

**Groupe Doppler France  
Intercomparaison ADCP 2**

**Intercomparaison ADCP sur le Rhône à l'aval du barrage  
de Génissiat (12-15/10/2010)**

**Version définitive**

**Rédacteurs :** K. Pobanz (ALTRAN pour CNR), J. Le Coz (Cemagref), G. Pierrefeu (CNR)



**13/10/2010 – Mise à l'eau des embarcations, en aval du pont de Pyrimont**

## Table des matières

<b>1. Introduction .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Organisation.....</b>	<b>9</b>
2.1 PARTICIPANTS.....	9
2.2 MATERIEL.....	10
2.2.1 Profileurs .....	10
2.2.2 Embarcations.....	10
2.2.3 Modes de communication .....	10
2.2.4 Logiciels.....	10
2.3 LOGISTIQUE .....	10
2.3.1 Site .....	10
2.3.2 Planning.....	11
2.3.3 Gestion des embarcations .....	11
2.3.4 Sécurité .....	12
<b>3. Protocole.....</b>	<b>13</b>
3.1 AMENAGEMENT DES TRANSECTS .....	13
3.2 DEBITS DE « REFERENCE » .....	13
3.3 PALIERS DE DEBIT – SERIES DE MESURE .....	14
3.4 DEROULEMENT DES MESURES .....	15
3.5 FICHES DE TERRAIN .....	15
3.6 REGLAGE DU MATERIEL .....	15
3.7 ANALYSE DES RESULTATS EN TEMPS REEL ET APRES L'INTERCOMPARAISON.....	16
<b>4. Résultats .....</b>	<b>17</b>
4.1 PROPAGATION DES DEBITS ENTRE GENISSIAT AVAL BARRAGE (GE) ET PYRIMONT (PY).....	17
4.1.1 Mesures des 13 et 14 octobre 2010 .....	17
4.1.2. Modélisation numérique de la propagation des débits entre GE et PY .....	18
4.2 DEBITS ADCP PAR EQUIPE, PAR SITE ET PAR PALIER DE DEBIT STABLE .....	22
<b>5. Comparaison avec les débits « de référence » .....</b>	<b>30</b>
5.1 COMPARAISON AVEC LES DEBITS DES STATIONS DE BOGNES (CNR, PK 160.600) ET DE SURJOUX (DREAL RA, PK 158.405).....	30
5.1.1 Le Rhône à Bognes.....	30
5.1.2 Le Rhône à Surjoux .....	30
5.1.3 Synthèse des écarts et représentations graphiques.....	30
5.2 COMPARAISON AVEC LES DEBITS US EN CONDUITE (USINE DE GENISSIAT).....	32
5.2.1 Données US initiales.....	32
5.2.2 Données US recalculées .....	33
<b>6. Estimation de l'incertitude de mesure de la méthode ADCP.....</b>	<b>35</b>
6.1 PRISE EN COMPTE DES 26 ADCP DES SITES DE GENISSIAT (GE) ET PYRIMONT (PY) .....	35
6.1.1 Méthodologie .....	35
6.1.2 Résultats de l'analyse .....	35
6.2 PRISE EN COMPTE DES 12 ADCP DU SITE DE GENISSIAT (GE) .....	36
6.3 PRISE EN COMPTE DES 14 ADCP DU SITE DE PYRIMONT (PY).....	38
6.4 ANALYSE COMPLEMENTAIRE : SOURCES D'ERREURS.....	39
<b>7. Analyse complémentaire : analyse de la relation hauteur-débit en régime transitoire (effet d'hystérésis) .....</b>	<b>40</b>
<b>8. Conclusion et perspectives .....</b>	<b>43</b>
<b>9. Références .....</b>	<b>45</b>

## Liste des Figures

- Figure 1. Vue aérienne des positions des profils GE et PY (à gauche : aval barrage de Génissiat ; à droite : amont pont de Pyrimont, *source* : Géoportail)
- Figure 2. 13/10/2010 – Débits moyens instantanés mesurés par les ADCP situés à GE et PY
- Figure 3. 14/10/2010 – Débits moyens instantanés mesurés par les ADCP situés à GE et PY
- Figure 4. Modélisation 1D du Rhône entre les barrages de Génissiat et de Seyssel (code de simulation MAGE, Cemagref). Ligne de fond et lignes d'eau calculées pour différents débits de l'intercomparaison, avec ajout d'un seuil fictif au PK 158.030 (PK 3800 m modèle MAGE comptés depuis le barrage de Génissiat).
- Figure 5. Niveaux d'eau observés (limnimètres Pyrimont et Seyssel) et simulés (modèle 1D MAGE avec et sans seuil fictif pour le contrôle hydraulique à bas débit)
- Figure 6. Débits observés (ADCP, courbe de tarage Surjoux) et simulés (MAGE 1D), le 13/10/2010 (haut) et le 14/10/2010 (bas)
- Figure 7. Signaux de niveau et de vitesse simulés au pont de Pyrimont les 13/10/2010 (haut) et 14/10/2010 (bas)
- Figure 8. Relation vitesse-niveau simulée les 13/10/2010 (gauche) et 14/10/2010 (droite)
- Figure 9. Q0 – débits moyens et dispersion par ADCP, débit US conduite
- Figure 10. Q1 – débits moyens et dispersion par ADCP, débit US conduite
- Figure 11. Q2 – débits moyens et dispersion par ADCP, débit US conduite
- Figure 12. q0 – débits moyens et dispersion par ADCP, débit US conduite
- Figure 13. q1 – débits moyens et dispersion par ADCP, débit US conduite
- Figure 14. q2 – débits moyens et dispersion par ADCP, débit US conduite
- Figure 15. Débits des stations de Bognes et Surjoux et des débits moyens ADCP du 13/10/2010
- Figure 16. Débits des stations de Bognes et Surjoux et des débits moyens ADCP du 14/10/2010
- Figure 17. Capteurs US, conduite de l'usine de Génissiat
- Figure 18. Ecart entre Q US conduites et Q ADCP moyens GE et PY
- Figure 19. Analyse des débits en régime hydraulique transitoire : (a) Débits ADCP interpolés toutes les 1 min les 13 et 14/10/2010 après-midi ; (b) Relation hauteur-débit obtenue avec ces débits ADCP bruts et corrigés avec la formule de Jones (1916), avec interpolation linéaire entre les points (h, Q) correspondant aux régimes permanents
- Figure 20. Relations hauteur-débit simulées (modèle 1D MAGE) au pas de temps 1 minute pendant les paliers des 13 et 14/10/2010 après-midis pour le régime variable réel, et pour le régime permanent à débit équivalent

- Figure 1. Aerial view of the positions of cross-sections at GE and PY sites (left: downstream of dam Génissiat, right: upstream of Pyrimont bridge, source: Géoportail)
- Figure 2. 2010/10/13 – Instantaneous mean discharges measured by the ADCP located at GE and PY sites
- Figure 3. 2010/10/14 – Instantaneous mean discharges measured by the ADCP located at GE and PY sites
- Figure 4. 1D modelling of the Rhone river between Génissiat dam and Seyssel dam (MAGE simulation code, Cemagref). Bottom line and water lines calculated for different discharge rates during the intercomparison, with the addition of a fictitious weir at PK 158030 (3800 m in model MAGE measured from the dam Génissiat).
- Figure 5. Measured water levels (gauges at Pyrimont and at Seyssel) and simulated water levels (MAGE 1D with and without a fictitious weir for improving hydraulic control at low flow)
- Figure 6. Observed discharges (ADCP, rating curve at Surjoux) and simulated discharges (MAGE 1D) on 2010/10/13 (top) and on 2010/10/14 (bottom)
- Figure 7. Water stage and velocity signals simulated at Pyrimont bridge on 2010/10/13 (top) and on 2010/10/14 (bottom)
- Figure 8. simulated velocity-stage relation on 2010/10/13 (left) and on 2010/10/14 (right)
- Figure 9. Q0 - ADCP average discharges and dispersion, US discharge (in dam conduits)
- Figure 10. Q1 - ADCP average discharges and dispersion, US discharge (in dam conduits)
- Figure 11. Q2 - ADCP average discharges and dispersion, US discharge (in dam conduits)
- Figure 12. q0 - ADCP average discharges and dispersion, US discharge (in dam conduits)
- Figure 13. q1 - ADCP average discharges and dispersion, US discharge (in dam conduits)
- Figure 14. q2 - ADCP average discharges and dispersion, US discharge (in dam conduits)
- Figure 15. Discharge measured at Bognes and Surjoux gauging stations and a average ADCP discharges 2010/10/13
- Figure 16. Discharge measured at Bognes and Surjoux gauging stations and a average ADCP discharges 2010/10/14
- Figure 17. US transit-time sensors, in a conduit of Génissiat power plant
- Figure 18. Differences between US discharge and mean ADCP discharges at GE and PY
- Figure 19. Analysis of discharges in transient hydraulic regime: (a) ADCP discharges interpolated every 1 min on 13 and 14 October afternoon (b) stage-discharge relation obtained with the ADCP discharges, both raw and corrected with the formula of Jones (1916). Linear interpolation between points (h, Q) corresponds to the steady state stage-discharge relation
- Figure 20. Simulated stage-discharge relation (MAGE 1D model) with a 1 minute time step on 13 and 14 October afternoons for both real unsteady conditions, and for the equivalent steady flow

## Liste des Tableaux

- Tableau 1. Types d'ADCP déployés pour l'intercomparaison Génissiat 2010  
Tableau 2. Hydrogramme théorique des 13 et 14 octobre 2010 ( $\epsilon$  : fuites)  
Tableau 3. 13/10/2010 – Débits moyens par équipe et par série  
Tableau 4. 14/10/2010 – Débits moyens par équipe et par série  
Tableau 5. Ecart entre  $Q_{ADCP}$ ,  $Q_{Bognes}$  et  $Q_{Surjoux}$   
Tableau 6. Ecart entre  $Q_{total\ ADCP}$  et  $Q_{US\ conduites\ initiaux}$   
Tableau 7. Ecart entre  $Q_{total\ ADCP}$  et  $Q_{US\ conduites\ recalculés}$   
Tableau 8. Incertitude d'une mesure de débit réalisé par un ADCP sur un ensemble de 4 transects consécutifs selon le protocole de mesure de Génissiat 2010 – prise en compte des 26 ADCP  
Tableau 9. Incertitude sur les paliers de débit réalisés par 26 ADCP  
Tableau 10. Incertitude sur les différences de débit obtenues par les mesures de 26 ADCP  
Tableau 11. Incertitude d'une mesure de débit réalisé par un ADCP sur un ensemble de 4 transects consécutifs selon le protocole de mesure de Génissiat 2010 – prise en compte des 12 ADCP du groupe GE  
Tableau 12. Incertitude sur les paliers de débit réalisés par les 12 ADCP du groupe GE  
Tableau 13. Incertitude sur les différences de débit obtenues par les mesures des 12 ADCP du groupe GE  
Tableau 14. Incertitude d'une mesure de débit réalisé par un ADCP sur un ensemble de 4 transects consécutifs selon le protocole de mesure de Génissiat 2010 – prise en compte des 14 ADCP du groupe PY  
Tableau 15. Incertitude sur les paliers de débit réalisés par les 14 ADCP du groupe PY  
Tableau 16. Incertitude sur les différences de débit obtenues par les mesures des 14 ADCP du groupe PY  
Tableau 17. Niveaux d'incertitude estimés sur les débits ADCP selon les méthodes normalisées d'essais interlaboratoires (normes ISO 5725-2, ISO 21748 et ISO 13528)

- Table 1. ADCP models deployed during the Génissiat 2010 intercomparison tests.  
Table 2. Theoretical hydrograph for October 13 and October 14, 2010 ( $\epsilon$ : leaks)  
Table 3. 2010/10/13 - average discharge for each team and each discharge stage  
Table 4. 2010/10/14 - average discharge for each team and each discharge stage  
Table 5. Differences between QADCP and Q at Bognes gauging station  
Table 6. Differences between  $Q_{total\ ADCP}$  and QUS in conduits (with initial errors)  
Table 7. Differences between  $Q_{total\ ADCP}$  and QUS in conduits (corrected)  
Table 8. Uncertainty of a discharge measurement by an ADCP over a set of 4 successive transects according to the measuring protocol of Génissiat 2010 - taking into account the 26 ADCP  
Table 9. Uncertainty of average discharge over stable discharge periods measured by 26 ADCP  
Table 10. Uncertainty of the discharge differences measured by 26-ADCP  
Table 11. Uncertainty of a discharge measurement by an ADCP over a set of 4 successive transects according to the measuring protocol of Génissiat 2010 - taking into account the 12 ADCP at GE site  
Table 12. Uncertainty of stable discharge periods measured by the 12 ADCP at GE site  
Table 13. Uncertainty of the discharge differences measured by the 12 ADCP at GE site  
Table 14. Uncertainty of a discharge measurement by an ADCP over a set of 4 successive transects according to the measuring protocol of Génissiat 2010 - taking into account the 14 ADCP at PY site  
Table 15. Uncertainty of stable discharge periods measured by the 12 ADCP at PY site  
Table 16. Uncertainty of the discharge differences measured by the 12 ADCP at GE site  
Table 17. Uncertainty levels on ADCP discharges estimated following standardized methods for interlaboratory tests (ISO 5725-2, ISO 21748 and ISO 13528)

## Résumé

Du 12 au 15 octobre 2010, le Groupe Doppler<sup>1</sup> a organisé une intercomparaison de mesure de débit par Profileur de Courant Acoustique Doppler (ADCP) sur le Rhône à l'aval du barrage de Génissiat. Cette intercomparaison ADCP a impliqué 6 modèles d'ADCP commercialisés par 2 constructeurs concurrents (Teledyne RDI and Sontek) et de fréquence nominale comprise entre 600 et 3 000 kHz.

Les mesures de débit ont été effectuées simultanément par deux groupes de bateaux embarquant chacun 2 ADCP de fréquences distinctes. Six bateaux (12 ADCP) ont été déployés sur le site Génissiat (GE), en aval immédiat du barrage avec des fonds profonds et accidentés. Sept bateaux (14 ADCP) ont été déployés sur le site de Pyrimont (PY), localisé environ 3,5 km en aval du barrage, sur un tronçon rectiligne et uniforme. Les journées des 13 et 14 octobre 2010 ont permis de mesurer 6 paliers de débit (environ 100 m<sup>3</sup>/s, 200 m<sup>3</sup>/s, 300 m<sup>3</sup>/s et 400 m<sup>3</sup>/s, les gammes de 200 m<sup>3</sup>/s et 300 m<sup>3</sup>/s ayant été doublées), correspondant à des gammes de vitesse allant jusqu'à 2,5 m/s environ. Une modélisation hydraulique 1D, en accord avec les mesures, indique un délai de 1h30 entre le barrage et le site aval PY pour assurer la propagation et la stabilisation des paliers de débit à moins de 1%.

Les débits fournis par les différents appareils sur les deux sites ont été comparés entre eux, ainsi qu'à des mesures indépendantes : système ultrasons à temps de transit (US) dans les conduites de l'usine de Génissiat et stations hydrométriques à courbe de tarage simple de Bognes (CNR) et de Surjoux (DREAL RA). Des erreurs de paramétrage sur le système US en conduite, mises en évidence suite à cette intercomparaison, ont été corrigées indépendamment des mesures ADCP, avec une incertitude finale estimée inférieure à 3%.

Une dizaine de minutes de mesure ADCP (2 à 5 transects) suffit pour converger à moins de 2% de la moyenne du groupe. Deux fois plus de temps, soit une vingtaine de minutes, est nécessaire pour passer en-dessous de 1%. De manière générale, les débits moyens obtenus par ADCP sont en bon accord entre eux (écarts inférieurs à 5%). Des écarts systématiques plus importants de l'ordre de 10% ont été observés pour certaines sections du site amont GE. Ils sont dus à des conditions de mesure locales moins favorables, et non aux instruments, montages et équipes. Pour chaque palier, l'écart entre le débit US et le débit moyen sur l'ensemble des appareils de chaque site est d'environ 2%.

Une estimation de l'incertitude de mesure de la méthode ADCP dans les conditions de mesure de l'intercomparaison a été réalisée à partir des méthodes normalisées d'essais interlaboratoires. En considérant l'ensemble des 26 ADCP des sites de GE et PY, l'incertitude élargie (k=2, niveau de confiance 95%) des débits moyens par palier est inférieure à 2%. L'incertitude des différences de débit entre paliers est comprise entre 2% et 3%. L'incertitude d'un débit ADCP individuel (moyenne de 4 transects consécutifs) est variable selon les sites et le débit considéré : 4-6% à PY, 8-12% à GE.

Les mesures de l'intercomparaison et le modèle 1D ont également permis de mettre en évidence l'hystérésis de la relation hauteur-débit de la station de Pyrimont, due aux effets transitoires lors des transitions entre paliers de débit stable.

L'intercomparaison a été appréciée par l'ensemble des participants, qui ont pu également bénéficier d'échanges techniques avec d'autres hydromètres parfois éloignés géographiquement (Hydro-Québec), dans une ambiance conviviale. Les échanges techniques ont souvent été jugés trop courts à cause des longues plages de mesure (près de 5 000 traversées ADCP ont été réalisées au total). Le retour d'expérience (logistique, propagation et stabilisation des débits, hydraulicité des sections de mesure) permettra d'optimiser le planning de la future intercomparaison sur ce site, envisagée en 2012.

<sup>1</sup> Groupe technique inter-organismes d'utilisateurs francophones d'ADCP constitué en 2005.

## Abstract

On October 12-15, 2010, the Groupe Doppler<sup>2</sup> organized an intercomparison test of discharge measurements by Acoustic Current Doppler Profiler (ADCP) in the Rhône River downstream of Génissiat dam. This intercomparison involved 6 ADCP models from 2 concurrent manufacturers (Teledyne RDI and Sontek) with operating frequencies ranging from 600 to 3000 kHz.

Discharge measurements were simultaneously performed by two groups of boats, each deploying 2 ADCP with different frequencies. Six boats (12 ADCP) were deployed at Génissiat (site GE), just downstream of the dam, on deep and uneven cross-sections. Seven boats (14 ADCP) were deployed at Pymont (site PY), located roughly 3.5 km downstream of the dam, along a straight and uniform reach. On October 13 and 14, 2010, 6 stable discharge stages were measured ( $\sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $400 \text{ m}^3/\text{s}$ , the  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  and  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  stages were measured twice), corresponding to velocity ranges up to  $\sim 2.5 \text{ m/s}$ . A 1D hydraulic model, in agreement with measurements, indicates a 1.5 hour time lag between the dam and downstream site PY to ensure the propagation and stabilisation of discharge stages within 1%.

The discharges yielded by the different instruments on both sites were compared all together, and against independent measurements: ultrasound transit-time system (US) in dam conduits and gauging stations with simple rating curves at Bognes (CNR) and Surjoux (DREAL RA). Implementation errors on the conduit US system were evidenced by the intercomparison. They were corrected independently from the ADCP measurements, with a final uncertainty estimated to be less than 3%.

About 10 minutes of ADCP measurement (2-5 transects) are enough to converge within 2% of the group average. Twice more time, i.e.  $\sim 20$  minutes, is necessary to converge within 1%. Overall mean ADCP discharges are consistent (differences less than 5%). Greater systematic deviations around 10% were observed on some cross-sections of upstream site GE. They are due to less propitious local conditions, rather than instruments, mounts and staffs. For each discharge stage, the difference between the US discharge and the mean discharge over all the instruments of each site is  $\sim 2\%$ .

An estimation of the measurement uncertainty of the ADCP technique, in the measurement conditions of the intercomparison, was conducted following standard methods for interlaboratory tests. Considering all the 26 ADCP of sites GE and PY, the covered uncertainty ( $k=2$ , 95% confidence level) of mean discharges over discharge stages is less than 2%. The uncertainty of discharge differences between discharge stages lies between 2 and 3%. The uncertainty of an individual ADCP discharge (mean of 4 successive transects) varies according to the sites and the considered discharges: 4-6% at PY, 8-12% at GE.

The intercomparison measurements and the 1D model also evidenced the hysteresis in the stage-discharge relation at Pymont station, due to transient flow effects during transitions between stable discharge stages.

The intercomparison was appreciated by all the participants who could also have technical exchange with other hydrometers sometimes geographically remote (Hydro-Québec), in a friendly atmosphere. Technical exchange was often found too quick due to the long-lasting measurement periods (more than 5 000 ADCP transects were done). The feedback on the organisation, on the propagation and stabilisation of discharge, on the hydraulic conditions at cross-sections, will help optimize the planning of next intercomparison at this site, planned in 2012.

<sup>2</sup> French-speaking ADCP user group created in 2005.

## 1. Introduction

Les Profileurs de Courant Acoustiques Doppler (ADCP), utilisés en France à partir de 1994 pour mesurer le débit des cours d'eau, ont révolutionné les pratiques hydrométriques. Lors d'une traversée de la rivière d'une rive à l'autre, l'appareil, immergé en surface de l'écoulement, mesure les profondeurs et les vitesses d'écoulement qui permettent de calculer le débit d'eau s'écoulant à travers la section de mesure. Cette technique a fait l'objet de vérifications au sein des équipes d'hydrométrie. Dans de bonnes conditions d'utilisation, il est admis généralement que l'incertitude sur le débit obtenu est de l'ordre de 5%<sup>3</sup>. En l'absence d'étalon de débit raccordé, les intercomparaisons ADCP sont un moyen utile d'évaluer l'incertitude de la technique dans des conditions de mesure données. Plusieurs intercomparaisons ADCP ont été organisées dans différents pays (par exemple : Everard 2007, 2009; Iredale 2006; Terek et al. 2008).

Le Groupe Doppler est un groupe de travail réunissant des utilisateurs francophones d'ADCP et constitué en 2005 à l'initiative de la CNR<sup>4</sup>, d'EDF<sup>5</sup>, du Cemagref<sup>6</sup>, de l'IRD<sup>7</sup> et des services hydrométriques d'Etat (DREAL<sup>8</sup>, DRIEE<sup>9</sup>). Les 3-4-5 février 2009, le Groupe Doppler a organisé la première intercomparaison ADCP inter-organismes en France sur la Vézère au pont de Garavet à Allasac (Corrèze). Cette intercomparaison a permis de comparer les débits mesurés par 35 appareils déployés par 21 équipes, soit 7 modèles d'ADCP commercialisés par 4 constructeurs concurrents et émettant des ultrasons à des fréquences comprises entre 600 et 3000 kHz selon les appareils (Le Coz et al., 2009).

Du 12 au 15 octobre 2010, le Groupe Doppler a organisé une seconde intercomparaison de mesure de débit par ADCP, faisant l'objet du présent rapport. Les mesures ont été menées par bateau sur le Rhône à l'aval du barrage de Génissiat, exploité par la CNR. La CNR a assuré l'organisation logistique, le plan de prévention des risques et le programme de débits en lien avec l'exploitant de l'aménagement et la production hydro-électrique. Quatre des six groupes du barrage (conduites) sont équipés d'un dispositif de mesure du débit en continu par vélocimétrie ultrasonore (US) à temps de transit. Cette mesure en continu est indépendante de la technologie ADCP. De plus, l'étendue des débits mesurables et la possibilité d'assurer des paliers de débit stable donnent à ce site un grand intérêt pour la réalisation d'intercomparaisons d'ADCP déployés sur bateaux motorisés.

Les journées des 13 et 14 octobre 2010 ont permis de mesurer 6 paliers de débit (environ 100 m<sup>3</sup>/s, 200 m<sup>3</sup>/s, 300 m<sup>3</sup>/s et 400 m<sup>3</sup>/s, les gammes de 200 m<sup>3</sup>/s et 300 m<sup>3</sup>/s ayant été doublées), correspondant à des gammes de vitesse allant jusqu'à 2,5 m/s environ. L'intercomparaison ADCP a permis de comparer les débits mesurés par 26 ADCP embarqués sur 13 embarcations, soit 6 modèles d'ADCP commercialisés par 2 constructeurs concurrents et émettant des ultrasons à des fréquences comprises entre 600 et 3000 kHz selon les appareils.

Les objectifs de ces essais étaient les suivants :

- évaluer l'incertitude des débits ADCP jaugés dans des conditions de mesure et selon un protocole donné ;
- comparer les débits ADCP avec les débits issus des US en conduite ;

<sup>3</sup> Une étude du CETIAT (laboratoire d'étude en métrologie) pour la Compagnie Nationale du Rhône démontre que le débit donné par un ADCP sur la base de 4 à 6 transects successifs est d'environ 5%.

<sup>4</sup> Compagnie Nationale du Rhône

<sup>5</sup> Electricité De France

<sup>6</sup> Institut de Recherche pour l'Ingénierie de l'Agriculture et de l'Environnement

<sup>7</sup> Institut de Recherche pour le Développement

<sup>8</sup> Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

<sup>9</sup> Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie

- permettre des échanges techniques au sein du réseau d'utilisateurs sur les différents matériels et leur mise en œuvre ;
- disposer d'un retour d'expérience (REX) sur le protocole d'organisation des intercomparaisons ADCP sur bateaux motorisés, en vue des suivantes.

Les paragraphes suivants rapportent les résultats de l'intercomparaison « Génissiat 2010 » ainsi que les éléments de retour d'expérience correspondants.

## 2. Organisation

### 2.1 Participants

Treize équipes de jaugeage ont assuré le déploiement des 26 appareils pendant les essais (cf. photos des équipes en **annexe 2**). Ces équipes, identifiées par un trigramme, ont été constituées par :

- des services hydrométriques d'Etat :
  - DREAL Bourgogne (BRG)
  - DREAL Centre (CTR)
  - DREAL Pays de la Loire (PDL)
  - DREAL Rhône-Alpes (RAL)
  - SPC Littoral Atlantique (ATL)
  - DRIEE Ile-de-France (IDF)
- des producteurs d'électricité :
  - Compagnie Nationale du Rhône (CNR)
  - EDF-DTG Brive (BRV)
  - EDF-DTG Grenoble (GRE)
  - EDF-DTG Toulouse (TLS)
  - Hydro-Québec IREQ (HQC)
- un Institut de Recherche :
  - Cemagref de Lyon (CEM)
- les 2 constructeurs des profileurs Doppler impliqués dans cette intercomparaison :
  - RDI Teledyne (RDI)
  - Sontek (STK)

La constitution précise des équipes est présentée sous forme de tableau en **annexe 1**. Ce tableau, répertoriant les organismes, les noms des participants ainsi que le matériel mis à disposition, a été complété par chaque organisme quelques semaines avant l'intercomparaison. Les certificats des bateaux (immatriculation, motorisation imposée supérieure à 10CV) ainsi que les permis de navigation fluviale de chaque pilote ont également été demandés. Les renseignements synthétiques fournis ont permis de préparer la logistique et la sécurité en fonction du matériel et du nombre de participants. Trois personnes par bateau sont requises pour assurer un déroulement optimal des mesures.

L'équipe de coordination comportait 3 personnes, ayant pour rôle l'organisation générale, la logistique générale, la coordination des mesures, la centralisation des données, les échanges d'information, le lien entre l'usine de Génissiat et chaque équipe.

Un bateau « navette » a permis d'assurer un passage régulier auprès de chaque équipe (besoin particulier des participants, récupération des données). Même si son impact sur les mesures a été limité, il est important que la navette passe lentement à proximité des bateaux pour perturber au minimum les mesures.

## 2.2 Matériel

### 2.2.1 Profileurs

26 appareils ont été déployés, soit 6 modèles d'ADCP commercialisés par 2 constructeurs concurrents et émettant des ultrasons à des fréquences comprises entre 600 et 3000 kHz selon les appareils. Le **Tableau 1** présente les types d'ADCP déployés pour l'intercomparaison.

Code	Modèle	Fréquence	Marque	Nombre
BB6	BroadBand	600 kHz	Teledyne RDI	1
RG6	RioGrande	600 kHz	Teledyne RDI	6
RR6	RiverRay	600 kHz	Teledyne RDI	3
RG12	RioGrande	1200 kHz	Teledyne RDI	11
M9	M9	1000/3000 kHz	SonTek	2
SP	StreamPro	2400 kHz	Teledyne RDI	3

**Tableau 1. Types d'ADCP déployés pour l'intercomparaison Génissiat 2010**

### 2.2.2 Embarcations

14 embarcations ont été utilisées sur les sites de Pyrimont et Génissiat (13 bateaux « mesure » et 1 bateau « navette »). Les supports des ADCP étaient soit fixes (potence proue ou côté), soit flottants et couplés au bateau (voir photos des montages en **Annexe 2**).

### 2.2.3 Modes de communication

Plusieurs modes de communication ont permis d'assurer la liaison entre l'usine et l'équipe de coordination d'une part, et entre l'équipe de coordination et les équipes « mesures » d'autre part :

- téléphones entre la salle de commande et l'équipe de coordination. A noter que le réseau Orange passe en partie sur le site de mesure, le réseau Bouygues ne passe pas ou peu ;
- talkies-walkies entre l'équipe de coordination et les équipes mesure.

### 2.2.4 Logiciels

Pour l'organisation des intercomparaisons, il est utile de recenser les logiciels utilisés et de définir des versions de référence. Pour homogénéiser le dépouillement des mesures issues de capteurs Teledyne RDI, la dernière version de WinRiver2 a été imposée.

- Teledyne RDI : WinRiver2 (version 2.07 demandée)
- Sontek : RiverSurveyor Live (version 4.00)

## 2.3 Logistique

### 2.3.1 Site

Deux sites ont été retenus pour les mesures ADCP.

Aval usine de Génissiat (GE) :

- avantages :
  - pas d'apports intermédiaires (ruissellement possible en cas de pluie).

- inconvénients :
  - écoulement hétérogène, courants de retour ;
  - fonds accidentés ;
  - impossibilité de s'arrêter sur les berges, accès difficile (pas de mise à l'eau, accès par échelle depuis l'usine).

#### Pyrimont (PY) :

- avantages :
  - site propice aux mesures de débit par ADCP : écoulement homogène ;
  - facilité d'accès.
- inconvénients :
  - temps de propagation ;
  - apports possibles en cas de pluie.

Une tente a été mise en place sur le site PY pour permettre de déjeuner et de débriefer à l'abri chaque matin et chaque midi. Des toilettes de chantier ont également été installées. Le débriefing final a été fait dans une salle mise à disposition par l'usine de Génissiat.

### **2.3.2 Planning**

La campagne d'intercomparaison « Génissiat 2010 » s'est déroulée du mardi 12 au vendredi 15 octobre 2010.

#### Mardi 12/10/10

- accueil des participants ;
- mise à l'eau des bateaux ;
- mise en place de chaque équipe sur les profils déjà numérotés ;
- mesures tests sur les sites de PY et GE.

#### Mercredi 13 et Jeudi 14/10/10

- mesures selon le programme présenté au paragraphe 3.3 (**Tableau 2**).

#### Vendredi 15/10/10

- retrait des bateaux ;
- débriefing avec l'ensemble des participants ;
- présentation des mesures dépouillées « à chaud » par l'équipe coordination ;
- retour des participants.

### **2.3.3 Gestion des embarcations**

Les bateaux ont été mis à l'eau et retirés grâce à la cale située en aval du pont de Pyrimont, ce qui a nécessité une gestion des mouvements de véhicules. Les remorques ont été stockées dans une enceinte fermée de l'usine de Génissiat. Dans la journée, les bateaux étaient amarrés à des chaînes provisoires en aval immédiat du pont de Pyrimont. La nuit, les bateaux étaient stockés dans le canal de fuite de la vanne de fond de l'usine, donc à l'abri, ce qui permettait de laisser une partie du matériel monté. Les marins seuls accédaient à l'échelle de l'usine pour sortir, le reste des équipages débarquant à Pyrimont. Ce protocole a permis de perdre le moins de temps possible pour la mise en place des mesures.

### 2.3.4 Sécurité

Le plan de prévention des risques a été réalisé quelques semaines avant l'intercomparaison (laboratoire CNR et responsable de l'aménagement de Génissiat). Il a été lu de manière détaillée à l'ensemble des participants le mardi 12/10/2010 et a été signé par un membre de chaque organisme. On notera les points importants de sécurité suivants (non exhaustif) :

- port obligatoire des Equipements de Protection Individuels (EPI) : gilet de sauvetage sur les embarcations, casque pour l'accès au canal de fuite de l'usine ;
- dans tous les cas de figure, priorité absolue aux règles de navigation et de sécurité sur les mesures ;
- consignation des ouvrages de l'aménagement et coordination permanente entre l'exploitant et la bateau-navette ;
- communication des consignes d'évacuation vers Pyrimont en cas d'alerte relayée par le bateau-navette ;
- horaires de fin de navigation à respecter pour ne pas passer les rapides de Bognes pour un débit trop faible ;
- respect des règles de travail concernant la pause méridienne et la durée totale de travail journalière.

### 3. Protocole

#### 3.1 Aménagement des transects

Les mesures de débit ont été effectuées simultanément sur deux sites (**Figure 1**) par deux groupes de bateaux embarquant chacun 2 ADCP de fréquences distinctes. Le site Génissiat (GE) comporte 6 sections (12 ADCP) espacées de 30 à 60 m en aval immédiat du barrage de Génissiat, avec des fonds parfois profonds (jusqu'à 20 m) et accidentés (blocs, banquettes aux bords). Le site de Pyrimont (PY), localisé environ 3,5 km en aval du barrage, comporte 7 sections (14 ADCP) en amont immédiat du pont de Pyrimont, sur un tronçon rectiligne et uniforme, plus conforme aux recommandations pour le jaugeage par exploration du champ des vitesses.

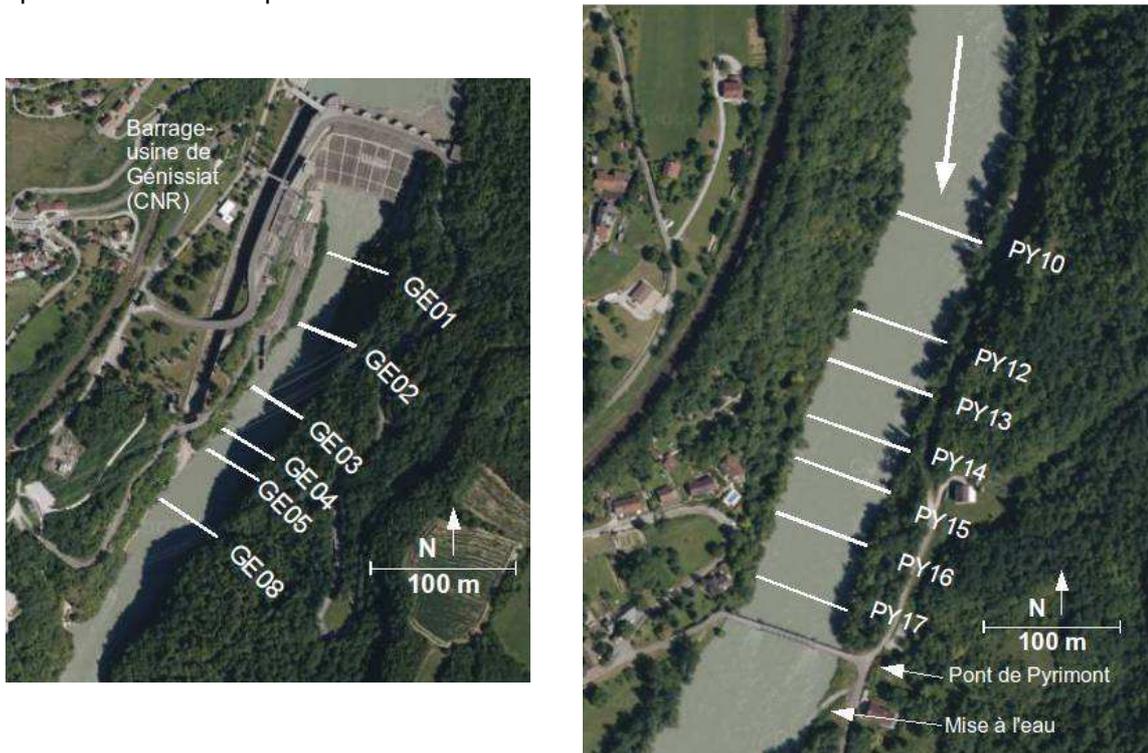


Figure 1. Vue aérienne des positions des profils GE et PY (à gauche : aval barrage de Génissiat ; à droite : amont pont de Pyrimont, source : Géoportail)

Les profils ont été matérialisés avant l'intercomparaison de manière à ce que les équipes sachent immédiatement où se positionner.

#### 3.2 Débits de « référence »

- débits US en conduite – usine de Génissiat

Les groupes G1, G2, G4 et G6 utilisés sont équipés d'un système de mesure à ultrasons par temps de transit, constitué dans chaque conduite de 4 croix de mesure sur 4 plans parallèles.

- stations hydrométriques de Bognes (CNR) et Surjoux (DREAL RA)

Ces stations disposent chacune d'une relation hauteur-débit. Avec les enregistrements limnimétriques, il est aisé de reconstituer le débit au droit de chacune des stations pour chaque palier.

- moyenne des débits ADCP de l'ensemble des équipes

L'écart à cette moyenne permet surtout d'identifier les équipes déviantes, en considérant qu'il est plus probable que les ADCP s'écartant systématiquement de la moyenne soient biaisés, plutôt que tous les autres. Les débits moyens par série sont à comparer aux débits US en conduite et aux débits des stations hydrométriques, ce qui donne une image de la fiabilité moyenne d'un jaugeage par ADCP.

D'autres références seraient possibles pour une prochaine intercomparaison :

- moulinet sur saumon depuis le câble de la station de Bognes (ceci requerra une équipe dédiée) ;
- dilution globale rhodamine WT et plusieurs fluorimètres de terrain (la masse à injecter reste à évaluer, à partir du modèle 1D par exemple) ;
- analyse d'images LSPIV sur le site PY (un mât télescopique pourra être déployé, et une bathymétrie et la mesure de points d'ancrage devront être levées) ;
- jaugeages par vélocimétrie radar en surface (une bathymétrie devra être levée, les essais réalisés lors de cette intercomparaison ont montré que la surface était trop lisse à bas débit pour permettre un gain radar suffisant pour des mesures fiables).

### 3.3 Paliers de débit – séries de mesure

Pour l'intercomparaison « Génissiat 2010 », 6 paliers de débit ont permis de tester l'ensemble des 26 ADCP en lice, en utilisant les 13 profils, ou sections de mesure. L'hydrogramme est présenté **Tableau 2**. Le débit optimum (107 m<sup>3</sup>/s) correspond au débit théorique pour le rendement optimal des groupes de l'usine.

10/10/2010	Q théorique (m <sup>3</sup> /s) optimum = 107 m <sup>3</sup> /s	Paliers de débit			Mesures ADCP		
		h début	h fin	durée	h début	h fin	durée
Q0=Q(G2) + Q(G6) + ε	214	07:00	11:00	04:00	09:00	11:00	02:00
Q1=Q(G2) + Q(G6) + Q(G1) + ε	321	11:00	14:00	03:00	12:45	14:00	01:15
Q2=Q(G2) + Q(G6) + Q(G1) + Q(G4) + ε	428	14:00	17:00	03:00	14:00	17:00	03:00

14/10/2010	Q théorique (m <sup>3</sup> /s) optimum = 107 m <sup>3</sup> /s	Paliers de débit			Mesures ADCP		
		h début	h fin	durée	h début	h fin	durée
q0=Q(G4) + ε	107	07:00	11:00	04:00	09:00	11:00	02:00
q1=Q(G4) + Q(G6) + ε	214	11:00	14:00	03:00	12:45	14:00	01:15
q2=Q(G4) + Q(G6) + Q(G2) + ε	321	14:00	17:00	03:00	14:00	17:00	03:00

**Tableau 2. Hydrogramme théorique des 13 et 14 octobre 2010 (ε : fuites)**

Les équipes ont effectué des séries de mesures de 2h le matin et 4h l'après midi. Les paliers étaient montants durant les deux jours (~107, 214, 321, 428 m<sup>3</sup>/s) avec un palier le matin, deux l'après midi. Etant donné les contraintes de temps et de stabilisation du débit au site PY, il n'apparaît pas possible de réaliser plus de trois paliers de débit stable par jour.

Dans la suite du document, la série S0 correspond aux mesures tests du mardi 12/10/10, puis les séries S1 à S4 pour les 4 demi-journées du mercredi 13/10/10 et du jeudi 14/10/10. Les débits correspondant aux six paliers de débit stable sont notés Q0, Q1, Q2, q0, q1, q2.

### **3.4 Déroulement des mesures**

Le nom et la répartition des équipes sur les bateaux sont reportés dans la grille en **annexe 1**. Chaque bateau est affecté à un profil de mesure à Génissiat ou à Pyrimont.

Dans la mesure du possible, les bateaux ont évolué en déplacements alternés. Toutefois, la priorité est donnée à la régularité du transect (direction et vitesse sans variation brutale).

### **3.5 Fiches de terrain**

De manière générale, les fiches terrain ont très bien été complétées par l'ensemble des participants avec mention des incidents (trajectoire ratée, problèmes de stabilité des supports...). Ces documents se sont avérés très utiles lors du dépouillement des mesures.

### **3.6 Réglage du matériel**

Les ADCP, les ordinateurs et les appareils photos ont été réglés à l'heure de l'horloge parlante (3669) à 5 s près chaque début de journée.

## **Paramètres d'enregistrement et de mesure**

### Enfoncement des capteurs

Il est primordial de bien mesurer l'enfoncement entre le centre des céramiques et la surface de l'eau. Cette vérification est faite depuis un autre bateau. Le bateau navette a fait une photographie de l'installation avant de démarrer les mesures.

### Pour les utilisateurs de TRDI – RG6 et RG12

User commands

WS30

WF15

BM5

WM1

BP4

WP5

WN70 à Génissiat

WN20 à Pyrimont

Ce paramétrage était donné à titre indicatif. Il a globalement été respecté, avec quelques variantes jugées sans incidence sur les valeurs de débit. Pour une prochaine intercomparaison se pose la question de proposer le mode WM12 comme référence (avantages : mode déjà moyenné et robuste, identique aux SP).

### Pour les utilisateurs de TRDI – SP24

WM12

### Paramètres de débit

Dans Wizard/Configuration Dialog ou F3/Discharge) :

- shore pings=10 (valeur par défaut) ;
- berges « triangle » (valeurs par défaut) ;
- lois top/bottom : power/power 0,1667 (valeurs par défaut).

Pour les utilisateurs Sontek

Paramétrage par défaut laissé à l'appréciation des deux opérateurs.

Procédure générale de mesure sur une traversée

« F5, 5 ensembles bons sur place, traversée, 5 ensembles bons sur place, F5 ». Attendre 5 ensembles réussis avant de démarrer la traversée et avant de terminer l'enregistrement.

**3.7 Analyse des résultats en temps réel et après l'intercomparaison**

Une analyse des résultats en temps réel a été réalisée par l'équipe coordinatrice. Cette analyse permet aux organisateurs et aux participants de contrôler la bonne marche des essais et d'adapter le protocole en fonction des résultats obtenus. Elle permet également de vérifier immédiatement les problèmes de données manquantes ou de dépouillement à régler avec les participants.

La méthode retenue pour ces essais était de faire remonter régulièrement les fichiers bruts à l'équipe coordinatrice chargée de rejouer l'ensemble des données pour en extraire les résultats à chaud. La collecte des données brutes a été effectuée par le bateau navette auprès de chaque équipe (une clé USB par équipe). L'architecture imposée est la suivante :

- nom de dossier mesure (1 par série)



**Sn\_GEpp\_XXX** (**S** suivi du n° de la série **n**, **GE**nissiat ou **PY**rimont suivi du n° du profil **pp**, trigramme de l'équipe **XXX**)

Exemple : **S0\_GE02\_CEM**

- nom de fichier mesure (1 par série, soit 1 fichier .mmt par série)



**Sn\_PYpp\_typeADCP\_XXX** (**S** suivi du n° de la série **n**, **GE**nissiat ou **PY**rimont suivi du n° du profil **pp**, type d'appareil [RG12, RG6, SP, M9, BB6, RR6], trigramme de l'équipe **XXX**)

Exemple : **S3\_PY02\_RG12\_CTR**

Cette architecture a l'avantage de rendre homogène le classement des données.

Après l'intercomparaison, il a été demandé aux différents organismes de réanalyser le plus rapidement possible ses propres mesures et de faire parvenir une note de synthèse aux organisateurs en vue de l'établissement du rapport d'essais. Seule 1 équipe a transmis son analyse.

## 4. Résultats

### 4.1 Propagation des débits entre Génissiat aval barrage (GE) et Pyrimont (PY)

#### 4.1.1 Mesures des 13 et 14 octobre 2010

Les journées de mesure des 13 et 14 octobre 2010 ont été très denses ; toutefois, la durée des mesures effectuées était nécessaire pour déterminer le temps de propagation et de stabilisation des débits entre les sites de GE et PY. Pour rappel, une des contraintes de ces deux journées était de réaliser des mesures sur des paliers de débits stables à environ 1% près.

Les graphiques de la **Figure 2** et de la **Figure 3** permettent d'observer ce temps de propagation entre le site de GE (courbe bleue) et celui de PY (courbe verte), situé à environ 3.5 km en aval. 50 minutes à 1 heure sont nécessaires pour observer un palier de débit stable à PY.

Les débits issus des transects de chaque ADCP sont interpolés toutes les 1 min, puis le débit instantané moyen est établi comme la moyenne de 12 (GE – courbe bleue) ou 14 (PY – courbe verte) valeurs chaque 1 min.

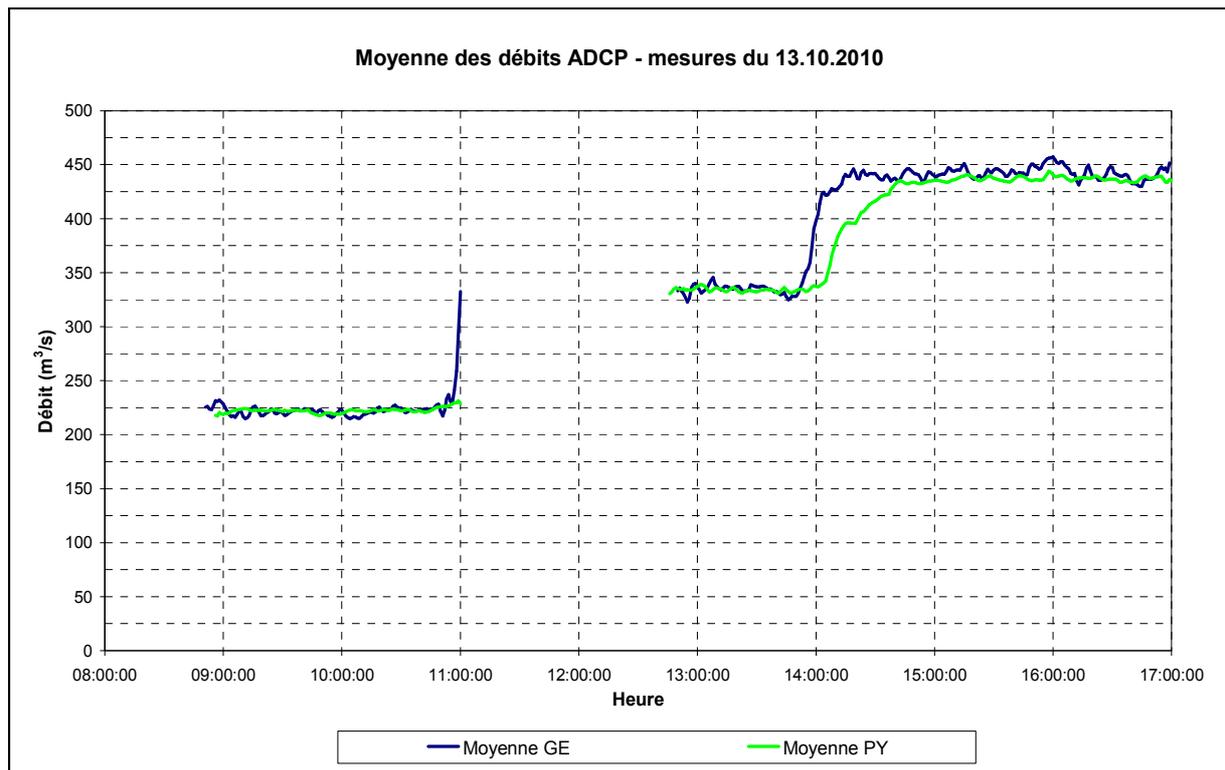


Figure 2. 13/10/2010 – Débits moyens instantanés mesurés par les ADCP situés à GE et PY

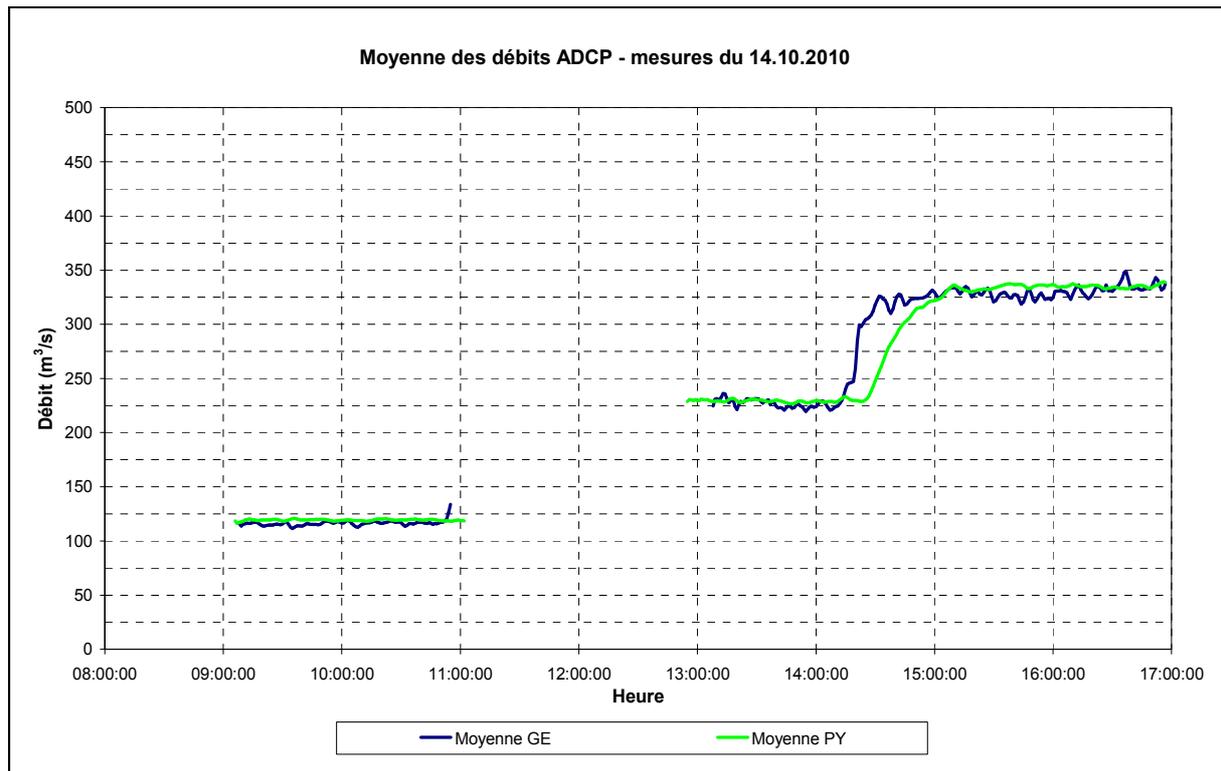


Figure 3. 14/10/2010 – Débits moyens instantanés mesurés par les ADCP situés à GE et PY

Si une deuxième intercomparaison ADCP devait être réalisée à GE/PY, le temps de propagation sera alors connu, ce qui pourra permettre de réduire le temps de mesure : 1 heure de mesure serait suffisante après 1 heure 30 de stabilisation<sup>10</sup>.

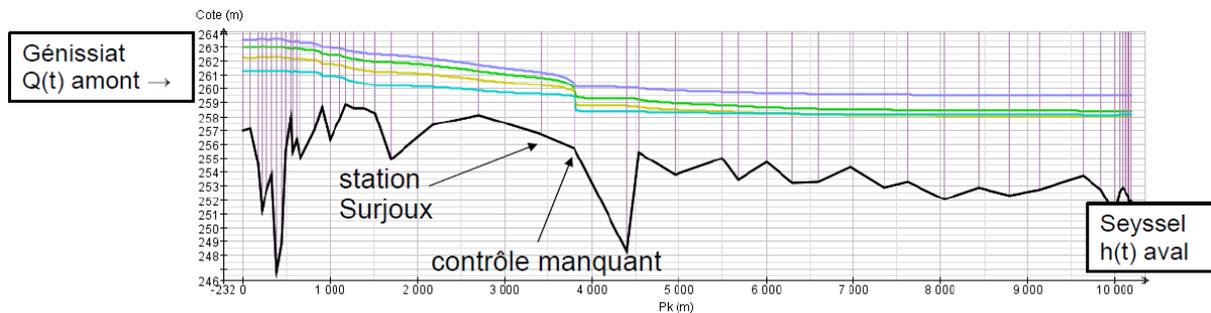
#### 4.1.2. Modélisation numérique de la propagation des débits entre GE et PY

En vue de l'analyse métrologique des mesures ADCP réalisées au site PY, il est capital de pouvoir prédire la propagation des débits entre Génissiat aval barrage (GE) et le site de mesure du pont de Pyrimont (PY). En effet, il est important de pouvoir confirmer au métrologue les créneaux horaires de débit stabilisé indépendamment des mesures ADCP elles-mêmes, et des enregistrements limnimétriques, insuffisants pour caractériser les variations de débit même avec une courbe de tarage, puisque la vitesse d'écoulement peut varier en déphasage avec les hauteurs d'eau.

Dans ce but, un modèle hydraulique 1D transitoire (code de simulation MAGE, Cemagref) a été construit pour permettre de calculer les signaux de hauteur d'eau, vitesse et débit entre le barrage de Génissiat et le barrage de Seyssel situé en aval (Figure 4). A l'avenir, d'autres hydrogrammes projet pourront être simulés avec cet outil, notamment pour optimiser de futurs protocoles d'intercomparaison. Le modèle a été construit à partir de profils bathymétriques du lit mineur (données CNR), avec un pas d'espace variant typiquement entre 100 m et 1000 m selon les zones. Les conditions limites sont à

<sup>10</sup>Pour les débits envisagés de 100 à 400 m<sup>3</sup>/s donc pour des vitesses moyennes approximatives de 1 à 4 m/s, des transects de durée de l'ordre de 5 à 2 minutes respectant  $V_{\text{bateau}}/V_{\text{eau}}$  de 50% ou moins permettent la réalisation d'environ 12 à 30 transects ce qui est généralement suffisant pour une réponse stabilisée des ADCP (moins de 3% de variance). Lorsque c'est possible, l'abaissement de  $V_{\text{bateau}}$  est souhaitable pour améliorer la qualité des données ADCP.

l'amont l'hydrogramme  $Q(t)$  mesuré par le dispositif à ultrasons en conduite<sup>11</sup>, et à l'aval le niveau mesuré au barrage de Seyssel.

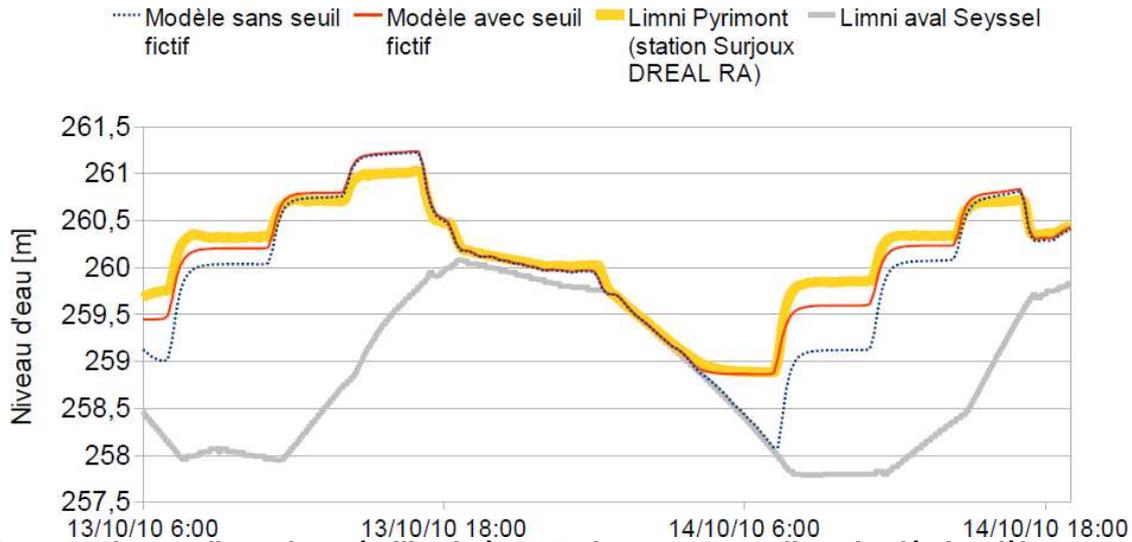


**Figure 4. Modélisation 1D du Rhône entre les barrages de Génissiat et de Seyssel (code de simulation MAGE, Cemagref). Ligne de fond et lignes d'eau calculées pour différents débits de l'intercomparaison, avec ajout d'un seuil fictif au PK 158.030 (PK 3800 m modèle MAGE comptés depuis le barrage de Génissiat).**

Le principal paramètre de calage de ce modèle est le coefficient de résistance à l'écoulement (coefficient de Strickler) supposé uniforme sur l'ensemble du tronçon, en l'absence de singularité significative et d'hétérogénéité dans les états de surface du lit mineur. La **Figure 5** illustre l'impossibilité de reproduire correctement les niveaux d'eau à la station Surjoux (DREAL RA), c'est-à-dire au site de Pyrimont au PK 158.405 (PK 3425 m modèle MAGE), pour les deux paliers de débit inférieurs, quel que soit le coefficient de Strickler choisi (ici fixé à  $K=25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ). La nuit, le niveau simulé suit l'abaissement progressif du niveau de la retenue de Seyssel jusqu'à 258,0 m NGF, alors que le niveau mesuré à Pyrimont se stabilise en réalité un peu au-dessus de 258,8 m NGF. Il manque vraisemblablement dans le modèle une section de contrôle hydraulique à bas débit située en aval du pont de Pyrimont, et fonctionnant comme un seuil de cote proche de 258,8 m NGF. Le modèle pourrait donc être amélioré significativement en disposant de leviers bathymétriques complémentaires en aval du pont de Pyrimont.

En attendant, un déversoir rectangulaire fictif est ajouté au modèle, dans la section située 400 m en aval du pont au PK 158.030 ( $\text{PK}_{\text{modèle MAGE}}=3800 \text{ m}$ , largeur déversante 177 m, cote de déversement 258,8 m NGF, coefficient de débit 0,4). Ainsi, au niveau de Pyrimont, le modèle reproduit à 5 cm près le tarissement dans la nuit du 14/10/2010, et à 10 cm près les niveaux des deux paliers de débit intermédiaires (**Figure 5**). Le palier d'environ  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  est mieux reproduit qu'auparavant mais reste nettement sous-estimé (de 35 cm environ), tandis que le palier supérieur ( $\sim 400 \text{ m}^3/\text{s}$ ) reste inchangé, surestimé de 20 cm environ. Le calage pourrait être amélioré en faisant varier le coefficient de Strickler avec le niveau d'eau, pour traduire des pertes de charges plus importantes à bas débit ( $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) qu'à débit plus fort ( $400 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Ainsi, un coefficient de Strickler très faible ( $K=15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ) est nécessaire pour reproduire correctement le palier inférieur. Le calage des niveaux simulés n'est pas poussé plus loin à ce stade, faute de mesure de ligne d'eau notamment.

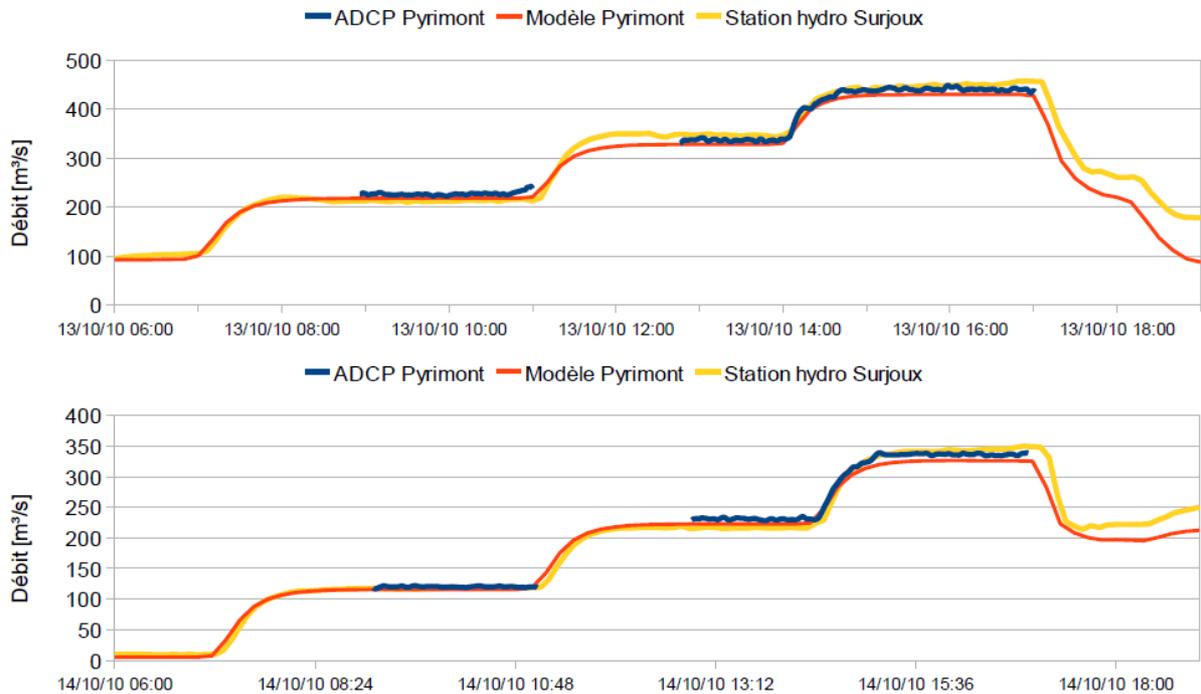
<sup>11</sup>En raison de lacunes dans cet hydrogramme US, l'hydrogramme utilisé en condition limite amont a dû être simplifié et complété avec l'hydrogramme Téléconduite, calculé à partir du rendement énergétique des groupes de l'usine. Ceci a notamment permis d'améliorer le timing des phases transitoires.



Le principal objectif de la modélisation est de reproduire la propagation et la stabilisation des débits au niveau du site de Pyriment. La Figure 6 présente les hydrogrammes simulés pour les paliers des 13 et 14/10/2010, comparés aux débits ADCP du groupe PY interpolés à 1 min, ainsi qu'au débit fourni par la courbe de tarage de la station Surjoux (DREAL RA).

Les trois signaux de débit sont en bon accord entre eux, et surtout la dynamique temporelle du débit (montées et stabilisation) reproduite par le modèle est en bon accord avec les mesures ADCP. La modélisation confirme l'estimation réalisée lors de la préparation des essais : il faut compter 1h30 entre la stabilisation du débit au niveau du barrage de Génissiat et la stabilisation du débit à Pyriment à 1% près.

Fait intéressant, en fin de programme (après 17h), le débit issu de la courbe de tarage est notablement surestimé, ce qui provient de l'influence aval de la retenue de Seyssel, quand son niveau remonte en fin de journée.



**Figure 6. Débits observés (ADCP, courbe de tarage Surjoux) et simulés (MAGE 1D), le 13/10/2010 (haut) et le 14/10/2010 (bas)**

Cet effet est clairement mis en évidence par la simulation des niveaux d'eau et vitesses, présentés en séries temporelles Figure 7 et en diagramme de phase Figure 8. Même si sa stabilité en débit est assurée par la consigne du barrage de Génissiat, le troisième palier de chaque journée n'apparaît pas parfaitement stable en hauteur et vitesse (Figure 7). Le niveau est légèrement croissant (confirmé par les limnigrammes mesurés), tandis que la vitesse décroît dans une proportion plus faible. La Figure 8 indique qu'après le troisième palier, la relation hauteur-vitesse est nettement différente, ce qui s'explique par un contrôle aval exercé par la cote haute de la retenue de Seyssel. Pour l'intercomparaison, il est donc important de noter que la cote de la retenue de Seyssel, si elle est haute, peut faire légèrement varier les conditions de mesure (vitesse, niveau), même durant un créneau de débit stabilisé.

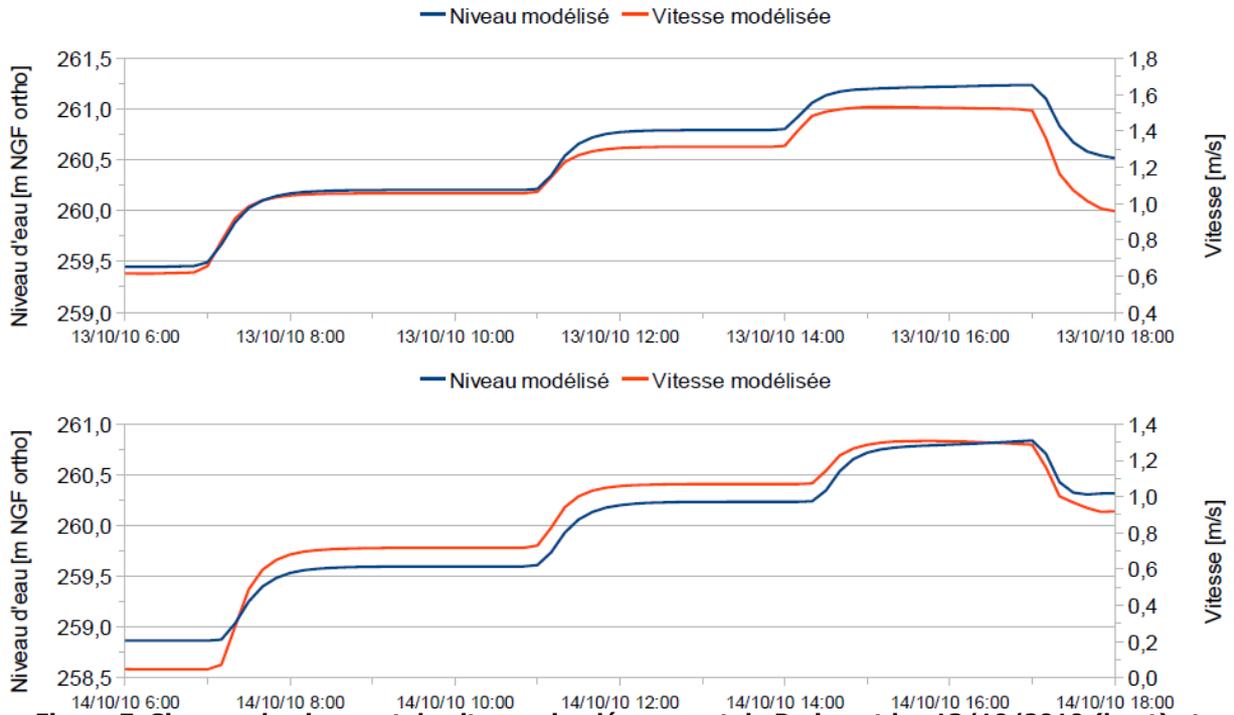


Figure 7. Signaux de niveau et de vitesse simulés au pont de Pyrimont les 13/10/2010 (haut) et 14/10/2010 (bas)

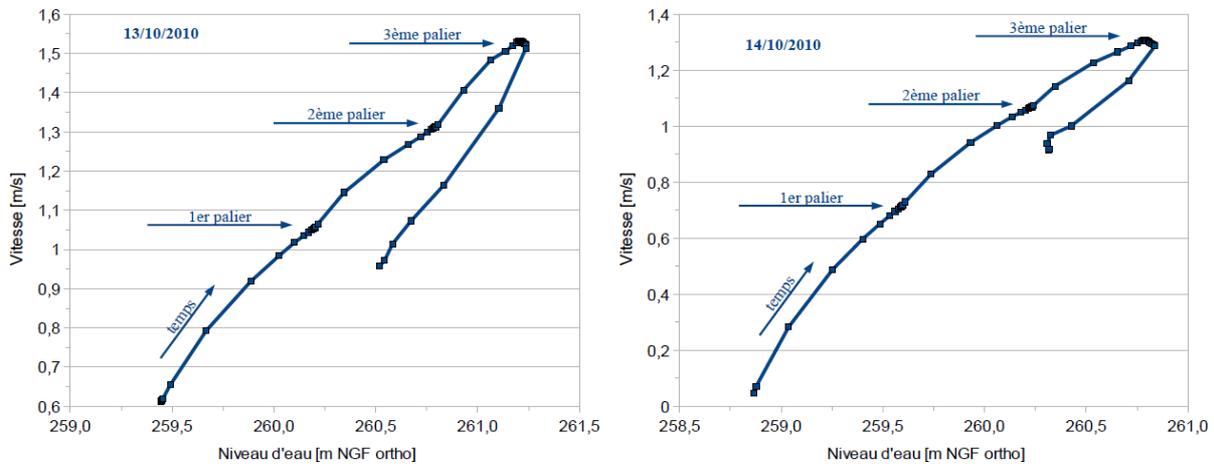


Figure 8. Relation vitesse-niveau simulée les 13/10/2010 (gauche) et 14/10/2010 (droite)

#### 4.2 Débits ADCP par équipe, par site et par palier de débit stable

Les Tableau 3 et Tableau 4 présentent l'ensemble des débits moyens par équipe et par série.

Lors du dépouillement, tous les transects dont la valeur de débit était supérieure à 20% par rapport à la moyenne du palier ont été supprimés. Ils correspondent presque toujours à des mesures tronquées ou évidemment erronées.

Pour des écarts moins importants (de l'ordre de 5 à 15%), les feuilles terrain ont été consultées. Seuls les transects avec des incidents annotés (« ensembles perdus », « perturbation navette »...) ont été supprimés.

Journée du 13/10/2010 :

Intercomparaison ADCP Génissiat 2010 – Groupe Doppler  
Version définitive du 07/04/2011

	S1	S2 & S2bis		Q1-Q0 Q(G1)*	Q2-Q1 Q(G4)*
	13/10/2010	13/10/2010			
	Q0	Q1	Q2		
	Q(G2)+Q(G6)+ε	Q(G2)+Q(G6)+Q(G1)+ε	Q(G2)+Q(G6)+Q(G1)+Q(G4)+ε		
GE01 RG12 CNR(2)	229	349	444	120	95
GE01 RG6 CNR(1)	232	344	447	112	103
GE02 RG12 CNR(1)	224	337	444	113	107
GE02 RG06 CNR(2)	227	345	454	118	109
GE03 RG12 PDL	209	317	417	108	100
GE03 RR6 RDI	209	320	415	111	95
GE04 RG12 CTR	229	345	459	116	114
GE04 RR6 CTR	224	342	455	119	113
GE05 RG12 ATL	219	342	444	123	102
GE05 RG6 TLS	222	356	463	134	107
GE08 RG12 GRE	209	315	420	106	105
GE08 BB6 GRE	213	321	431	108	110
GE Q moyen (m <sup>3</sup> /s)	220	336	441	116	105
GE Ecart type (m <sup>3</sup> /s)	9	14	17	8	6
GE Ecart type (%)	3.9%	4.2%	3.8%	6.8%	6.0%
PY10 RG12 IDF	226	340	439	114	99
PY10 RG6 IDF	224	341	436	117	95
PY12 RG12 BRG	227	337	440	110	103
PY12 SP RDI	224	330	436	106	105
PY13 M9	216	312	416	97	104
PY13 SP HQC	229	340	443	111	102
PY14 RG12 TLS	226	330	442	104	112
PY14 SPHQC	227	335	-	107	-
PY15 RG12 RAL	228	346	439	118	93
PY15 SP RAL	-	-	-	-	-
PY16 RG12 CEM	221	334	437	113	103
PY16 RR6 HQC	207	336	437	129	101
PY17 M9	218	329	429	111	100
PY17 RG6 BRV	226	339	449	114	110
PY Q moyen (m <sup>3</sup> /s)	223	335	437	112	102
PY Ecart type (m <sup>3</sup> /s)	6	8	8	8	5
PY Ecart type (%)	2.8%	2.5%	1.8%	6.9%	5.2%
Ecart GE et PY (%)	1.2%	-0.4%	-1.0%		
Q moyen (m <sup>3</sup> /s)	222	335	439	114	104
Ecart type (m <sup>3</sup> /s)	7	11	13	8	6
Ecart type (%)	3.3%	3.4%	3.0%	7.0%	5.7%

Tableau 3. 13/10/2010 – Débits moyens par équipe et par série

\* Q(Gn) : la hauteur de chute n'est pas prise en compte  
en vert : analyse réalisée par l'équipe elle-même

Journée du 14/10/2010 :

	S3		S4 & S4bis			par profil	
	14/10/2010		14/10/2010			Q1-Q0	Q2-Q1
	q0	Q(G4)+ε	q1	q2	Q(G6)*	Q(G2)*	
			Q(G4)+Q(G6)+ε	Q(G4)+Q(G6)+Q(G2)+ε			
GE01 RG12 CNR(2)	124	GE01 RG12 CNR(1)	232	343	108	111	
GE01 RG6 CNR(1)	128	GE01 RG6 CNR(2)	237	345	110	108	
GE02 RG12 CNR(1)	118	GE02 RG12 CNR(2)	229	333	111	103	
GE02 RG06 CNR(2)	120	GE02 RG06 CNR(1)	229	335	110	106	
GE03 RG12 PDL	113	GE03 RG12 CTR	-	318	-	-	
GE03 RR6 RDI	106	GE03 RR6 CTR	217	311	110	94	
GE04 RG12 CTR	120	GE04 RG12 PDL	229	342	109	113	
GE04 RR6 CTR	108	GE04 RR6 RDI	225	339	117	114	
GE05 RG12 ATL	115	GE05 RG12 GRE	232	339	117	107	
GE05 RG6 TLS	113	GE05 BB6 GRE	-	-	-	-	
GE08 RG12 GRE	114	GE08 RG12 ATL	211	320	97	109	
GE08 BB6 GRE	114	GE08 RG6 TLS	201	314	87	112	
GE Q moyen (m <sup>3</sup> /s)	116		224	331	108	108	
GE Ecart type (m <sup>3</sup> /s)	6		11	13	9	6	
GE Ecart type (%)	5.3%		5.0%	3.8%	8.3%	5.5%	
PY10 RG12 IDF	121	PY10 RG12 IDF	229	338	107	109	
PY10 RG6 IDF	118	PY10 RG6 IDF	237	331	119	95	
PY12 RG12 BRG	120	PY12 RG12 BRG	229	329	109	100	
PY12 SP RDI	118	PY12 SP RDI	220	333	103	113	
PY13 M9	114	PY13 M9	217	320	103	103	
PY13 SP HQC	119	PY13 SP HQC	229	337	110	107	
PY14 RG12 TLS	121	PY14 RG12 TLS	236	341	115	105	
PY14 SPHQC	120	PY14 SPHQC	230	334	110	105	
PY15 RG12 RAL	120	PY15 RG12 RAL	234	340	114	107	
PY15 SP RAL	118	PY15 SP RAL	230	-	112	-	
PY16 RG12 CEM	119	PY16 RG12 CEM	228	335	109	107	
PY16 RR6 HQC	122	PY16 RR6 HQC	236	343	114	108	
PY17 M9	117	PY17 M9	223	-	106	-	
PY17 RG6 BRV	124	PY17 RG6 BRV	234	341	110	107	
PY Q moyen (m <sup>3</sup> /s)	119		229	335	110	105	
PY Ecart type (m <sup>3</sup> /s)	2		6	7	4	5	
PY Ecart type (%)	2.0%		2.6%	2.0%	4.1%	4.5%	
Ecart GE et PY (%)	2.9%		2.3%	1.3%			
Q moyen (m <sup>3</sup> /s)	118		227	333	109	106	
Ecart type (m <sup>3</sup> /s)	5		9	10	7	5	
Ecart type (%)	4.0%		3.8%	3.0%	6.1%	5.0%	

Tableau 4. 14/10/2010 – Débits moyens par équipe et par série

\* Q(Gn) : la hauteur de chute n'est pas prise en compte  
en vert : analyse réalisée par l'équipe elle-même

A noter que seule une équipe a fourni sa propre analyse à l'équipe de coordination de l'intercomparaison.

Les graphiques des Figure 9 à Figure 14 présentent les débits moyens de chaque équipe pour chaque série de mesure, ainsi que la dispersion<sup>12</sup> par ADCP et le débit US en conduites.

D'un point de vue hydraulique et au vu des résultats de dispersion, le site le plus approprié pour des mesures de débit à l'ADCP est PY.

Une analyse sur la convergence des mesures a été réalisée. Les données US en conduite fournissant des paliers de débit stables, il est possible de déterminer, pour chaque équipe, le temps et/ou le nombre de transects nécessaires pour converger vers la valeur moyenne (**annexe 3**). Les principales conclusions sont les suivantes :

- GE
  - en moyenne 12 transects soit 26 min pour converger à moins de 1% (par rapport à la moyenne de l'équipe pour une série donnée) ;
  - en moyenne 5 transects soit 12 min pour converger à moins de 2%.

<sup>12</sup> La dispersion est ici définie comme l'écart-type expérimental rapporté à la moyenne.

- PY

- en moyenne 5 transects soit 15 min pour converger à moins de 1% ;
- en moyenne 2 transects soit 7 min pour converger à moins de 2%.

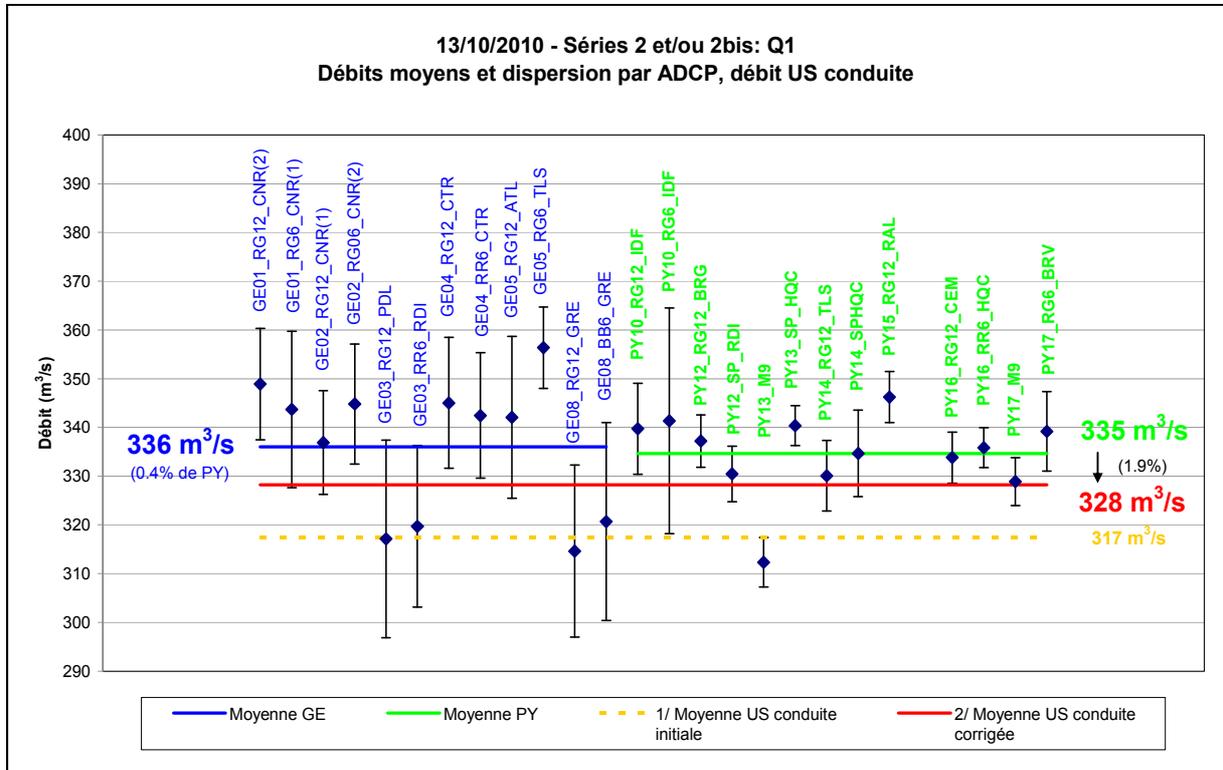
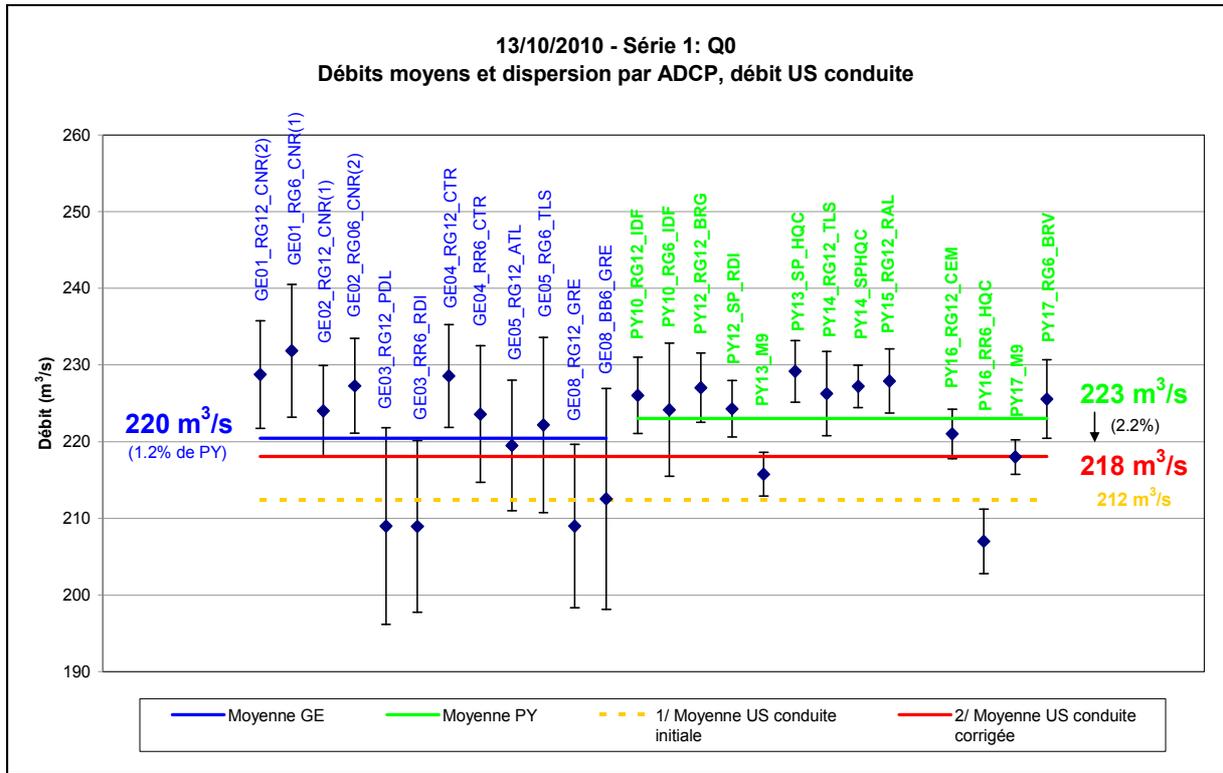
Ainsi, une dizaine de minutes (2 à 5 transects) suffit pour converger à moins de 2% de la moyenne du groupe. Deux fois plus de temps, soit une vingtaine de minutes, est nécessaire pour passer en-dessous de 1%. Sous réserve d'avoir un écoulement stable, une vingtaine de minutes permet donc d'obtenir une moyenne fiable. Ces observations ne sont valables que pour des conditions de mesure équivalentes à celles de l'intercomparaison.

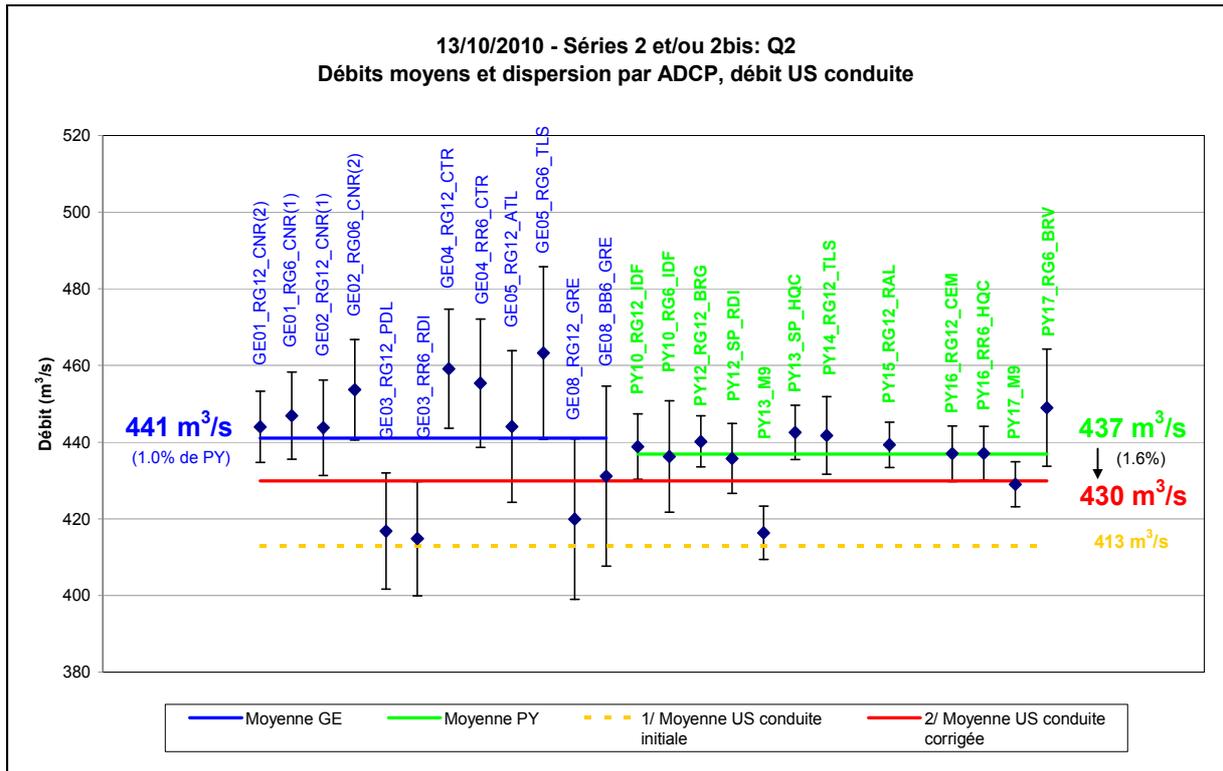
L'**annexe 3** présente le nombre de transects nécessaires par équipe pour converger à moins de 1% et 2% de la moyenne de l'équipe ainsi que l'intérêt du nombre d'équipes de mesures pour se rapprocher au plus près de la valeur « vraie » (moyenne de l'ensemble des ADCP). Par exemple, l'utilisation d'une seule équipe sur le site de Pyrimont aurait engendré un écart avec la valeur « vraie » de 5 à 7%. L'utilisation de 5 équipes aurait engendré un écart de 3% environ avec la valeur « vraie » alors que l'utilisation de 10 équipes aurait permis de mesurer un débit à environ 1% de la moyenne de l'ensemble des ADCP (ou valeur « vraie »).

A noter que les débits moyens mesurés à GE et PY sont très proches la première journée mais présentent des écarts non négligeables le deuxième jour de mesure.

Les mesures réalisées au droit des sections GE03 et GE08 sont systématiquement plus faibles que celles réalisées au droit des autres sections. La permutation des équipes sur les sections de GE pour les séries S4 et S4bis (14/10/10 après-midi) permet d'exclure toute cause liée au montage du capteur sur l'embarcation ou aux opérateurs. Il est probable que ces sous-estimations soient dues aux caractéristiques des sections ou au type de capteur utilisé (il aurait été intéressant de tester un M9 dans ces configurations).

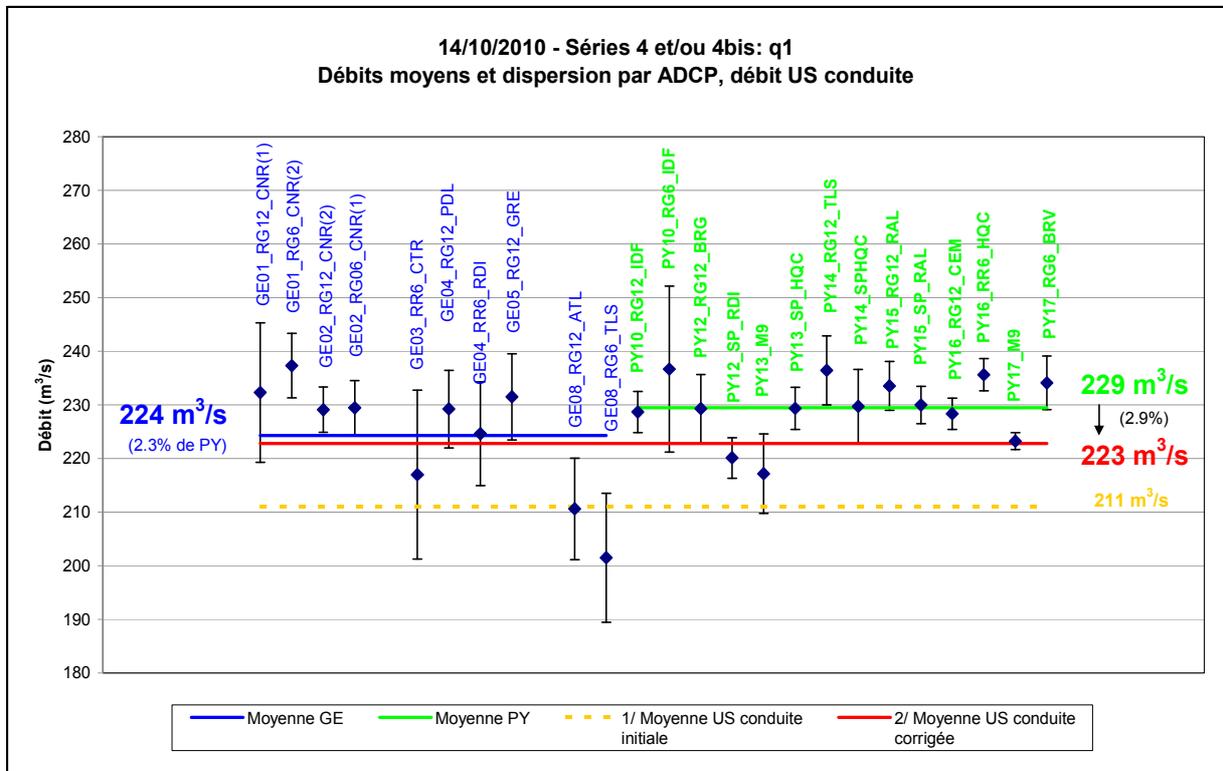
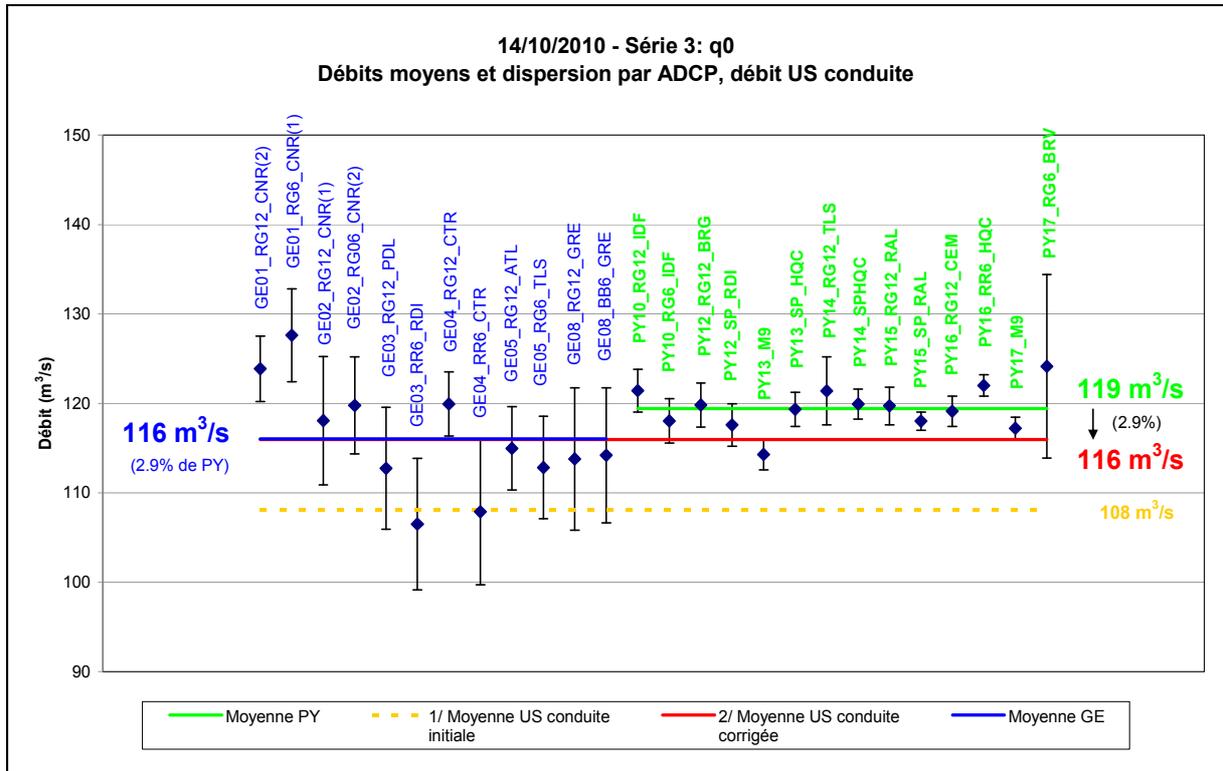
Journée du 13/10/2010 :

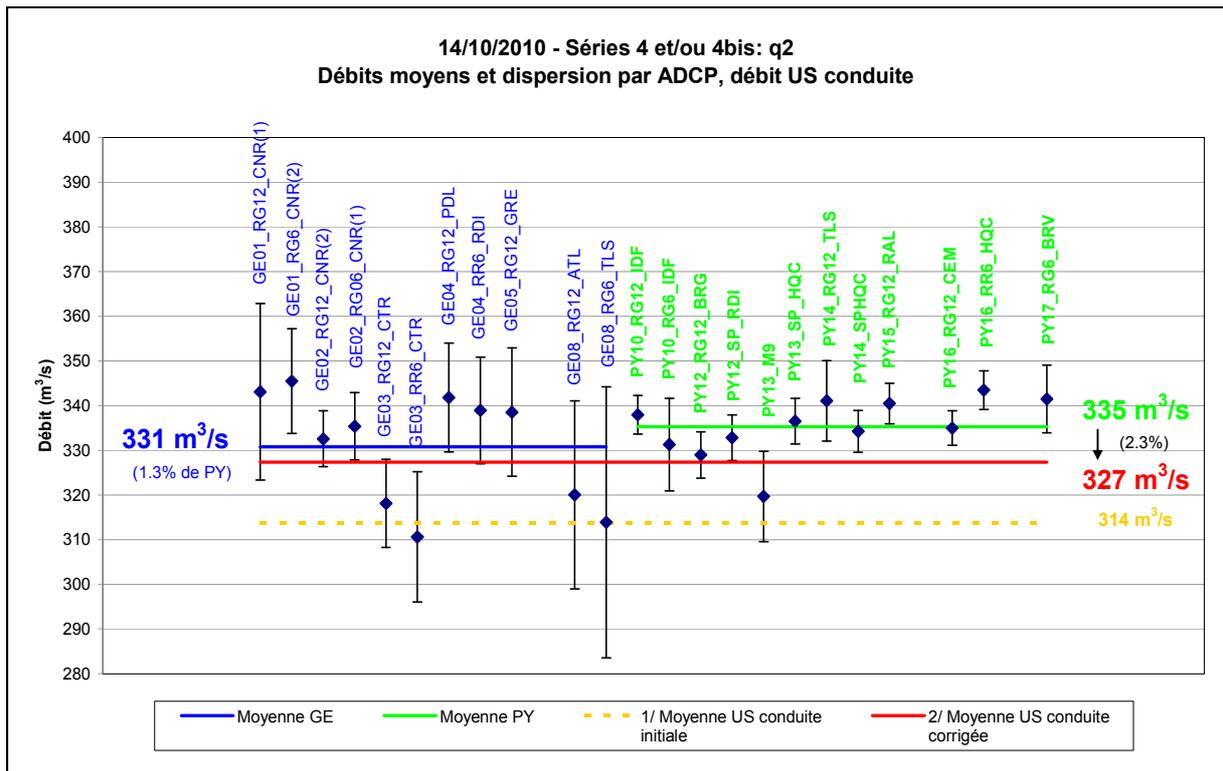




**Figure 11. Q2 – débits moyens et dispersion par ADCP, débit US conduite**

Journée du 14/10/2010 :





**Figure 14. q2 – débits moyens et dispersion par ADCP, débit US conduite**

Des tendances en termes de dispersion des débits et d'écart du débit moyen ADCP au débit US conduite sont observées. Elles se répètent de palier en palier, pour les deux fréquences d'appareil, même quand les équipes et appareils ont été permutés, ce qui indique plutôt que ce sont les conditions de mesure propres aux différentes sections qui sont en cause. Une première exploration des signatures des transects, en termes de champ de vitesse, a été effectuée sur un jeu représentatif de transects de la série S1 (**annexe 4**).

A ce stade, aucun critère de qualité évident ne se dégage, en particulier qui pourrait expliquer pourquoi les débits des profils GE03 et GE08 sont toujours environ 5% sous la moyenne. La principale hypothèse envisagée pour expliquer cet effet systématique est que la structure complexe de l'écoulement sur ces sections profondes et au fond chahuté (présence d'obstacles) biaise un peu le débit extrapolé au fond. Même si le profil vertical de vitesse moyen semble aussi proche de la loi puissance que pour les autres sections, et le ratio  $Q_{mes}/Q_{tot}$  est excellent (77%), en proportion, la zone perdue au fond est beaucoup plus importante que la zone perdue en surface. Typiquement, un débit extrapolé au fond d'environ 15 à 20% du débit total jaugé est observé, ce qui peut rapidement entraîner un biais de -5%. Pour GE03, les coupures de données qui se produisent quasiment à chaque transect au niveau du bord abrupt de la banquette, de chaque côté, pourrait également entraîner une erreur systématique. Cependant GE05 ne présente pas ces coupures systématiques.

La cause des tendances répétées des écarts de débit selon les profils reste difficile à élucider. Quoi qu'il en soit, il est risqué de jauger dans une mouille marquée d'un tronçon non uniforme, avec en plus de gros obstacles isolés au fond, car il est fort probable d'avoir un champ de vitesse complexe, très différent d'un régime uniforme. Dans ce cas, une zone significative au fond peut être perdue, alors que la structure de l'écoulement peut y être très variable.

## 5. Comparaison avec les débits « de référence »

### 5.1 Comparaison avec les débits des stations de Bognes (CNR, PK 160.600) et de Surjoux (DREAL RA, PK 158.405)

#### 5.1.1 Le Rhône à Bognes

La station de Bognes (CNR, PK 160.600) dispose d'une relation hauteur-débit. Avec les enregistrements limnimétriques, le débit a pu être reconstitué pour chaque palier (Figure 15 et Figure 16). Les débits sont annoncés avec une incertitude estimée à 10% (Olivier et al., 2008). Les écarts avec les débits moyens ADCP sont présentés **Tableau 5**.

Les écarts varient de -3% à -8% en fonction du palier de débit considéré, les débits de la station de Bognes étant toujours au-dessus des débits ADCP.

Un écart moyen de -5% est constaté entre les débits de la station de Bognes et les débits moyens mesurés à l'ADCP, quelque soit le groupe considéré (GE, PY ou ensemble des ADCP). Cet écart est compris dans l'intervalle d'incertitude des débits de la station de Bognes.

#### 5.1.2 Le Rhône à Surjoux

La station de Surjoux (DREAL RA, PK 158.405) est située au droit du Pont de Pyrimont. Nous disposons des débits instantanés/horaires représentés Figure 15 et Figure 16. Les écarts avec les débits moyens ADCP sont présentés **Tableau 5**.

Les écarts varient de -4% à 6% en fonction du palier de débit considéré, sans tendance particulière.

Un écart moyen de 0,1% est constaté entre les débits de la station de Surjoux et les débits moyens mesurés à l'ADCP, quelque soit le groupe considéré (GE, PY ou ensemble des ADCP).

A noter que cette station peut, sous certaines conditions, être sous l'influence aval de la retenue de Seyssel, comme discuté section **4.1.2**.

#### 5.1.3 Synthèse des écarts et représentations graphiques

	Q0	Q1	Q2	q0	q1	q2
Q Station Bognes (m <sup>3</sup> /s)	230	355	467	124	237	357
Q Station Surjoux (m <sup>3</sup> /s)	213	347	447	117	216	343
Q <sub>ADCP</sub> GE (m <sup>3</sup> /s)	220	336	441	116	224	331
Ecart ADCP GE et Bognes (%)	-4%	-6%	-6%	-7%	-6%	-8%
Ecart ADCP GE et Surjoux (%)	3%	-3%	-1%	-1%	4%	-4%
Q <sub>ADCP</sub> PY (m <sup>3</sup> /s)	223	335	437	119	229	335
Ecart ADCP PY et Bognes (%)	-3%	-6%	-7%	-3%	-3%	-6%
Ecart ADCP PY et Surjoux (%)	5%	-4%	-2%	2%	6%	-2%
Q <sub>ADCP</sub> GE+PY (m <sup>3</sup> /s)	222	335	439	118	227	333
Ecart ADCP GE+PY et Bognes (%)	-4%	-6%	-6%	-5%	-4%	-7%
Ecart ADCP GE+PY et Surjoux (%)	4%	-4%	-2%	0%	5%	-3%

**Tableau 5. Ecart entre Q<sub>ADCP</sub>, Q<sub>Bognes</sub> et Q<sub>Surjoux</sub>**

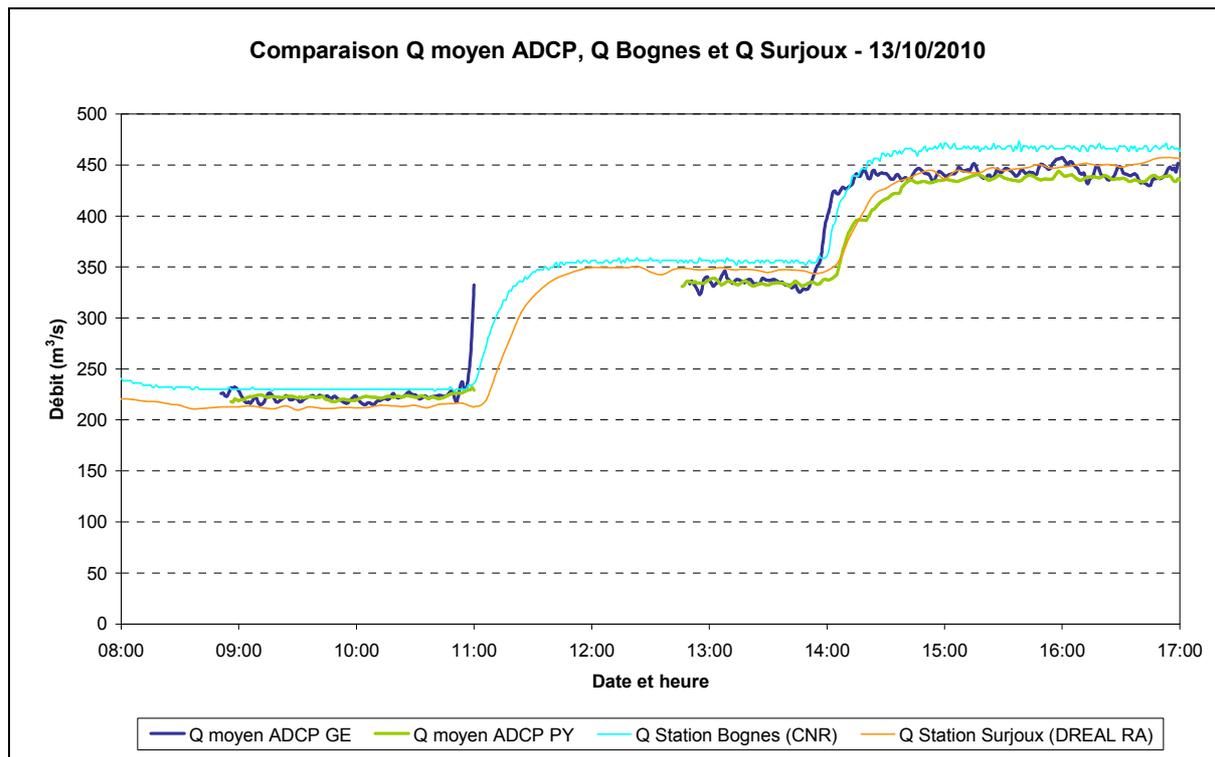


Figure 15. Débits des stations de Bognes et Surjoux et des débits moyens ADCP du 13/10/2010

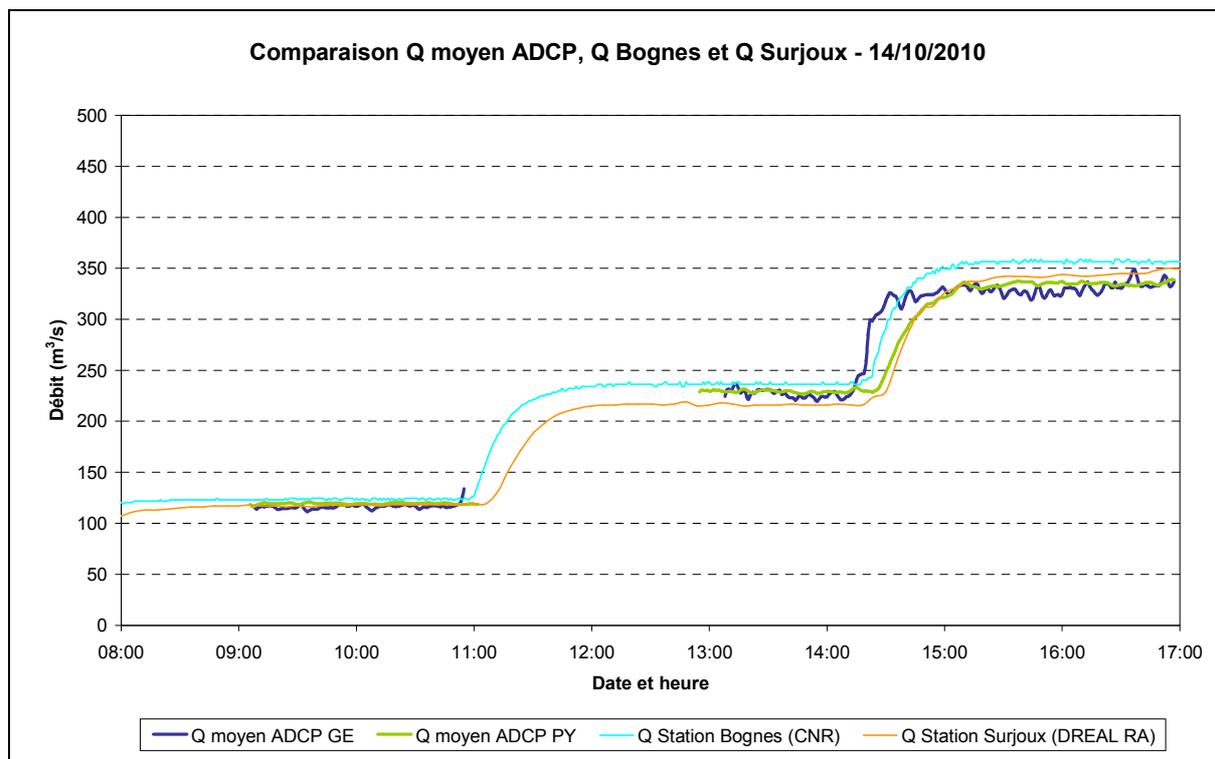


Figure 16. Débits des stations de Bognes et Surjoux et des débits moyens ADCP du 14/10/2010

## 5.2 Comparaison avec les débits US en conduite (usine de Génissiat)

Lors des mesures des 13 et 14 octobre 2010, 4 conduites sur 6 étaient instrumentées en capteurs US (**Figure 17**). A ce jour, 5 conduites sont instrumentées. La finalisation de l'instrumentation de la 6<sup>ème</sup> est prévue pour fin 2011.

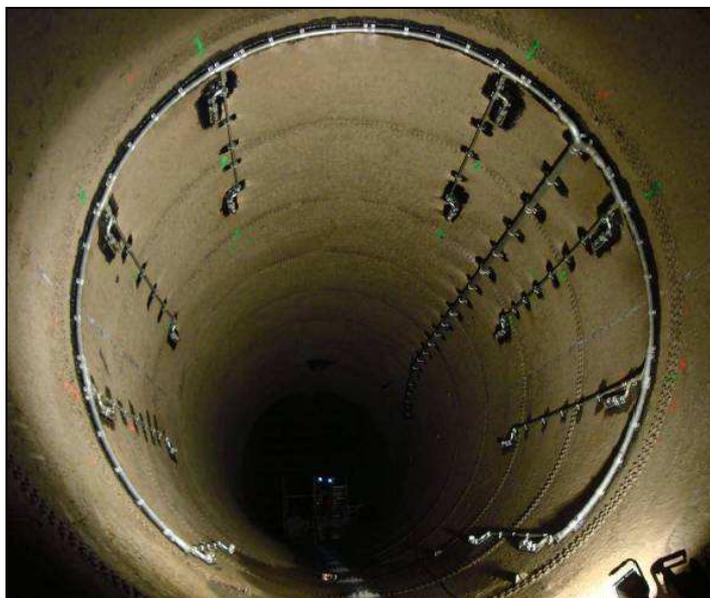


Figure 17. Capteurs US, conduite de l'usine de Génissiat

### 5.2.1 Données US initiales

Les données US ont directement été prélevées à l'usine par l'équipe de coordination lors de l'intercomparaison ADCP<sup>13</sup>. Ainsi, il a été possible de comparer les mesures ADCP avec les débits mesurés par ultra-sons dans les conduites de l'usine de Génissiat de façon quasi instantanée. Le Tableau 6 montre un écart entre les débits moyens ADCP (GE+PY) et les valeurs de débits US conduite de 4% à 7% environ suivant les séries considérées.

	S1	S2 & S2bis		S3	S4 & S4bis	
	13/10/2010	13/10/2010		14/10/2010	14/10/2010	
	Q0	Q1	Q2	q0	q1	q2
Q moyen ADCP global (m <sup>3</sup> /s)	222	335	439	118	227	333
1/ Moyenne US référence initiale (m <sup>3</sup> /s)	212	317	413	108	211	314
Ecart avec ADCP global (GE+PY) (%)	4.2%	5.3%	5.9%	8.3%	7.2%	5.8%

Tableau 6. Ecart entre Q<sub>total</sub> ADCP et Q<sub>US</sub> conduites initiaux

Une analyse plus fine permet de mettre en évidence que les écarts diffèrent d'un groupe à l'autre :

- ~ 7% pour le groupe G1 ;
- ~ 3% pour le groupe G2 ;
- ~ 8% pour le groupe G4 ;
- ~ 6% pour le groupe G6.

Ces écarts, observés le premier jour, se retrouvent le deuxième jour bien que les configurations en vitesse soient différentes.

<sup>13</sup> A cette occasion, une dérive horaire significative du système US a été notée et corrigée précisément. Ce défaut devra être corrigé, en s'assurant du réglage du système à l'horloge parlante en début d'essais.

Ces écarts sont inacceptables (excepté pour le G2) au vu de la précision annoncé par le constructeur des US (2%) et le protocole de mesure ADCP mis en place pour cette intercomparaison.

### 5.2.2 Données US recalculées

Des vérifications approfondies ont été réalisées sur les données ADCP et leur dépouillement. Aucune erreur n'a été détectée.

En parallèle, la CNR a demandé à Hydrovision, constructeur des US en conduite, de vérifier les valeurs fournies.

**Il est important de préciser qu'aucune valeur de débit issue de l'intercomparaison ADCP n'a été transmise au constructeur du système US.**

Lors de ses vérifications, Hydrovision a constaté des erreurs de paramétrage. Les erreurs ont été corrigées et les données recalculées ont été transmises à la CNR (Hydrovision, février 2011). A noter qu'il ne s'agit pas d'un recalage sur les données ADCP, mais bien d'une correction d'erreurs « à l'aveugle ». Le Tableau 7 montre un écart entre les débits moyens ADCP (GE+PY) et les nouvelles valeurs de débits US en conduite de 1% à 2% environ suivant les séries considérées.

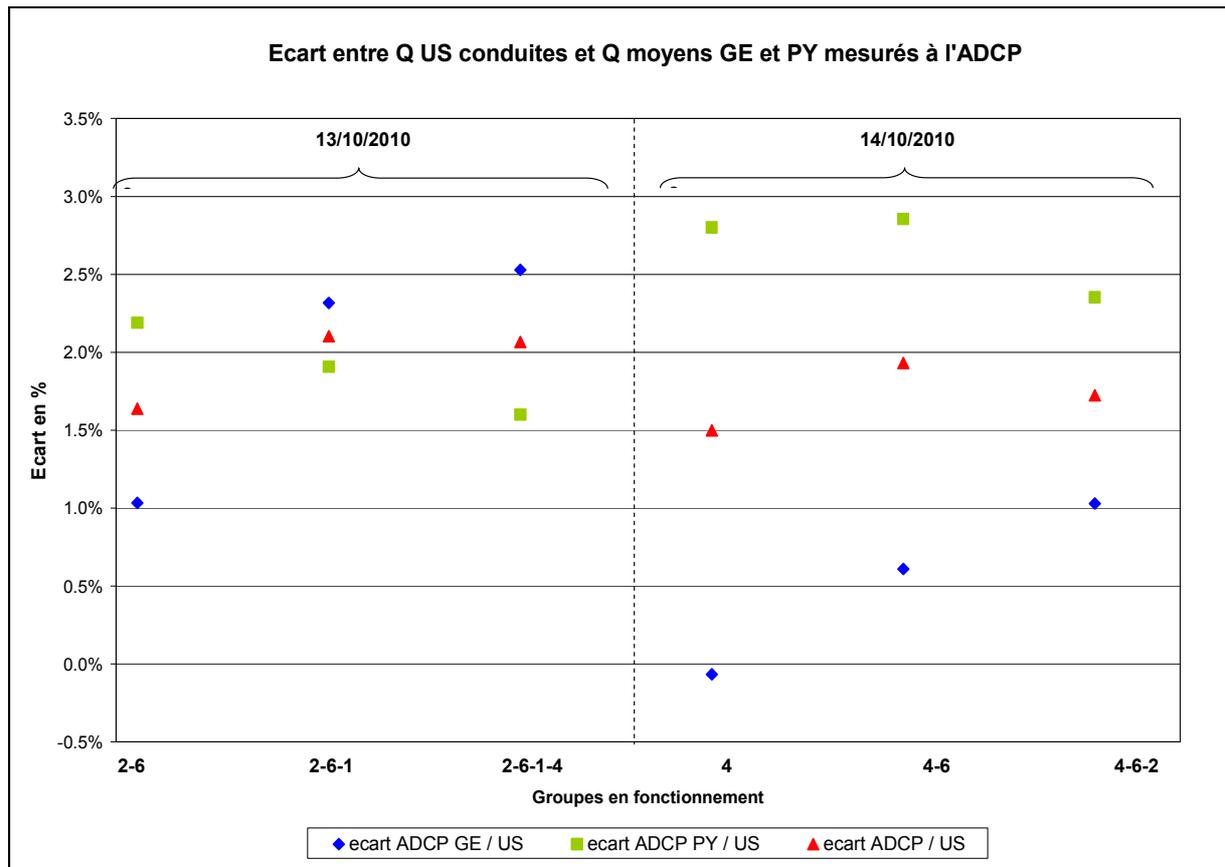
	S1	S2 & S2bis		S3	S4 & S4bis	
	13/10/2010	13/10/2010		14/10/2010	14/10/2010	
	Q0	Q1	Q2	q0	q1	q2
Q moyen ADCP global (m <sup>3</sup> /s)	222	335	439	118	227	333
1/ Moyenne US référence initiale (m <sup>3</sup> /s)	212	317	413	108	211	314
Ecart avec ADCP global (GE+PY) (%)	4.2%	5.3%	5.9%	8.3%	7.2%	5.8%
2/ Moyenne US référence corrigée (m <sup>3</sup> /s)	218	328	429	116	223	327
Ecart avec ADCP global (GE+PY) (%)	1.6%	2.1%	2.2%	1.6%	2.0%	1.7%

**Tableau 7. Ecart entre Q<sub>total</sub> ADCP et Q<sub>US</sub> conduites recalculés**

Une analyse plus fine permet de mettre en évidence que les écarts diffèrent d'un groupe à l'autre :

- ~ 3% pour le groupe G1 ;
- ~ 1% pour le groupe G2 ;
- ~ 1% pour le groupe G4 ;
- ~ 2% pour le groupe G6.

La **Figure 18** présente les écarts entre les débits US en conduite et la moyenne des débits du groupe GE, du groupe PY et de l'ensemble des ADCP.



**Figure 18. Ecart entre Q US conduites et Q ADCP moyens GE et PY**

## 6. Estimation de l'incertitude de mesure de la méthode ADCP

### 6.1 Prise en compte des 26 ADCP des sites de Génissiat (GE) et Pyrimont (PY)

L'objectif est de déterminer l'incertitude des mesures de débit réalisées avec la méthode ADCP en s'appuyant dans un premier temps sur les résultats de la comparaison de 26 équipements mis en œuvre simultanément sur les sites de Génissiat et Pyrimont, pour plusieurs débits.

#### 6.1.1 Méthodologie

Pour obtenir une incertitude de mesure compatible avec les documents internationaux en vigueur (GUM), et en l'absence de valeur de référence permettant un raccordement au S.I. et la mise en œuvre d'une propagation des incertitudes, le traitement statistique s'appuie sur l'application des normes et fascicules suivants :

- **ISO 5725-2** : Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure - Partie 2 : Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée, décembre 1994.  
**Cette norme a pour objectif de quantifier les performances de la méthode, en termes de répétabilité et de reproductibilité.**
- **FD ISO/TS 21748** : Lignes directrices relatives à l'utilisation d'estimations de la répétabilité, de la reproductibilité et de la justesse dans l'évaluation de l'incertitude de mesure, juin 2004.  
**Cette norme permet de traduire les résultats précédents en termes d'incertitude de mesure. L'incertitude obtenue est à attribuer à 1 ADCP en mode « dégradé »<sup>14</sup> dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de « Génissiat 2010 ».**
- **NF ISO 13528** : Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaisons interlaboratoires, décembre 2005.  
**Cette norme permet de déterminer l'incertitude des débits obtenus par l'ensemble des ADCP (mode « dégradé ») dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de Génissiat 2010. A noter que cette démarche ne permet pas de déterminer une caractéristique de performance des ADCP d'un point de vue général.**

La procédure de calcul est détaillée dans les normes citées ci-dessus. Le détail des calculs n'est pas présenté dans ce rapport.

#### 6.1.2 Résultats de l'analyse

Incertaince d'un ADCP sur la base de 4 transects consécutifs (normes 5725-2 et 21748) :

Le **Tableau 8** présente l'incertitude d'une mesure de débit réalisée par un ADCP sur un ensemble de 4 transects consécutifs (mode « dégradé ») selon le protocole suivi lors de l'intercomparaison de Génissiat 2010, pour chaque palier de débit.

<sup>14</sup> Le nombre de transects pour la mesure d'un débit moyen doit être défini dès le début de l'analyse des incertitudes de mesure. Il peut être de 6 ou 12 en mode « nominal » et de 4 en mode « dégradé ». Dans la présente étude, 4 transects ont été retenus. Pour chaque mode opératoire différent, le traitement des données doit être repris à la première étape du calcul.

	13/10/2010			14/10/2010		
	Débit Q0	Débit Q1	Débit Q2	Débit q0	Débit q1	Débit q2
Débit (m <sup>3</sup> /s)	222	336	439	117	228	333
Uc (k=2)	7.4%	7.1%	7.0%	9.9%	7.1%	6.9%

**Tableau 8. Incertitude d'une mesure de débit réalisé par un ADCP sur un ensemble de 4 transects consécutifs selon le protocole de mesure de Génissiat 2010 – prise en compte des 26 ADCP**

En considérant l'ensemble des ADCP des groupes de GE et PY, l'incertitude élargie (k=2) du débit d'un ADCP (moyenne de 4 transects consécutifs) dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de Génissiat des 13 et 14 octobre 2010 est de l'ordre de 7% à 10% selon les débits considérés.

Incertaince sur les paliers de débit (norme 13528) :

	Débit ADCP (m <sup>3</sup> /s)	Q ADCP ref <sup>15</sup> (m <sup>3</sup> /s)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (m <sup>3</sup> /s ; k=2)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (% ; k=2)
Q0	221	223	2.81	1.3%
Q1	335	336	5.11	1.5%
Q2	439	440	5.39	1.2%
q0	118	118	2.14	1.8%
q1	227	229	3.39	1.5%
q2	333	334	4.48	1.3%

**Tableau 9. Incertitude sur les paliers de débit réalisés par 26 ADCP**

L'incertitude sur les paliers de débit mesurés par les 26 ADCP dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de Génissiat des 13 et 14 octobre 2010 est d'en moyenne 1.4%. Elle est comprise entre 1% et 2% selon les paliers de débit considérés.

Incertaince sur les différences de débit (norme 13528) :

	Débit ADCP (m <sup>3</sup> /s)	Q ADCP ref (m <sup>3</sup> /s)	C hauteur de chute (m <sup>3</sup> /s)	Q ADCP corrigé (m <sup>3</sup> /s)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (m <sup>3</sup> /s ; k=2)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (% ; k=2)
G1	114	113	1.89	115	3.43	3.0%
G4	104	104	3.32	107	3.07	3.0%
G6	109	110	0.93	111	2.04	1.9%
G2	106	107	1.84	109	2.25	2.1%

**Tableau 10. Incertitude sur les différences de débit obtenues par les mesures de 26 ADCP**

L'incertitude sur les différences de débit obtenues par les mesures des 26 ADCP dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de Génissiat des 13 et 14 octobre 2010 est d'en moyenne 2.5%. Elle est comprise entre 2% et 3% selon les débits considérés.

## 6.2 Prise en compte des 12 ADCP du site de Génissiat (GE)

La même démarche est suivie pour le calcul des incertitudes en s'appuyant sur les résultats de la comparaison des 12 équipements mis en œuvre simultanément sur le site

<sup>15</sup> La valeur de référence est construite à partir des résultats expérimentaux de la campagne de comparaison pour le traitement statistique, après élimination des valeurs aberrantes.

de Génissiat (GE). Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants (**Tableau 11** à **Tableau 13**).

Incertitude d'un ADCP sur la base de 4 transects consécutifs (normes 5725-2 et 21748) :

	13/10/2010			14/10/2010		
	Débit Q0	Débit Q1	Débit Q2	Débit q0	Débit q1	Débit q2
Débit (m <sup>3</sup> /s)	222	336	440	116	226	331
Uc (k=2)	7.9%	8.7%	8.4%	12.0%	8.8%	8.4%

**Tableau 11. Incertitude d'une mesure de débit réalisé par un ADCP sur un ensemble de 4 transects consécutifs selon le protocole de mesure de Génissiat 2010 – prise en compte des 12 ADCP du groupe GE**

En réduisant les données au site de Génissiat, l'incertitude élargie (k=2) du débit d'un ADCP (moyenne de 4 transects consécutifs) dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de Génissiat des 13 et 14 octobre 2010 est de l'ordre de 8% à 12% selon les débits considérés.

Incertitude sur les paliers de débit (norme 13528) :

	Débit ADCP (m <sup>3</sup> /s)	Q ADCP ref (m <sup>3</sup> /s)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (m <sup>3</sup> /s ; k=2)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (% ; k=2)
Q0	220	221	6.64	3.0%
Q1	336	339	7.26	2.1%
Q2	441	441	13.17	3.0%
q0	116	116	4.61	4.0%
q1	224	228	5.13	2.3%
q2	331	332	9.44	2.8%

**Tableau 12. Incertitude sur les paliers de débit réalisés par les 12 ADCP du groupe GE**

L'incertitude sur les paliers de débit mesurés par les 12 ADCP du groupe GE dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de Génissiat des 13 et 14 octobre 2010 est d'en moyenne 2.9%. Elle est comprise entre 2% et 4% selon les paliers de débit considérés.

Incertitude sur les différences de débit (norme 13528) :

	Débit ADCP (m <sup>3</sup> /s)	Q ADCP ref (m <sup>3</sup> /s)	C hauteur de chute (m <sup>3</sup> /s)	Q ADCP corrigé (m <sup>3</sup> /s)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (m <sup>3</sup> /s ; k=2)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (% ; k=2)
G1	116	115	1.89	117	5.11	4.5%
G4	105	105	3.32	109	4.69	4.4%
G6	108	110	0.93	111	1.82	1.7%
G2	108	109	1.84	110	3.71	3.4%

**Tableau 13. Incertitude sur les différences de débit obtenues par les mesures des 12 ADCP du groupe GE**

L'incertitude sur les différences de débit obtenues par les mesures des 12 ADCP du groupe de GE dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de Génissiat des 13 et 14 octobre 2010 est d'en moyenne 3.5%. Elle est comprise entre 2% et 5% selon les débits considérés.

### 6.3 Prise en compte des 14 ADCP du site de Pylimont (PY)

La même démarche est suivie pour le calcul des incertitudes en s'appuyant sur les résultats de la comparaison des 14 équipements mis en œuvre simultanément sur le site de Pylimont (PY). Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants (**Tableau 14** à **Tableau 16**).

Incertitude d'un ADCP sur la base de 4 transects consécutifs (normes 5725-2 et 21748) :

	13/10/2010			14/10/2010		
	Débit Q0	Débit Q1	Débit Q2	Débit q0	Débit q1	Débit q2
Débit (m <sup>3</sup> /s)	222	336	437	119	230	335
Uc (k=2)	6.6%	5.1%	4.2%	4.4%	5.4%	4.2%

**Tableau 14. Incertitude d'une mesure de débit réalisé par un ADCP sur un ensemble de 4 transects consécutifs selon le protocole de mesure de Génissiat 2010 – prise en compte des 14 ADCP du groupe PY**

En réduisant les données au site de Pylimont, l'incertitude élargie (k=2) du débit d'un ADCP (moyenne de 4 transects consécutifs) dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de Génissiat des 13 et 14 octobre 2010 est de l'ordre de 4% à 6% selon les débits considérés.

Incertitude sur les paliers de débit (norme 13528) :

	Débit ADCP (m <sup>3</sup> /s)	Q ADCP ref (m <sup>3</sup> /s)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (m <sup>3</sup> /s ; k=2)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (% ; k=2)
Q0	221	224	2.14	1.0%
Q1	335	336	4.13	1.2%
Q2	437	438	2.75	0.6%
q0	119	119	1.50	1.3%
q1	229	230	4.08	1.8%
q2	335	336	4.44	1.3%

**Tableau 15. Incertitude sur les paliers de débit réalisés par les 14 ADCP du groupe PY**

L'incertitude sur les paliers de débit mesurés par les 14 ADCP du groupe PY dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de Génissiat des 13 et 14 octobre 2010 est d'en moyenne 1.2%. Elle est comprise entre 0,5% et 2% selon les paliers de débit considérés.

Incertitude sur les différences de débit (norme 13528) :

	Débit ADCP (m <sup>3</sup> /s)	Q ADCP ref (m <sup>3</sup> /s)	C hauteur de chute (m <sup>3</sup> /s)	Q ADCP corrigé (m <sup>3</sup> /s)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (m <sup>3</sup> /s ; k=2)	U(Q <sub>ADCP</sub> ) (% ; k=2)
G1	113	112	1.89	114	3.94	3.5%
G4	102	103	3.32	106	3.17	3.1%
G6	110	110	0.93	111	3.19	2.9%
G2	105	106	1.84	108	2.40	2.3%

**Tableau 16. Incertitude sur les différences de débit obtenues par les mesures des 14 ADCP du groupe PY**

L'incertitude sur les différences de débit obtenues par les mesures des 14 ADCP du groupe de PY dans les conditions de mesure de l'intercomparaison de Génissiat des 13 et 14 octobre 2010 est d'en moyenne 2.9%. Elle est comprise entre 2% et 4% selon les débits considérés.

#### **6.4 Analyse complémentaire : sources d'erreurs**

Une analyse de sensibilité aux différents paramètres utilisateur a été réalisée suite à l'intercomparaison.

L'erreur maximale liée aux paramètres pour 1 équipe serait décomposée comme suit :

- enfoncement ( $\Delta=4\text{cm}$ ) :  $\sim 1\%$  sur le débit total ;
- forme des berges :  $\sim 0.5\%$  sur le débit total ;
- distance aux berges ( $\Delta=1\text{m}$ ) :  $\sim 0.5\%$  sur le débit total.

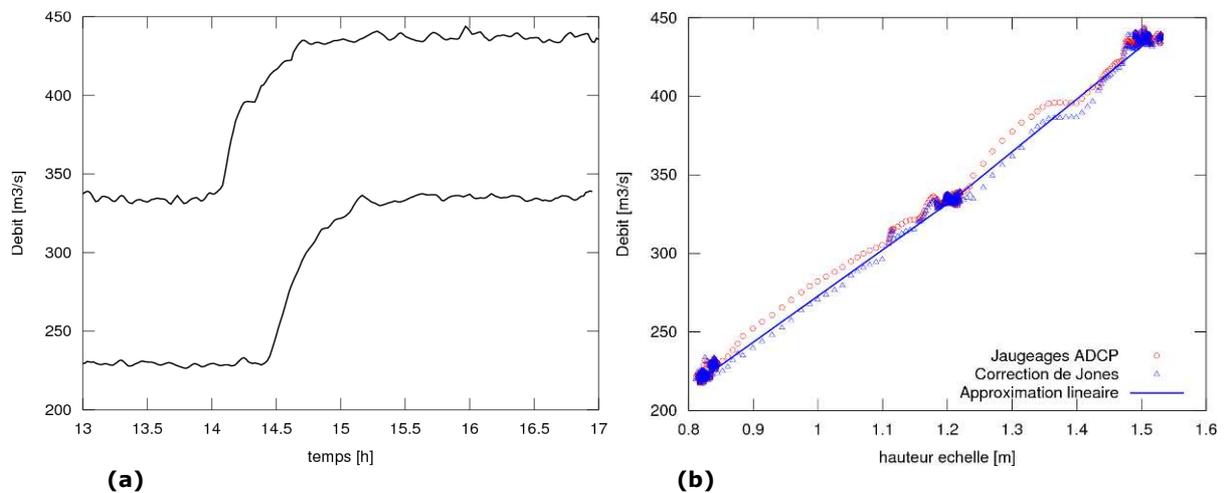
A noter que l'utilisation de la loi d'extrapolation constante (top) a une influence d'environ 1% sur le débit total.

Ces résultats ont également été observés par l'équipe d'Hydro-Québec (note technique HQC, 2010).

## 7. Analyse complémentaire : analyse de la relation hauteur-débit en régime transitoire (effet d'hystérésis)

Les débits instantanés mesurés en continu par les ADCP du groupe de Pymont permettent de mettre en évidence l'effet d'hystérésis dû au régime hydraulique transitoire entre les deux paliers de débit stable des 13 et 14/10/2010 après-midi. Cet effet se traduit par un écart du débit réel mesuré  $Q_m$  au débit  $Q_{ref}$  qui prévaudrait, pour la même hauteur d'eau, dans les conditions hydrauliques de référence (régime permanent et contrôle hydraulique normal). Le débit  $Q_{ref}$  correspond à la relation hauteur-débit de référence, c'est-à-dire à la courbe de tarage du site (Surjoux). Dans le cas d'une brusque augmentation de débit, comme ce fut le cas durant l'intercomparaison,  $Q_m$  est supérieur à  $Q_{ref}$ . Dans le cas opposé, c'est l'inverse. Cela est dû à la propagation plus rapide de l'onde de vitesse (et donc de débit) par rapport à l'onde de pression (et donc de niveau) dans le cas d'un régime hydraulique transitoire.

Cet effet d'hystérésis, ou de courbe hauteur-débit en forme de "raquette", est bien connu mais difficile à mettre en évidence lors des crues sur les cours d'eau naturels. Dans le cas de l'intercomparaison Génissiat 2010, les débits individuels (transects durant chacun  $\sim 2$  min) de 12 à 14 ADCP déployés simultanément sont disponibles au site aval de Pymont. Pour chaque ADCP, ces débits, considérés instantanés et affectés au temps central de la période de mesure, sont interpolés toutes les 1 min. L'hydrogramme moyen pour les 13 et 14/10/2010 après-midi est présenté Figure 19(a), chaque débit instantané étant la moyenne de 12 à 14 valeurs chaque minute.



**Figure 19. Analyse des débits en régime hydraulique transitoire : (a) Débits ADCP interpolés toutes les 1 min les 13 et 14/10/2010 après-midi ; (b) Relation hauteur-débit obtenue avec ces débits ADCP bruts et corrigés avec la formule de Jones (1916), avec interpolation linéaire entre les points (h, Q) correspondant aux régimes permanents**

Dans ce cas, deux sources d'erreur qui occultent souvent l'erreur d'hystérésis sont minimisées : l'erreur de mesure du débit (existant en régime permanent) et l'erreur due à la variation de débit en cours de mesure. Cette dernière erreur est indépendante de l'effet d'hystérésis, puisqu'il s'agit de l'intégration temporelle d'un débit variable entre le début et la fin du jaugeage. Cette erreur, potentiellement importante dans le cas de techniques de jaugeage lentes (moulinets) est réduite dans le cas de traversées ADCP de 2 minutes environ. Une méthode simple pour évaluer l'incertitude correspondante consiste à utiliser comme erreur maximale la variation de débit  $|Q(h_1) - Q(h_2)|$  donnée par la courbe de tarage pour les hauteurs d'eau en début et fin de jaugeage. En supposant une loi de distribution rectangulaire, l'incertitude type vaut donc :

$$u = |Q(h_1) - Q(h_2)| / (2\sqrt{3}) \quad (1)$$

Comme les débits instantanés sont issus de 12 à 14 mesures ADCP simultanées, l'incertitude due à la mesure est bien plus réduite que celle d'un transect ADCP individuel, et plutôt équivalente à un jaugeage constitué de la moyenne de 12 transects répétés en régime permanent, soit typiquement 4%.

La Figure 19**(b)** présente les mêmes débits instantanés (cercles rouges) que la Figure 19**(a)**, mais tracés en fonction du niveau d'eau enregistré à la station Surjoux (DREAL RA). Les appareils et la station étant synchronisés à quelques secondes près avec l'horloge parlante, les déphasages temporels sont jugés non significatifs<sup>16</sup>. Les paliers de débit stable produisent trois accumulations qui correspondent à trois points de la relation hauteur-débit de référence (courbe de tarage). Pendant les deux transitions entre paliers, les débits instantanés mesurés (cercles rouges) présentent des sur-débits par rapport à l'interpolation linéaire (ligne bleue) utilisée pour approcher la courbe de tarage. Ces écarts à la courbe sont le plus souvent supérieurs à la variation temporelle de débit indiquée par la courbe. Ils sont donc attribués à l'effet transitoire (hystérésis) lié aux montées de débit brusques entre paliers de débit.

Une méthode classique pour corriger les débits instantanés des effets transitoires est fournie par la formule de Jones (1916), également reprise pour les courbes de tarage par Rantz (1982), et Schmidt (2002) notamment :

$$Q_{ref} = Q_m \left[ 1 + \frac{1}{S_{ref} C} \frac{dh}{dt} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

avec :

- $S_{ref}$  pente de l'écoulement en régime de référence (ici tirée du modèle Mage 1D, proche de la pente moyenne du fond)
- $C$  célérité de l'onde de crue,  $C \sim 1/B \cdot dQ/dh$  avec  $B$  la largeur du chenal et  $dQ/dh$  estimé à partir de la courbe de tarage
- $dh/dt$  la variation temporelle de hauteur d'eau

Les débits ainsi corrigés (Figure 19**(b)** triangles bleus) montrent que cette correction simple donne une bonne évaluation des écarts à la relation hauteur-débit de référence. Ainsi, la formule de Jones (1916) semble bien adaptée pour estimer simplement l'ordre de grandeur de l'erreur due à l'hystérésis, à la fois sur les jaugeages et sur les débits instantanés issus de la courbe de tarage.

La modélisation 1D (code de simulation MAGE) confirme que les écarts observés Figure 19**(b)** s'expliquent bien par un effet d'hystérésis. La Figure 20 présente les relations hauteur-débit simulées en régime variable (variations de débit des 13 et 14 octobre après-midis) et en régime permanent (augmentation linéaire du débit de 13h à 17h sur une gamme équivalente). Les tendances interprétées sur les mesures sont retrouvées (Figure 19**(b)**). Cet effet d'hystérésis, dû à l'avance du signal de vitesse sur le signal de niveau, est également visible sur les trajectoires hauteur/vitesse simulées (Figure 20), qui présentent aussi des sauts incurvés entre paliers.

<sup>16</sup> Les mêmes données tracées en fonction des niveaux d'eau enregistrés par les limnimètres provisoires CNR A et B, également synchronisés à quelques secondes près avec l'horloge parlante, produisent les mêmes résultats.

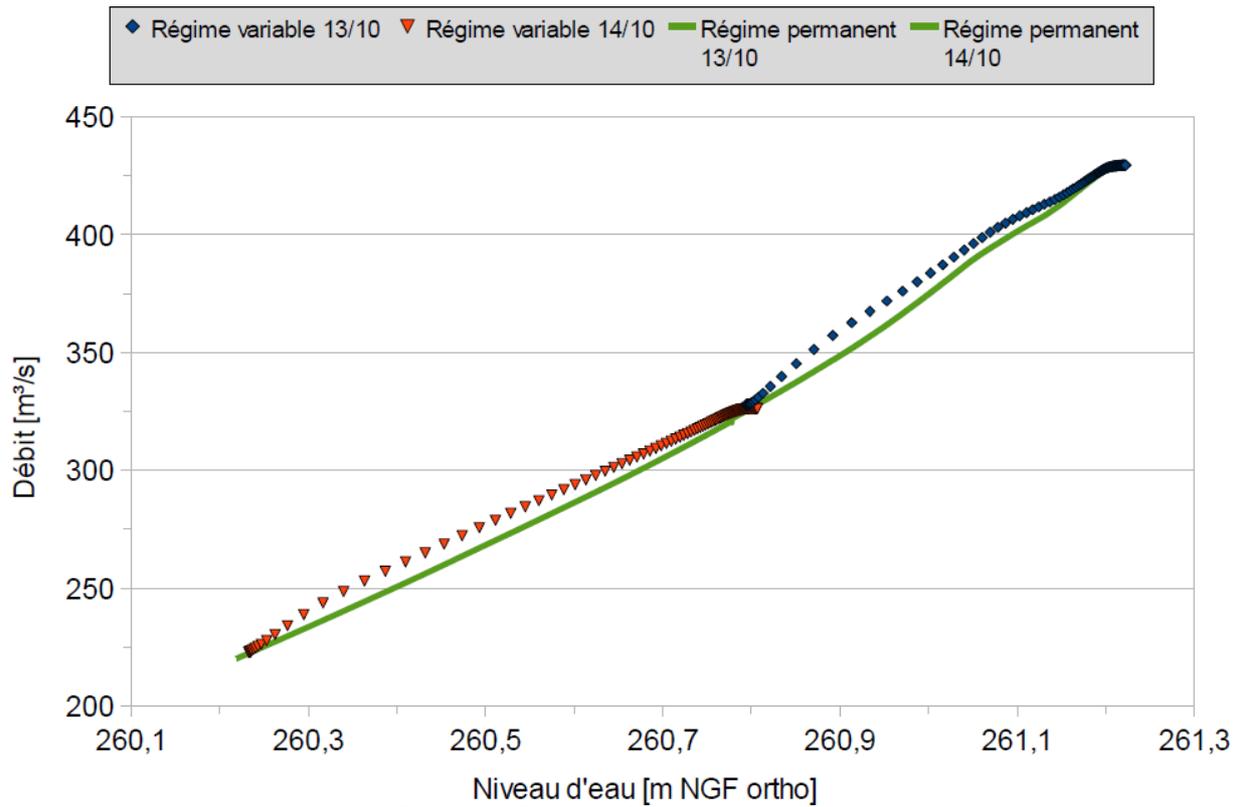


Figure 20. Relations hauteur-débit simulées (modèle 1D MAGE) au pas de temps 1 minute pendant les paliers des 13 et 14/10/2010 après-midis pour le régime variable réel, et pour le régime permanent à débit équivalent

## 8. Conclusion et perspectives

Cette première intercomparaison ADCP sur le site de Génissiat a fourni des résultats intéressants sur les incertitudes associées aux débits mesurés par ADCP, notamment en appliquant des méthodes normalisées d'essais interlaboratoires (normes ISO 5725-2, ISO 21748 et ISO 13528), qui pourront être réutilisées. Elle a également permis de mieux connaître le site, en vue de futures intercomparaisons. Les principales conclusions sont les suivantes.

La modélisation hydraulique 1D, en accord avec les mesures, indique un délai de 1h30 entre le barrage-usine et le site aval PY pour assurer la propagation et la stabilisation des paliers de débit à moins de 1%.

Les mesures de l'intercomparaison et le modèle 1D ont également permis de mettre en évidence l'hystérésis de la relation hauteur-débit de la station de Pymont, due aux effets transitoires lors des transitions entre paliers de débit stable.

Des erreurs de paramétrage sur le système US en conduite, mises en évidence suite à cette intercomparaison, ont été corrigées indépendamment des mesures ADCP, avec une incertitude finale estimée inférieure à 3%.

Une dizaine de minutes de mesure ADCP (2 à 5 transects) suffit pour converger à moins de 2% de la moyenne du groupe. Deux fois plus de temps, soit une vingtaine de minutes, est nécessaire pour passer en-dessous de 1%.

De manière générale, les débits moyens obtenus par ADCP sont en bon accord entre eux (écarts inférieurs à 5%). Des écarts systématiques plus importants de l'ordre de 10% ont été observés pour certaines sections du site amont GE. Ils sont dus à des conditions de mesure locales moins favorables, et non aux instruments, montages et équipes. Ce résultat confirme l'importance du choix de la section de mesure, selon les bonnes pratiques habituelles pour le jaugeage par exploration du champ des vitesses.

Pour chaque palier, l'écart entre le débit US et le débit moyen sur l'ensemble des appareils de chaque site est d'environ 2%.

L'incertitude élargie ( $k=2$ , niveau de confiance 95%) obtenue sur les débits ADCP, dans les conditions de mesure de l'intercomparaison, est annoncée comme suit (**Tableau 18**) :

Ensemble d'ADCP considérés	Débit ADCP individuel (moyenne de 4 transects)	Débit moyen par palier	Différences de débit entre paliers
26 ADCP : GE + PY	7-10%	1-2%	2-3%
12 ADCP : GE	8-12%	2-4%	2-5%
14 ADCP : PY	4-6%	0,5-2%	2-4%

**Tableau 17. Niveaux d'incertitude estimés sur les débits ADCP selon les méthodes normalisées d'essais interlaboratoires (normes ISO 5725-2, ISO 21748 et ISO 13528)**

Cette intercomparaison a permis de mieux connaître les sites en aval du barrage de Génissiat. Ainsi, si une seconde campagne de mesures devait être réalisée, les temps de propagation et de stabilisation du débit seraient connus (pour les gammes de vitesse déjà mesurées) et les temps de mesures seraient écourtés. De plus, la section retenue serait celle de PY (au vu de l'analyse statistique des incertitudes de mesure). Deux

équipes pourraient toutefois être positionnées à l'aval immédiat de l'usine (GE) d'une part pour vérifier le temps de propagation entre les sites GE et PY, d'autre part pour comparer les débits avec PY en cas d'averse notamment (apports intermédiaires, ruissellement). Outre la mesure de débit donnée par le système ultrasons en conduites, il serait utile de déployer d'autres techniques de jaugeage indépendantes (moulinet à Bognes, dilution Rhodamine WT, LSPIV, radar...) pour préciser la justesse des mesures ADCP.

Cette deuxième intercomparaison ADCP inter-organismes (en France) a été appréciée par l'ensemble des participants, qui ont pu bénéficier d'échanges techniques avec d'autres hydromètres parfois éloignés géographiquement (Hydro-Québec), dans une ambiance très conviviale. Les échanges techniques ont souvent été jugés trop courts à cause des longues plages de mesure (près de 5 000 traversées ADCP ont été réalisées au total). Des contraintes particulières étaient liées à cette première intercomparaison sur ce site. Le retour d'expérience résumé dans ce rapport (logistique, propagation et stabilisation des débits, hydraulicité des sections de mesure) permettra d'optimiser le planning d'éventuelles futures intercomparaisons.

Sur la base de cette première édition, une seconde intercomparaison ADCP sur le Rhône en aval du barrage de Génissiat est envisagée pour 2012. Si le Groupe Doppler confirme l'intérêt collectif d'une telle intercomparaison, il serait bon de la programmer dès 2011, afin de permettre la participation du plus grand nombre possible d'équipes. En particulier, plusieurs organismes étrangers ont manifesté leur intérêt à participer (Hydro-Québec, USGS, Environment UK).

## 9. Références

Everard, N. (2007) ADCP Regatta River Severn at Bewdley 21st August 2007, UK Environment Agency, rapport technique, 12 p.

Everard, N. (2009) ADCP Regatta 2009 River Severn at Bewdley 4th June 2009, UK Environment Agency, rapport technique, 30 p.

Iredale, R. (2006) A proposed method of assessing the comparative performance of ADCP's. Results from the Environment Agency "ADCP Regatta", River Severn, Bewdley, conférence RDI "ADCPs in Action", Cannes, France.

B.E. Jones. A method of correcting river discharge for a changing stage. Water Supply Paper 375 375, 117-130., U.S. Geological Survey, 1916.

J. Le Coz, G. Saysset, G. Pierrefeu (oct. 2009), Régate ADCP 1 – Vézère au pont de Garavet (Allasac, Corrèze), rapport d'essais.

Hydrovision (février 2011), Acoustic Flow Meter Génissiat, Recalculation of Discharge, Penstock G1, G2, G4 and G6.

Norme ISO 5725-2 (décembre 1994), Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure – Partie 2 : Méthode de base pour la détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure normalisée.

Norme FD ISO/TS 21748 (juin 2004), Lignes directrices relatives à l'utilisation d'estimations de la répétabilité, de la reproductibilité et de la justesse dans l'évaluation de l'incertitude de mesure.

Norme ISO 13528 (décembre 2005), Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaisons interlaboratoires.

A. Olivier, G. Pierrefeu, M. Scotti, and Blanquart B. Incertitudes sur les débits issus des courbes de tarage (uncertainty of discharge measured with relating curve between level and discharge). In SHF conference, Hydrological measurements and uncertainties, 2008.

S.E. Rantz. Measurement and computation of streamflow, Volume 2, Computation of discharge, volume Water-Supply Paper 2175. U. S. Geological Survey, Washington, 1982.

A.R. Schmidt. Analysis of stage-discharge relations for open-channel flows and their associated uncertainties. PhD thesis, University of Illinois, Urbana-Champaign, 2002

B. Terek, G. Bušelić, N. Nimac, S. Bančić, R. Žalac, I. Lukac (2008) Interkomparacijsko mjerenje protoka akustičkim Doppler (ADCP) protokomjerima, Sisak, Hrvatska Rujan 2008, DHMZ Zagreb, rapport technique.

## Annexe 1 : Participants et constitution des équipes

Régate ADCP Génissiat		12-15 octobre 2010					
Réponses participants		Participants	ADCP	Bateaux		Nb.	Modèle
03/11/10		53	31			14	
Trigramme	Equipe	Nombre de participants	ADCP		Bateaux		
CEM	Cemagref Lyon	5	2	1RG12, 1SP4m	2	Zodiac 50cv, barque 50cv	Guillaume DRAMAIS, Mickaël LAGOUY, Xavier PEYRARD, Marina LAUNAY, Jérôme LE COZ
CNR	CNR	10	6	2 RG6, 2RG12, 1BB6, 1SP6m	4	Neptune 115cv Aigoual 90cv Zodiac 25cv	Thierry PANTEL, Serge FRANCON, Xavier Martin, Olivier TISSEUR, Jérôme LAURENT, Nicolas JANIN, Maxence ULLIAC, Thomas HUCKEL, Thierry LACHENAL, Gilles PIERREFEU
BRG	DREAL Bourgogne	3	3	2 RG12 + 1 autre éventuellement	1	Zodiac 25cv	Daniel BRIGAND, Michel POINSOT, Gilles POILLOTTE
CTR	DREAL Centre	5	2	1RG12, 1 RR	1	Zodiac 50cv	Pascal GUICHON, Raphaël JOUSSET, Jean-Paul FILERE, Luc BERION, François FOURRIER
PDL	DREAL PDL Nantes	3	2	1 RG12, 1 SP6m	1	Alu 50cv	Michel LEBEE, Yves AUDUSSEAU, Gérard GEFFRAY
RAL	DREAL Rhône-Alpes	3	1	1 RG12	1	Zodiac 10cv	Patrick DUBY, Yoan LONGEFAY, Didier TROUSSEL
IDF	DRIEE Ile-de-France	2	2	1RG12, 1RG6	1	Zeppelin 80cv	Marc VALENTE, Christophe DYCKE
BRV	EDF-DTG Brive	3	2	1 SP, 1 RG?	1	Zodiac 40cv	Alain GENESTE, Joel MIQUEL, Hugues PERUGINI
GRE	EDF-DTG Grenoble	2	3	1 RG12, 1RG6, 1BB6	1	Zodiac 30 Cv	Damien SEVREZ, Frédéric GRAS
TLS	EDF-DTG Toulouse	4	2	1RG6, 1RG12	0	-	F. BERALS, D. SCOPEL, Fabien HENAULT, Alexandre HAUET
HQC	HydroQuébec IREQ	3	4	M9, RR, SP6m, RG12	0	-	Yves CHOQUETTE, Catherine GUAY, Benoit LAPOINTE
RDI	RDI Teledyne	2	2	1 RR, 1 SP6m. Compas	0	-	Loïc MICHEL, Kevin GRANGIER
STK	SONTEK	2	1	1 M9	0	-	Lee PIMBLE, Ludovic POTTIER
ATL	SPC Littoral Atlantique	4	3	2 SP6m, 1 RG12	1	Zodiac 60cv	Patrick RICHARD, Frédéric MARTIN, Jérôme MARCHESSEAU, Jean-Michel DARGESEN
	Altran pour CNR	1	0	-	0	-	Karine POBANZ
		1	0	-	0	-	Gérard SAYSSET
	Coordination usine / bateaux Génissiat						Gilles PIERREFEU
	Coordination usine / bateaux Pyrimont						Thierry PANTEL
	Coordination / PC données						Jérôme LE COZ, Karine POBANZ

Intercomparaison ADCP Génissiat 2010 – Groupe Doppler  
Version définitive du 07/04/2011

Intercomparaison ADCP Génissiat 2010  
Equipes par bateau

version du 06/04/11

Bateaux						ADCP1					ADCP2				
Organismes	Site	Profils	Type	Marinier	Aide-marinier	Organismes	Type	Support	nom fichier mesure	Opérateurs	Organismes	Type	Support	nom fichier mesure	Opérateurs
CNR	Navette		DR-B	T.Lachenal	-	-	-	-	-	G. Pierrefeu	-	-	-	-	K. Pobanz
CNR	Aval Bge GE	GE01	Aigoual 90cv	S. Françon	JP Filère	CNR	RG12	Fixe	Sn_GE01_RG12_CNR_	N. Janin	CNR	RG6	Fixe	Sn_GE01_RG6_CNR_	T. Hückel
CNR	Aval Bge GE	GE02	Neptune 115cv	J. Laurent	M. Ulliac	CNR	RG12	Fixe	Sn_GE02_RG12_CNR_	X. Martin	CNR	RG6	Fixe	Sn_GE02_RG6_CNR_	O. Tisseur
DREAL PDL Nantes	Aval Bge GE	GE03	Alu 50cv	M. Lebee	Y. Audusseau	PDL	RG12	Fixe	Sn_GE03_RG12_PDL_	G. Geffray	RDI	RR6	Cata	Sn_GE03_RR6_RDI_	L. Michel
DREAL Centre	Aval Bge GE	GE04	Zodiac 50cv	P. Guichon	L. Berion	CTR	RG12	Fixe	Sn_GE04_RG12_CTR_	R. Jousset	CTR	RR6	Flotteur	Sn_GE04_RR6_CTR_	F. Fourrier
SPC Littoral Atlantique	Aval Bge GE	GE05	Zodiac 60cv	P. Richard	J. Marchesseau	ATL	RG12	Fixe	Sn_GE05_RG12_ATL_	F. Martin	TLS	RG6	Cata	Sn_GE05_RG6_TLS_	D. Scopel
EDF-DTG Grenoble	Aval Bge GE	GE08	Zodiac 30cv	F. Gras	A. Hauet	GRE	RG12	Cata	Sn_GE08_RG12_GRE_	D. Sevez	GRE	BB6	Fixe	Sn_GE08_BB6_GRE_	A. Geneste
DRIEE Ile-de-France	Pyrimont	PY10	Zeppelin 80cv	C. Dycke	X. Peyrard	IDF	RG12	Fixe	Sn_PY10_RG12_IDF_	M. Valente	IDF	RG6	Bouée	Sn_PY10_RG6_IDF_	M. Poinot
DREAL Bourgogne	Pyrimont	PY12	Zodiac 25cv	G. Poillotte	-	BRG	RG12	Fixe	Sn_PY12_RG12_BRG_	D. Brigand	RDI	SP	Cata	Sn_PY12_SP_RDI_	K. Grangier
CNR	Pyrimont	PY13	Zodiac 25cv	Th.Pantel	G. SAYSSET	HQC	M9	Hydroboard	Sn_PY13_M9_HQC_	L. Pottier	GRE	SP	Riverboat	Sn_PY13_SP_GRE_	H. Perugini
Cemagref Lyon	Pyrimont	PY14	Barque 50cv	M. Lagouy	-	TLS	RG12	Cata	Sn_PY14_RG12_TLS_	F. Berals	HQC	SP	Cata HQC	Sn_PY14_SP_HQC_	C. Guay
DREAL Rhône-Alpes	Pyrimont	PY15	Zodiac 10cv	P. Duby	-	RAL	RG12	Fixe	Sn_PY15_RG12_RAL_	Y. Longefay	RAL	SP	Planche	Sn_PY15_SP_RAL_XXX_	D. Troussel
Cemagref Lyon	Pyrimont	PY16	Zeppelin 50cv	G. Dramais	JM. Dargegen	CEM	RG12	Planche	Sn_PY16_RG12_CEM_	M. Launay	HQC	RR6	Cata CNR, plaque HQC	Sn_PY16_RR6_HQC_	Y. Choquette
EDF-DTG Brive	Pyrimont	PY17	Zodiac 40cv	F. Henault	-	STK	M9	Cata	Sn_PY17_M9_STK_	L. Pimble	BRV	RG6	Cata	Sn_PY17_RG6_BRV_	J. Miquel

en rouge : n° de Série de mesure et de Profil (emplacement) à préciser

Inversion des équipes le 14/10/10 pm

GE01 <-> GE02  
GE03 <-> GE04  
GE05 <-> GE08

Séries de mesure (paliers)			
S0	14:00	16:00	12/10/10
S1	10:30	11:00	13/10/10
S2	12:45	15:30	13/10/10
S2bis	15:30	17:00	13/10/10
S3	10:30	11:00	14/10/10
S4	12:45	15:30	14/10/10
S4bis	15:30	17:00	14/10/10

## Annexe 2 : Photos des équipes de mesure

### Site de Génissiat (GE)

▲ Inversion des équipes le 14/10/10 pm : GE01 ↔ GE02, GE03 ↔ GE04, GE05 ↔ GE08

#### GE01\_Bateau CNR RG12\_CNR et RG6\_CNR



#### GE02\_Bateau CNR RG12\_CNR et RG6\_CNR



#### GE03\_Bateau PDL RG12\_PDL



#### RR6\_RDI



**GE04\_ Bateau CTR**  
RG12\_CTR



**RR6\_CTR**



**GE05\_ Bateau ATL**  
RG12\_ATL



**RG6\_TLS**



**GE08\_ Bateau GRE**  
RG12\_GRE



**BB6\_GRE**



Site de Pyrimont (PY)

**PY10**\_Bateau IDF  
RG12\_IDF



**RG6**\_IDF



**PY12**\_Bateau BRG  
RG12\_BRG



**SP**\_RDI



**PY13**\_Bateau CNR  
M9\_HQC



**SP**\_GRE



**PY14**\_Bateau CEM  
RG12\_TLS et SP\_HQC



**PY15**\_Bateau RAL  
RG12\_RAL



SP\_RAL



**PY16**\_Bateau CEM  
RG12\_CEM et RR6\_HQC



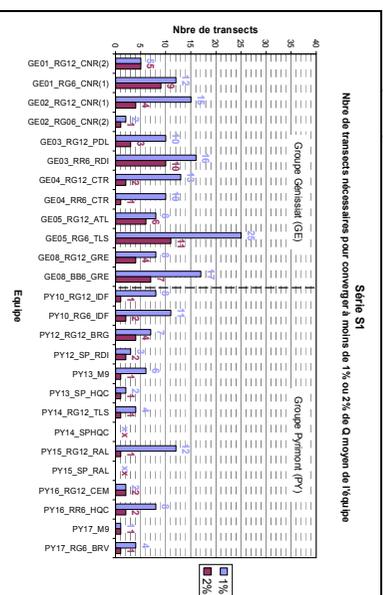
**PY17**\_Bateau BRV  
M9\_STK et RG6\_BRV



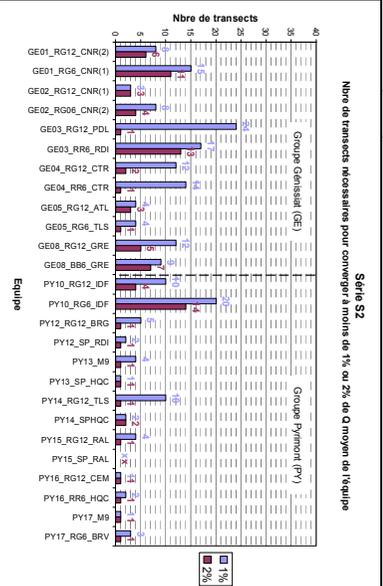
**Annexe 3 : Critères de convergence**

a/ Nombre de transects nécessaires pour converger à moins de 1% et 2% de la moyenne ADCP de l'équipe

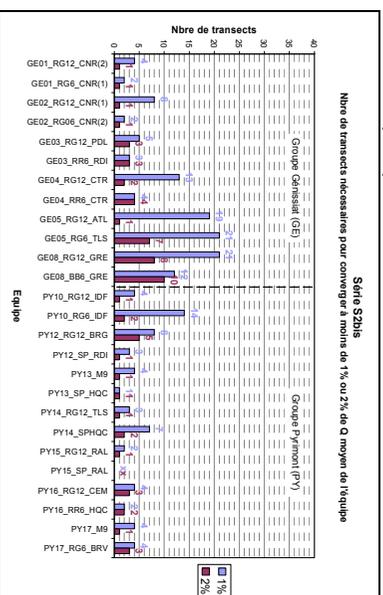
S1 13/10/10



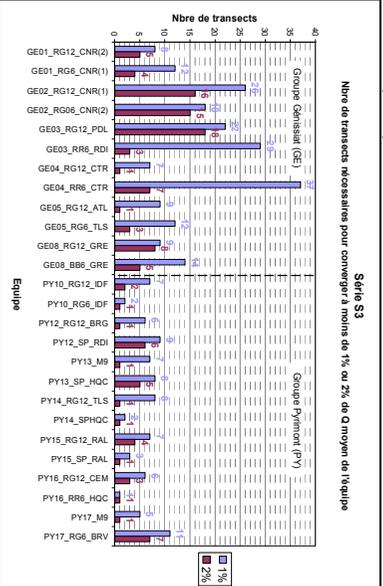
S2 13/10/10



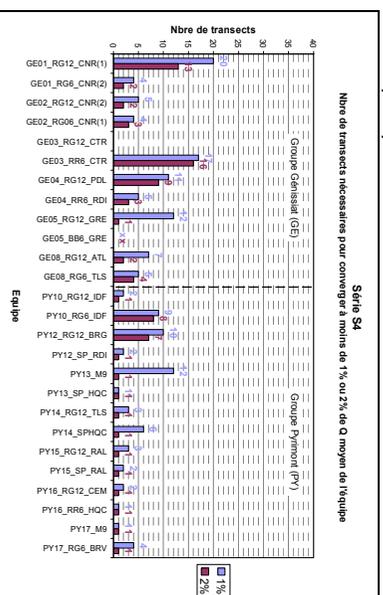
S2bis 13/10/10



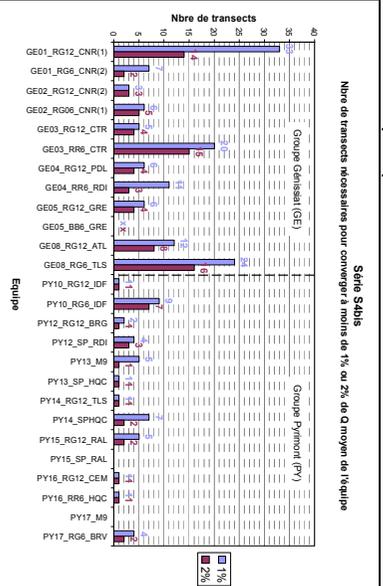
S3 14/10/10



S4 14/10/10

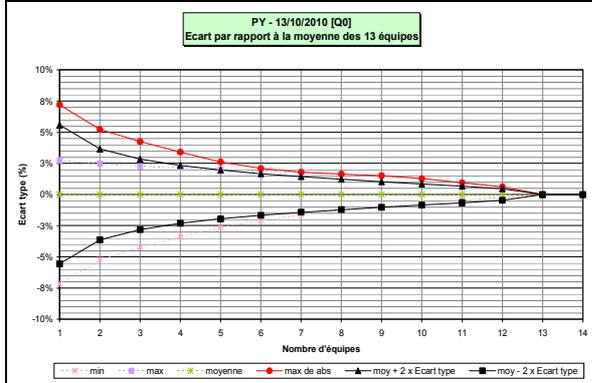


S4bis 14/10/10

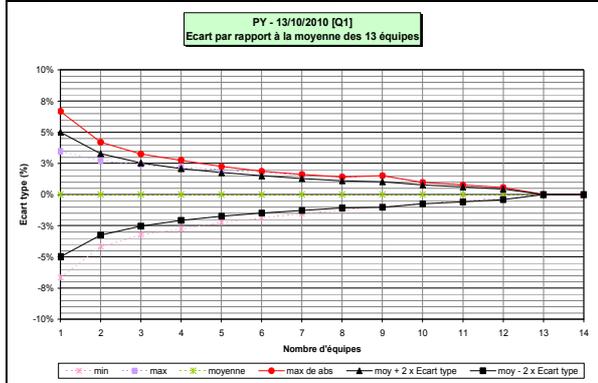


b/ Justification de nombre d'équipes – Site de Pymont (PY) uniquement  
- sur les paliers de débit

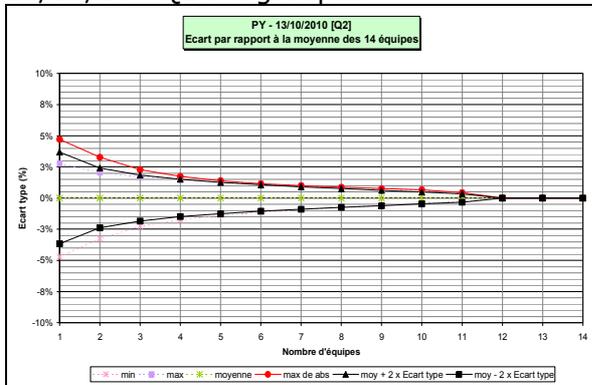
13/10/10 Q0 : 2 groupes



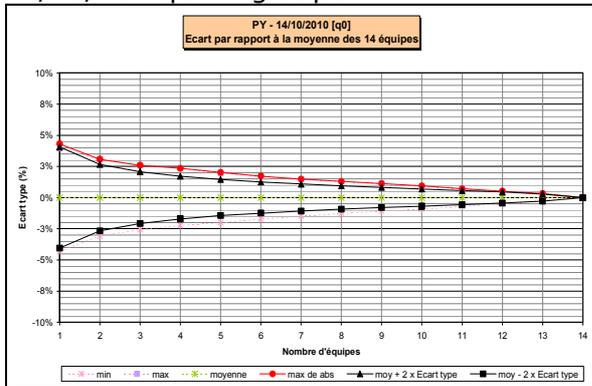
13/10/10 Q1 : 3 groupes



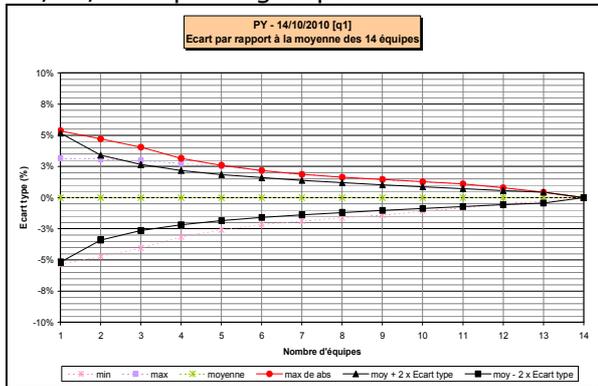
13/10/10 Q2 : 4 groupes



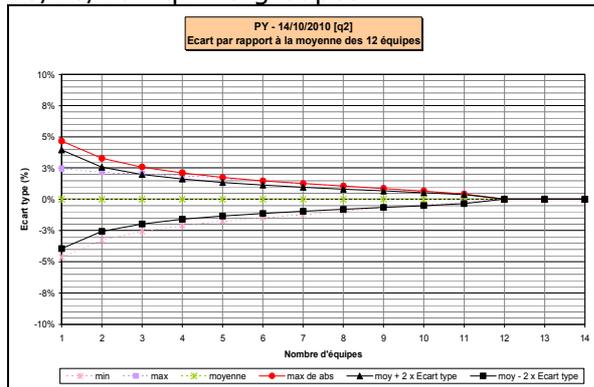
14/10/10 q0 : 1 groupe



14/10/10 q1 : 2 groupes

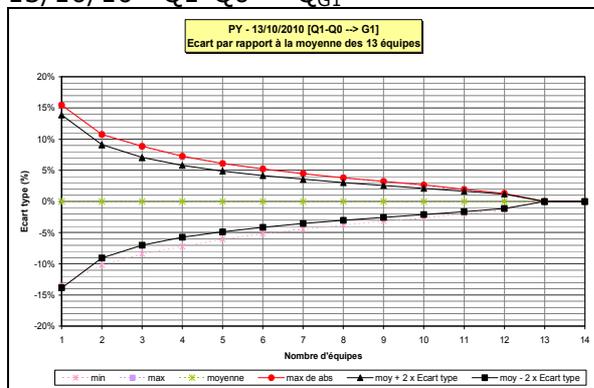


13/10/10 q2 : 3 groupes

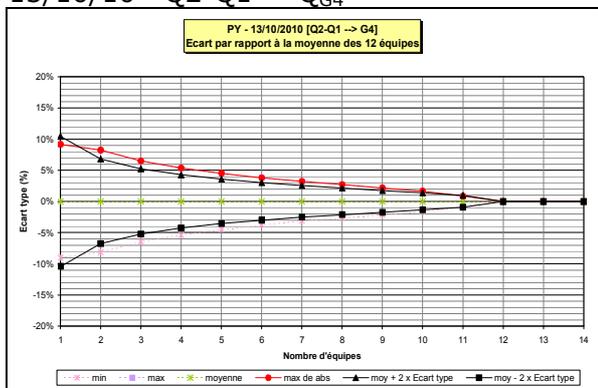


- sur la différence de débit

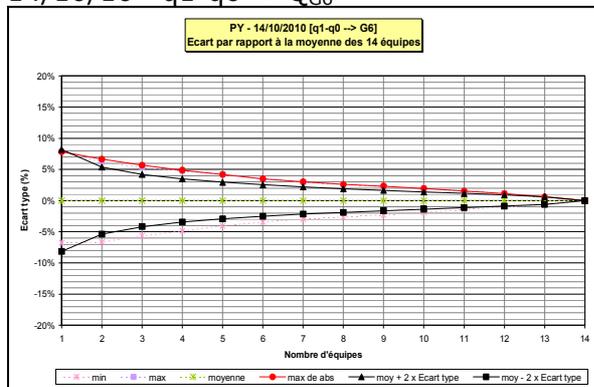
13/10/10 Q1-Q0 → Q<sub>G1</sub>



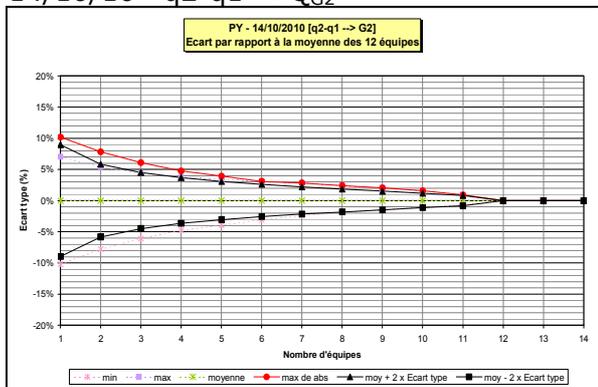
13/10/10 Q2-Q1 → Q<sub>G4</sub>



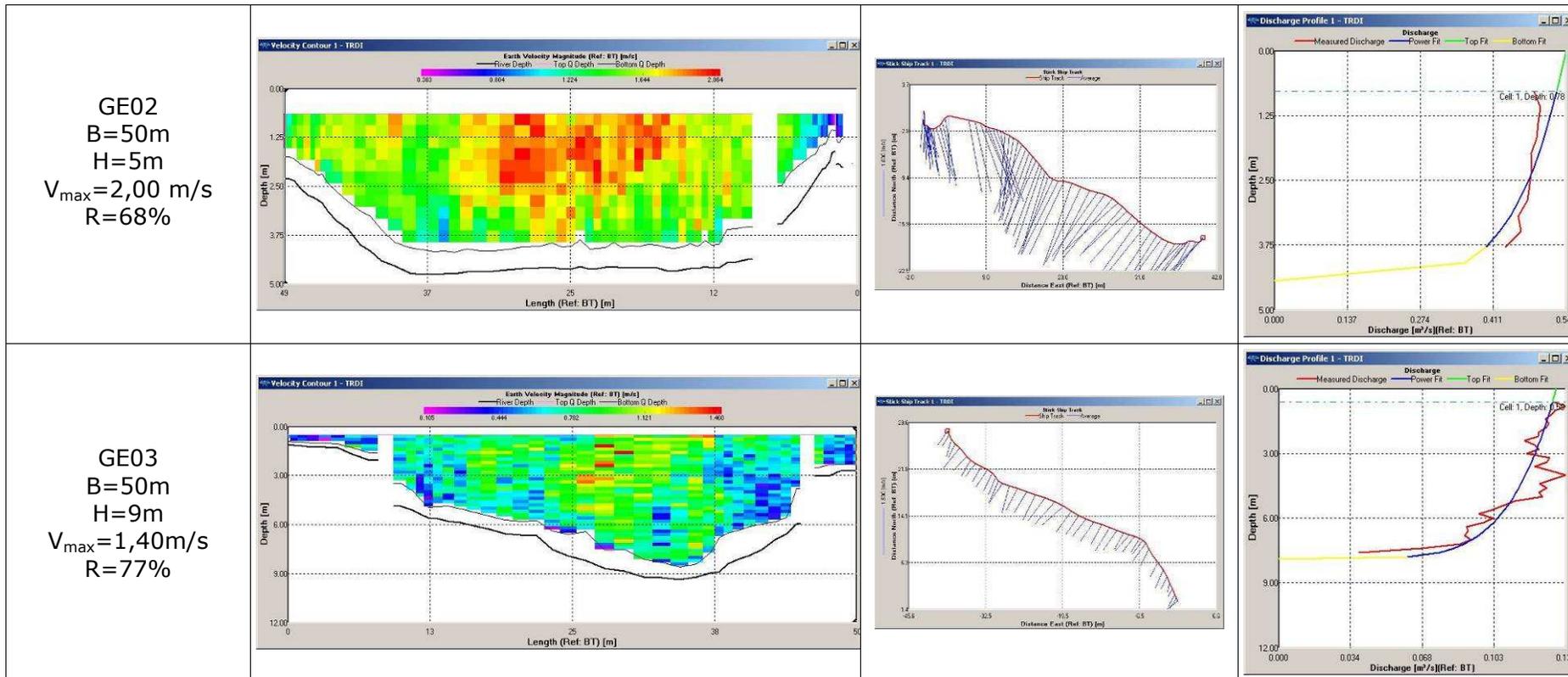
14/10/10 q1-q0 → Q<sub>G6</sub>



14/10/10 q2-q1 → Q<sub>G2</sub>

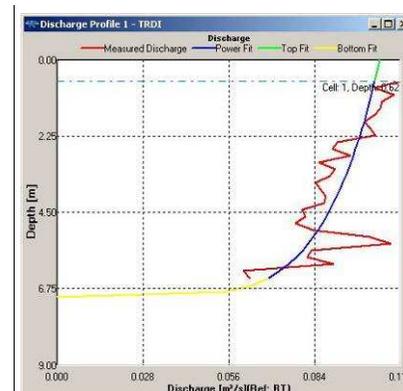
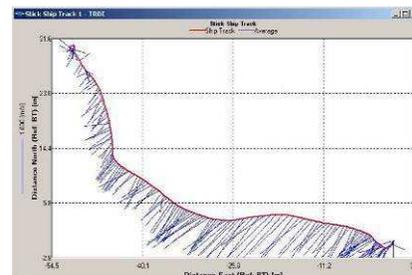
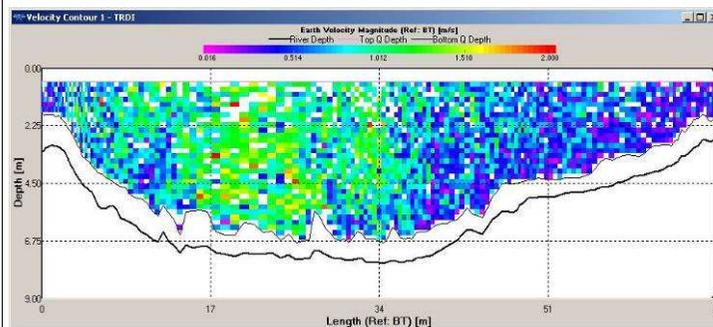


**Annexe 4 : Signatures de sections**

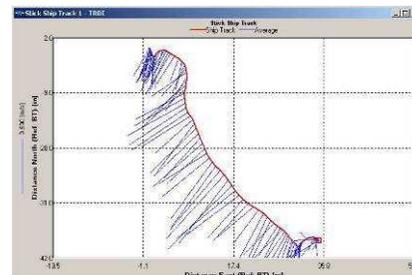
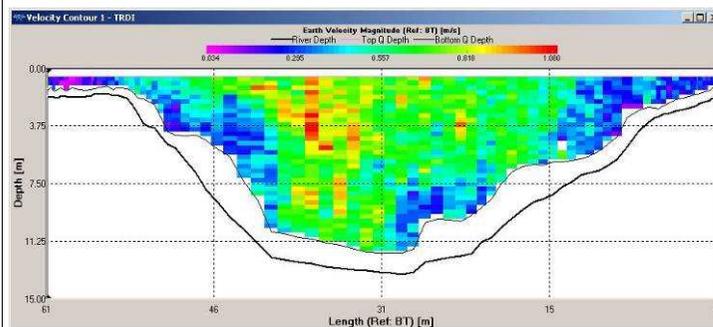


Intercomparaison ADCP Génissiat 2010 – Groupe Doppler  
Version définitive du 07/04/2011

GE05  
B=70m  
H=7m  
 $V_{max}=1,60\text{m/s}$   
R=74%



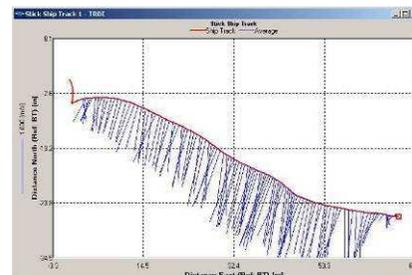
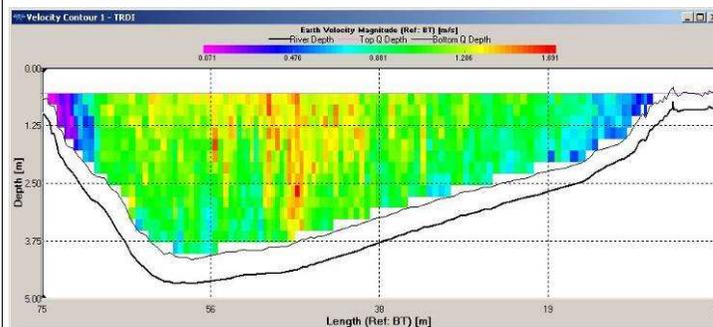
GE08  
B=60m  
H=13m  
 $V_{max}=1,00\text{m/s}$   
R=77%



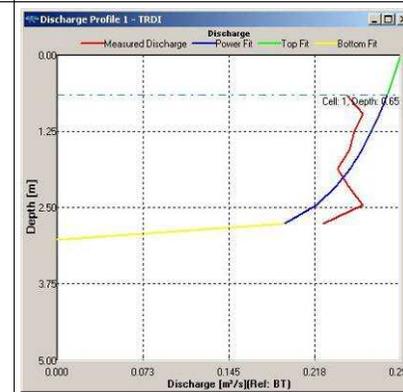
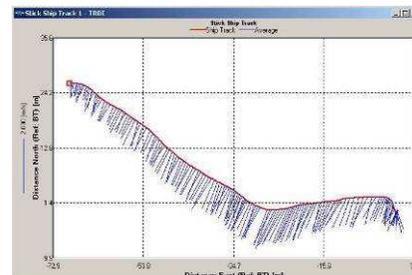
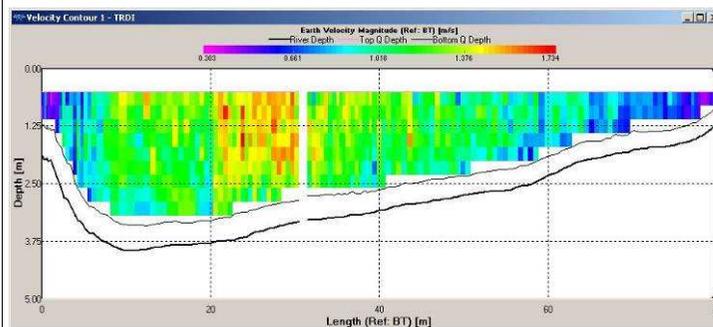
CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Intercomparaison ADCP Génissiat 2010 – Groupe Doppler  
Version définitive du 07/04/2011

PY10  
B=75m  
H=5m  
 $V_{max}=1,70\text{m/s}$   
R=69%



PY14  
B=80m  
H=4m  
 $V_{max}=1,70\text{m/s}$   
R=63%



Intercomparaison ADCP Génissiat 2010 – Groupe Doppler  
Version définitive du 07/04/2011

PY16  
B=80m  
H=3m  
 $V_{max}=1,70\text{m/s}$   
R=73%

