

Intercomparaison des courantomètres FLO-MATE 2000 de l'unité de recherche HBAN

Rédacteurs : C. Chaumont, A. Guérin

UR "Hydrosystèmes et bioprocédés", Cemagref, 1 Rue Pierre-Gilles de Gennes CS 10030 F-92761 Antony France.

1 Objet

L'unité HBAN utilise des courantomètres électromagnétiques pour mesurer des vitesses en cours d'eau et station d'épuration afin de déterminer des débits ou des taux de renouvellement. Dans le but d'estimer la dispersion et la justesse des courantomètres utilisés, dont la mise en service remonte pour certains à plus de 10 ans, un essai d'intercomparaison a été mené sur un canal hydraulique sachant qu'aucun matériel n'a été étalonné depuis leur achat.

L'UR HBAN dispose de 5 courantomètres FLO-MATE 2000 pour ses différentes équipes dont un acheté récemment (1 an) avec un certificat de calibration du constructeur (annexe).

2 Conditions expérimentales

2.1 Canal hydraulique

Le canal hydraulique utilisé pour simuler des vitesses (modèle physique FOCOL) est un canal rectangulaire en verre. Sa largeur et sa hauteur sont de 30cm pour une longueur de 4.8m. Son alimentation en eau est assurée par un réservoir à charge constante (env. +3.5m au dessus du canal).

Le débit est ajusté par vannage sur les 2 canalisations qui alimentent le canal, une en diamètre 50mm pour réguler des débits faibles, la seconde de diamètre 90mm permet de générer des débits plus élevés et les deux peuvent être utilisées conjointement. Sur ces 2 canalisations, 2 débitmètres électromagnétiques industriels de marque KROHNE modèle IFC 010 D permettent la lecture et l'enregistrement du débit délivré pour s'assurer de sa stabilité au cours de l'essai. La pente du canal est également réglable ce qui permet d'accentuer ou d'atténuer la vitesse de l'écoulement.

2.2 Courantomètres

Les 5 courantomètres électromagnétiques FLO-MATE 2000 fabriqué par la société MARSH-MC BIRNEY sont identifiés à partir de leur numéro de série (année de fabrication + numéro d'ordre) et de leur équipe d'appartenance :

- 2007149 : PHYLEAU
- 2006811 : EPURE
- 2000239 : HYDRECO
- 2005703 : ORGEVAL_neuf
- 2000197 : ORGEVAL_vieux

Les appareils achetés avant 2005 ont une résolution du centimètre/seconde (HYDRECO, ORGEVAL_vieux) au lieu du millimètre/seconde pour les 3 autres.

La précision annoncée par le fabricant pour les résolutions millimétriques est de +/- 2% de la mesure pour une gamme de [-0.15 à +2 m/s] +/- la stabilité du zéro (+1.5 cm/s). Pour les résolutions centimétriques la gamme de mesure passe à [-0.15 à +20 m/s] avec les mêmes caractéristiques de précision.

Le revendeur français COMETEC estime la périodicité d'étalonnage de la pleine échelle à 2 ans. Le courantomètre est comparé à un équipement neuf : si l'écart est supérieur à 2% de la mesure référence, il est envoyé au centre européen FLOW-TRONIC en Belgique.

Pour notre intercomparaison, on procède à un nettoyage au savon de la tête de mesure, puis un réglage du zéro est effectué par immersion dans un bac d'eau stagnante selon la procédure définie par le constructeur. La période d'intégration de la vitesse moyenne pour les futurs essais est réglée à 30 secondes.

2.3 Acquisition

Les données de débit sont acquises par une station CAMPBELL modèle CR10 via une boucle de courant 4/20 mA à la cadence de 10 secondes.

Les données de vitesse des courantomètres sont notées après lecture directe sur l'afficheur au bout de la période d'intégration de 30 secondes.

2.4 Protocole expérimental

Les 2 vannes sont réglées pour obtenir la vitesse désirée. Après réglage du débit, une période de 5 à 10 minutes d'attente est observée pour atteindre une bonne stabilité de l'écoulement.

Pour un débit donné, chaque tête de mesure a été successivement installée sur un statif fixe placé dans le dernier tiers de la longueur du canal. La hauteur de la partie sensible du capteur est placée face au courant à mi-hauteur de la lame d'eau correspondant aux conditions expérimentales; cette hauteur peut donc varier entre 2 débits différents.

Huit gammes de vitesses sont testées : 0.05 / 0.1 / 0.2 / 0.4 / 0.6 / 0.7 / 0.8 / et 1.1 m/s (valeurs moyennes mesurées par le courantomètre le plus récent). Compte tenu des limites du dispositif expérimental, des vitesses supérieures n'ont pas pu être simulées.

A chaque vitesse et pour chaque appareil, une série de 6 mesures moyennées sur 30 secondes et consécutives sont effectuées.



Photo 1 : courantomètre sur perche dans le canal d'essai

3 Résultats

3.1 Méthodes d'analyse

Même s'il n'y a pas de justification métrologique irréprochable, il a été décidé que le courantomètre le plus récent est celui qui a le moins dérivé dans le temps et qu'il peut donc servir de référence, ce que réalise COMETEC pour les courantomètres qui lui sont renvoyés.

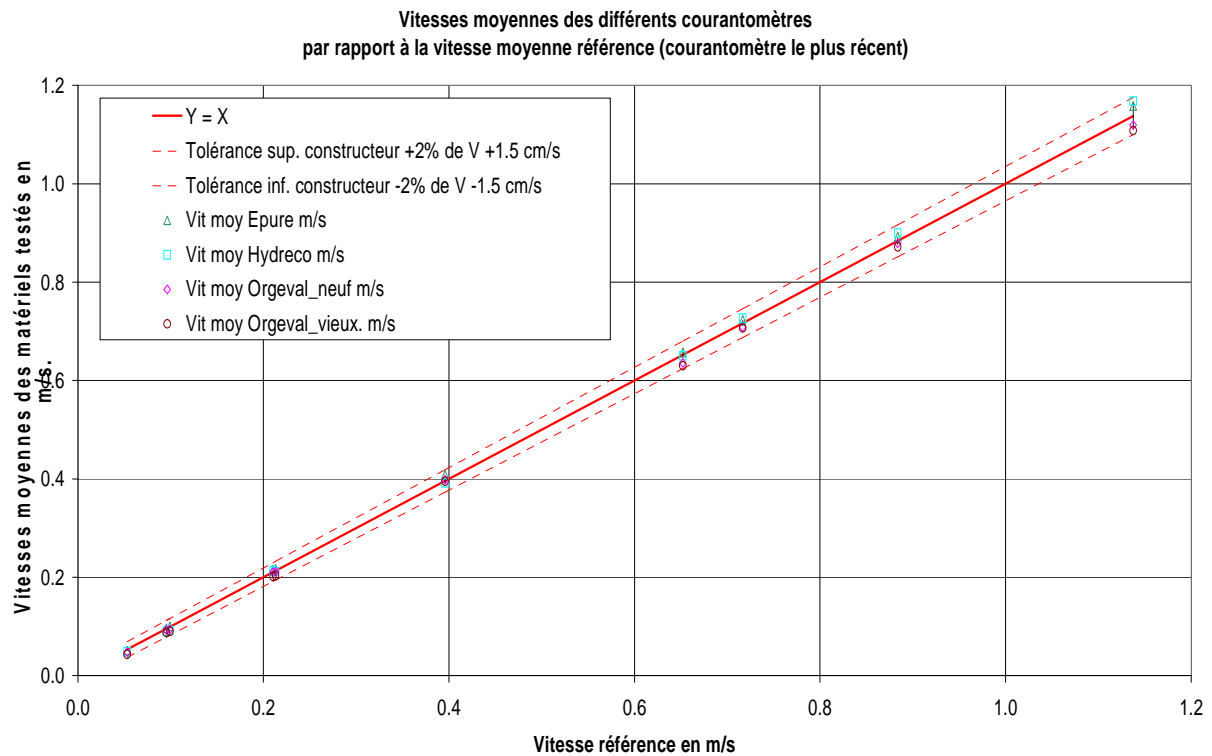


Figure 1: Vitesses moyennes des différents courantomètres dans le couloir de tolérance de la vitesse référence.

Il apparaît sur ce graphique que, compte tenu de l'hypothèse sur la référence et que dans la gamme des vitesses disponibles, tous les appareils testés répondent aux caractéristiques définies par le constructeur.

Il apparaît néanmoins que pour la vitesse la plus élevée la dispersion des vitesses moyennes est plus importante avec une tendance à la surestimation pour "Hydreco" et "Epure", à la sous-estimation pour les 2 modèles "Orgeval".

Cette tendance est toutefois nuancée par une barre d'erreur (+/- 1 écart type des mesures "Phyleau") assez forte sur la vitesse moyenne référence. Ceci est vraisemblablement dû à la limite du modèle physique pour les vitesses élevées (régime assez turbulent et faible tirant d'eau). Cette barre d'erreur couvrant une bonne partie du couloir de tolérance, il est donc délicat de considérer cet essai.

Une seconde représentation graphique permet de mieux visualiser les écarts relatifs pour les différentes vitesses testées.

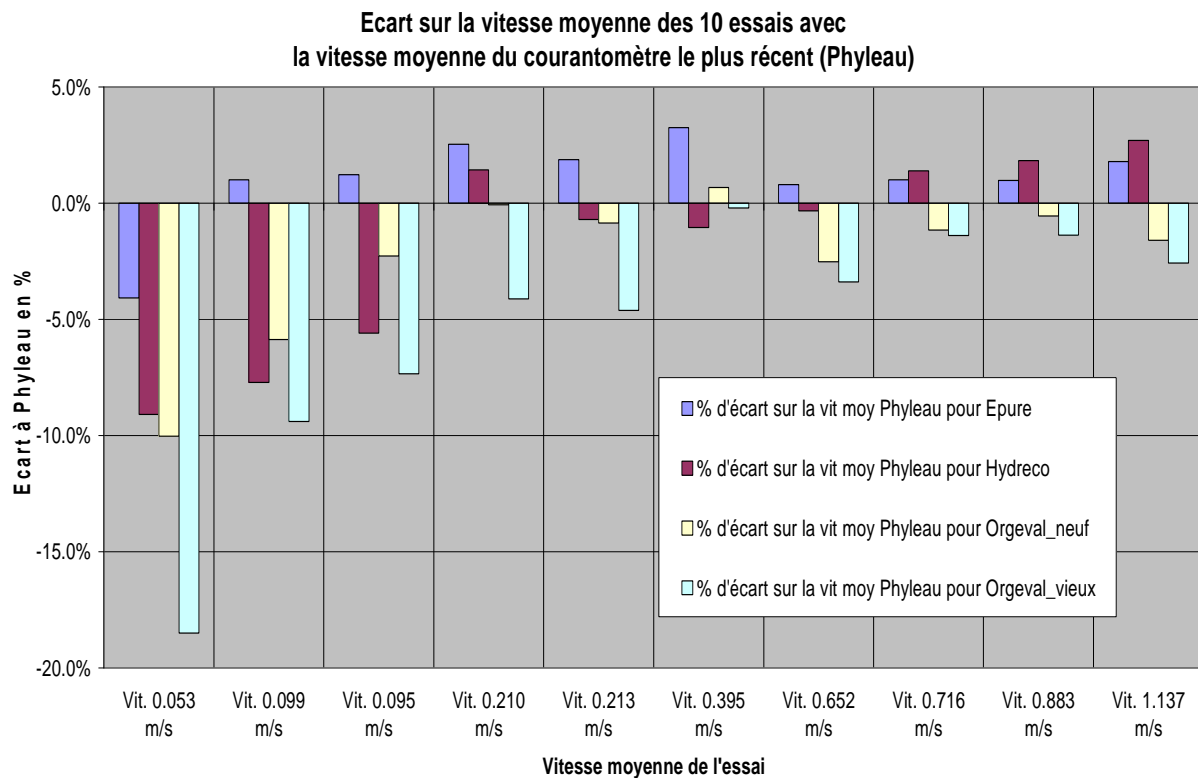


Figure 2: Pourcentage d'écart à la vitesse référence pour les différents essais.

On remarque ici, pour les faibles vitesses, que des écarts relatifs assez importants peuvent exister. Ces valeurs qui dépassent largement les 2% de la mesure étaient précédemment masquées par le couloir de tolérance constructeur qui rajoute aux 2% de la mesure, la valeur de stabilité du zéro qui est de 1.5 cm/s. Il en découle que pour des vitesses de 0.15 m/s un 10 % d'écart relatif sera totalement gommé par l'intégration de la stabilité du zéro dans la précision de l'appareil.

Ce biais doit néanmoins être remis en perspective dans l'occurrence de ces faibles vitesses sur le terrain, car si elles existent en proximité de berge ou en conditions d'étiage, le poids de ces débits élémentaires sur le débit total est souvent très faible ce que nous verrons dans une application numérique (chap.4).

Le contexte d'étiages sévères sur des cours d'eau à faible pente peut néanmoins devenir problématique, car dans ce cas le pourcentage de sous-estimation de la vitesse s'appliquera directement à la valeur du débit calculé.

Toutefois un autre paramètre rentre en ligne de compte dans l'écart sensible sur les faibles vitesses. Le graphique qui suit représente la valeur de l'écart type de chaque appareil pour chaque essai par rapport à la vitesse moyenne de tous les essais.

Valeurs relatives de différents écartypes par rapport à la vitesse moyenne de l'essai

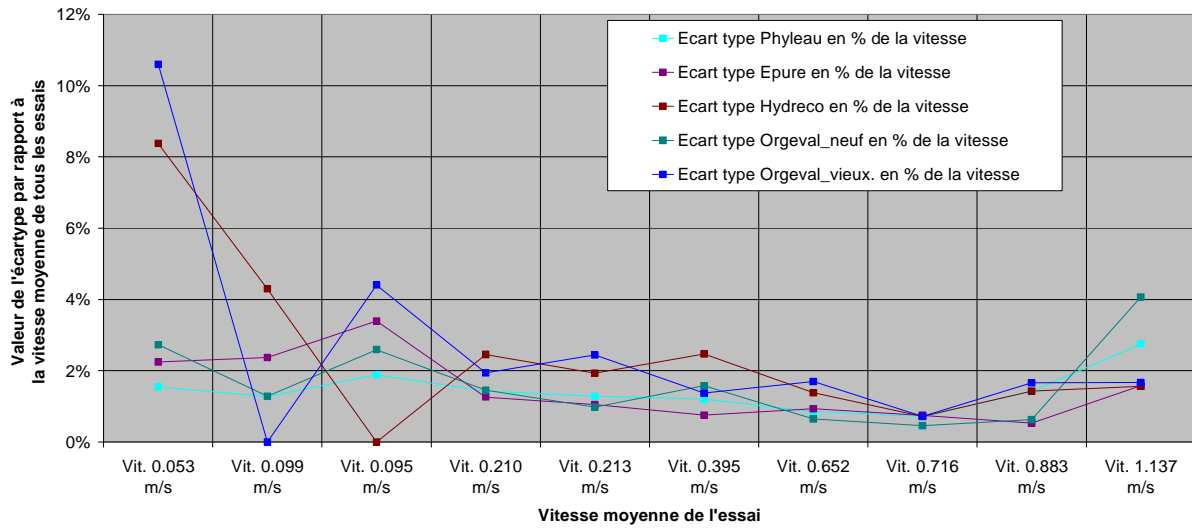


Figure 3: Valeurs relatives des écarts types de 6 répétitions de tous les appareils par rapport à la vitesse moyenne de chaque essai.

Ce paramètre qui perturbe l'écart type pour les faibles vitesses est la résolution. En effet, les appareils "Hydreco" et "Orgeval_vieux" présentent une résolution centimétrique ce qui occasionne deux phénomènes. Tout d'abord cette "moindre sensibilité" peut occasionner un écart type nul lors des 6 répétitions où une dispersion hypothétique de +/- 2 mm/s ne sera pas retranscrite dans la valeur affichée compte tenu de la règle de l'arrondi.

Le second effet intervient dans la comparaison avec des appareils à résolution millimétrique: selon la valeur théorique de la troisième décimale de l'écoulement, les appareils dont la mesure s'arrête à la seconde décimale peuvent donc présenter un écart allant jusqu'à 0.5 cm/s. Toutefois comme présenté plus haut ce biais présentera un impact fort sur le calcul du débit que dans des conditions particulières d'écoulement à très faible vitesse.

3.2 Estimation de la reproductibilité

Sur la base des essais réalisés, on considère ici les 10 niveaux de vitesse simulés (j variant de 1 à q), mesurés par 5 appareils différents (i variant de 1 à p) avec 6 répétitions par appareil (k variant de 1 à n_{ij}).

| | |
|---|---|
| On peut donc calculer pour chaque essai la variance de répétabilité | $s_{rj}^2 = \frac{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1) \cdot s_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p (n_{ij} - 1)}$ |
| On peut aussi déterminer la variance inter-appareil | $s_{Lj}^2 = \frac{s_{dj}^2 - s_{rj}^2}{\bar{n}_j}$ avec $\bar{n}_j = \frac{1}{p-1} \left[\sum_{i=1}^p n_{ij} - \frac{\sum_{i=1}^p n_{ij}^2}{\sum_{i=1}^p n_{ij}} \right]$ et $s_{dj}^2 = \frac{1}{p-1} \sum_{i=1}^p n_{ij} \cdot (\bar{y}_{ij} - \bar{\bar{y}}_j)^2$ |
| Enfin, on en déduit l'écart type de reproductibilité | $s_R = \sqrt{s_r^2 + s_L^2}$ |

Ces trois valeurs sont représentées ci-dessous en écart relatif à la moyenne pondérée des essais.

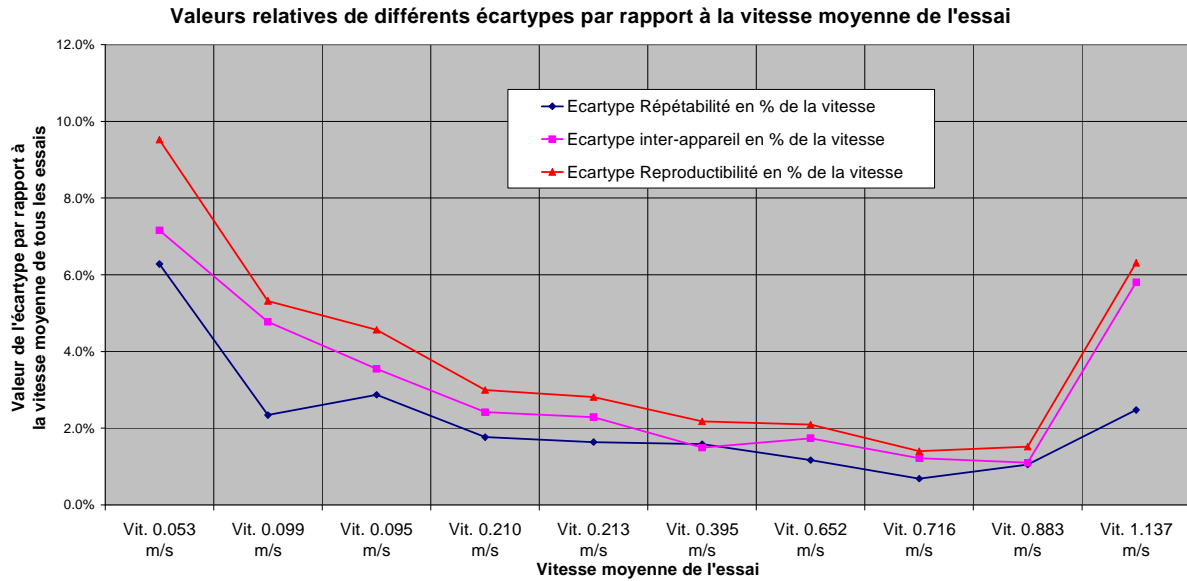


Figure 4: Valeurs relatives des écarts types de répétabilité, inter-appareils et reproductibilité

Pas de surprise particulière sur ce graphique qui met en évidence le manque de fiabilité sur les vitesses faibles ainsi qu'un souci sur l'essai à la vitesse maximum qui sort de la tendance où les écarts relatifs s'améliorent avec les vitesses croissantes.

Si l'on omet ces 2 extrêmes, on remarque que la reproductibilité tourne autour de 2% pour 68% de chance, soit environ 4% pour un coefficient d'élargissement de 2 permettant un seuil de confiance de 95%. Cet ordre de grandeur est donc compatible avec la précision annoncée par le constructeur.

3.3 Test de cohérence de Mendel

Deux types de tests statistiques peuvent être menés pour vérifier la cohérence inter-laboratoire (statistique H) ou intra-laboratoire (statistique K). Cette représentation englobe tous les courantomètres sans hypothèse sur une meilleure précision d'un modèle.

$$\text{Statistique } h : \text{cohérence interlaboratoire} : h_{ij} = \frac{\bar{y}_{ij} - \bar{\bar{y}}_j}{\sqrt{\frac{1}{(p_j - 1)} \sum_{i=1}^{p_j} (\bar{y}_{ij} - \bar{\bar{y}}_j)^2}}$$

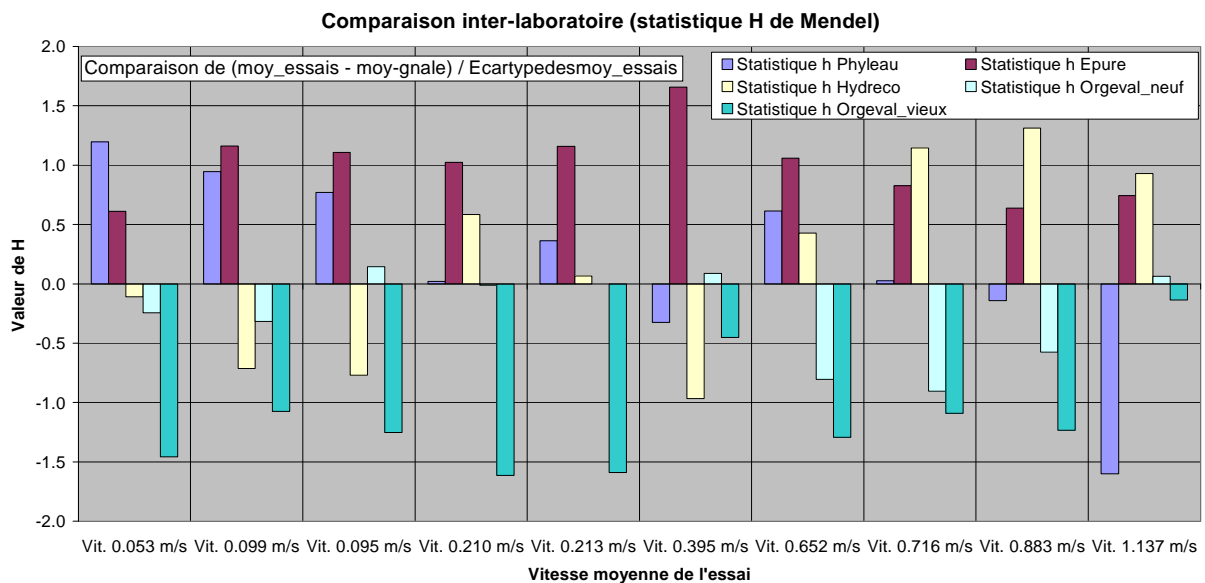


Figure 5: Représentation de la statistique "H" de Mendel (comparaison inter-laboratoire)

De ce graphique ressort que "Epure" surestime et "Orgeval vieux" sous-estime systématiquement la vitesse moyenne de tous les appareils confondus, tandis que les 3 autres sont distribués de part et d'autre de la moyenne.

| | Somme des H |
|---------------------------------|-------------|
| Statistique h Phyleau | 1.867 |
| Statistique h Epure | 9.986 |
| Statistique h Hydreco | 1.901 |
| Statistique h Orgeval 9 | -2.563 |
| Statistique h Orgeval Vx | -11.191 |

Tableau 1: Somme des "H" de tous les essais pour chaque appareil

Cette tendance se confirme simplement par la valeur de la somme des "H" de tous les essais présentée dans le tableau ci-dessus.

$$\text{Statistique k : cohérence intralaboratoire : } k_{ij} = \frac{s_{ij} \sqrt{P_j}}{\sqrt{\sum s_{ij}^2}}$$

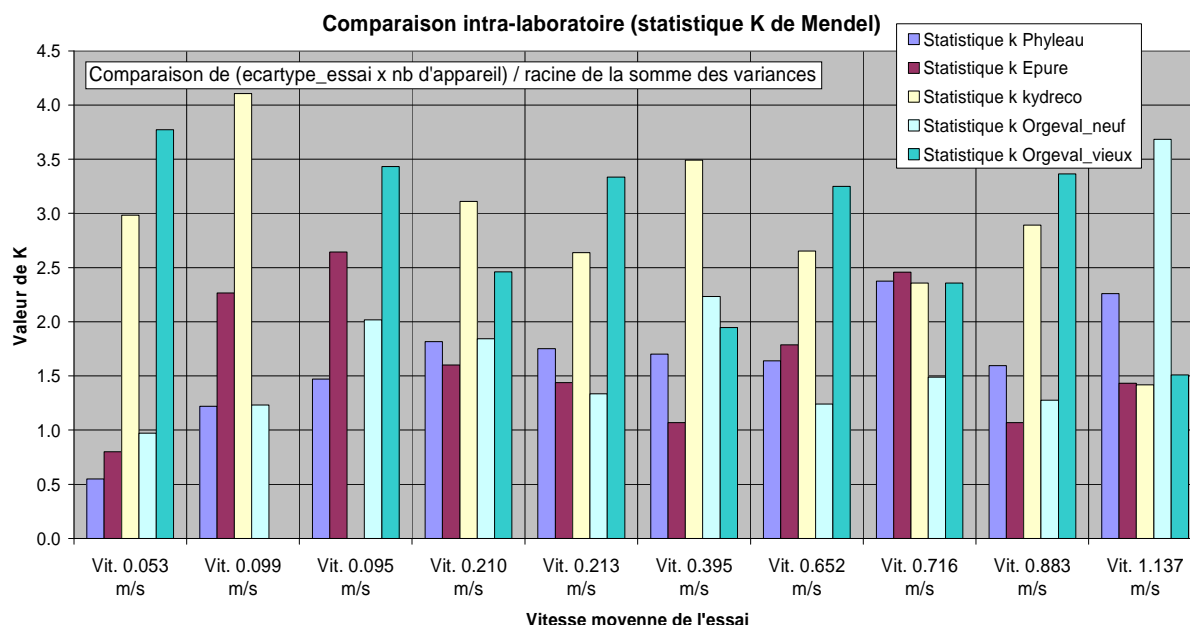


Figure 6: Représentation de la statistique "K" de Mendel (comparaison intra-laboratoire)

Ce test qui consiste à évaluer l'écart type de l'appareil par rapport aux écarts types de l'ensemble du parc lors de chaque essai fait ressortir "Hydreco et Orgeval_vieux".

Comme évoqué plus haut dans ce document, la résolution plus faible de ces 2 appareils les amène le plus souvent à présenter une plus grande dispersion ou à l'opposée une dispersion nulle... Tout dépendra de la valeur de la vitesse perçue par l'appareil par rapport au partage régi par la règle de l'arrondi. Si par exemple l'appareil perçoit 0.212 puis 0.214 il affichera 0.21 puis 0.21 ce qui donnera un écart type nul. Au contraire s'il perçoit 0.213 et 0.215 il affichera 0.21 puis 0.22 ce qui générera un écart type important alors que dans les 2 cas la différence perçue entre la première et la seconde mesure est identique.

Dans ces conditions, le fait que "Hydreco et Orgeval_vieux" émergent du lot n'est donc pas une information pertinente, hormis celle qu'il est peu judicieux d'interpréter ce test sur des appareils de résolutions différentes.

3.4 Test de Cochran

Ce test qui traite des écarts types va se heurter à la remarque précédente, mais il présente l'avantage de repérer un écart type aberrant (et donc un appareil) dans une population par rapport à l'ensemble des valeurs. Pour cela, les valeurs de "C" calculées seront comparées aux valeurs issues de la table de Cochran prédéfinie selon le nombre d'appareils et le nombre de répétitions. Pour chaque appareil la valeur de "C" est comparée aux valeurs critiques à 5% et 1% ce qui permet de déclarer un appareil comme appareil "isolé" ou "aberrant".

$$C = \frac{s_{max}^2}{\sum_{i=1}^p s_i^2}$$

| | Vit. 0.053 m/s | Vit. 0.099 m/s | Vit. 0.095 m/s | Vit. 0.210 m/s | Vit. 0.213 m/s | Vit. 0.395 m/s | Vit. 0.652 m/s | Vit. 0.716 m/s | Vit. 0.883 m/s | Vit. 1.137 m/s |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| s ² max | 2.7E-05 | 1.7E-05 | 1.7E-05 | 2.7E-05 | 2.7E-05 | 9.7E-05 | 1.2E-04 | 2.9E-05 | 2.2E-04 | 2.0E-03 |
| Origine s ² max | Orge. Vx | Hydreco | Orge. Vx | Hydreco | Orge. Vx | Hydreco | Orge. Vx | Epure | Orge. Vx | Orge. 9 |
| valeur de "C" | 1.5E-05 | 1.1E-05 | 7.8E-06 | 1.0E-05 | 1.2E-05 | 4.7E-05 | 5.1E-05 | 7.0E-06 | 9.8E-05 | 1.1E-03 |
| Valeurs limites à 5 % 5 populat° 6 répétit° | 0.507 | 0.507 | 0.507 | 0.507 | 0.507 | 0.507 | 0.507 | 0.507 | 0.507 | 0.507 |
| Valeurs limites à 1 % 5 populat° 6 répétit° | 0.588 | 0.588 | 0.588 | 0.588 | 0.588 | 0.588 | 0.588 | 0.588 | 0.588 | 0.588 |
| | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK | OK |

Tableau 2: Valeur du test de Cochran de chaque essai par rapport aux valeurs limites à 1 & 5%.

Malgré une plus faible résolution de 2 appareils, cela n'amène pas à considérer ces individus comme isolés ou aberrants et dans tous les cas nous sommes très loin des valeurs critiques à ne pas dépasser.

3.5 Test de Grubbs

Ce second test statistique présente la même approche que le précédent (comparaison de valeurs calculées à des valeurs prédéfinies) mais il traite des valeurs moyennes mesurées.

$$G_p = \frac{(x_p - \bar{x})}{s}$$

Comme dans le cas précédent, l'ensemble des valeurs satisfait au test et ne sont donc pas présentées ici. Toutefois, compte tenu du caractère suspect entachant l'essai à la plus grande vitesse non mis en évidence dans le cas de Grubbs comme dans le cas de Cochran, on peut imaginer que ces tests ne sont pas très discriminants.

4 Application numérique

Lors d'une session récente du réseau mesure visant à comparer des mesures de débit par exploration du champ des vitesses avec courantomètre sur perche, deux cours d'eau de débits différents (Ouvèze et Toulourenc) ont chacun été suivis par 11 équipes disposant de matériels destinés à la mesure de vitesse. Le protocole défini consistait à réaliser 15 verticales sur la largeur du bief avec si possible 3 points par verticales (0.2 x H / 0.4 x H / 0.8 x H (H=tirant d'eau de la verticale)). Deux des appareils testés dans ce document ont été utilisés sur ce terrain (Phyleau et Orgeval_neuf).

Partant du postulat que le courantomètre le plus récent était la référence et fort des essais réalisés sur le canal, une relation polynomiale a été déterminée pour chacun des 4 autres

appareils. Elle permet de recalculer la vitesse théoriquement mesurée en fonction de la vitesse réellement mesurée par le courantomètre "Phyleau". Cette relation étant fondée sur les essais en canal, il convient de s'assurer que la gamme de vitesse rencontrée sur le terrain est bien encadrée par la gamme des essais en laboratoire.

| | Toulourenc | Ouvèze |
|---------------------|------------|--------|
| Vitesse moyenne m/s | 0.321 | 0.342 |
| Vitesse minimum m/s | 0.096 | 0.056 |
| Vitesse maximum m/s | 0.589 | 0.551 |
| Vitesse médiane m/s | 0.324 | 0.359 |

Tableau 3: Valeurs des vitesses rencontrées sur site lors du jaugeage.

Comme présenté dans le tableau ci-dessus, les vitesses rencontrées sur le terrain sont cohérentes avec la gamme des essais réalisés en laboratoire. Ainsi, les jaugeages réalisés sur les 2 cours d'eau par le courantomètre "Phyleau" ont donc pu être redépouillés avec les vitesses simulées.

| | Débit Toulourenc L/s | % d'écart à Phyleau | Débit Ouvèze L/s | % d'écart à Phyleau |
|----------------------------|----------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| Phyleau | 359.9 | 0.00% | 1058.9 | 0.00% |
| Epure corr. | 367.2 | 2.03% | 1082.0 | 2.18% |
| Hydreco corr. | 352.5 | -2.05% | 1045.8 | -1.24% |
| Orgeval neuf corr. | 359.5 | -0.09% | 1061.9 | 0.29% |
| Orgeval vieux corr. | 355.6 | -1.18% | 1052.6 | -0.59% |

Tableau 4: Ecart relatif sur le débit "référence" après redépouillement.

Ainsi, les tendances dégagées lors de l'essai en laboratoire se retrouvent logiquement sur le calcul du débit avec des valeurs plus élevées pour Epure et moins élevées pour "Hydreco" et "Orgeval_vieux".

Comme pressenti dans ce document les écarts relatifs importants sur les faibles vitesses (de -5 à -17%) ont un faible impact sur le calcul final, car le poids des écoulements lents est ici négligeable sur le débit global. Ce faible impact constaté ici doit toutefois être nuancé en fonction du cours d'eau et de son régime hydrologique. Si la majorité des cas est analogue à notre situation, des régimes d'étiages sur des sections naturelles induiront des vitesses globalement faibles et donc une propagation de l'erreur sur le calcul du débit directement proportionnelle aux écarts constatés sur les faibles vitesses.

A titre comparatif, voici les résultats issus de l'intercomparaison faite sur le terrain qui mêle naturellement plus de paramètres puisque 11 équipes différentes mesuraient le débit avec 11 appareils différents utilisant 3 technologies différentes. Dans ces conditions, ce n'est plus simplement l'erreur de mesure sur la vitesse ponctuelle qui est propagée, mais aussi de nombreuses et importantes sources d'erreurs comme l'environnement, le matériel, l'opérateur, la répartition des verticales....

| | Débit Toulourenc L/s | % d'écart à Phyleau | Débit Ouvèze L/s | % d'écart à Phyleau |
|------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| Equipe 1 | | | 1151.2 | 7.04% |
| Equipe 2 | 329.1 | -8.55% | 1191.2 | 10.76% |
| Equipe 3 | 319.0 | -11.37% | 1007.1 | -6.36% |
| Equipe 4 | 410.7 | 14.14% | 1105.5 | 2.79% |
| Equipe 5 | 374.5 | 4.06% | 1241.7 | 15.45% |
| Equipe 6 | 351.7 | -2.28% | 1174.3 | 9.19% |
| Equipe 7 | 381.3 | 5.96% | 1146.9 | 6.63% |
| Equipe 8 Phyleau | 359.9 | 0.00% | 1075.5 | 0.00% |
| Equipe 9 Orgeval neuf | 348.9 | -3.04% | 1072.8 | -0.25% |
| Equipe 10 | 331.9 | -7.78% | 1036.6 | -3.61% |
| Equipe 11 | 363.3 | 0.95% | 1194.1 | 11.03% |

Tableau 5: Ecart relatif sur le débit "référence" sur le site d'intercomparaison.

Il apparaît clairement des différences relatives beaucoup plus importantes que précédemment même s'il est présomptueux de dire que le jaugeage avec le courantomètre "Phyleau" est la bonne référence. Cela montre notamment que l'incertitude qui résulte du seul étalonnage est beaucoup plus faible que l'incertitude qui intègre l'ensemble de la chaîne de mesure. Même si cette différence était largement prévisible il est intéressant de montrer que dans le cas étudié, le pourcentage moyen des écarts absolus est jusqu'à 7 fois plus grand dans le cas de l'intercomparaison de terrain.

Pour information l'écart type de reproductibilité déduit de ces essais est de 8% pour le Toulourenc et de 7% pour l'Ouvèze sans utiliser de coefficient d'élargissement. S'il est élargi avec $k=2$ on retrouve une incertitude d'environ 15% ce qui est assez élevé au regard de l'incertitude de type GUM préconisée dans l'annexe E de la norme NF EN ISO 748 qui dans les conditions de l'intercomparaison serait 2 fois plus petite pour le même intervalle de confiance.

Sans disposer d'information métrologiquement validée, il semble néanmoins que certains matériels ou mise en œuvre soient responsables de cet écart type de reproductibilité élevé au regard du pourcentage d'écart sur le débit moyen mesuré par l'ensemble des équipes (de +11 à -15 %).

5 Conclusions

La comparaison des courantomètres avec le plus récent ainsi qu'entre eux montre que même si des écarts existent (reproductibilité de l'ordre de 2% sans élargissement pour les vitesses supérieures à 0.1 m/s) leur poids est souvent très faible en comparaison à la mise en œuvre de la technique. Cette conclusion est naturellement à nuancer dans le cas de biefs présentant des vitesses globalement faibles (vitesses < 0.15 m/s).

Les dérives constatées entre les appareils sont assez faibles par rapport à des différences d'âges et d'utilisation parfois marquées.

Les essais réalisés sont satisfaisants sauf pour la vitesse la plus élevée où les conditions de mesure n'étaient pas optimales.

La nécessité d'un étalonnage dépend fortement de ce qui suscite sa vocation, dans le cadre de réaliser des "meilleures mesures" cela ne semble pas nécessaire au vu des résultats, si par contre l'objectif est d'atteindre une accréditation la réponse ne nécessite même pas la réalisation de tests préliminaires...

Suite à la demande de l'équipe Epure, quelques essais sur la mesure de vitesses négatives sont présentés en annexe.

6 Annexes

6.1 Mesure de vitesses négatives

Par un protocole simple de rotation à 180° de la tête de mesure quelques suivis ont été réalisés. Ils portent sur 1 seul appareil (Orgeval_vieux) pour 2 gammes de vitesse (0.4 et 0.7 m/s) avec 6 mesures consécutives intégrées sur 30 secondes.

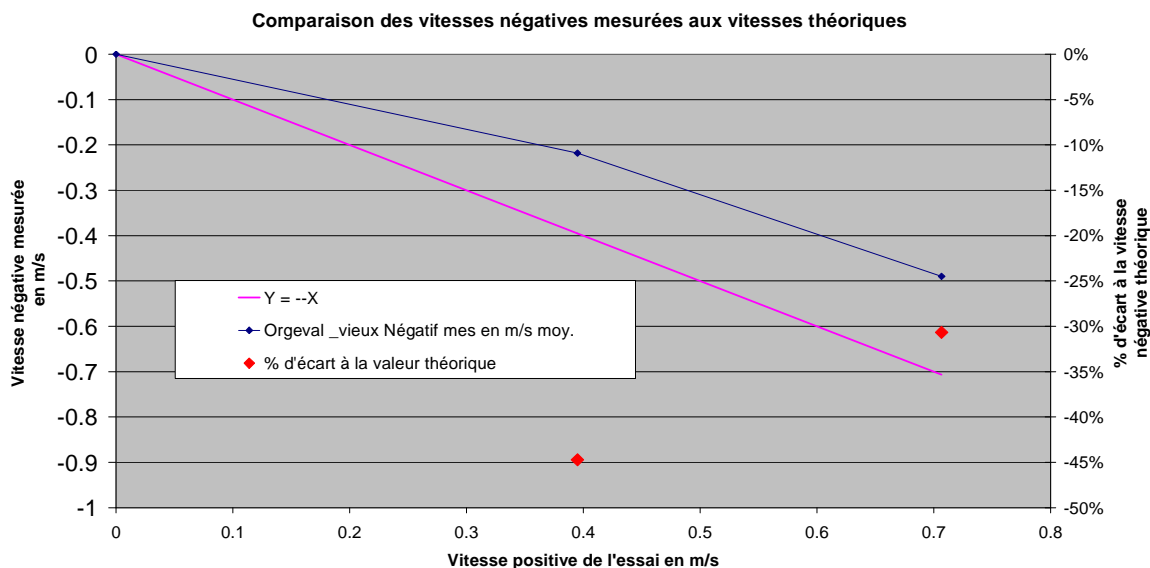


Figure 7: Représentation de la vitesse négative mesurée versus vitesse positive.

Les résultats ne sont guères probants car les valeurs mesurées s'éloignent de 30 à 44 % de la valeur théorique. Il est clair que l'hydrodynamisme de la tête de mesure en position inversée n'est pas adapté à cette configuration et c'est sans doute le point clé qui perturbe la valeur mesurée.

Dans ces conditions, même si l'essai est loin d'être exhaustif, une valeur de vitesse négative constitue une information sur le sens de l'écoulement mais ne permet pas une quantification précise de ce dernier.

Ceci dit, mea culpa, je m'aperçois en rédigeant, que le constructeur garantit des vitesses négatives jusqu'à seulement -0.15 m/s.....

6.2 Spécifications techniques du courantomètre



FLO-MATE™ Modèle 2000 CM

Courantomètre électromagnétique

Le courantomètre portable FLO-MATE fournit immédiatement des mesures de vitesse d'écoulement précises et fiables pour les applications suivantes: jaugeage des rivières et cours d'eau, conduits d'assainissement et toute autre application en canal ouvert. Son capteur électromagnétique sans pièce mobile ne retient pas les déchets.

Le FLO-MATE enregistre précisément les vitesses à partir de zéro et peut même détecter les débits négatifs.

Le FLO-Mate est disponible avec plusieurs modèles de sonde permettant son utilisation en canal ouvert ainsi qu'en conduite en charge.



SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES FLO-MATE™ Modèle 2000

Applications

- Débit rivières
- Débit canaux d'égouttage
- Conduits d'assainissement
- Calibration de déversoirs, venturis et débitmètres
- Canaux d'irrigation

Mesure de vitesse

- Méthode : électromagnétique
- Stabilité zéro : $\pm 0,015$ m/s
- Précision : $\pm 2\%$ de la mesure + stabilité zéro
- Gamme : -0,15 à + 20 m/s ; résolution 0,01 m/s
-0,15 à + 2 m/s ; résolution 0,001 m/s

Affichage

- Afficheur LCD 3½ digits

Sortie (option)

- Analogique : 0,1 V par m/s
- Digitale : RS-232

Mémoire

- Mise en mémoire de 19 points

Alimentation

- Piles : 2 piles alcalines 1,5 V type D (R20)
- Autonomie : 25-30 h en continu
100h en utilisation normale

Étanchéité

- Immersion accidentelle à 30 cm pendant 30 secondes et auto flottaison

Matériaux

- Capteur : polyuréthane
- Câble : gaine polyuréthane
- Boîtier : plastique moulé haute densité – IP67

Températures

- Capteur: 0° à 70°C
- Boîtier: 0° à 50°C

Poids

- Avec capteur et 6m de câbles : 1,6 Kg
- Sans capteur: 1,1 Kg

Changements sans avis préalable
Mise à jour: 08/11/2010 par BS



Rue J.H.Cool 19a B-4840 Welkenraedt Belgium Tel.: +32 (0)87 899799
Fax.: +32 (0)87 899790 info@flow-tronic.com www.flow-tronic.com

6.3 Exemple de certificat d'étalonnage du courantomètre PHYLEAU

**OPEN CHANNEL
CALIBRATION CERTIFICATE**

Model: 2000-11 Serial Number: 2007149

Sensor #: 4858


Type of Reading

Velocity: FPS Level: IN NA

| | Static Velocity | Dynamic Velocity | Level |
|------------|------------------|------------------|-----------------|
| Standard: | <u>Zero</u> | <u>1.9729</u> | <u>N/A</u> |
| Measured: | <u>-0.01</u> | <u>1.97</u> | <u>N/A</u> |
| Tolerance: | <u>±0.05 FPS</u> | <u>±2%</u> | <u>±0.4 in.</u> |

Calibration Technician: Tony Barnes Date: 12-9-9

Calibration is traceable to the National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD. For Product information, service, or calibration, please contact the Customer Service Department.


**MARSH
McBIRNEY**
 A Hach Company Brand

PO Box 389, Loveland, CO 80539-0389
 (970) 669-3050 • (800)-227-4224 • FAX (970) 669-2932
 www.hach.com