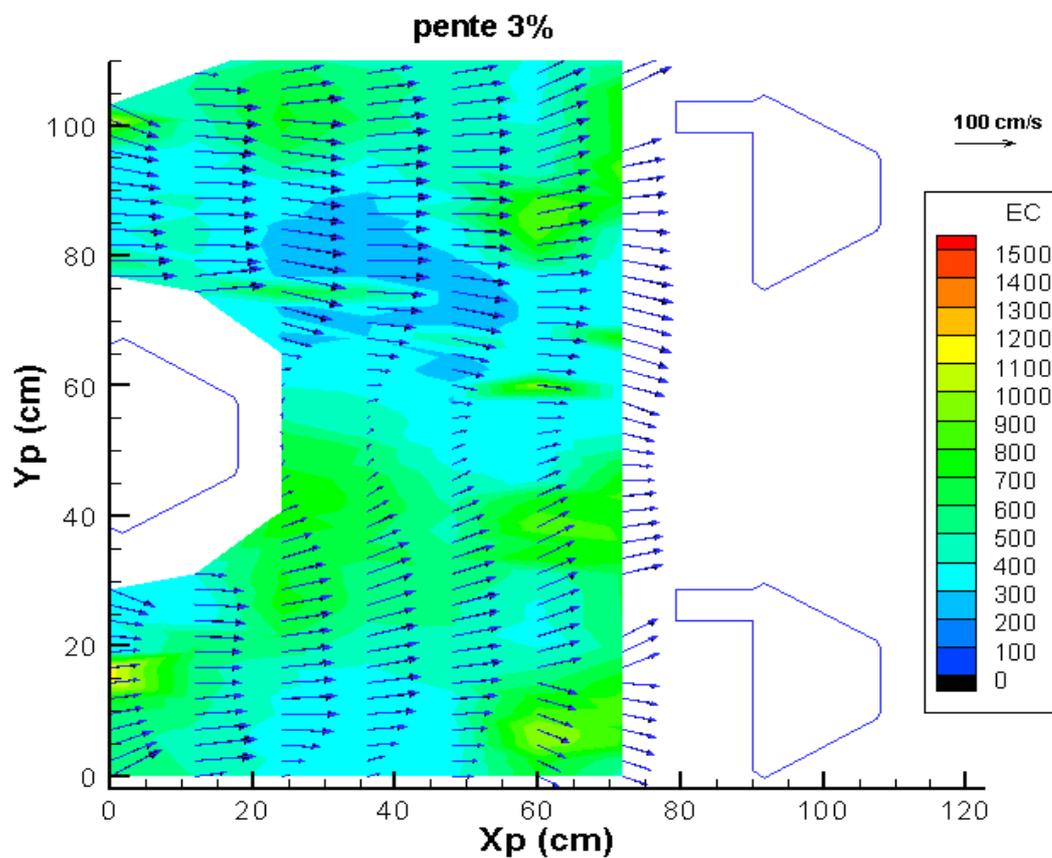


Figure 18. Cartographie des vecteurs vitesses et de l'ECT (en cm^2/s^2). Pente 3%

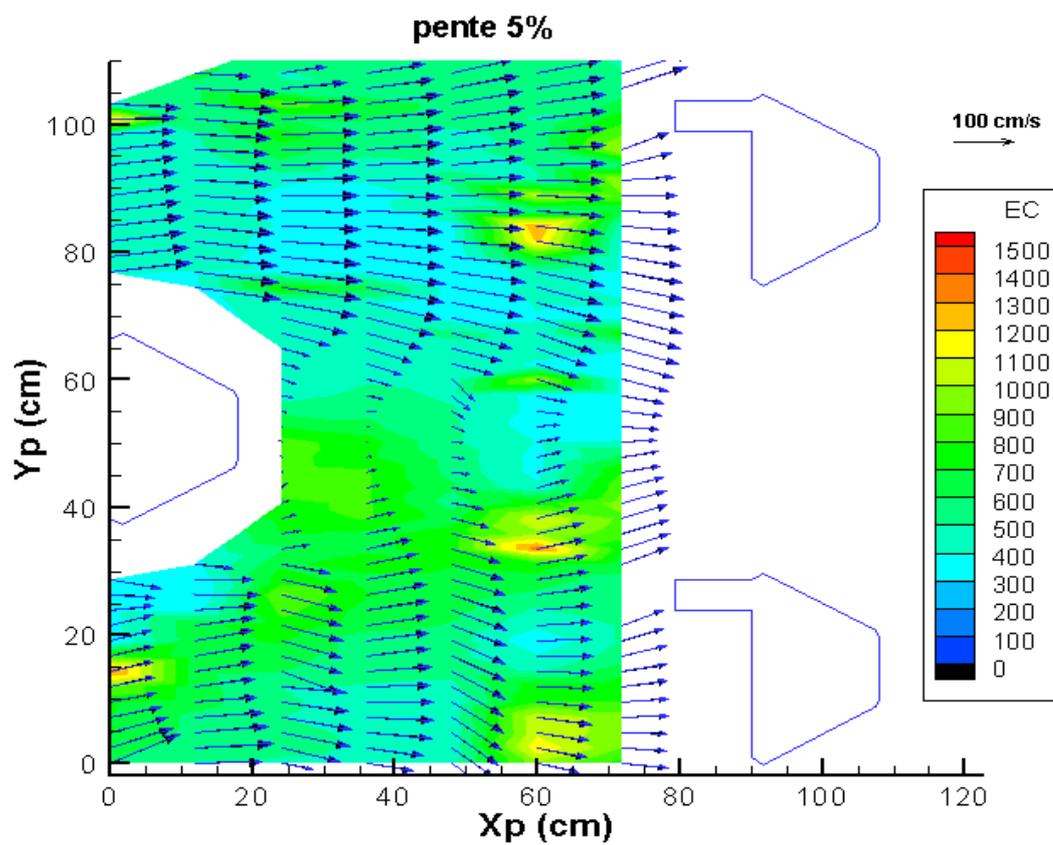


Figure 19. Cartographie des vecteurs vitesses et de l'ECT (en cm^2/s^2). Pente 5%

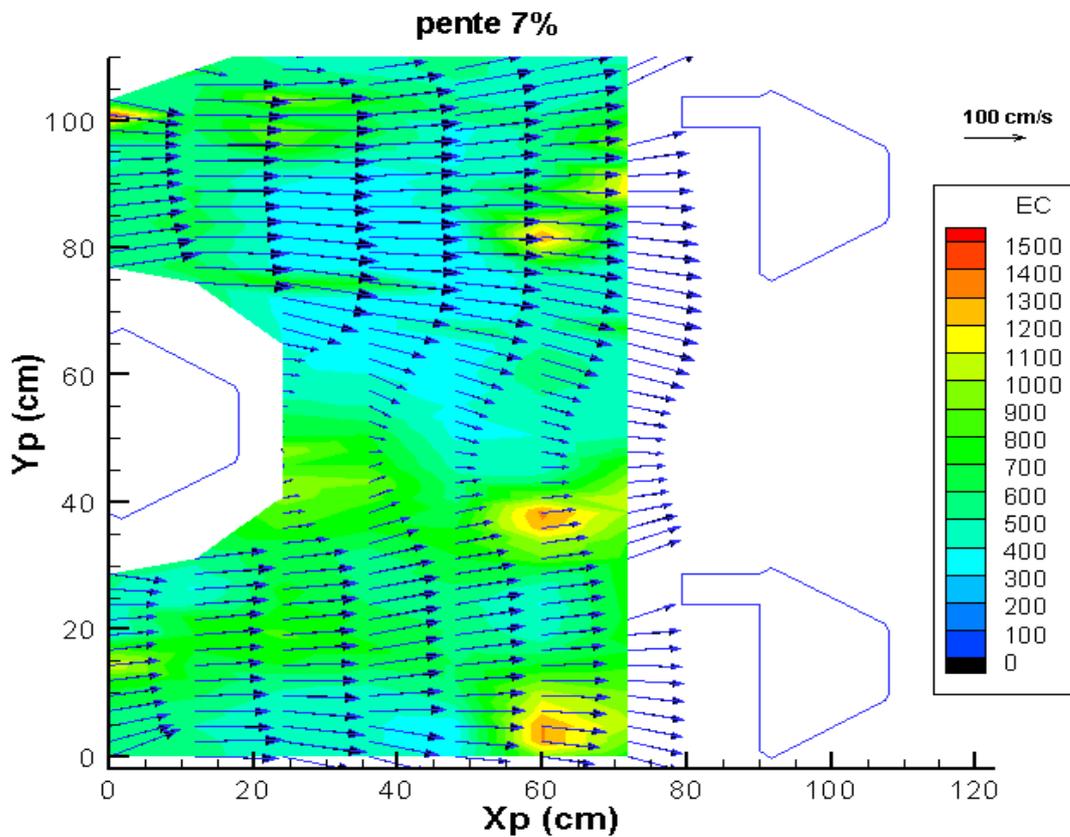


Figure 20. Cartographie des vecteurs vitesses et de l'ECT (en cm^2/s^2) . Pente 7%

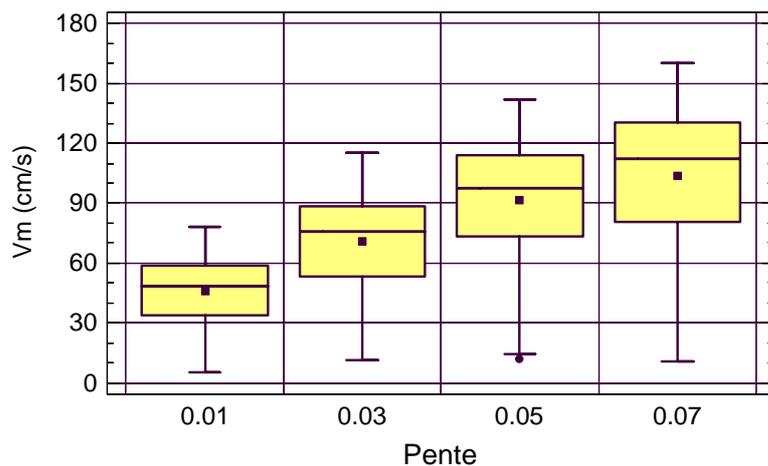


Figure 21. Boîtes à moustache des vitesses en fonction de la pente

$V < 0.30$ m/s

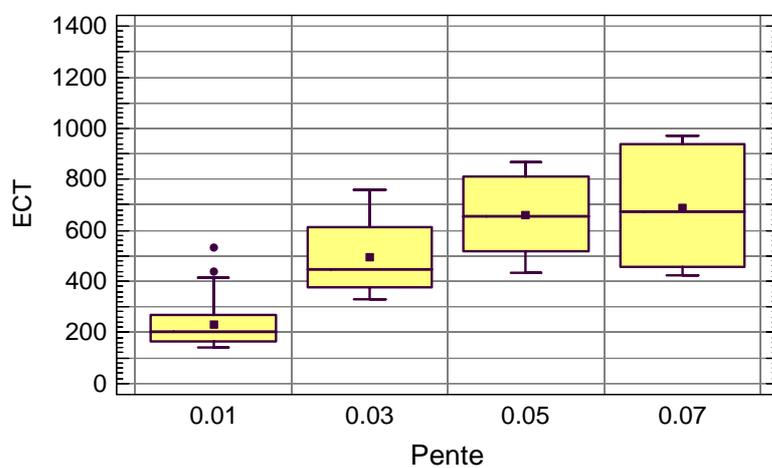


Figure 22. Boîtes à moustache de l'ECT (en cm^2/s^2) en fonction de la pente ($V_m < 30$ cm/s)

$V > 0.30$ m/s

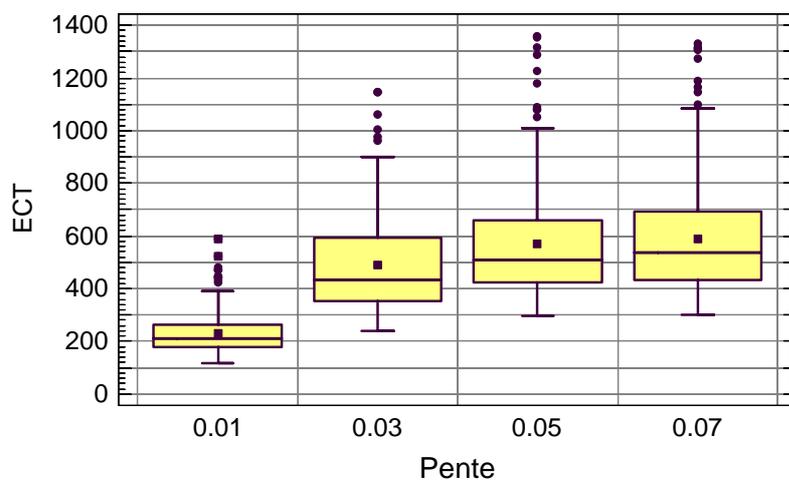


Figure 23. Boîtes à moustache de l'ECT (en cm^2/s^2) en fonction de la pente ($V_m > 30$ cm/s)

4.7.3. Relation entre la puissance dissipée et l'ECT

Dans l'état actuel des connaissances, la puissance dissipée volumique constitue toujours le seul paramètre couramment utilisé pour quantifier les conditions d'agitation dans un dispositif de franchissement. Sa limitation vient du fait qu'il s'agit d'un paramètre global issu du calcul (puissance dissipée rapportée au volume fluide entre deux sections d'écoulement) et qu'il ne peut pas rendre compte de l'hétérogénéité des écoulements. Il a paru intéressant de porter la relation entre la puissance dissipée moyenne calculée et les différents quartiles de l'énergie cinétique turbulente mesurées sur un transect pour des pentes variant de 1% à 7% (figure 24). On voit que ces variables sont relativement bien corrélées. Il convient cependant absolument d'éviter de généraliser cette relation, la puissance dissipée étant le résultat d'un calcul dans un volume moyen d'écoulement, les valeurs de l'énergie cinétique portées sur le graphique ayant été mesurées sur un seul transect.

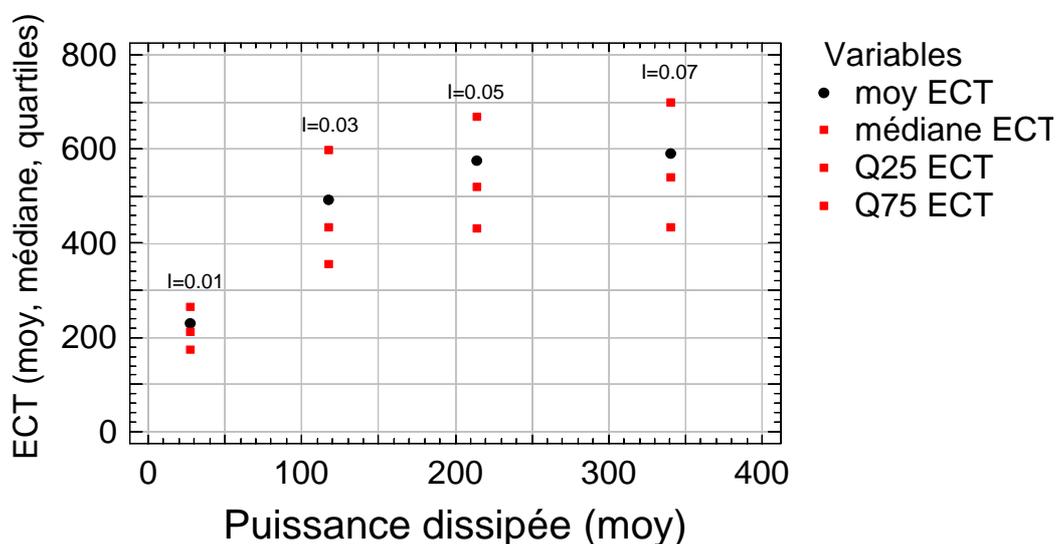


Figure 24. Relation entre ECT (moyenne, médiane, quartiles) et la puissance dissipée volumique pour les différentes pentes.

5. LES EXPERIMENTATIONS AU FLUVARIUM DES RAMIERES

5.1. L'installation expérimentale

Dans le cadre de l'étude, des tests avec du matériel vivant ont été effectués au fluvarium des Ramières du Val de Drôme.

Ce fluvarium à Apron avait été réalisé dans le cadre du programme LIFE précédent pour permettre l'observation scientifique d'Apron en captivité dans des conditions proches du milieu naturel sans modifier leur comportement lors des expériences. Le bassin reconstruit les différents habitats utilisés par l'apron observé en milieu naturel. Cette rivière artificielle présente trois faciès :

- en aval, une zone profonde à faible courant : le pool. De 6 m de longueur sur 3.5 m de large et d'une profondeur de 0.7 m, ce faciès présente une granulométrie de 0.4 à 2.5 mm.
- en amont, une zone moins profonde : le plat. Cette partie de même dimension que le pool et d'une profondeur de 0.4 m, possède une granulométrie plus élevée (de 2 à 125 mm).
- le radier séparant le pool et le plat. Cette zone de courant, longue de 12 m sur 2 m de largeur et profonde de 0.05 à 0.1m. Elle est constituée d'un radier en galets (6 à 120 mm) de pente 20/1.

Pour effectuer l'étude, certaines des caractéristiques du fluvarium ont été modifiées. En effet, ni les débits, ni les niveaux d'eau n'étaient réglables.

Une pompe de 50-60 l/s a donc été installée (figure 27), avec un by-pass retour et deux vannes permettant le réglage des débits. Un clapet anti-retour avec crépine a été installé sur la conduite d'aspiration pour faciliter l'amorçage de la pompe.

Les essais ont été effectués dans un canal de section rectangulaire de 0.625 m de largeur (largeur identique au canal IMFT), d'une hauteur de paroi latérale voisine de 0.50 m, d'une longueur voisine de 4 m, et incliné à 5%. Il a été installé dans la zone du radier dont les caractéristiques ont ainsi été modifiées (figure 25 et 26).

Ce canal a été suspendu en amont et en aval sur des madriers reposant sur les murs latéraux du fluvarium.

Cinq configurations ont été testées dans le canal :

- plots de section trapézoïdale (dimension des blocs voisine de 12.5 cm puis 25 cm) disposés à une concentration voisine de 13% disposés sur un fond lisse ou rugueux (configuration 1, 1bis et 2).
- série de rangées de plots de section trapézoïdale (de dimension 0.125 m x 0.75 m x 0.41 m) disposés sur un fond rugueux (configuration 3).
- passe à bassins successifs à fente verticale de pente 5% (configuration 4).

Les configurations ont été testées à différentes échelles (1/2.4 ou 1/1.2 par rapport au prototype) de façon à conserver des vitesses réalistes (rapport 1/1.4 et 1/1.1) tout en réduisant les débits à des valeurs compatibles avec le débit des pompes.

La dénivellation entre les niveaux amont et aval est de l'ordre de 20-22cm. Cette chute est fonction de la cote du niveau d'eau dans le fluvarium à débit nul, et du débit transitant dans le canal expérimental : le fait de faire transiter un débit donné dans le canal se traduit par une surélévation du niveau amont (fonction de la relation débit-cote amont). Cette surélévation du niveau amont se traduit par un abaissement pratiquement identique du niveau aval, les surfaces du fluvarium amont et aval canal étant très voisines. La hauteur de chute est donc réglée en jouant sur le niveau initial de remplissage du fluvarium.



Figure 25 Photo de la zone du radier avant installation du canal

Figure 26. Vue de l'aval du canal



Figure 27. Photo de la pompe à débit variable

5.2. Matériel biologique

Pour l'expérimentation, seuls 23 individus issus essentiellement de la reproduction en captivité (réserve des Ramières) de géniteurs capturés dans le milieu naturel sur des sites où leur population représentait un cheptel considéré comme assez important (Beaume, Jabron-Durance) étaient disponibles et ont été placés dans le fluvarium. D'autres individus issus de la reproduction en aquarium ont été transportés sur le site expérimental. Il a été jugé préférable par le responsable des Ramières de ne pas mélanger les deux lots et ces derniers individus, de tailles de l'ordre de 6-10cm lors de leur arrivée sur le site, ont été maintenus en stabulation à titre de sécurité.

Les aprons ont été mesurés à l'aide d'un ichtyomètre constitué d'un réglet de 50 cm posé dans un support en PVC. Peu actifs la journée, ils se laissent manipuler et mesurer facilement. Leur longueur varie entre 10.6 et 15.5 cm (moyenne : 12.67 cm). Seuls deux individus ont une longueur égale ou supérieure à 15 cm (Figure 28).

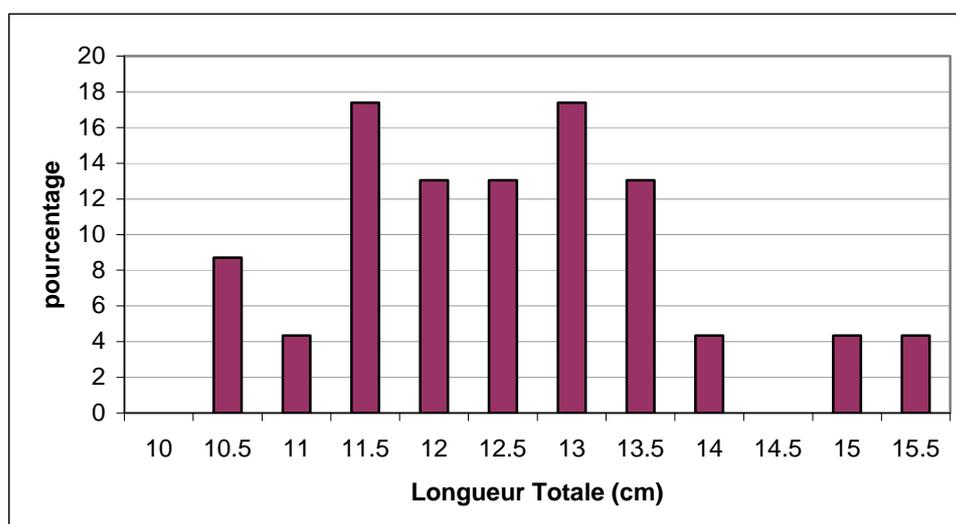


Figure 28. Structure en taille de l'échantillon des 23 aprons

5.3. Matériel d'observation et méthode

Afin de comparer l'efficacité des 5 configurations testées, le comportement des aprons a été observé à l'aide de matériel vidéo.

Plusieurs caméras vidéo ont été utilisées en parallèle pour l'observation du comportement du poisson : deux caméras aériennes et deux caméras subaquatiques. Les caméras subaquatiques ont été utilisées pour l'observation des poissons à l'entrée et dans le canal, les caméras aériennes pour le contrôle des poissons à la sortie du canal. Les caméras placées à l'entrée et à la sortie du canal ont permis d'estimer les durées nécessaires aux aprons pour franchir la passe (temps de séjour), ce qui constitue le premier élément de comparaison des différentes configurations. Le nombre minimum d'observations pour chacune des configurations a été de 30.

Le comportement des aprons a été enregistré à l'aide de magnétoscopes à vitesse variable PANASONIC AG6420 (Figure 29). Les enregistrements ont été effectués dans un premier temps à vitesse réduite (12 heures d'enregistrement sur une cassette de 3 heures, le nombre d'image par seconde étant divisé par quatre par rapport à un enregistrement classique). Leur exploitation s'étant révélée très difficile sinon impossible, les enregistrements ont alors été réalisés à vitesse normale.

Etant donné l'activité plutôt nocturne de cette espèce, les passages s'effectuent pour la plupart le soir et de nuit. Un éclairage par lumière infrarouge (Figure 28) a été installé (deux projecteurs 500 watts).

Un à deux enregistrements ont été réalisés quotidiennement entre 18h et 2h du matin. Avant chaque enregistrement, tous les aprons ayant franchi le canal étaient repêchés (à l'aide d'épuisettes) au niveau du plat puis relâchés dans la zone de stockage.



Figure 29. Vue d'ensemble du matériel expérimental



Figure 30. Photo d'un projecteur infrarouge

Au début de l'étude, les aprons étaient stockés dans le pool. N'ayant pas observé de passage dans le canal, la surface de la zone de stockage a été

réduite progressivement (pose d'un grillage en plastique sur la largeur) jusqu'à obtenir une zone de 2 m² environ située à l'aval immédiat de l'entrée du canal afin de maintenir une surdensité incitant le déplacement des individus de l'aval vers l'amont.

Durant la journée, l'entrée du canal a été obturée par une grille en métal, afin d'empêcher la remontée des poissons hors période d'observation.

Les poissons ont été nourris le soir avec des vers de vase (congelés) déversés dans la zone de plat peu de temps avant les enregistrements.

5.4. Métrologie

Les mesures de niveau ont été effectuées à l'aide de réglets, les mesures de vitesse de l'écoulement avec un courantomètre électromagnétique Mc Birney. Les mesures ont été effectuées à proximité du fond (de l'ordre de 2-4 cm).

5.5. Configuration 1 et configuration 1 bis

5.5.1. Géométrie

On a testé en premier lieu une passe « rustique » à singularités réparties. La configuration 1 présente des rugosités artificielles (plots) dispersées à une concentration voisine de 13 % et disposées sur un fond rugueux (galets) (Figure 30). Cette configuration est à une échelle approximative de 1/2.4 par rapport au prototype (Figure 31).

La configuration 1 bis testée dans un deuxième temps présente les mêmes caractéristiques que la configuration 1 mais sans le fond rugueux (Figure 33). L'objet de la mise en place de cette configuration était de tester l'effet d'un fond rugueux sur le comportement du poisson.

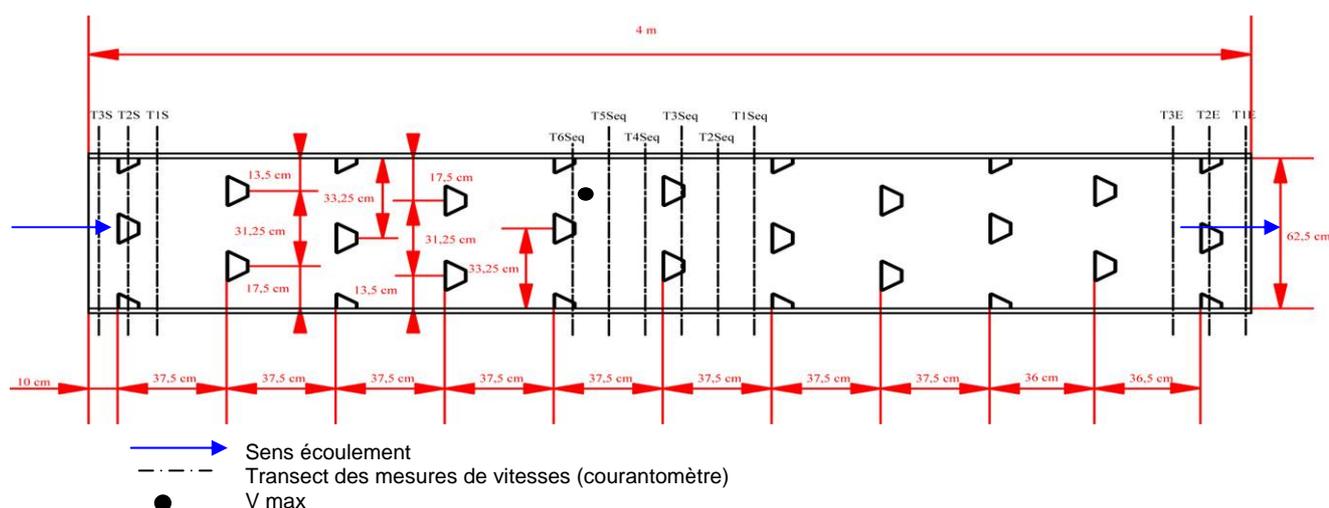


Figure 31. Schéma de la configuration 1 et 1 bis



Figure 32. Photo de la configuration 1



Figure 33. Photo de la Configuration 1 bis

5.5.2. *Hydraulique*

Des mesures des vitesses à proximité du fond ont été effectuées avec un courantomètre. Trois transects ont été réalisés à l'entrée (TE) et à la sortie (TS) de la passe et 6 transects au milieu de la passe (Tseq) (Figure 31). Lorsque cela est possible pour chaque transect, un point de mesure est obtenu tous les 5 cm. Les graphiques (Figures 34, 35 et 36) montrent les vitesses obtenues pour chaque transect. Des valeurs maximales proches de 0,9 m/s sont mesurées au niveau du jet entre deux plots. Des valeurs faibles voire même négatives (-0.08 m/s au minimum) sont observées à l'aval des plots.

5.5.3. *Comportement configuration 1*

Certains aprons, lorsqu'ils remontent la passe, utilisent les décollements engendrés par les plots, qui correspondent aux zones de vitesse minimale du canal. Ils utilisent de façon très nette les plots plus pour éviter les jets à forte vitesse et faciliter leur passage que comme zone de repos car ils stationnent rarement derrière les obstacles.

Ils utilisent d'autre part les galets posés sur le fond : ils progressent par successions d'accélération de très courte durée et de pauses entre ou derrière les galets les plus gros.

Certains individus présentent des comportements particuliers. Ils se collent contre la paroi latérale du canal ou la face aval des plots. Ils peuvent se positionner le ventre collé contre le support, le corps parallèle au fond, le plus souvent à mi-profondeur ; une fois l'obstacle franchi, ils regagnent immédiatement le fond. Certains aprons se positionnent la tête vers le bas et la queue vers la surface derrière les plots, en raison probablement de l'existence d'un courant ascendant à l'aval des plots.

Dans cette configuration, les aprons franchissent le canal assez rapidement. Sur 47 franchissements observés, les temps moyen et médian de transit entre l'entrée et la sortie du canal sont respectivement de 2 mn 21 s et de 2 mn, avec un minimum de 8 s et un maximum de 7 mn 29 s (Figure 37).

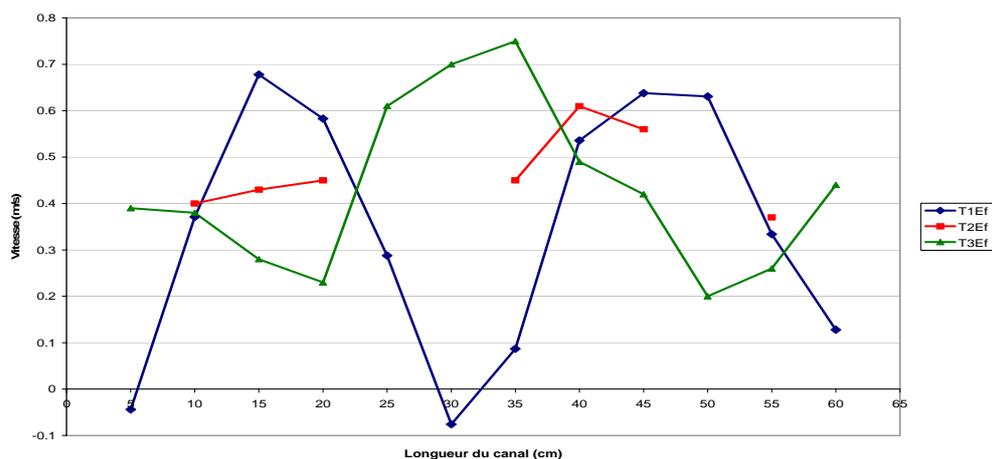


Figure 34. Profils des vitesses à l'entrée du canal

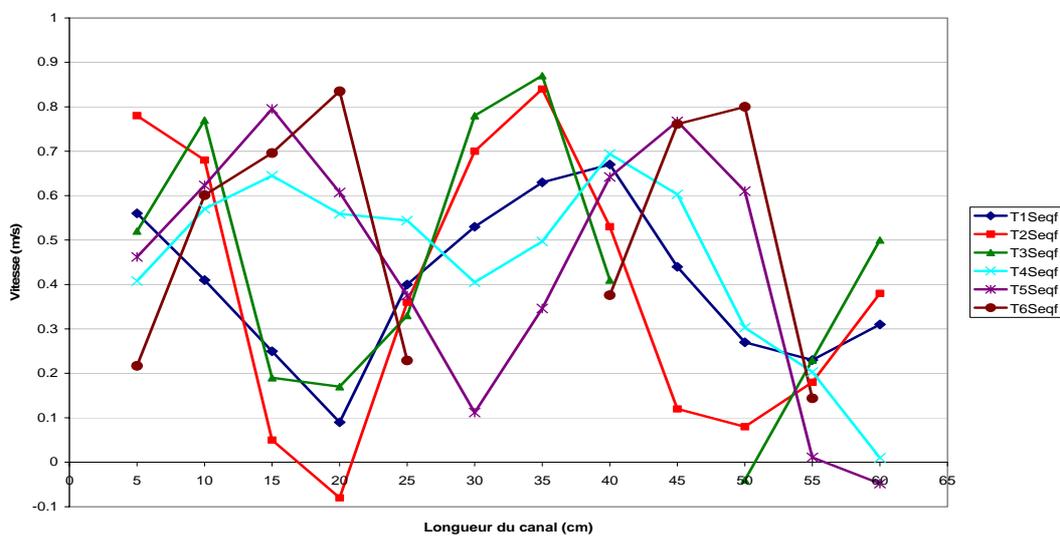


Figure 35. Profils des vitesses dans le canal

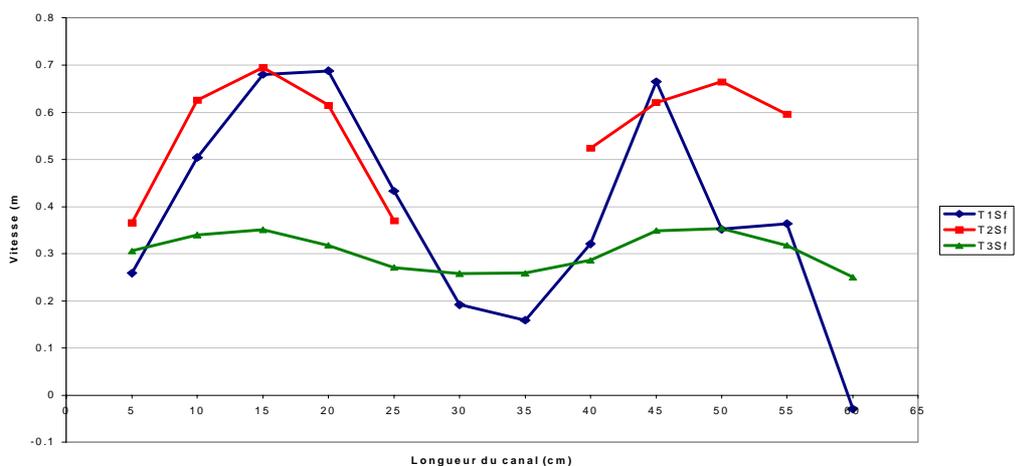


Figure 36. Profils des vitesses à la sortie du canal

TE : transect au niveau de l'entrée du canal
 TSeq : transect au niveau de la séquence
 TS : transect au niveau de la sortie du canal
 f : mesures effectuées proche du fond

5.5.4. Comportement configuration 1bis

Comme dans la configuration 1 avec galets, les aprons se déplacent essentiellement à proximité du fond. Cependant l'absence de galets rend visiblement leur remontée plus difficile. Ils semblent utiliser plus nettement les plots pour faciliter leur progression, longent la paroi du canal pour s'aider à s'orienter. Les aprons semblent plus « malmenés » que dans la première configuration, leur corps est souvent ballotté au grès du courant et ils ont plus de difficultés pour passer à proximité des jets et des blocs. Des mouvements latéraux d'un plot à un autre sur une même rangée sont plus fréquents que pour la configuration 1, on observe aussi quelques retours en arrière de faible amplitude.

Le franchissement de la passe demeure aussi rapide que dans la configuration précédente. Les temps de transit moyen et médian calculé sur 54 aprons (Figure 37) sont respectivement de 3 mn 15 s et de 1 mn 40 s, les valeurs minimales et maximales étant de 13 s et de 38 mn 20 s.

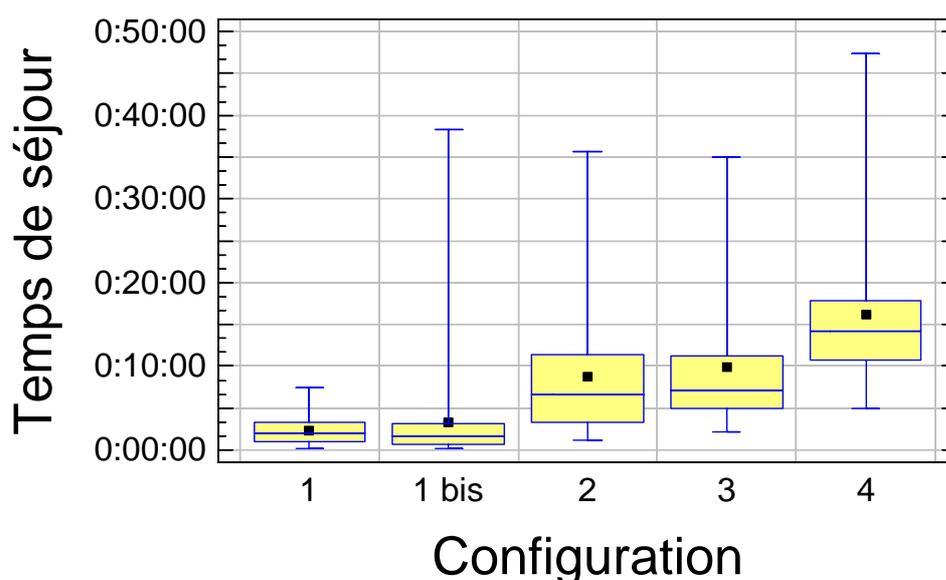


Figure 37. Boîte à moustache des temps de séjour pour les différentes configurations testées

5.6. Configuration 2

5.6.1. Géométrie

Cette seconde configuration permet de tester l'influence de la taille des plots, en effet la disposition des plots ne change pas par rapport à la configuration 1 (concentration des plots de 13 % disposés sur un fond rugueux), seule l'échelle varie dans la mesure où l'on a disposé deux plots cote à cote, deux fois plus espacés que dans la configuration précédente (échelle 1/1.2 au lieu de 1/2.4) (Figures 38 et 39).

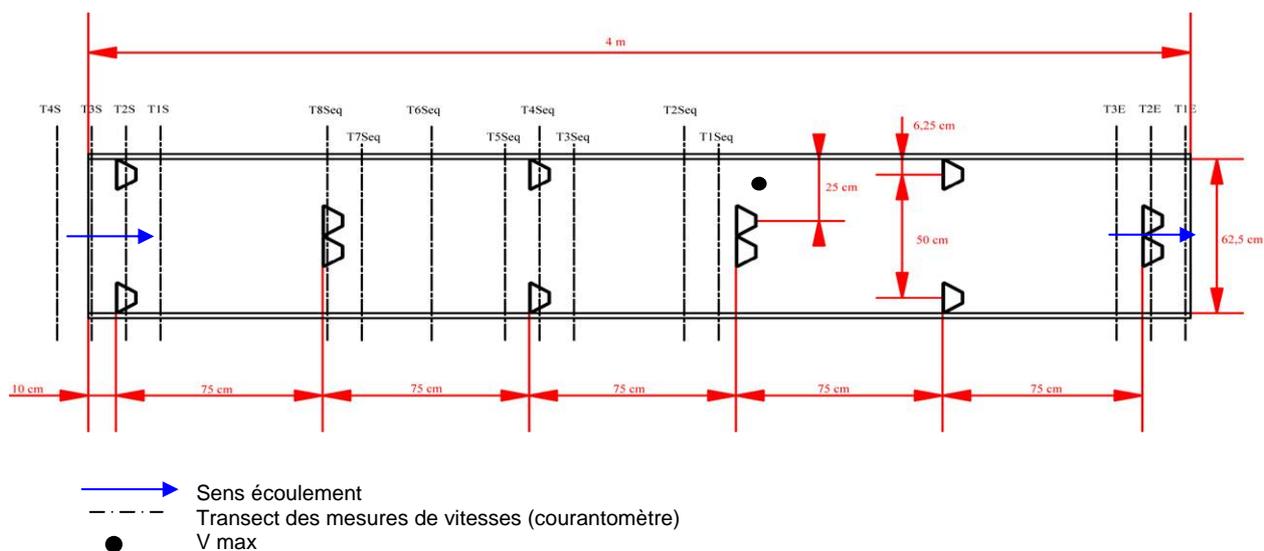


Figure 38. Schéma de la configuration 2



Figure 39. Photo de la configuration 2

5.6.2. Hydraulique

Les vitesses de courant ont été mesurées sur différents transects (3 transects à l'entrée de la passe, 4 à la sortie, et 8 dans la passe). On a pu mesurer une vitesse maximale de 1,1 m/s (Figure 38), les vitesses les plus importantes étant situées dans les jets (entre les plots ou entre le plot et la paroi du canal). Les vitesses maximales observées sont plus importantes que celles mesurées dans les premières configurations. Les valeurs les plus faibles observées à l'aval des plots sont comprises entre -0.1 et 0.1 m/s pour les transects situés dans le canal.

Les graphiques des Figures 40, 41 et 42 présentent les résultats des différents transects.

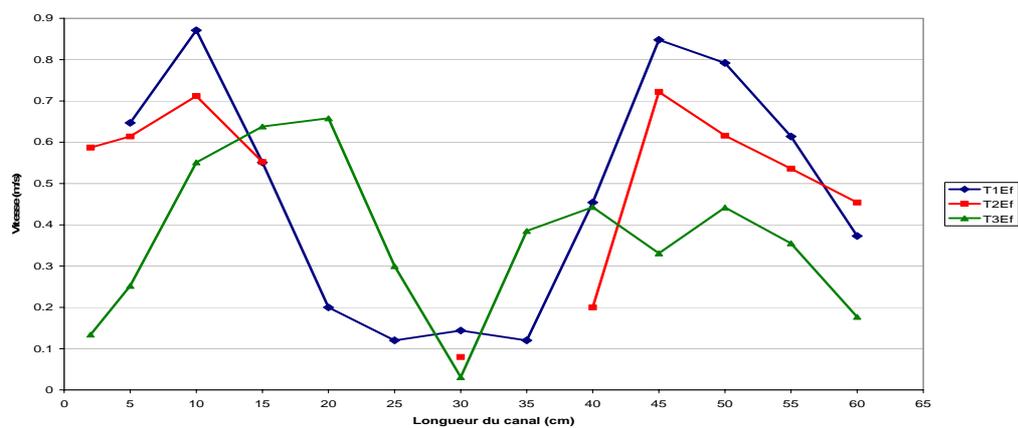


Figure 40. Profils des vitesses à l'entrée du canal

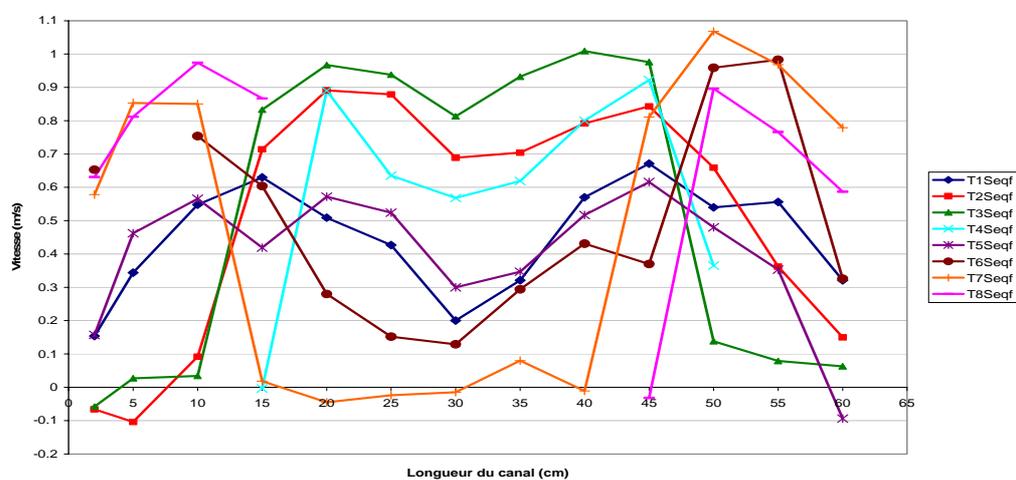


Figure 41. Profils des vitesses dans le canal

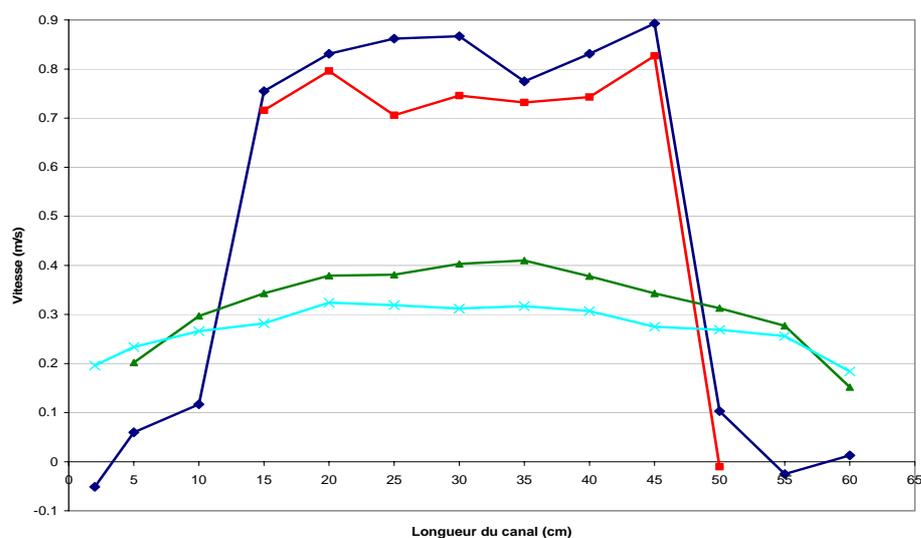


Figure 42. Profils des vitesses à la sortie du canal

5.6.3. Comportement

Comme pour la configuration 1, les aprons semblent s'aider des plots pour franchir la passe. On remarque que les gros plots situés au centre de la passe constituent une zone de repos, en effet les aprons restent plus longtemps à l'aval de ces blocs que devant ceux situés contre la paroi du canal ce qui n'était pas le cas dans la configuration 1.

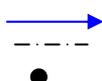
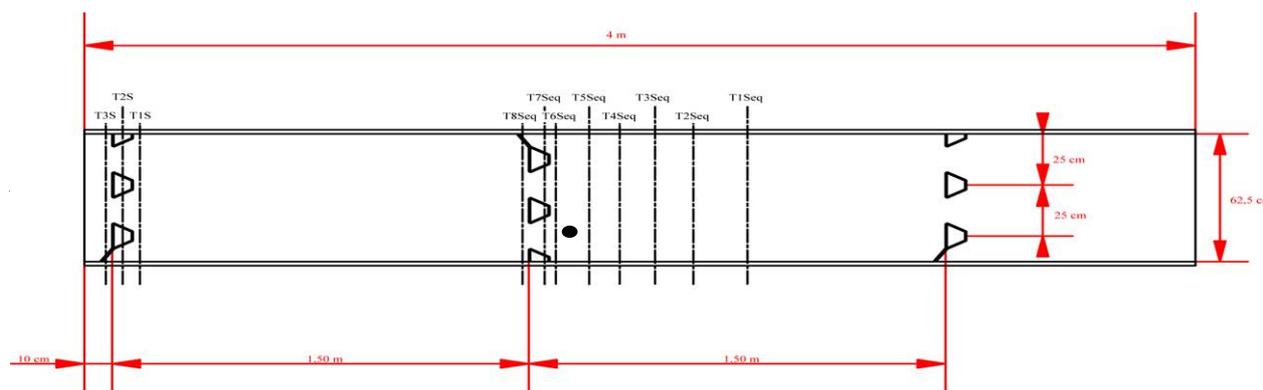
Le temps de séjour dans la passe est sensiblement plus long que pour les configurations 1 et 1bis (temps moyen de 8 mn 50 s, minimum de 1 mn 7 s, maximum de 35 mn 36 s). Si les franchissements observés sont aussi nombreux que dans les configurations précédentes, cette configuration semble toutefois moins favorable. Les difficultés à remonter le canal sont probablement liées aux valeurs de vitesse de courant plus importantes. Certains aprons parviennent à franchir les plots après plusieurs tentatives seulement, et semblent ensuite piquer vers le fond.

On observe par ailleurs différents types de comportements au contact des plots. Certains aprons se positionnent dos au courant, le ventre collé sur la paroi du canal, en général à mi-profondeur ; d'autres se présentent la tête vers le fond et la queue vers la surface. A l'aval des gros plots certains se positionnent soit la tête vers la surface et la queue vers le fond (le ventre souvent collé à la paroi du plot) soit l'inverse.

5.7. Configuration 3

5.7.1. Géométrie

Cette configuration représente une passe à « pseudo-bassin » ou une passe « rustique » à seuils poreux (échelle 1/2.4) avec galets. Elle est constituée de 3 rangées de rugosités artificielles espacées de 1.50 m (Figures 43 et 44).



Sens écoulement
 --- Transect des mesures de vitesses (courantomètre)
 ● V max

Figure 43. Schéma de la géométrie de la configuration 3

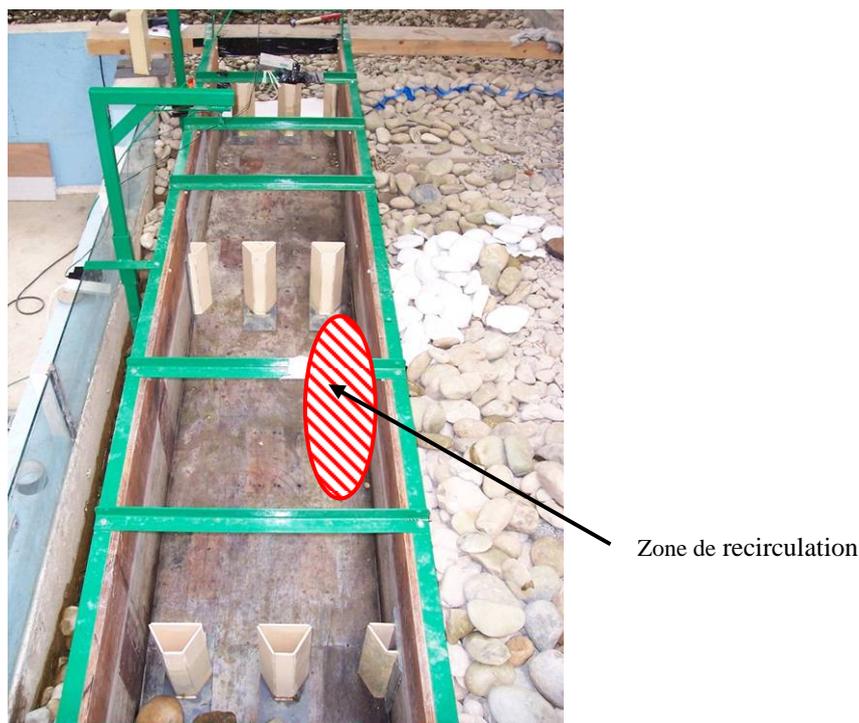


Figure 44. Photo de la configuration 3

5.7.2. Hydraulique

A la sortie de la passe, 3 transects ont été effectués (Figure 43). On a ainsi pu mesurer des vitesses atteignant 1.35 m/s dans un jet entre deux blocs et des valeurs négatives allant jusqu'à -0.25 m/s à l'aval d'une rugosité. La vitesse maximum mesurée dans un jet est de 1.7 m/s. Sur les 8 transects effectués entre deux rangées de plots, on observe une zone d'eau morte à proximité de la paroi du canal (Figure 44) où les vitesses sont faibles voire négatives (jusqu'à -0.10 m/s) (figure 46).

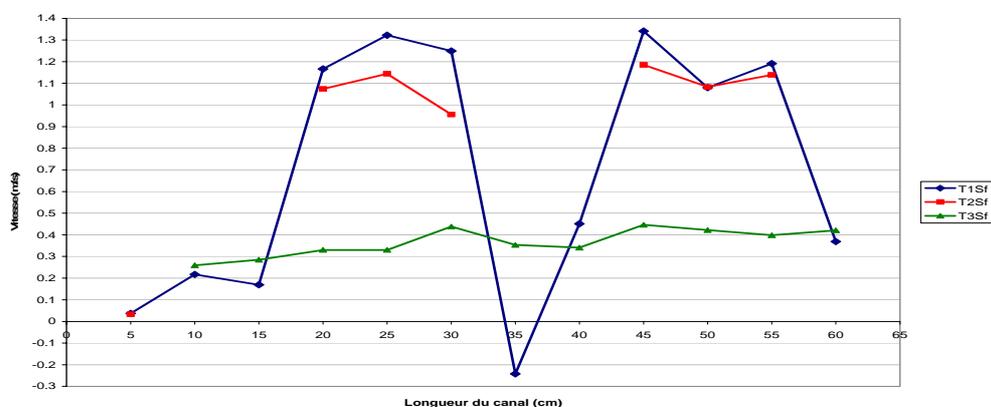


Figure 45. Profils des vitesses à la sortie du canal

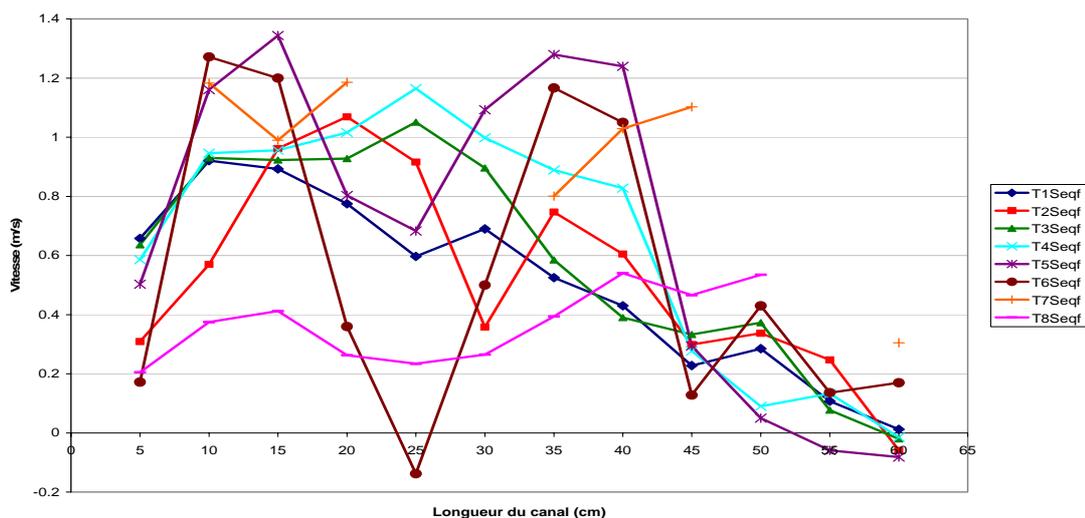


Figure 46. Profils des vitesses dans le canal

5.7.3. Comportement

Ce type de passe est caractérisé par la dissymétrie de l'écoulement caractérisé par une zone de recirculation côté rive gauche à l'aval d'une rangée de plots où certains aprons semblent désorientés (tête vers l'aval, queue vers l'amont). De plus des mouvements de dévalaison (jusqu'à l'entrée du canal) ont pu être observés à plusieurs reprises.

Dans cette configuration « passe à bassins », le temps de séjour moyen est de 9 mn 51 s (médiane 7 mn 6 s) avec un minimum de 2 mn 4 s et un maximum de 35 mn. Comme pour la configuration précédente, les temps de séjour sont plus élevés que ceux observés dans la configuration 1, en raison des vitesses de courant élevées, mais aussi du temps passé dans les zones de recirculation. Par ailleurs, un certain nombre de poissons ont effectué une halte sur le fond à l'amont immédiat des plots où les vitesses sont moins importantes.

Comme c'est le cas pour les autres configurations le fond rugueux semble jouer un rôle important (déplacements proche du fond et protection derrière ou entre les galets), les aprons utilisent aussi la paroi du canal pour s'orienter, et les rugosités artificielles peuvent être utilisées pour faciliter la remontée.

5.8. Configuration 4

5.8.1. Géométrie

Le type de passe testé est une passe à fentes verticales (largeur de la fente : 15 cm) avec un fond rugueux constitué de 3 bassins (figure 47). Les différents bassins sont séparés par une cloison constituée de 4 plots alignés en rive droite et d'un demi-plot en rive gauche.

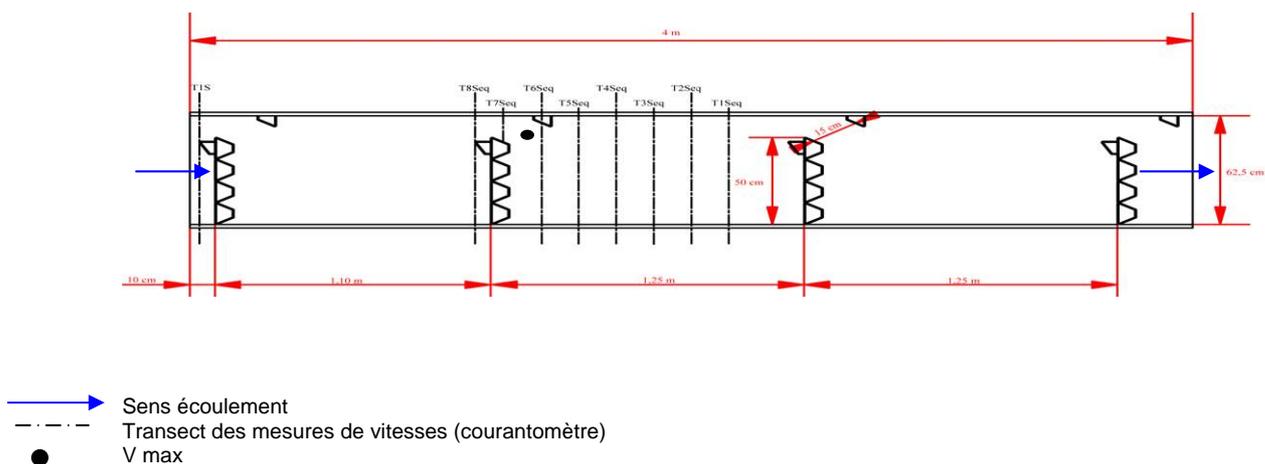


Figure 47. Schéma de la géométrie de la configuration 4

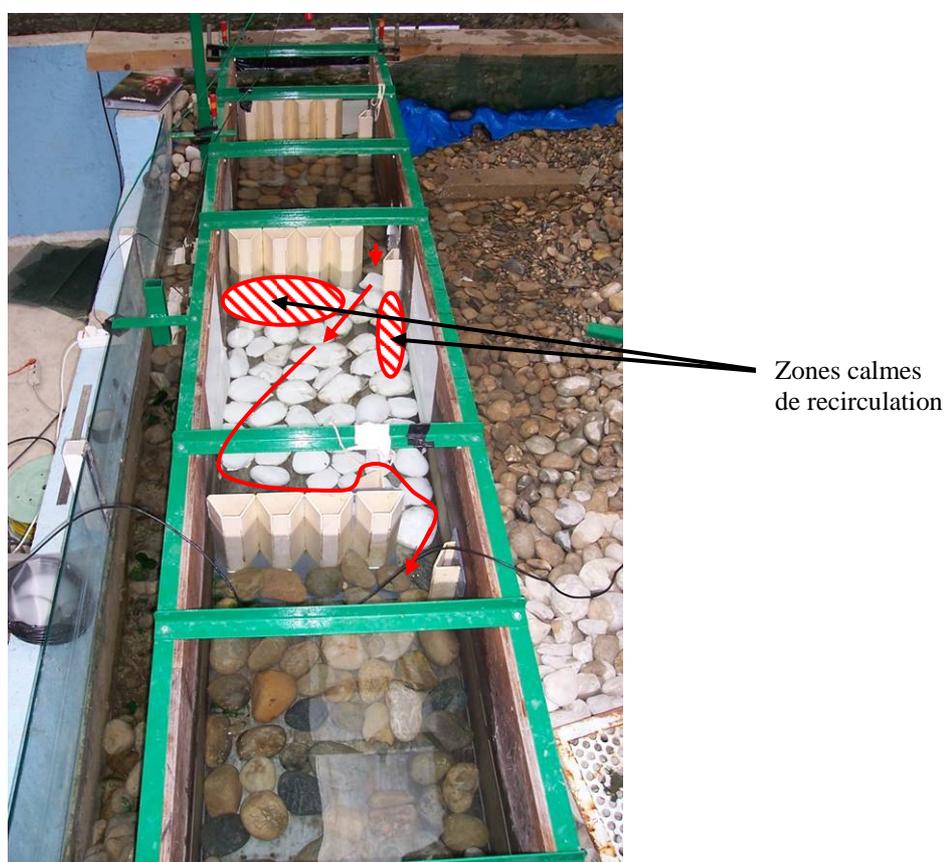


Figure 48. Photo de la configuration 4

5.8.2. Hydraulique

Le demi-plot situé en rive gauche permet d'orienter le jet en diagonale dans le bassin (Figure 48). Le jet au sortir de la fente a tendance à être guidé dans une direction normale à l'arête du seuil et vient heurter le coin opposé à la fente amont du bassin, avant d'être défecté vers la fente aval. Dans chaque bassin, la

vitesse maximale est observée au niveau des fentes et est de l'ordre de 1.10-1.15 m/s.

La disposition des cloisons et l'orientation du jet permet une bonne dissipation de l'énergie et crée une zone calme de recirculation de quelques dizaines de centimètres en rive droite où les vitesses de courant sont très faibles voire négatives (jusqu'à -0.1 m/s). On constate le même phénomène à l'aval du demi-plot où on a pu mesurer des vitesses négatives atteignant -0.18 m/s (Figure 49).

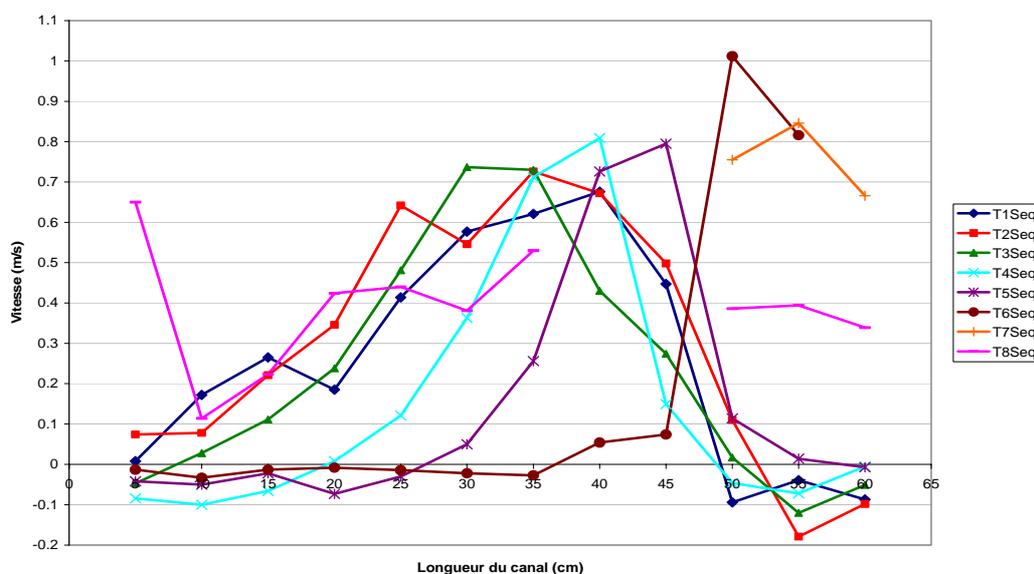


Figure 49. Profils des vitesses dans le canal

5.8.3. Comportement

Même si la passe à fentes verticales assure une bonne dissipation d'énergie, il n'en résulte pas moins des perturbations du comportement des aprons en particulier au niveau des zones de recirculation. En effet les poissons semblent désorientés et restent assez longtemps à prospecter notamment à l'aval immédiat des cloisons.

Ainsi les aprons mettent un certain temps (16 mn 13 s en moyenne, $n = 40$) à parcourir l'intégralité de la passe, l'ensemble des valeurs étant comprise entre 4 mn 57 s et 47 mn 20 s. Les temps de séjour observés pour cette configuration sont nettement supérieurs à tous les autres cas. De plus, on constate que les aprons se réfugient de manière prolongée entre les galets.

Des observations effectuées sur un nombre réduit d'aprons ($n=11$) ont montré que la mise en place de plots à l'intérieur de chaque bassin tendait à réduire voire supprimer les phases de présence au niveau des zones de recirculation à l'aval des cloisons. En effet, la présence des plots modifie les caractéristiques hydrodynamiques de l'écoulement dans chaque bassin. Mais l'absence de caméra à l'entrée du canal n'a pas permis de mesurer de manière concrète la réduction du temps de séjour des aprons dans la passe.

Quoiqu'il en soit, avec ou sans plots à l'intérieur des bassins, les aprons utilisent la géométrie des plots en longeant les décrochements où la vitesse du courant est plus faible.

5.9. Conclusions

Quelle que soit la configuration testée les aprons ne semblent pas avoir de difficulté à franchir le canal : en effet une fois le poisson engagé dans le canal, on n'observe que très rarement (uniquement dans la configuration 3) des phénomènes de dévalaisons. Cependant, compte tenu des temps de transit très variables enregistrés, il est clair que certains individus marquent des pauses plus ou moins nombreuses et longues dans le canal.

La présence de rugosité de fond semble être fondamentale pour les aprons comme en témoignent les différences de comportement entre les configuration 1 et 1 bis. Les galets apparaissent comme des zones de refuge ou des repères pour les aprons qui se déplacent le plus souvent à proximité du fond, ce comportement ayant été observé dans toutes les configurations testées.

Les passes « rustiques » à singularités réparties sont facilement et rapidement franchies par les aprons (temps de séjour relativement faible). La taille des plots semble avoir une influence. Pour une concentration de plots donnée, plus leur largeur (D) est importante, plus les zones de repos sont étendues, mais plus les risques de désorientation sont importantes d'une part et plus les vitesses de courant dans le canal sont élevées d'autre part, ces deux facteurs pouvant expliquer les temps de séjour plus longs enregistrés pour une largeur de plots double de la largeur initialement installée.

Toutefois ces difficultés sont moins marquées que dans le cas de passe à pseudo-bassins ou à fentes verticales qui présentent des zones de recirculation beaucoup plus étendues dans lesquelles les aprons stationnent et semblent avoir du mal à s'orienter.

La passe à fentes verticales (configuration 4) semble moins favorable aux aprons qu'une passe à pseudo-bassins (configuration 3), en effet l'existence d'une zone de recirculation de surface plus importante, créée par l'orientation du jet, semble perturber le comportement des aprons. Il est à noter que la mise en place de plots à l'intérieur des bassins face à la fente a tendance à réduire significativement l'étendue de ces zones de recirculation et permet de faciliter le passage des aprons.



Figure 50. Exemples d'images obtenues à partir de l'une des caméras subaquatiques (vues vers l'amont)

6. RETOUR SUR LES CRITERES DE DIMENSIONNEMENT ET CONCLUSIONS

Dans une première partie, à partir des connaissances sur les capacités de nage et le comportement des aprons, et en fonction des contraintes liées aux sites à équiper, on a défini des critères de dimensionnement des dispositifs de franchissement adaptés à cette espèce. Ces critères sont basés sur des considérations sur les pentes, les vitesses d'écoulement maximales, les débits par mètre de largeur, les puissances dissipées, ainsi que les chutes maximales entre bassins dans le cas de passes à bassins.

Plusieurs types de solutions ont été proposés, du type passes à bassins successifs à fentes verticales et passes "rustiques" en enrochements.

Les essais en laboratoire ont été effectués pour mieux connaître les conditions d'écoulement dans les passes rustiques à rugosités régulièrement réparties. Ces essais ont été effectués dans des canaux à pentes variables, les vitesses mesurées et les caractéristiques de la turbulence évaluées par vélocimétrie acoustique à effet doppler (ADV).

Dans un deuxième temps, on a effectué des tests avec du matériel vivant au fluvarium des Ramières du Val de Drôme. Cependant, compte tenu des limitations des installations, en particulier sur les volumes des bassins tampon amont et aval, surtout sur les débits et les chutes disponibles, les essais n'ont pu être effectués à l'échelle 1 d'un point de vue hydraulique. Les essais ont été effectués à une échelle aussi faiblement réduite que possible (entre 1/2.4 et 1/1.2). Compte tenu de ces échelles, il aurait été préférable d'effectuer les expérimentations avec un matériel vivant composé d'individus de plus petite taille que celle des aprons disponibles (de 10 à 14 cm).

Les études dans le fluvarium ont été effectuées dans un canal de 4 à 5 m de longueur, et de pente 5%. Le comportement des poissons a été enregistré à l'aide de magnétoscopes et des caméras aériennes et subaquatiques en lumière infrarouge de façon à ne pas perturber le comportement du poisson la nuit.

Ces essais ont confirmé un certain nombre de points sur le comportement de cette espèce et n'ont pas remis fondamentalement en question les préconisations sur les critères de dimensionnement des passes :

- il est impératif d'offrir à l'apron une rugosité de fond qui l'aide à se stabiliser dans ce type d'écoulement marqué par de fortes instabilités, rugosités de dimensions suffisantes (galets de dimensions minimales de 15-20 cm) qui lui procurent des zones d'abris rapprochées de façon à minimiser sa dépense énergétique lorsqu'il remonte la passe.
- l'étendue des zones de recirculation dans lesquelles les aprons peuvent venir se piéger doit être réduite autant que faire se peut. Cela peut se faire en réduisant la largeur des jets dans les passes à bassins (plutôt deux fentes de largeur moitié qu'une seule fente) ou des obstacles dans les passes « rustiques ». Les limites inférieures sont données par les contraintes i) d'entretien (passages de trop faibles largeurs), ii) de stabilité et iii) liées à la présence d'espèces de tailles plus importantes ou de comportement particulier (alose).
- une puissance dissipée volumique dans les bassins de l'ordre de 150 watts/m³ est acceptable.

- le choix entre les différentes solutions préconisées sera avant tout dicté par les contraintes locales liées au type de cours d'eau et aux caractéristiques de l'obstacle.

- à l'entrée de la passe, il conviendra d'assurer la continuité du fond et éviter la présence d'un décrochement entre le radier de la passe et le lit du cours d'eau, dans la mesure où l'apron se déplace au voisinage du fond. Le respect de cette contrainte peut s'avérer difficile voire impossible si l'on a choisi d'installer la passe à poisson dans un canal de fuite à proximité immédiate de la sortie des aspirateurs des turbines d'une usine hydroélectrique.

On rappellera enfin que la présente étude ne concerne que le dimensionnement des passes adaptées à l'apron, c'est-à-dire les types de passe et leurs caractéristiques géométriques et hydrauliques. Elle n'apporte aucune réponse sur le problème de l'implantation optimale pour l'apron d'une passe sur un obstacle donné, qui dépend du comportement de l'espèce en migration (en particulier au niveau d'un obstacle), comportement sur lequel il est impératif d'acquérir un minimum de données.

7. BIBLIOGRAPHIE

Boutitie F., 1984. L'Apron – Zingel asper (LINNÉ), Percidae – Poisson rare menacé de disparition (Biologie – Répartition – Habitat). Rapport de DEA Écologie des Eaux Continentales. Université Lyon I : 22 p.

Danancher D., 2000. Etude de la croissance de l'apron du Rhône (Zingel asper).

Dottrens E., 1951-1952. Les poissons d'eau douce. 2 vol. Delachaux & Niestle, Neuchatel.

Gaudin P., Pradelle S., 2001. Etude du franchissement d'obstacles par des juvéniles d'Apron du Rhône (Zingel asper). (Rapport du Programme LIFE), R.N.F., Univ. Lyon I, Quetigny : 17 p.

Keith P., Allardi J., Moutou B., 1994. Livre rouge des espèces menacées de poissons d'eau douce de France et bilan des introductions. Ed. Nathan & Muséum National d'Histoire Naturelle et Fonds Mondial pour la Nature (WWF France).

Perrin J.F., in P. Keith et J. Allardi (coord.), 2001. Atlas des poissons d'eau douce de France. Patrimoines Naturels 47, MNHN ed., Paris, 387 p.

Schaefer J., 2001. Riffles as barriers to interpool movement by three cyprinids (Notropis boops, Campostoma anomalum and Cyprinella venusta). Freshwater Biology, 379 p.

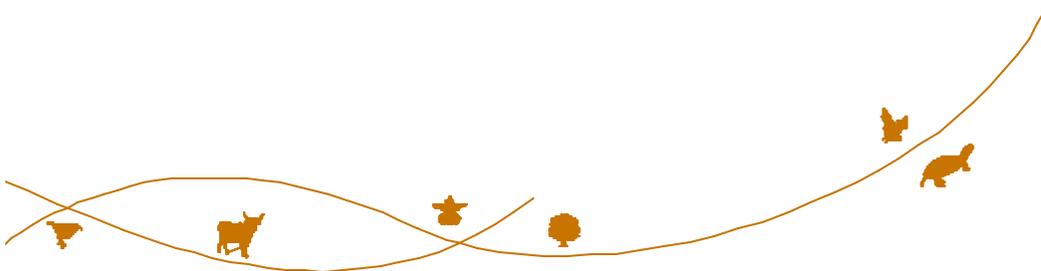
Spillmann, 1961. Faune de France - Poissons d'eau douce. Le Chavallier, Paris.

Tyler J.A., Gilliam G.J., 1995. Ideal free distributions of stream fish: a model and test with minnows, *Rhinichthys atratulus*. Ecology, 76, 580-592.

Responsable de l'étude



Avec le soutien de



réseau
des conservatoires
d'espaces naturels
de Rhône-Alpes