



HAL
open science

Comparaisons de mesures de débit en petits cours d'eau

Guillaume Dramais, Jérôme Le Coz, Fabien Thollet, B. Camenen

► **To cite this version:**

Guillaume Dramais, Jérôme Le Coz, Fabien Thollet, B. Camenen. Comparaisons de mesures de débit en petits cours d'eau. 2021. hal-03336452

HAL Id: hal-03336452

<https://hal.science/hal-03336452>

Submitted on 7 Sep 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



> Comparaisons de mesures de débit en petits cours d'eau

Dramais Guillaume, Le Coz Jérôme, Thollet Fabien, Camenen Benoît

Juillet 2021

Avertissement

Toute utilisation de noms commerciaux, d'entreprises ou de produits commercialisés l'est uniquement à des fins descriptives et n'implique aucunement l'approbation des auteurs ou de l'INRAE.

Table des matières

Avertissement	2
Résumé.....	4
1. Introduction.....	4
1.1 Le jaugeage par dilution de sel (NaCl).....	4
1.2 Le ru de l'Homède à Creissels	5
1.3 Conditions de l'expérimentation.....	5
1.4 Instruments engagés dans la comparaison à Creissels	6
1.5 Protocole de comparaison	8
1.6 Plan d'expérience	9
2 Résultats de la comparaison	10
2.1 Expérience A.....	11
2.2 Expérience B.....	13
2.3 Expérience C.....	13
2.4 Expérience D.....	14
2.5 Mesures complémentaires.....	15
3 Evaluation des incertitudes	15
4 Comparaison sur le Durzon	17
4.1 Les perches à charge dynamique transparentes : une solution à bas coût de jaugeage.....	17
4.2 Mesures sur le Durzon.....	18
4.3 Résultats et interprétation des essais sur le Durzon.....	21
5 Conclusion générale	22
Remerciements :	23
6 Bibliographie.....	24
Ressources utiles.....	25
Table des annexes	26

Résumé

Ce rapport présente une comparaison interlaboratoire de mesures de débit par la méthode de dilution dite globale ou par injection instantanée d'une solution saline. Cette expérience a eu lieu en Aveyron (12) sur le ru de l'Homède à Creissels le 5 mai 2021. D'autres techniques de jaugeages sont aussi comparées sur le Durzon à Nant, le 6 mai 2021 avec notamment un nouvel outil de mesure low-cost : la perche dynamique transparente.

1. Introduction

Les équipes d'hydrométrie ont depuis longtemps cherché à valider leurs méthodes et leurs instruments de mesure en comparant les capteurs, ou les méthodes entre elles. Ces essais ont la plupart du temps pour but d'appréhender l'aptitude des équipes à travers leur mode opératoire et leur instrumentation à obtenir des résultats de mesure de débit conformes à une valeur de référence. En hydrométrie, la difficulté est qu'il n'existe pas de valeur de référence pour le débit raccordée aux étalons internationaux. Les équipes comparent donc leurs résultats entre elles, à une donnée issue d'une relation hauteur-débit (courbe de tarage), ou encore aux résultats donnés par une mesure consensuelle estimée plus fiable. Des comparaisons interlaboratoires ont lieu régulièrement dans le domaine de l'hydrométrie, notamment en France sous l'impulsion du Groupe Doppler Hydrométrie (Le Coz et al., 2007, Dramais et al., 2013). Les traitements statistiques de ces essais permettent d'utiliser ces comparaisons interlaboratoires comme outil d'évaluation des incertitudes (ISO 21748).

L'OFB (Office Français de la Biodiversité) est depuis plusieurs années dans une démarche d'amélioration de ses processus de mesure du débit des cours d'eau. Les essais présentés dans ce rapport sont l'un des résultats de la convention de collaboration entre INRAE et l'OFB qui a pour objectif d'accompagner l'OFB dans cette démarche d'amélioration continue et de maîtrise de ses processus de mesure.

1.1 Le jaugeage par dilution de sel (NaCl)

La méthode de détermination du débit d'un cours d'eau par la mesure de dilution d'un traceur salin est basée sur l'hypothèse de la conservation de la masse. Le principe général consiste à injecter dans la rivière une solution concentrée d'un traceur et à rechercher dans quelle proportion cette solution a été diluée par la rivière. On effectue pour cela une mesure de concentration à l'aval du point d'injection. Cette dilution est fonction du débit de la rivière, supposé constant le long du tronçon, pendant la durée de la mesure. On détermine alors une relation entre la concentration observée en aval et la masse d'eau dans laquelle le traceur s'est dilué. Connaissant le temps de passage du traceur on peut déterminer le débit du cours d'eau. Les détails et préconisations pour la réalisation de jaugeages par dilution sont à retrouver dans le guide pratique pour la mesure du débit minimum biologique (Le Coz et al. 2011) par exemple et sur la fiche mémo présentée en annexe (cf. ANNEXE 1).

1.2 Le ru de l'Homède à Creissels



Figure 1 : Station hydrométrique du Ru de l'Homède à Creissels (Crédit photo Christophe Apolit PNR des Grands Causses)

Le ru de l'Homède est une source issue d'un système karstique dont le bassin d'alimentation couvre une surface d'environ 21 km² au Nord du Causse du Larzac. La source coule sur la commune de Creissels (12). La lithologie du système est constituée de calcaires du Dogger et d'environ 30% de dolomies recouvrant le bassin d'alimentation (Thiéry, 2018). Une station hydrométrique (code hydro O3405610) est suivie par le PNR des Grands Causses dans le cadre du réseau de surveillance des eaux souterraines. Ce site a été choisi pour la stabilité de ses débits et sa configuration turbulente propice au jaugeage par dilution de traceur.

1.3 Conditions de l'expérimentation

L'expérience s'est déroulée le 5 mai 2021 en matinée, le temps était mitigé. Le débit issu de la courbe de tarage du PNR (Cf. ANNEXE 2) est resté stable pendant l'expérience autour de 132,5 l/s, la température de l'eau était de 12 °C. Le tronçon choisi pour l'essai est une succession de petits seuils en pierre naturelle et de quelques radiers. L'écoulement est dynamique, il y a peu de zones de stockage possible pour le traceur mais il peut être ralenti par le volume des zones plus calmes entre les seuils. Le fond est rugueux et accidenté, formé de dalles irrégulières et encombré par endroits de branchages et racines. Le transect principal de mesure est assez régulier et concentre bien l'écoulement (largeur 2 m, profondeur moyenne 30 cm, vitesse moyenne 0,3 m/s, cf. Figure 2).

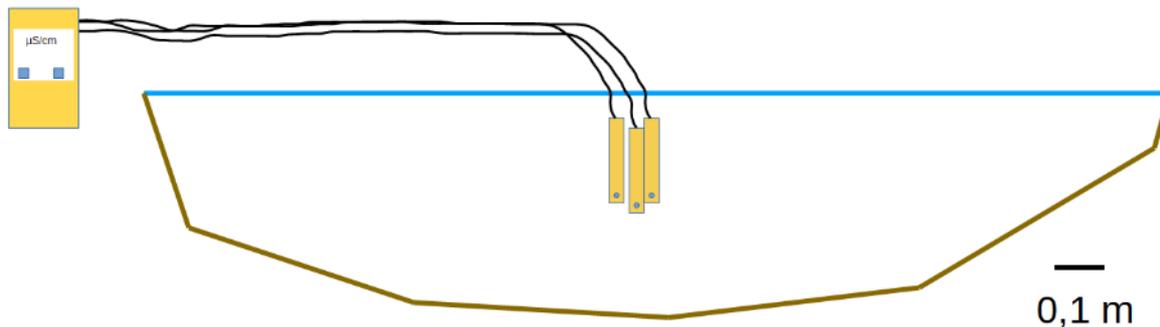


Figure 2 : Schéma de la section de mesure des expériences A, B et C sur le Ru de l'Homède.

1.4 Instruments engagés dans la comparaison à Creissels

Dans cet essai les instruments testés sont des conductimètres. La conductivité électrique est une mesure de la capacité de l'eau à conduire un courant électrique, c'est une mesure indirecte de la teneur de l'eau en ions. Cette conductivité électrique va réagir en fonction des ions présents. Le sel de cuisine ou chlorure de sodium (NaCl), constitué d'ions Na^+ et Cl^- est injecté dans la rivière comme traceur. Une relation entre la conductivité de la rivière et la concentration de sel ajouté est établie pour suivre le passage du panache de sel dans le cours d'eau. L'unité est le micro-Siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). On convertit ce signal en concentration en sel (g/l) grâce à une courbe d'étalonnage ou de calibration (cf. Figure 3).

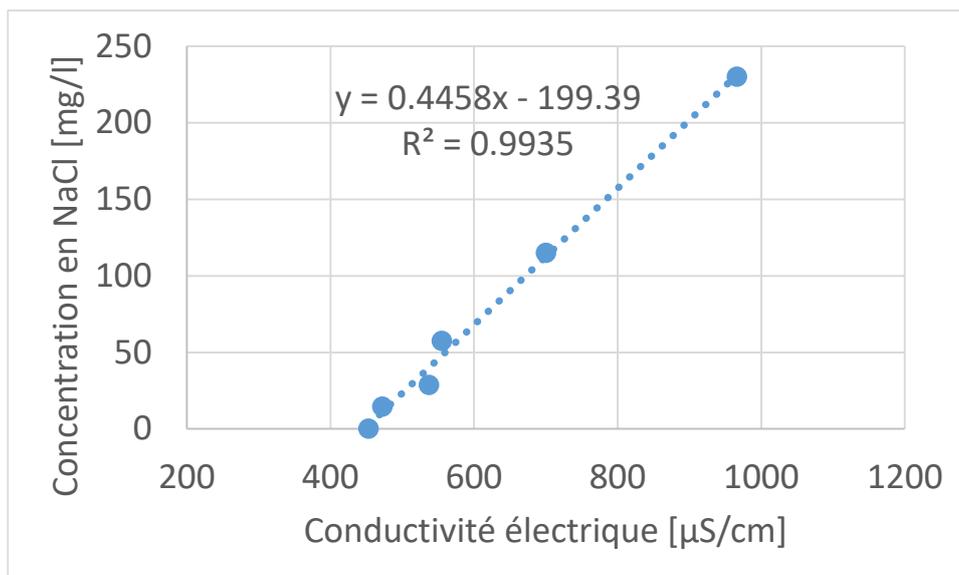


Figure 3 : Exemple de courbe de calibration conductivité/concentration en sel, réalisée sur site en diluant 1g de NaCl dans des volumes connus d'eau de la rivière. En pratique, on déduit la conductivité de base de la rivière à toutes les valeurs pour travailler en « sel ajouté ».

Cette relation est effectuée en préparant avec soin des solutions salines. La relation est intégrée dans l'instrument par l'utilisateur ou utilisée dans un logiciel (SolutionNaCl) ou un tableur pour convertir le signal de conductivité électrique et effectuer les calculs de débit.

Les instruments de type salinoMADD sont répandus dans les services d'hydrométrie du fait de leur robustesse et de leur facilité d'utilisation. Ils ont l'avantage de calculer directement le débit. Ils ont la particularité d'être calibré avec des solutions salines constituées d'eau déminéralisée plutôt que d'eau de la rivière. Ces instruments doivent être calibrés avec le lot de sel (sec) utilisé pour les jaugeages. Un inconvénient est que ni les données de calibration (couples conductivité/concentration) ni le coefficient de la relation de calibration ne peuvent être exportés dans les données, empêchant toute analyse et traçabilité de la qualité de cette relation de calibration. Ces instruments ne sont actuellement plus commercialisés mais d'autres modèles équivalents les remplacent progressivement. 13 instruments de ce type sont ainsi testés durant cette comparaison, un conductimètre enregistreur classique est également intégré dans la comparaison et deux conductimètres Fathom ayant une bonne sensibilité (0.01 µS/cm). Une tentative de jaugeage par exploration du champ de vitesse (ADV Flowtracker 1 et perche transparente) est aussi réalisée pendant les essais mais le tronçon n'est pas adapté à ce type de mesure qui est donc considérée comme très incertaine dans ces conditions.

Tableau 1 : Instruments engagés dans la comparaison

Type d'instrument	N° Série
salinoMADD INRAE	4094
salinoMADD SD04	4155
salinoMADD SD38	4268
salinoMADD SD26-I	4181
salinoMADD SD26-III	4169
salinoMADD SD09	4312
salinoMADD SD43	4297
salinoMADD Pôle Ecohydraulique	4328
salinoMADD SD15	4300
salinoMADD SD42-1	4321
salinoMADD SD42-2	4323
salinoMADD SD73	4088
conductimètre INRAE	HD2106
AutoSalt-1 INRAE	AT65
AutoSalt-2 INRAE	AT66
ADV Flowtraker	P1464
Perche transparente	2014

1.5 Protocole de comparaison

Après un repérage du site un essai de bon mélange avec un colorant (rhodamine WT) permet d'aider au choix des positions du point d'injection et de la section de mesure (cf. Figure 4). Une estimation rapide du débit permet ensuite d'estimer la masse de sel nécessaire (cf. ANNEXE 1).



Figure 4 : Estimation de la distance de bon mélange avec l'injection de Rhodamine WT

1.6 Plan d'expérience

4 expériences sont réalisées avec 3 injections répétées pour chacune.

Tableau 2 : Plan d'expérience des essais sur le ru de l'Homède

N° Expérience	Position des sondes	Distance au point d'injection	Effet testé
A	Les sondes sont rassemblées au centre de la section	22,5	Effet de la calibration existante de chaque instrument
B	Les sondes sont rassemblées au centre de la section	22,5	Effet de la calibration sur site (mais sans effet opérateur, même calibration pour tous)
C	Les sondes sont rassemblées au centre de la section	22,5	Injection d'une très faible dose de sel : effet de la sensibilité des capteurs
D	Capteurs répartis entre injection et aval, proches rives droite et gauche	4,2 10,7 22,5 38,6	Effet de mélange incomplet



Figure 5 : Tronçon de mesure aval et transect de jaugeage ADV.

2 Résultats de la comparaison

Les résultats de jaugeage sont directement calculés par le logiciel interne du salinoMADD. Il est possible d'affiner le calcul en cas de besoin après export des données depuis le logiciel constructeur en modifiant les limites du nuage de sel, ce qui n'a pas été fait pour ces essais. Les données des conductimètres enregistreurs (HD2106, AT65 et AT66) sont exploitées avec le logiciel « Solution NaCl »

(cf. Figure 6), développé à l'INRAE, il est mis à disposition et peut être téléchargé (cf. Ressources utiles). Ce logiciel s'exécute exclusivement sur les ordinateurs équipés de Windows.

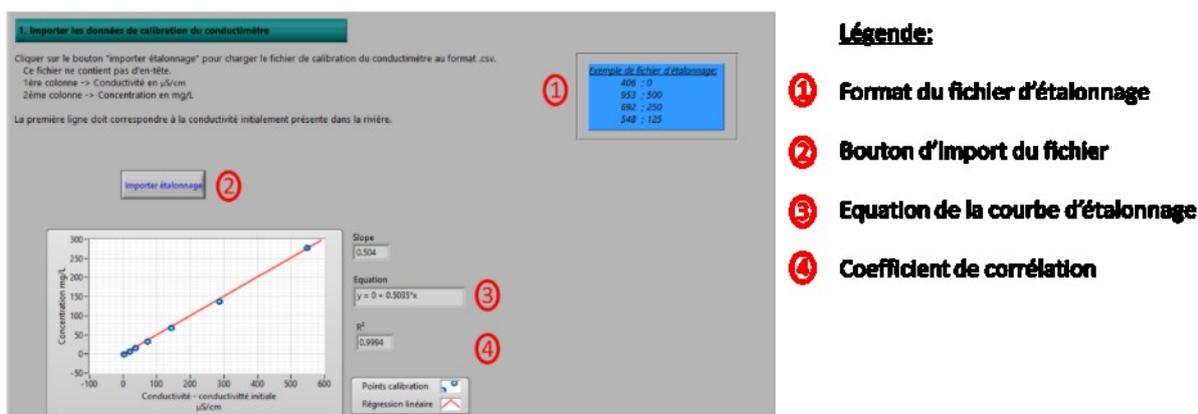


Figure 6 : Logiciel "Solution NaCl", étapes d'import des données de calibration

2.1 Expérience A

Pour l'expérience A (cf. Tableau 2), les masses injectées sont respectivement de 301, 307 et 299 g de NaCl pour les trois répétitions, la distance entre le point d'injection et la section de mesure était de 22,5m. Pour chacune des injections le sel est dissous dans un seau de 10 litres avant injection. Trois instruments sont étalonnés avant ce premier essai car ils donnaient des valeurs aberrantes en mode conductimètre dans une solution connue (signe d'un mauvais étalonnage). Les résultats de débit sont présentés sur la Figure 7 et en ANNEXE 5. On note des valeurs avec une dispersion assez importante et des extrêmes assez éloignés de la moyenne, qui est de 131.9 l/s. La moyenne est très proche de la valeur de la courbe de tarage du site (132.5 l/s). La Figure 8 montre le signal de conductivité électrique amont et les trois passages de traceur au point de mesure correspondant aux trois injections.

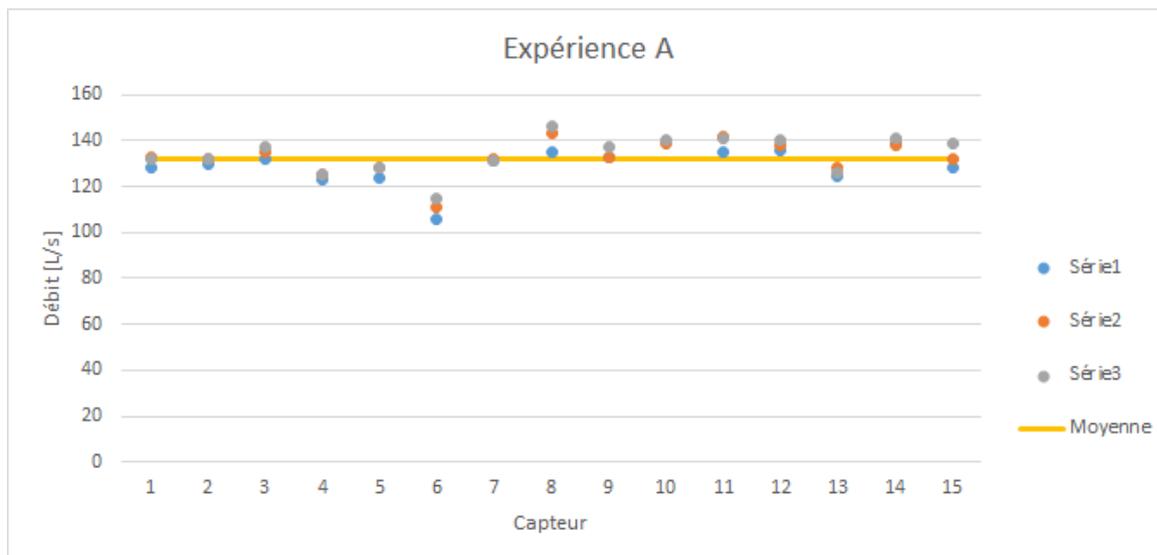


Figure 7 : Résultats de l'expérience A.

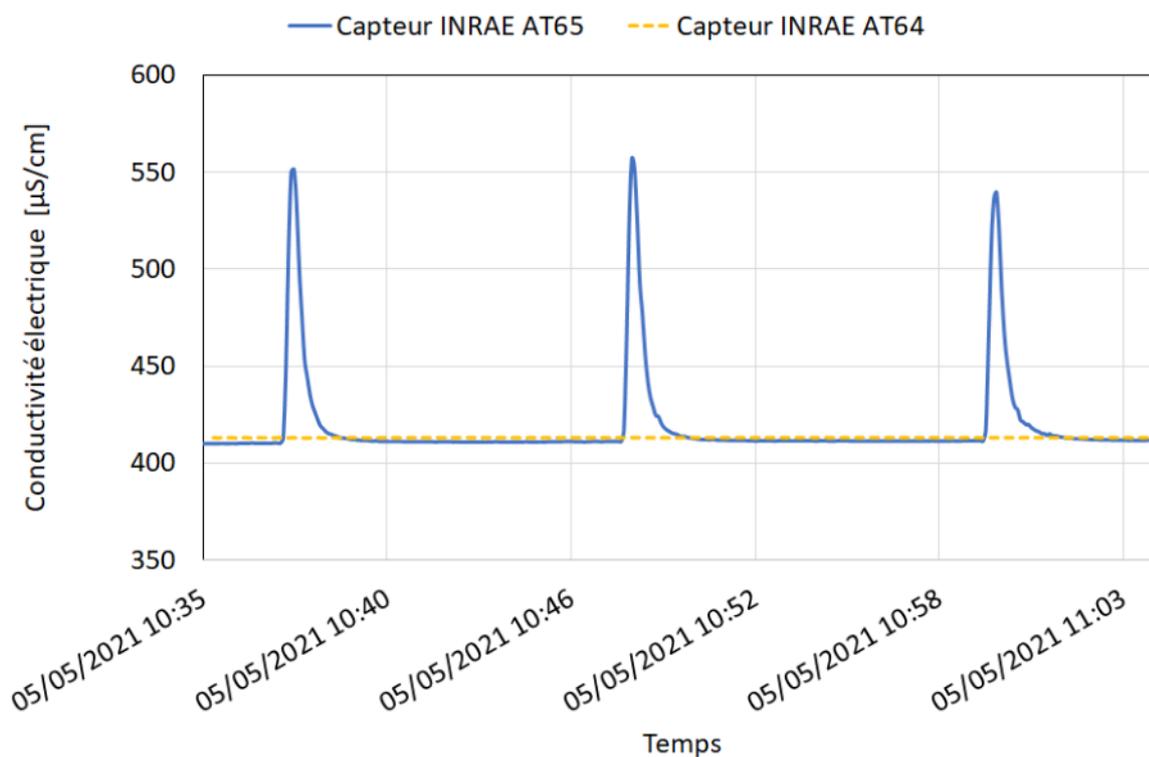


Figure 8 : Expérience A, Niveau de conductivité amont (ligne pointillée orange) trois injections successives enregistrées par la sonde AT65 au point de mesure principal (ligne bleue). (Heures en TU+2)

2.2 Expérience B

L'expérience B (cf. Tableau 2) est réalisée après une calibration des instruments *in-situ* en respectant les préconisations constructeur, tous les instruments ont été calibrés dans les mêmes solutions. Les masses de sel injectées sont respectivement de 301, 295 et 299 g pour les trois répétitions. Les résultats sont quasi identiques aux résultats de l'expérience A. Les répétitions pour chaque instrument sont un peu moins dispersées que lors de l'expérience A. Le débit moyen baisse légèrement (121.4 l/s) (cf. Figure 9).

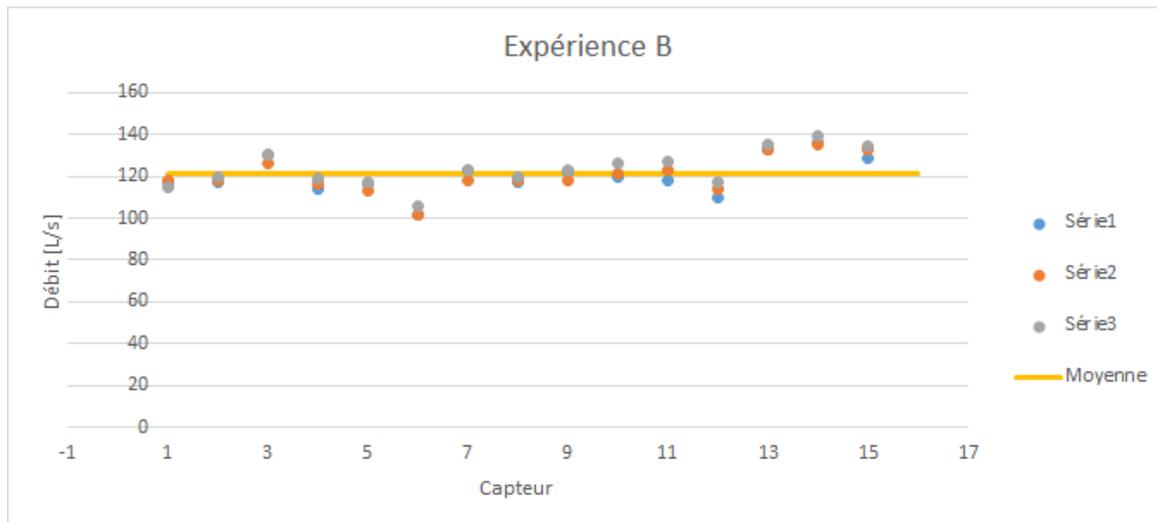


Figure 9 : Résultats de l'expérience B.

2.3 Expérience C

Les masses injectées sont respectivement de 30, 31 et 32 g de NaCl pour les trois répétitions. On teste ici la sensibilité des sondes (cf. Tableau 2), le débit moyen estimé baisse encore, tiré par des valeurs plus faibles (118,2 l/s) (cf. Figure 10).

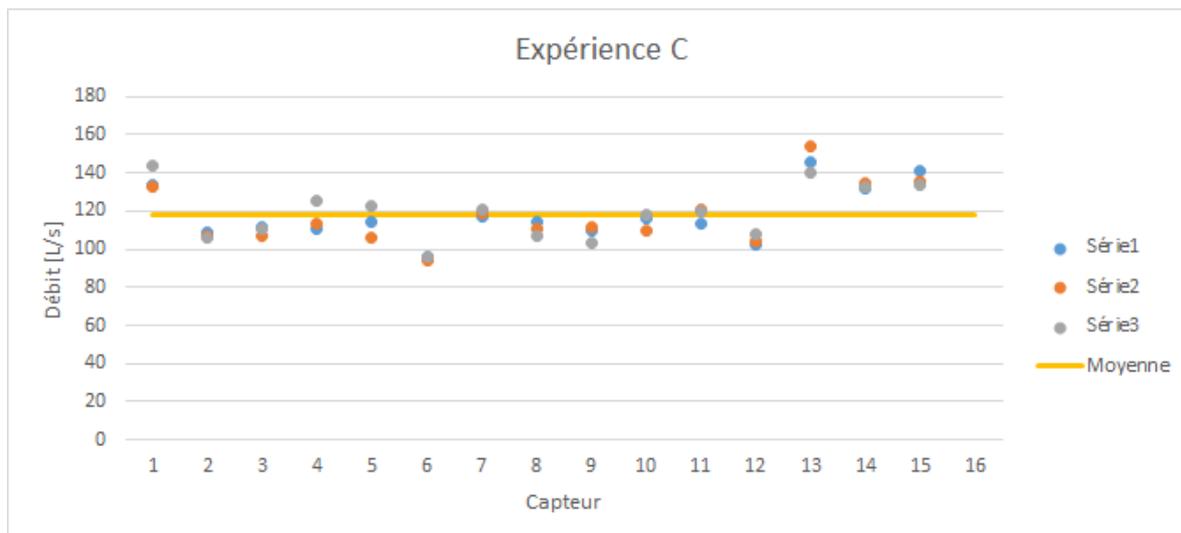


Figure 10 : Résultats de l'expérience C.

2.4 Expérience D

Les équipes sont réparties sur 4 transects de 4.2 m à 38.6 m de distance au point d'injection (cf. Tableau 2 et Tableau 3). Les doses de sel injectées sont de 300, 296 et 310 g. On voit que pour les deux premiers transects on observe une grande disparité de résultats en fonction du positionnement des sondes dans la section (cf. Tableau 3). Pour le troisième transect à 22.5 m du point d'injection les valeurs convergent vers des résultats plus cohérents mais sont encore faibles en rive droite. Le bon mélange n'est peut-être pas encore atteint. Le quatrième transect (38.6 m) donne des résultats plus cohérents avec une moyenne de 124.4 l/s, le bon mélange est quasiment atteint sur toute la largeur.

Tableau 3 : Résultats de l'expérience D représentés en fonction de la position des instruments dans les transects et de la distance au point d'injection. Les débits des trois répétitions sont en L/s et les numéros de série des instruments sont indiqués entre parenthèses.

	Transect 1 Distance 4,2 m	Transect 2 Distance 10,7 m	Transect 3 Distance 22,5 m	Transect 4 Distance 38,6 m	
Point d'injection →	0,077 / 0,075 / 1970 (4321)	583 / 567 / 541 (4312)	149 / 141 / 134 (4088)	142 / 140 / 138 (4268)	Gauche
	934 / 171 / 168 (4323)	161 / 154 / 158 (4297)	137 / 128 / 136 (4094)	128 / 127 / 125 (4181)	Milieu
	80 / 80 / 95 (HD2106) 53,9 / 64,7 / 64,7 (4328)	77,8 / 87,1 / 79,5 (4155)	97 / 95,2 / 100 (4300)	114 / 114 / 112 (4169)	Droite

2.5 Mesures complémentaires

Le jaugeage réalisé à l'ADV en aval du point de mesure principal donne un débit de 102 l/s avec 17 verticales de 1 à 3 points. Cependant ce débit est très incertain, en effet les conditions d'écoulement très turbulentes et la section sont très défavorables pour une exploration du champ de vitesse. Des obstacles en amont et dans la section rendent la mesure très mauvaise avec cette technique. La répartition des débits et vitesses par verticales sont présentées en ANNEXE 3. Une mesure avec une perche dynamique transparente (cf. § 4.1) est effectuée et donne un débit de 112 l/s inférieur également à la valeur de la courbe de tarage (cf. ANNEXE 4). La section n'est pas adaptée aux techniques d'exploration des vitesses mais on observe cependant un bon accord entre l'ADV et la perche transparente, le biais n'est pas lié à tel ou tel instrument mais bien à la mauvaise section de mesure.

3 Evaluation des incertitudes

On peut distinguer deux familles de méthodes d'évaluation des incertitudes, les méthodes appelées ascendantes (ou de propagation) et les méthodes descendantes qui vont utiliser des données expérimentales.

Les méthodes ascendantes consistent à modéliser le processus de mesure. Dans ce cas on dispose donc d'un modèle mathématique du processus de mesure, reliant chaque source d'erreur au résultat. On cherche ensuite à propager les incertitudes obtenues par une analyse paramétrique des sources d'erreur. Cette première méthode aussi appelée méthode par propagation d'incertitudes va permettre de déterminer l'incertitude de mesure associée à un résultat de mesure lié à un capteur, un protocole dans des conditions données.

Dans le cas des méthodes descendantes, on ne dispose pas du modèle du processus de mesure, et on cherche à déterminer expérimentalement l'influence des sources d'erreur sur les résultats, pour obtenir la justesse et la fidélité de la méthode de mesure, desquelles on déduira l'incertitude de mesure. C'est ce type d'approche qui est utilisé lors des tests collaboratifs ou comparaisons inter-laboratoires. On peut distinguer plusieurs objectifs dans ce genre d'approches :

- Attribuer une valeur consensuelle à une caractéristique (avec son incertitude),
- Déterminer l'aptitude d'un laboratoire,
- Déterminer les performances d'une méthode en évaluant ses incertitudes dans des conditions données.

C'est ce dernier objectif que nous recherchons dans ce travail : Déterminer l'incertitude des mesures de débit réalisées par la méthode de dilution globale sur le Ru de l'Homède dans les conditions de débit du jour. En l'absence de valeur de référence de débit permettant un raccordement au S.I., on

peut exploiter les résultats de débit de cet essai collaboratif selon une procédure et les préconisations des normes ISO 5725-2 et ISO 21748. La première norme a pour objectif de quantifier les performances de la méthode, en termes de répétabilité et de reproductibilité.

On définit dans le VIM (Vocabulaire International de la Métrologie) la « condition de répétabilité : condition de mesurage dans un ensemble de conditions qui comprennent la même procédure de mesure, les mêmes opérateurs, le même système de mesure, les mêmes conditions de fonctionnement et le même lieu, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires pendant une courte période de temps » (VIM). On est ici strictement dans les mêmes conditions de mesure. Quand ces conditions sont respectées on peut calculer un écart-type de répétabilité.

La condition de reproductibilité est définie (VIM) comme une « condition de mesurage dans un ensemble de conditions qui comprennent des lieux, des opérateurs et des systèmes de mesure différents, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires ». Autrement dit on fait alors varier les conditions de mesure. On calcule ensuite un écart-type de reproductibilité.

La seconde norme (ISO 21748) permet de traduire ces résultats en termes d'incertitude de mesure. La démarche de calcul et des outils logiciels (tableurs) sont disponibles pour appliquer l'analyse statistique. Nous ne détaillerons pas les étapes du calcul qui sont bien documentés dans de précédents travaux (Dramais et al. 2011, Blanquart 2013, Bertrand et al. 2016, Le Coz et al. 2016, Despax, 2016).

Tableau 4 : Résultats d'incertitude élargie lors de la comparaison sur le ru de l'Homède.

Expérience	Incertitude interlaboratoire élargie (k=2)	Effet testé
A	13.7%	Effet de la calibration par défaut de chaque instrument
B	14.8%	Effet de la calibration sur site (mais sans effet opérateur même calibration pour tous)
C	24.9%	Injection d'une très faible dose de sel : effet de la sensibilité des capteurs
D	312%	Effet de mélange incomplet

Les résultats en terme d'incertitude donnent des résultats intéressants (Cf. Tableau 4). La calibration pré-existante permet d'obtenir la meilleure incertitude. Cependant trois capteurs ayant une calibration défectueuse avaient été identifiés et corrigés. L'incertitude calculée lors de l'essai B dégrade un peu l'incertitude mais cette différence n'est pas vraiment significative, une contamination de la solution suite aux trempages successifs des différentes sondes est peut-être une piste d'explication. L'essai D quant à lui met en évidence l'importance du brassage du traceur et de la distance de mélange. Même pour les deux premiers essais on est loin des performances annoncées de la méthode par dilution de traceur, en effet on annonce souvent une incertitude de 5% pour cette méthode.

4 Comparaison sur le Durzon

Le Durzon, appelé aussi ruisseau du mas de Pommiers est une source issue du plus grand système karstique du Causse du Larzac. Son bassin d'alimentation présente une superficie d'environ 120 km² (Thiéry, 2018). Sa source se trouve sur la commune de Nant, à l'Est du Causse. Une station hydrométrique (code hydro O3335010) est suivie par le PNR des Grands Causses dans le cadre du réseau de surveillance des eaux souterraines. Ce site présente un débit très stable. Le Durzon présente un chenal rectiligne très régulier propice au déploiement des méthodes de jaugeage par exploration du champ des vitesses (5 m de large, 70 cm de profondeur moyenne pour une vitesse moyenne de 0,3 m/s). Une comparaison interlaboratoire, organisée par le réseau mesure d'IRSTEA (Despax et al. 2014) avait eu lieu sur le même tronçon ainsi que sur le Cernon pour comparer des mesures au courantmètre sur perche.

4.1 Les perches à charge dynamique transparentes : une solution à bas coût de jaugeage

La perche à charge dynamique transparente est un outil de jaugeage peu coûteux, facile et rapide à utiliser, fournissant des débits fiables dans les bonnes conditions d'application (vitesse supérieure à 20 cm/s sur la majeure partie de la section) (cf. Figure 11). Le principe de mesure est de déterminer la différence de niveau d'eau Δh (en mètres) entre l'amont et l'aval de la perche dont la face la plus large est opposée à l'écoulement. La valeur Δh augmente avec la charge dynamique liée à la vitesse de l'écoulement moyenne sur la verticale, V (en m/s).

Le modèle développé par INRAE en 2020 coûte moins de 100€ et reste relativement facile à construire. Des expériences de comparaison à des mesures de référence réalisées dans un laboratoire hydraulique et sur différents sites de terrain ont permis de confirmer la relation d'étalonnage semi-empirique établie par Pike et al. (2016), et les débits jaugés sont généralement à moins de 10% du débit de référence. Un effet opérateur lié à la manipulation des réglets et à la lecture de la différence de niveau d'eau peut néanmoins entraîner des écarts plus importants, ce qui requiert une formation et une attention particulière à cette étape du processus de mesure (Le Coz et al. 2021).



Figure 11 : Perche dynamique transparente en position de mesure à gauche puis en position de lecture de la charge à droite.

4.2 Mesures sur le Durzon

Plusieurs jaugages sont réalisés simultanément le 6 mai 2021 sur le Durzon, l'exercice est plus libre que la veille sur le ru de l'Homède et a une vocation d'échange et de formation. Les mesures ne sont pas répétées, ce qui ne permet pas une exploitation statistique de type comparaison interlaboratoire. Le débit est resté stable pendant l'expérience. La température de l'eau était de 12.6°C.

Plusieurs systèmes de mesure sont testés :

- Un ADCP streampro sur son catamaran léger (cf. Figure 14). La section et les conditions d'écoulement sous le pont étant favorables, l'ADCP peut être considéré comme référence en plus des valeurs de la courbe de tarage du site modélisée et vérifiée par des jaugages réguliers (cf. ANNEXE 6). La Figure 12 présente le champ de vitesse mesuré par l'ADCP lors d'un transect, le résumé des données des 10 traversées est présenté en ANNEXE 10. Dans cette série de mesure ADCP, 61% du débit est mesuré (le reste étant extrapolé) le coefficient de variation de la série est de 6,9%.

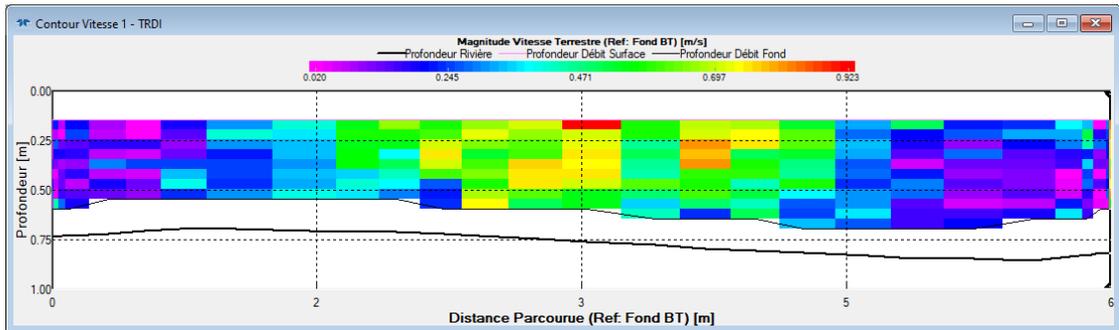


Figure 12 : Transect ADCP sur le Durzon (moyenné à 3 ensembles).

- Les perches transparentes sont mises en œuvre sur deux sections : Une section aval du pont (cf. Figure 14), juste avant un rail qui fait office de léger seuil noyé. La section est encombrée d’herbiers (cf. Figure 11). L’autre section plus en amont est plus propice aux mesures (cf. Figure 15).

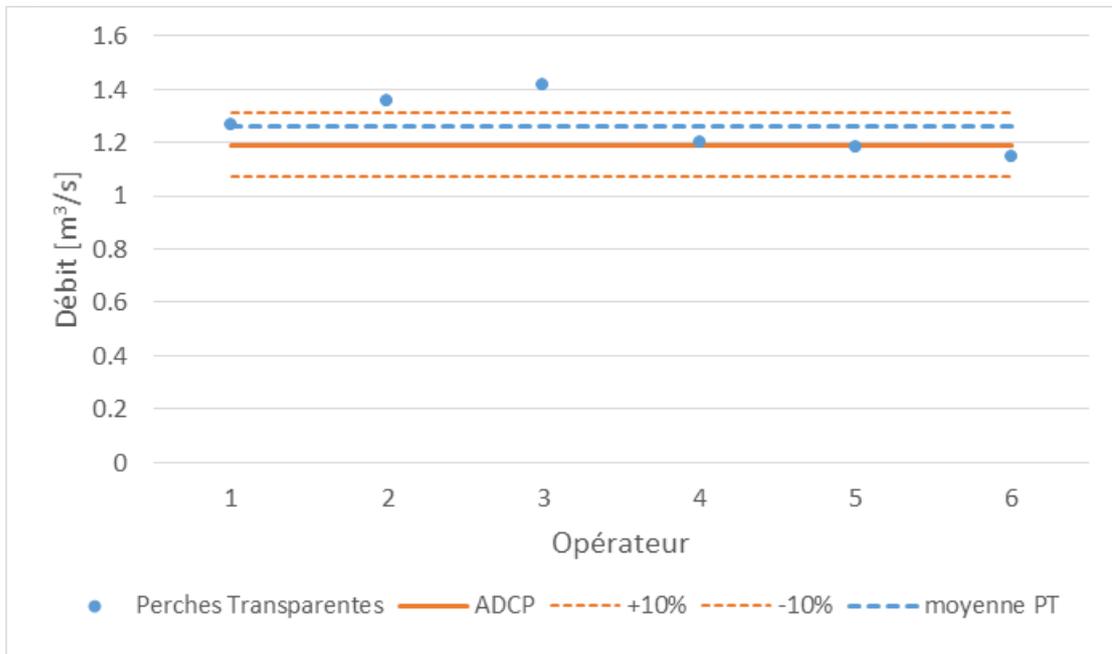


Figure 13 : Résultats des jaugeages à la perche transparente, Durzon. Mesures amont, 1 à 3. Mesures aval du pont, 4 à 6.

6 jaugeages sont effectués à la perche transparente, l’incertitude est de 21% pour un jaugeage isolé, 9% pour la moyenne des 6 équipes. Ces résultats sont en bon accord avec l’ADCP, mais la dispersion est plus forte qu’attendu (10%). Cette dispersion peut s’expliquer par des erreurs de lecture, en effet la lecture de la charge nécessite un certain entraînement. Il peut être utile de vérifier et comparer la lecture entre opérateurs, une lecture avec les deux bras tendus permet de s’assurer que la perche est bien perpendiculaire au regard. Une attention particulière doit être portée au réglage précis des réglets sur les niveaux d’eau.

- Une station « Autosalt » pour la réalisation automatique de jaugeages par dilution de sel, programmable pour des suivis de quelques heures à plusieurs jours avec de nombreuses possibilités de programmation (Fathom). Ce dispositif de mesure nécessite l'instrumentation de trois sites, un site amont de suivi de la conductivité naturelle, un site d'injection avec un réservoir de solution saline équipé d'un mélangeur et d'une pompe programmable, puis en aval une station de mesure avec plusieurs capteurs. La sensibilité des capteurs est très bonne, mais le temps d'installation n'est pas négligeable. Ce dispositif peut permettre des mesures très intéressantes pour expliquer le fonctionnement d'un ouvrage ou d'un cours d'eau sur une période de quelques jours/semaines (pour l'établissement de courbe de tarage par exemple ou des contrôles de nuit).
- Des courantomètres de différentes marques et technologies, un moulinet hydrométrique Neyrpic avec compteur mécanique en parfait état, une perche ADC de Ott (capteur ultrason Doppler) et un courantomètre électromagnétique Fluvia RC2 de Cometec plus récents.

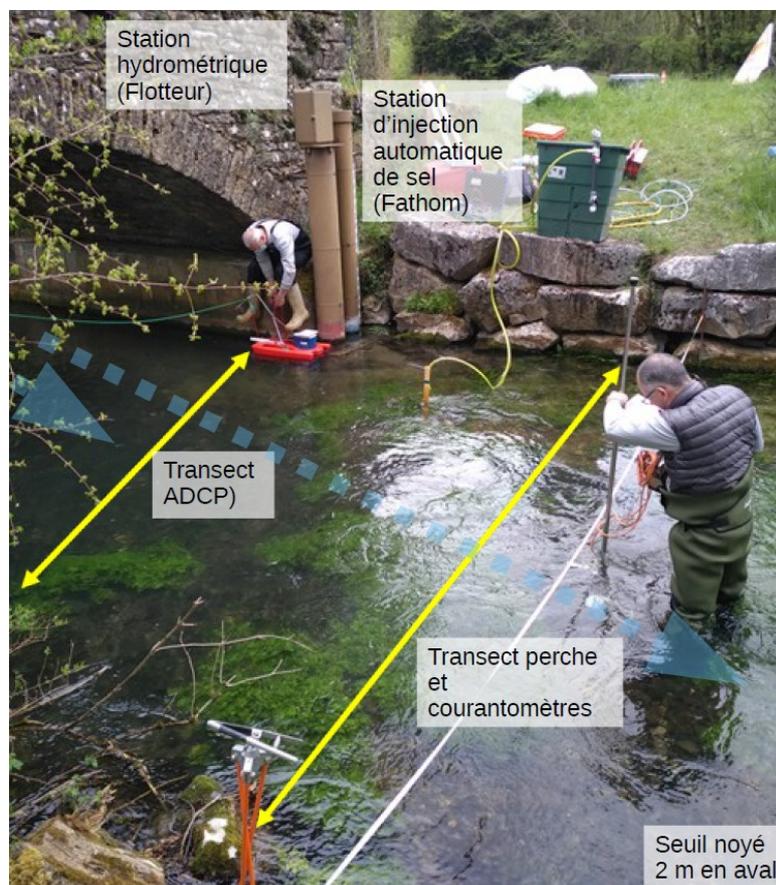


Figure 14 : Section de la station hydrométrique du Durzon et dispositifs en place pour les mesures le 6 mai 2021



Figure 15 : Mesures par perche dynamique sur la section amont du Durzon

4.3 Résultats et interprétation des essais sur le Durzon

Les résultats de la comparaison sur le Durzon sont également très intéressants. Ils ne peuvent pas être exploités statistiquement de la même façon que ceux de la veille principalement car il s'agit de technologies de jaugeage différentes et qu'un seul niveau de débit a été mesuré.

Tableau 5 : Résultats de la comparaison du Durzon à Nant.

Equipe	Technique	Débit mesuré [m ³ /s]	Ecart à la moyenne [%]	Remarque
PNR Grands Causses	Courbe de tarage	1.425	+12	Courbe modélisée
INRAE - OFB	ADCP stream pro - Profileur Doppler à ultrasons	1.19 (Uc=6.7%)*	-6	SN 854 Moyenne de 10 transects (Cf. ANNEXE 10)
OFB DR AURA	Fluvia RC2 – courantomètre électromagnétique	1.08	-15	3 points par verticale, 11 verticales (Cf. ANNEXE 8)
OFB SD 43	ADC Ott – Courantomètre Doppler à ultrasons	1.183	-7	3 points par verticale, 12 verticales (Cf. ANNEXE 9)
OFB SD 04	Moulinet Neyrpic -	1.5	+18	1 point par verticale, 11 verticales
INRAE	Autosalt Essai 1	1.42	+12	pas de retour complet au niveau de base
INRAE	Autosalt Essai 2	1.13	-11	Influencé par l'essai 2, pas de retour au niveau de base
OFB	Perche transparente	1.24 (Uc=9%)**	-2	Moyenne de 6 jaugeages
Moyenne		1.27		
Ecart type		0.15		
Moyenne/écart type		8.2%		

*L'incertitude ADCP (k=2) est déterminée avec le logiciel Qrevint à partir du jeu de données.

**L'incertitude sur les mesures par perche est calculé à partir des écarts types du jeu de données.

La valeur moyenne de débit calculée est un peu inférieure à la donnée issue de la courbe de tarage mais les résultats sont cohérents entre eux (cf. Tableau 5).

5 Conclusion générale

Ces deux essais s'inscrivent dans la continuité des travaux de comparaisons interlaboratoires en hydrométrie menées en France depuis plus d'une dizaine d'années.

L'essai à Creissels centré sur la méthode par dilution de sel confirme les avantages de cette technique qui est simple à mettre en œuvre et bien adaptée aux sites à géométrie complexe. Les quatre essais sont exploités selon les référentiels en vigueur qui permettent d'obtenir une incertitude élargie sur la

méthode globale par dilution dans les conditions du jour de 13.7% avec un étalonnage pré-existant (essai A) et de 14.8% après un étalonnage *in-situ* (essai B). L'essai C teste la sensibilité des instruments à des doses de sel trop faibles, on confirme ici le besoin d'injecter une dose adaptée au débit attendu et à la sensibilité des capteurs. Enfin l'essai D, qui teste différentes distances de mélange permet de mettre en évidence que le bon mélange n'était pas totalement atteint lors des trois premiers essais. Ce qui expliquerait peut-être les résultats dispersés et une incertitude plus élevée que ce qu'on pouvait attendre de la méthode par dilution qui est réputée la plus fiable parmi les techniques de jaugeage. Effectivement, les essais interlaboratoires précédents (dans d'autres configurations de rivières et de technologie testées) ont donné des résultats d'incertitudes plutôt inférieurs.

On rappelle qu'il vaut mieux injecter dans un « entonnoir » naturel, une contraction, qui favorise ensuite le mélange latéral. On doit éviter les zones de rétention de traceur possible.

Il est important de répéter l'injection de traceur en déplaçant la sonde de part et d'autre de la section pour faire s'exprimer cette source d'erreur. Si l'on répète des mesures sans changer de position, l'excellente répétabilité des essais peut-être très trompeuse et donner une confiance aveugle dans un résultat de débit biaisé. Cette répartition des sondes latéralement lors des répétitions de traçage est donc indispensable pour s'assurer du bon mélange.

Une nouvelle comparaison sur ce site, avec des tests plus poussés de l'effet de la distance de mélange et de la répartition des sondes dans la section pourrait permettre d'affiner ces premiers résultats et de réduire l'incertitude.

Même si la dispersion des résultats est plus importante qu'attendue, l'essai du Durzon confirme l'intérêt des perches transparentes à charge dynamique pour effectuer des jaugeages rapides à bas coût. Ces instruments doivent être utilisés dans de bonnes conditions de mesure et une attention particulière doit être portée sur la lecture de la charge dynamique pour effectuer les mesures les plus exactes possible. Ces instruments peuvent convenir pour de nombreuses applications.

Remerciements : Ce travail a pu être réalisé grâce au financement de la convention de collaboration entre l'OFB et l'INRAE. Merci à Jean-Maxence Ditché et Thierry Miramont de l'OFB pour leur appui dans ce travail et aux participants à ces journées pour leur implication. Merci également à Christophe Apolit du PNR des Grands Causses pour les données hydrométriques et son appui dans la préparation des essais.

6 Bibliographie

Bertrand, X., Collobert, M., Besson, D., Puechberty, R. (2016) Guide pratique Intercomparaisons de mesures de débit en rivière. 52p.

Blanquart B., Panorama des méthodes d'estimation des incertitudes de mesure, conférence invitée du Congrès SHF "Mesures hydrologiques et incertitudes", Cachan, 15-16 mai 2013.

<https://www.mezyr.fr/>

Despax, A., G. Dramais, and A. Hauet. (2014) Rapport d'essai: Comparaison de mesures du débit des petits cours d'eau par courantomètres sur perche. Journées d'intercomparaison des 15, 16 et 17 octobre 2013.

Despax, A. (2016). Incertitude des mesures de débit des cours d'eau au courantomètre. Amélioration des méthodes analytiques et apports des essais interlaboratoires (Thèse de doctorat, Université Grenoble Alpes).

Dramais, G., Blanquart, B., Le Coz, J. (2011) Comparaison de méthodes de mesure du débit des petits cours d'eau. Journées d'intercomparaison des 17 et 18 mai 2011. pp.53. hal-02596693

Dramais, G., Blanquart, B., Le Coz, J., Pierrefeu, G., Hauet, A., Atmane, D., & Pobanz, K. (2014). Les essais inter laboratoires en hydrométrie, méthodologie et cas d'applications. La Houille Blanche, (5), 17-23.

ISO 21748, (2017) - 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.

ISO 5725-2, (2019) 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.

Le Coz, J., Pierrefeu, G., Brochot, J.F., et al (2007). Jaugeage des rivières par ADCP : pour une culture commune, La Houille Blanche – Revue internationale de l'eau, 4, 111-118.

Le Coz, J., Camenen, B., Dramais, G., Ferry, M., Rosique, J. L., & Ribot-Bruno, J. (2011). Contrôle des débits réglementaires. Application de l'article L, 214, 18.

Le Coz, J., Blanquart, B., Pobanz, K., Dramais, G., Pierrefeu, G., Hauet, A., & Despax, A. (2016). Estimating the uncertainty of streamgauging techniques using in situ collaborative interlaboratory experiments. Journal of Hydraulic Engineering, 142(7), 04016011.

Le Coz, J., Lagouy, M., Pernot, F., Buffet, A., Berni, C. (2021) Jaugeages à bas coût par perches transparentes (SHF Hydrométrie 2021 – A paraître)

Pike, R., Redding, T., and Schwarz, C. (2016). Development and testing of a modified transparent velocity-head rod for stream discharge measurements. *Canadian Water Resources Journal*, 41(3):372–384.

Thiéry, D. (2018) – Modélisation hydrologique globale des débits de 23 sources karstiques avec le logiciel ÉROS. Rapport BRGM/RP-67723-FR, 66 p., 23 fig. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-67723-FR.pdf>

Vocabulaire international de métrologie — Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM). JCGM 2008.

Ressources utiles

Logiciel Qrevint (incertitudes ADCP) : <https://www.geneshydrotech.com/qrevint>

Logiciel Solution NaCl : <https://stratus.irstea.fr/d/de4ee4d461674e8db77c/>

Portail de l'hydrométrie francophone : <https://gdh.inrae.fr>

Table des annexes

ANNEXE 1 : Fiche Memo dilution

ANNEXE 2 : Courbe de tarage - Ru de l'Homède à Creissels (12)

ANNEXE 3 : Extrait du rapport de jaugeage ADV - Ru de l'Homède à Creissels (12)

ANNEXE 4 : Champ de vitesse mesuré à la perche transparente et bathymétrie de la section sur le Ru de l'Homède à Creissels (12)

ANNEXE 5 : Tableaux de résultats de la comparaison - Ru de l'Homède à Creissels (12)

ANNEXE 6 : Courbe de tarage - Durzon à Nant (12)

ANNEXE 7 : Fiche Memo perche transparente

ANNEXE 8 : Données de jaugeage – Courantomètre électromagnétique Durzon à Nant (12)

ANNEXE 9 : Données de jaugeage – Courantomètre acoustique ADC Durzon à Nant (12)

ANNEXE 10 : Résumé des mesures ADCP – Durzon à Nant (12)

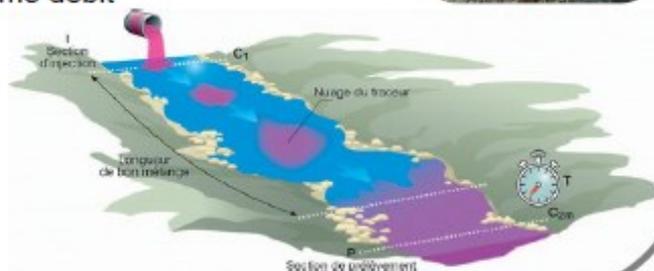
ANNEXE 1 : Fiche Memo dilution

Je choisis un site de mesure adapté

- Ecoulement brassé assurant un bon **mélange latéral** (renvois gauche-droite)
- Peu de zones mortes ou recirculations
- Chenal unique
- Estimer la **distance de bon mélange** L_m
 - je fais un test avec un colorant
 - je répète la mesure en augmentant progressivement la distance de mélange
 - je mesure en rive droite, au centre, à gauche et je dois retrouver le même débit



$L_m \approx 5$ à 10 fois
largeur² / profondeur



Je dispose du matériel de mesure nécessaire

Injection :

- Doses de 10, 50, 100 g de sel
- Seau pour préparer la solution :
 - Mélanger la masse connue de sel dans un seau de 10 litres jusqu'à dissolution complète

100 à 300 g de sel
par 100 L/s
de débit

Mesures :

- Salinomètre ou conductimètre
- Échelle ou repère pour le niveau d'eau
- Chronomètre si le conductimètre n'a pas de fonction d'enregistrement

Calage in-situ :

- Éprouvette graduée, fioles jaugées
- Doses de 1 g de sel

Peser les doses de sel de cuisine (sec) au préalable sur une balance de précision (résolution $\leq 0,01$ g)



Document de référence :

- **Guide pratique** : Contrôle des débits réglementaires. Application de l'article L. 214-18 du Code de l'environnement (2011), J. Le Coz, B. Camenen, G. Dramais, M. Ferry, J.-L. Rosique, J. Ribot-Bruno, 128 p. → **chapitre 7**

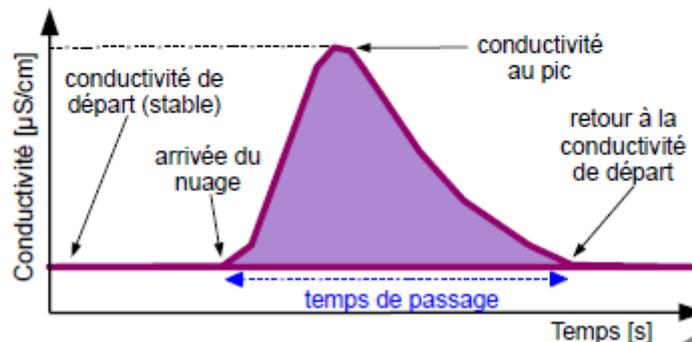
Je mets en œuvre la mesure

- **Placer la sonde** dans l'eau courante à mi-profondeur
→ attendre la mise en température du capteur
- Noter la **conductivité de départ**, qui doit être stable
- **Lancer l'acquisition** à un pas de temps fin (1 à 5 s)
- **Injecter** la solution dans une zone rapide et **bien rincer** le seau
- Noter les mesures ou surveiller l'afficheur pour voir l'évolution de la conductivité et attendre le **passage complet du nuage de traceur**
→ la conductivité doit revenir à une valeur proche de celle de départ
→ la conductivité maximale (au pic) doit valoir au moins 10 fois la limite de détection du capteur

Ne pas placer la sonde trop près du fond ou du bord

Répéter la mesure 3 fois si possible

Vérifier le bon mélange !!!



Je dois déterminer la relation entre conductivité électrique de l'eau et concentration en sel ajouté, dans la gamme du nuage mesuré

→ mesurer la conductivité de l'eau de la **rivière**
La concentration en sel ajouté est nulle (point « rivière »)

→ réaliser une **solution-mère**, par ex. en diluant 1 g de sel dans 2 L d'eau de rivière (500 mg/L)

→ **diluer** la solution-mère pour ramener sa conductivité juste au-dessus de celle au pic, ce qui fournit le 1^{er} point de calage

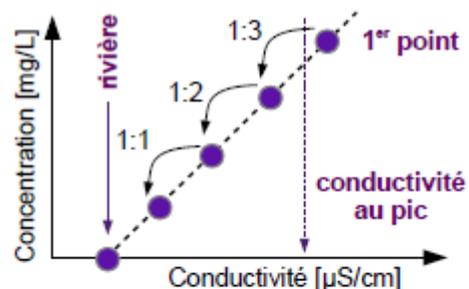
Bien noter les volumes d'eau de rivière ajoutés à 1 volume de solution-mère lors des dilutions

→ **diluer alors à 1:3, puis 1:2, puis 1:1** pour obtenir 3 autres points de calage

1:N = 1 volume d'eau de rivière pour N volumes de solution à diluer

$$\text{Conc} = a \times \text{Cond} + b$$

$a \approx 0,54 \text{ mg/L}$
par $\mu\text{S/cm}$ à 18°C



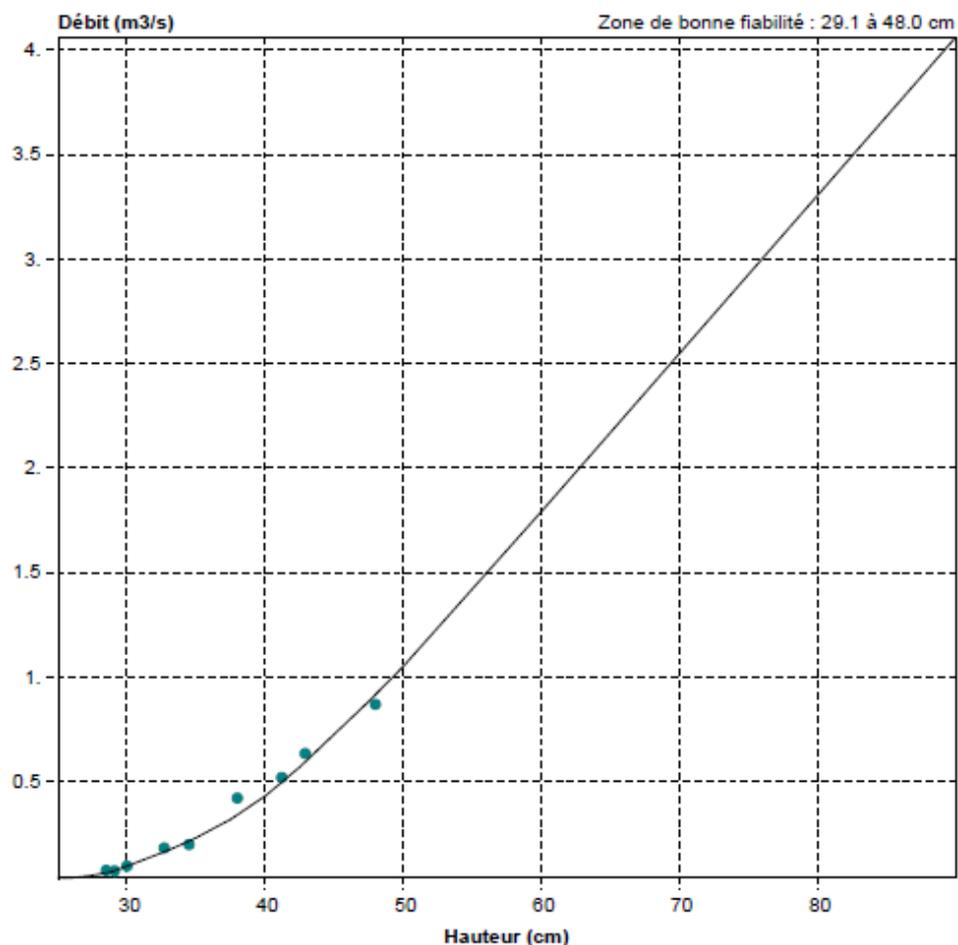
Toujours diluer avec l'eau de rivière en conservant sa température

Dépouillement du débit et édition du rapport de jaugeage :

- **Logiciel constructeur ou fichier tableur avec calculs intégrés**
- **Pièces annexes** : fiche terrain renseignée, vérifications du niveau d'eau en cours de jaugeage, photos du site de mesure amont/aval, et du site d'injection

ANNEXE 2 : Courbe de tarage
Ru de l'Homède à Creissels (12)

Le ru de l'Homède à CREISSELS (HOMÈDE) (O3405610)
Courbe numéro 1 valide du 01/12/1998 00:00 au 01/01/2050 00:00

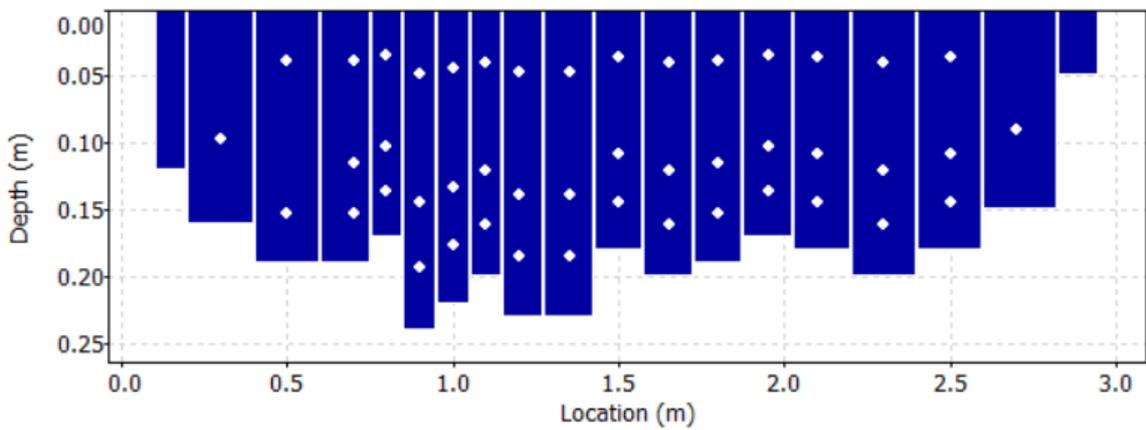
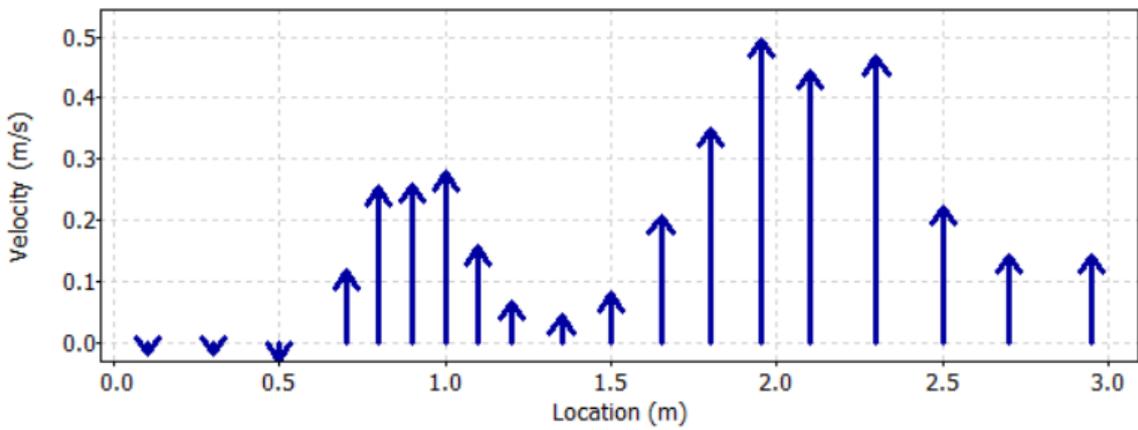
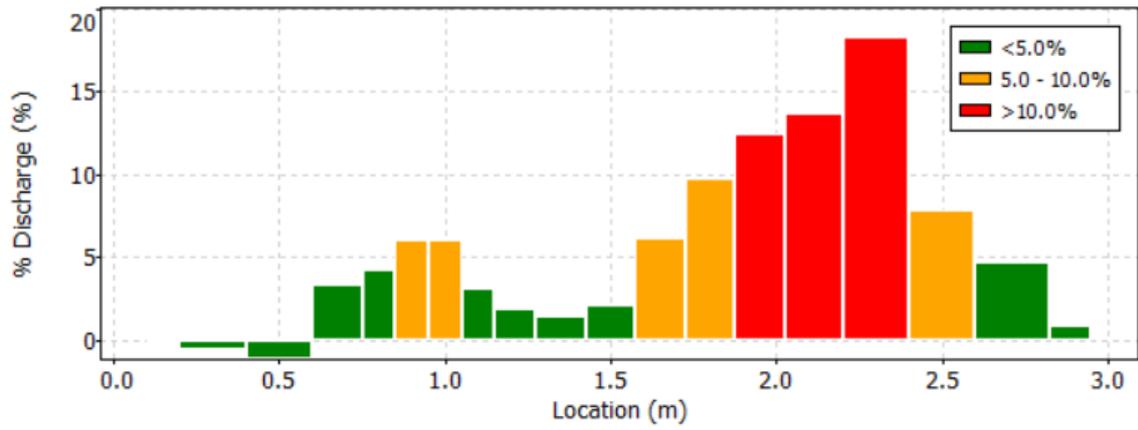


Barème de tarage (Hauteur en cm - Débit en m3/s)

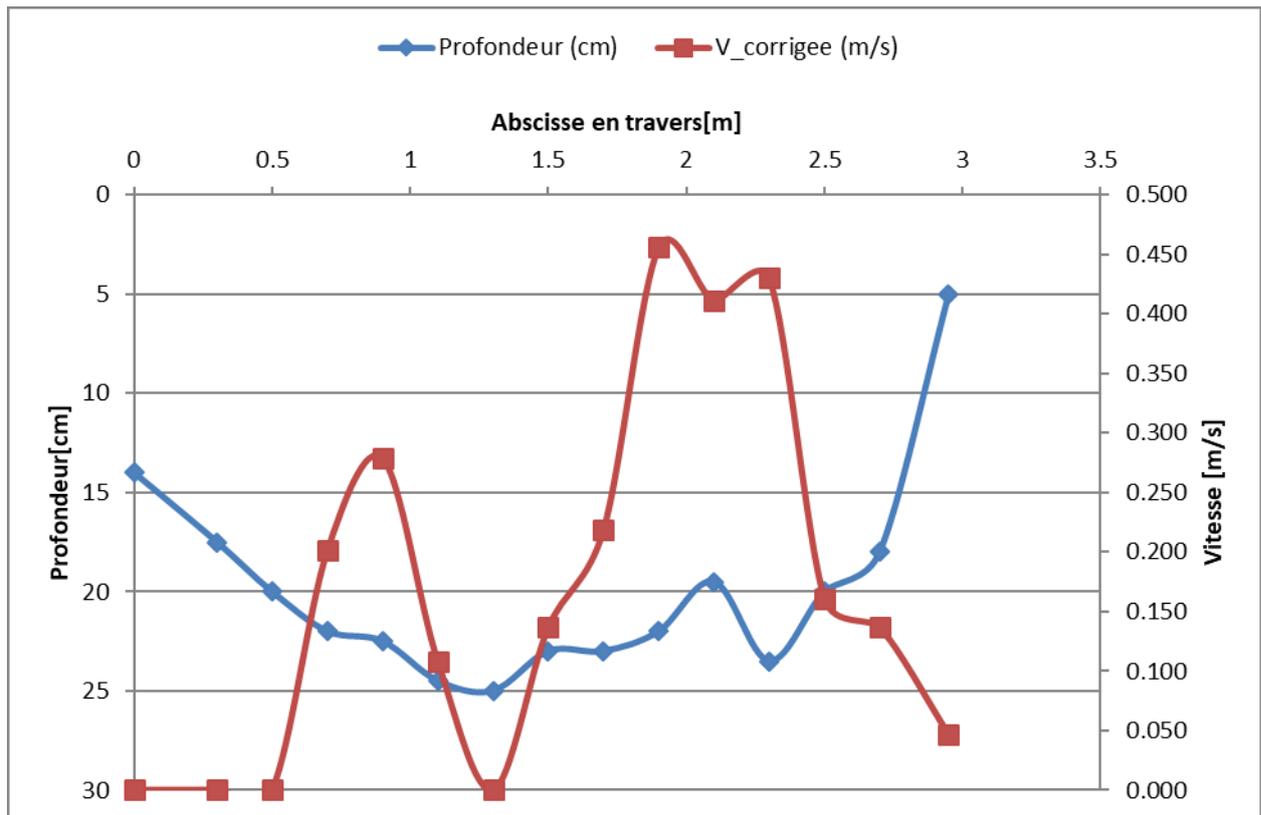
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20						0.037	0.040	0.045	0.055	0.070
30	0.095	0.120	0.145	0.170	0.200	0.230	0.265	0.300	0.340	0.385
40	0.430	0.485	0.540	0.599	0.662	0.725	0.788	0.851	0.916	0.983
50	1.05	1.12	1.20	1.27	1.35	1.42	1.49	1.57	1.64	1.72
60	1.79	1.87	1.94	2.02	2.09	2.17	2.24	2.32	2.40	2.47
70	2.55	2.62	2.70	2.77	2.85	2.93	3.00	3.08	3.15	3.23
80	3.30	3.38	3.45	3.53	3.61	3.68	3.76	3.83	3.91	3.98
90	4.05									

Exemple : pour H = 57 cm, Q = 1.57 m3/s

ANNEXE 3 : Extrait du rapport de jaugeage ADV
Ru de l'Homède à Creissels (12)



ANNEXE 4 : Champ de vitesse mesuré à la perche
transparente et bathymétrie de la section sur le Ru de
l'Homède à Creissels (12)



ANNEXE 5 : Tableaux de résultats de la comparaison
Ru de l'Homède à Creissels (12)

Résultats de l'expérience A – Creissels 05/05/2021

Instrument	N° Série	Débit - 1ère injection [l/s]	Débit - 2nde injection [l/s]	Débit - 3ème injection [l/s]
salinoMADD INRAE	4094	128	133	132
salinoMADD SD04	4155	130	132	132
salinoMADD SD38	4268	132	135	137
salinoMADD SD26-I	4181	123	125	125
salinoMADD SD26-III	4169	124	128	128
salinoMADD SD09	4312	106	111	115
salinoMADD SD43	4297	131	132	131
salinoMADD Pôles Ecohydraulique	4328	135	143	146
salinoMADD SD15	4300	133	133	137
salinoMADD SD42-1	4321		139	140
salinoMADD SD42-2	4323	135	142	141
salinoMADD SD73	4088	136	138	140
conductimètre INRAE	HD2106	125	128	126
AutoSalt-1 INRAE	AT65	139	138	141
AutoSalt-2 INRAE	AT66	128	132	139

Résultats de l'expérience B – Creissels 05/05/2021

Instrument	N° Série	Débit - 1ère injection [l/s]	Débit - 2nde injection [l/s]	Débit - 3ème injection [l/s]
salinoMADD INRAE	4094	117	118	115
salinoMADD SD04	4155	117	118	120
salinoMADD SD38	4268	130	126	130
salinoMADD SD26-I	4181	114	116	119
salinoMADD SD26-III	4169	116	113	117
salinoMADD SD09	4312	102	102	106
salinoMADD SD43	4297	123	118	123
salinoMADD Pôles Ecohydraulique	4328	117	118	120
salinoMADD SD15	4300	122	118	123
salinoMADD SD42-1	4321	120	121	126
salinoMADD SD42-2	4323	118	123	127
salinoMADD SD73	4088	110	114	117
conductimètre INRAE	HD2106	133	133	135
AutoSalt-1 INRAE	AT65	136	135	139
AutoSalt-2 INRAE	AT66	129	133	134

Résultats de l'expérience C – Creissels 05/05/2021

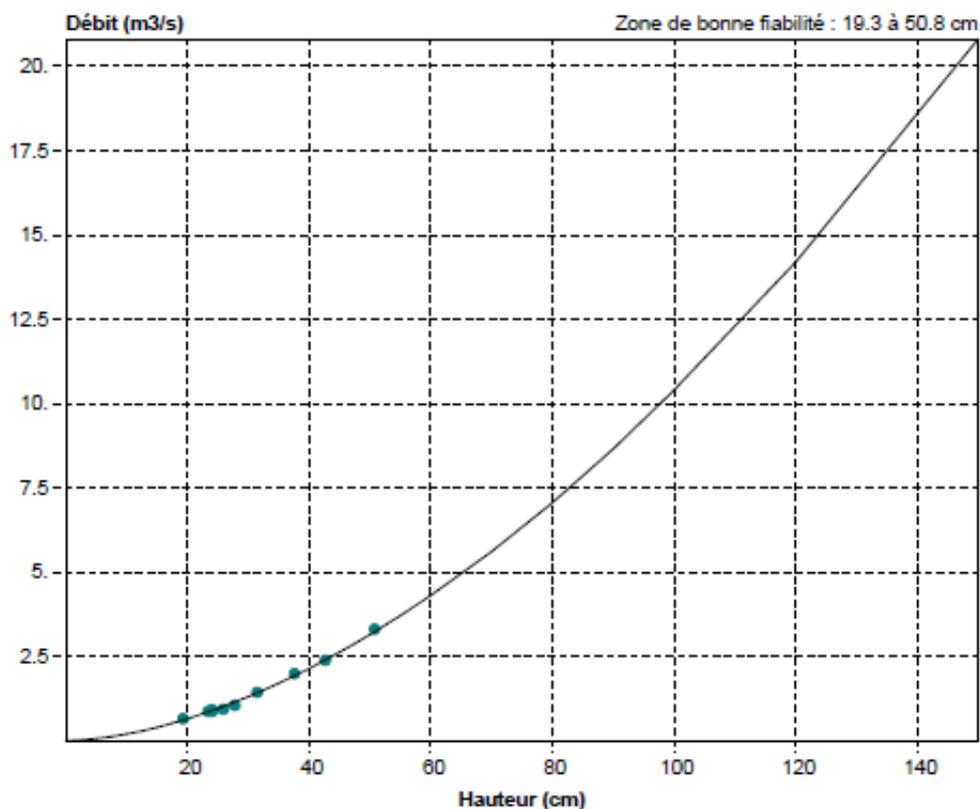
Instrument	N° Série	Débit - 1ère injection [l/s]	Débit - 2nde injection [l/s]	Débit - 3ème injection [l/s]
salinoMADD INRAE	4094	134	133	144
salinoMADD SD04	4155	109	107	106
salinoMADD SD38	4268	112	107	111
salinoMADD SD26-I	4181	111	113	125
salinoMADD SD26-III	4169	114	106	123
salinoMADD SD09	4312	95.8	94.2	96
salinoMADD SD43	4297	117	119	121
salinoMADD Pôles Ecohydraulique	4328	114	111	107
salinoMADD SD15	4300	110	112	103
salinoMADD SD42-1	4321	116	110	118
salinoMADD SD42-2	4323	113	121	120
salinoMADD SD73	4088	102	104	108
conductimètre INRAE	HD2106	145.8	153.8	140
AutoSalt-1 INRAE	AT65	132	134.4	133
AutoSalt-2 INRAE	AT66	141	136	134

Résultats de l'expérience D – Creissels 05/05/2021

Instrument	N° Série	Débit – 1ère injection [l/s]	Débit – 2nde injection [l/s]	Débit – 3ème injection [l/s]	Distance à l'injection (m) et position (G, M, D)
salinoMADD Pôle	4328	53.9	64.7	64.7	4.2 / D
salinoMADD SD42-1	4321	0.077	0.075	1970	4.2 / G
salinoMADD SD42-2	4323	934	171	168	4.2 / M
conductimètre INRAE	HD2106	80	80	95	4.2 / D
salinoMADD SD04	4155	77.8	87.1	79.5	10.7 / D
salinoMADD SD09	4312	583	567	541	10.7 / G
salinoMADD SD43	4297	161	154	158	10.7 / M
salinoMADD INRAE	4094	137	128	136	22.5 / M
salinoMADD SD15	4300	97	95.2	100	22.5 / D
salinoMADD SD73	4088	149	141	134	22.5 / G
AutoSalt-1 INRAE	AT65	155	142	147	22.5 / M
AutoSalt-2 INRAE	AT66	116	116	121	38.6 / G
salinoMADD SD38	4268	142	140	138	38.6 / G
salinoMADD SD26-I	4181	128	127	125	38.6 / M
salinoMADD SD26-III	4169	114	114	112	38.6 / D

ANNEXE 6 : Courbe de tarage - Durzon à Nant (12)

Ruisseau du Mas de Pomier à NANT (LE MAS DU PRÉ - DURZON) (O3335010)
Courbe numéro 1 valide du 01/01/1990 00:00 au 31/12/2050 00:00



Barème de tarage (Hauteur en cm - Débit en m3/s)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.007	0.014	0.026	0.043	0.060	0.084	0.109	0.136	0.167
10	0.198	0.235	0.272	0.311	0.354	0.397	0.445	0.494	0.545	0.598
20	0.651	0.709	0.768	0.829	0.892	0.956	1.03	1.10	1.17	1.24
30	1.31	1.39	1.46	1.54	1.62	1.70	1.79	1.88	1.96	2.05
40	2.14	2.24	2.33	2.43	2.53	2.63	2.73	2.83	2.93	3.04
50	3.15	3.26	3.37	3.49	3.60	3.71	3.83	3.95	4.07	4.19
60	4.31	4.44	4.57	4.70	4.83	4.96	5.09	5.22	5.35	5.48
70	5.61	5.76	5.90	6.05	6.19	6.34	6.48	6.63	6.77	6.92
80	7.06	7.22	7.38	7.54	7.70	7.86	8.01	8.17	8.33	8.49
90	8.65	8.83	9.00	9.18	9.35	9.53	9.70	9.88	10.1	10.2
100	10.4	10.6	10.8	11.0	11.2	11.4	11.5	11.7	11.9	12.1
110	12.3	12.5	12.7	12.9	13.1	13.3	13.4	13.6	13.8	14.0
120	14.2	14.4	14.6	14.9	15.1	15.3	15.5	15.7	16.0	16.2
130	16.4	16.6	16.8	17.1	17.3	17.5	17.7	17.9	18.2	18.4
140	18.6	18.8	19.0	19.3	19.5	19.7	19.9	20.1	20.4	20.6
150	20.8									

Exemple : pour H = 75 cm, Q = 6.34 m3/s

ANNEXE 7 : Fiche Memo perche transparente

Je déploie correctement le matériel de mesure

- Se tenir à l'aval jambes écartées

Mesure de profondeur :

- Caler le régleur en bout de perche
- Aligner la perche sur l'écoulement

Mesure de vitesse :

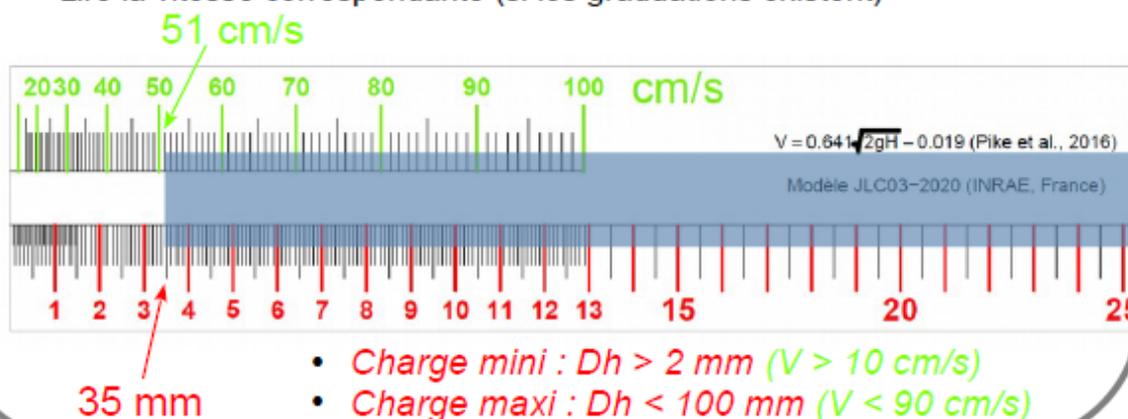
- Opposer la face sans graduation à l'écoulement
- Ajuster l'extrémité du régleur aval sur le niveau d'eau aval
- Ajuster l'extrémité du repère amont sur le niveau d'eau amont
- *Maintenir la perche verticale (bulle)*
- *Si les niveaux fluctuent, moyenner sur 40 secondes*
- *Ne pas lire la différence de niveau sur la perche dans l'eau !*



Je lis la hauteur de charge et la vitesse

Lecture hors d'eau, dans l'axe :

- Retirer la perche de l'eau
- La tenir horizontale, perpendiculairement au regard de l'opérateur
- Lire précisément la différence de niveau, sur le régleur de la face aval
- Lire la vitesse correspondante (si les graduations existent)



Dépouillement du débit et édition du rapport de jaugeage :

- **Logiciel** : utiliser le tableur INRAE (saisie des charges et calcul des vitesses) et le logiciel Cassiopée-Moulinet 2011 (calcul du débit et édition du rapport de jaugeage)
- **Incertitudes** : typiquement $\pm 10\%$ → pas plus de 3 chiffres significatifs !

ANNEXE 8 : Données de jaugeage – Courantomètre électromagnétique Durzon à Nant (12)

IV) Tableau des mesures

N° Vert	Distance à la rive (m)	Profondeur totale (m)	Durée (s)	Distance /fond (m)	Vitesse(m/s)	Vitesse (m/s)	Debit unitaire(m³/s)
1	0.2	0.41	30	0.082	0.068	0.088	0.016
				0.164	0.086		
				0.328	0.110		
2	0.8	0.48	30	0.096	0.090	0.129	0.037
				0.192	0.120		
				0.384	0.185		
3	1.4	0.6	30	0.12	0.120	0.238	0.086
				0.24	0.241		
				0.48	0.348		
4	2	0.68	30	0.136	0.120	0.258	0.105
				0.272	0.240		
				0.544	0.430		
5	2.6	0.67	30	0.134	0.324	0.384	0.155
				0.268	0.375		
				0.536	0.464		
6	3.2	0.61	30	0.122	0.325	0.413	0.151
				0.244	0.403		
				0.488	0.522		
7	3.8	0.57	30	0.114	0.370	0.445	0.152
				0.228	0.430		
				0.456	0.550		
8	4.4	0.53	30	0.106	0.360	0.465	0.148
				0.212	0.498		
				0.424	0.503		
9	5	0.51	30	0.102	0.345	0.404	0.123
				0.204	0.407		
				0.408	0.455		
10	5.6	0.52	30	0.104	0.347	0.283	0.088
				0.208	0.322		
				0.416	0.241		
11	6.2	0.49	30	0.098	0.052	0.056	0.015
				0.196	0.063		
				0.392	0.044		

Cours d'eau	Quercy
Département	12
Commune	SAINT

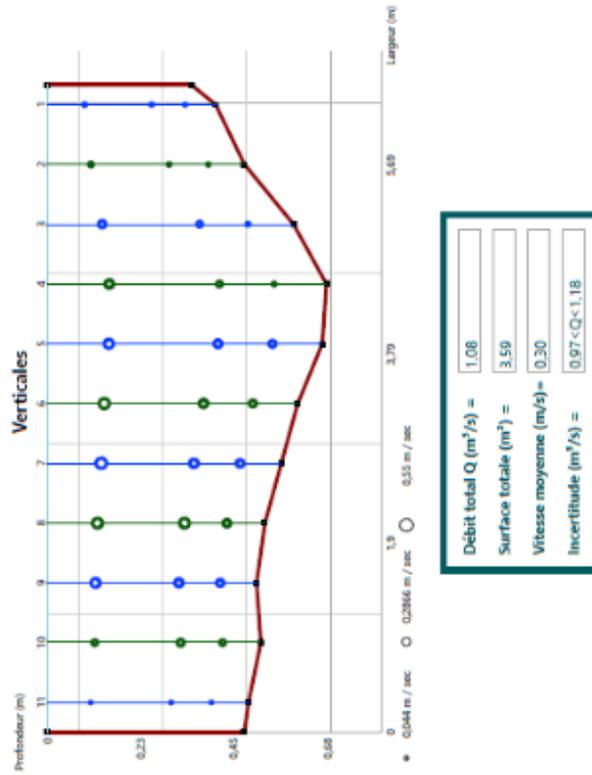
II) Caractéristiques générales

Date et heure	Sérialisation
Date: 06/05/2021	Latitude: 43.0449
Heure Début: 14:40	Longitude: 1.1777
Heure Fin: 15:40	
Particularité	Origine des mesures
Source: Calibré Géomètres	Mesures depuis la rive: Droite
Accessoire 1: Géomètres Fms	Mesures depuis: Fond
Nom des opérateurs	Longueur de la section de mesure (m)
N°1: Yann MALAUS OEB AUSA	6,5
N°2: Paul MORIS	

III) Type de mesure

Matériel	Compléments
i) Type	Aloula (FCI)
ii) Noms	P-202
iii) Numéro de série	

III) Résultats du jaugeage

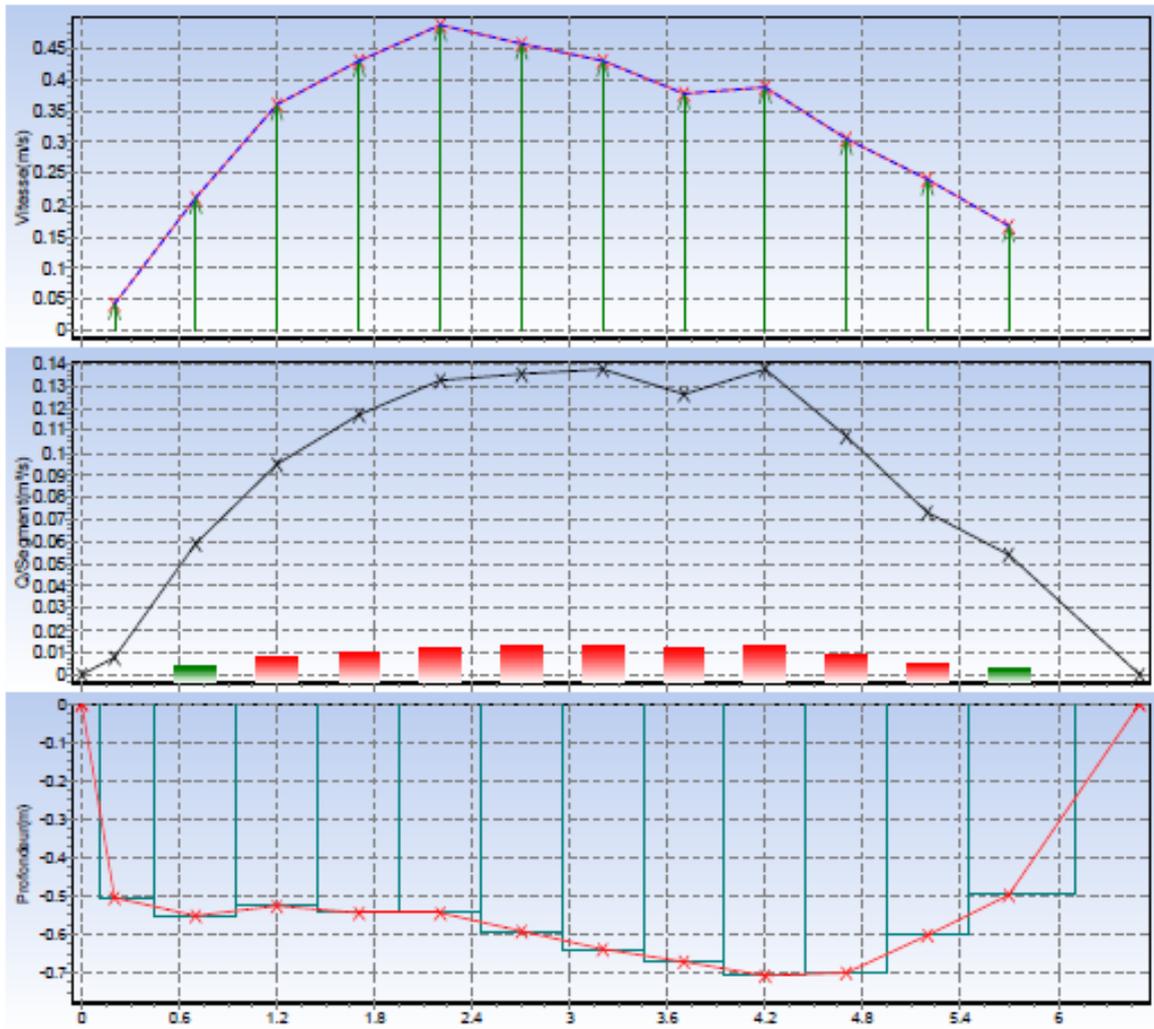


NB : Le tableau des mesures est joint en annexe page suivante

Le chef de service

ANNEXE 9 : Données de jaugeage – Courantomètre
acoustique ADC - Durzon à Nant (12)

Site: : DURZON
 Opérateur: : PM_TM
 Date/Heure : 05-04-2004 11:58:02 -> 12:36:51
 Débit (m³/s) : 1.183 +/- 0.04
 Largeur (m) : 6.50 Vitesse Moyenne (m/s) : 0.334
 Surface (m²) : 3.545 Profondeur Moyenne (m) : 0.545
 Niveau d'eau, Début: : 0.00 Fin: : 0.00
 Méthode pour Section : MID Méthode de mesure : 3 Points
 Fact. de Surface : -- Fact. de Glace : --



ANNEXE 10 : Résumé des mesures ADCP
Durzon à Nant (12)

Transect	Berge de Début	Num. Ens.	Débit Total m³/s	Ecart Débit %	Débit de Surface m³/s	Débit Mesuré m³/s	Débit de Fond m³/s	Débit Gauche m³/s	Distance Gauche m	Débit Droite m³/s
Durzon000	Gauche	58	1.119	-5.73	0.246	0.675	0.182	-0.016	0.3	0.033
Durzon001	Droite	45	1.298	9.32	0.288	0.795	0.21	-0.034	0.3	0.039
Durzon005	Gauche	62	1.224	3.08	0.257	0.724	0.192	0.025	0.25	0.025
Durzon006	Droite	51	1.098	-7.53	0.234	0.673	0.167	-0.014	0.25	0.038
Durzon007	Gauche	49	1.307	10.07	0.281	0.805	0.202	-0.004	0.25	0.023
Durzon008	Droite	60	1.221	2.83	0.264	0.751	0.18	0.003	0.25	0.023
Durzon009	Gauche	80	1.18	-0.66	0.254	0.725	0.183	-0.007	0.25	0.025
Durzon010	Droite	98	1.076	-9.38	0.233	0.66	0.162	-0.013	0.25	0.034
Durzon011	Gauche	81	1.119	-5.76	0.246	0.707	0.172	-0.037	0.25	0.031
Durzon012	Droite	54	1.232	3.75	0.263	0.761	0.179	0.007	0.25	0.021
Moyenne		63	1.187	0	0.257	0.728	0.183	-0.009	0.26	0.029
Ecart Type.		17	0.082	6.92	0.018	0.051	0.015	0.019	0.02	0.007
Ecart Type/ Moy. (%)		26.98	6.92	0	7.1	6.95	8.19	206.19	8.11	22.3
Transect	Distance Droite m	Largueur m	Section Mouillée m²	Débit/Section m/s	Vitesse Navire m/s	Vitesse Coura Dir Courant. m/s	Heure de Début	Heure de Fin		
Durzon000	0.3	4.84	3.61	0.31	0.095	0.137	15:06:09	15:07:18		
Durzon001	0.3	5.1	3.87	0.335	0.109	0.206	15:08:38	15:09:31		
Durzon005	0.25	4.72	3.68	0.332	0.068	0.187	15:39:10	15:40:23		
Durzon006	0.25	4.86	3.77	0.291	0.08	0.24	15:40:39	15:41:39		
Durzon007	0.25	4.99	3.83	0.341	0.089	0.259	15:41:53	15:42:51		
Durzon008	0.25	4.86	3.78	0.323	0.071	0.214	15:43:09	15:44:20		
Durzon009	0.25	5.11	3.95	0.299	0.063	0.266	15:44:40	15:46:15		
Durzon010	0.25	4.87	3.7	0.291	0.056	0.192	15:46:32	15:48:30		
Durzon011	0.25	4.88	3.73	0.3	0.061	0.239	15:49:00	15:50:37		
Durzon012	0.25	5.02	3.81	0.323	0.087	0.277	15:50:56	15:52:00		
Moyenne	0.26	4.93	3.77	0.315	0.078	0.222				
Ecart Type.	0.02	0.12	0.1	0.019	0.017	0.043				
Ecart Type/ l	8.11	2.52	2.58	5.95	21.81	19.38				



Centre Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes

5 rue de la Doua – CS 20244
69625 Villeurbanne Cedex
Tél. : +33 1 (0)4 72 20 87 87

Rejoignez-nous sur :



[site internet national](#) ou [site internet du centre](#)



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

INRAE