

**Licence Biologie des Organismes**

**Quantification de l'erreur associée à la mesure du courant  
de surface dans un contexte de sciences citoyennes**

**VALERY Nell**

**Stage effectué du lundi 5 mai au vendredi 27 juin 2025  
à La Pagaie Sauvage, 11 Allées de Clain 64100 Bayonne  
Sous la direction scientifique de Mme DURANTOU Lise**



*“Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil“*

*Cette version correspond à une ré-écriture réalisée le 16 juillet 2025, suite aux remarques du rapporteur de stage sur une 1ère version rendue le 08 juillet 2025.*

## Résumé

---

La pollution microplastiques représente l'un des enjeux majeurs actuels, notamment pour son impact sur l'environnement. De nombreux organismes s'investissent alors dans leur étude et la sensibilisation du grand public, parfois en les impliquant directement comme le fait le laboratoire citoyen La Pagaie Sauvage dont le travail porte sur la pollution microplastiques des eaux douces. Il implique des citoyens pour échantillonner des microplastiques de cours d'eau à l'aide de babylegs par exemple. Ceux-ci doivent également fournir la vitesse du courant, mesurée par la méthode du flotteur de surface et essentielle au calcul de la concentration en microplastiques/m<sup>3</sup>. Cependant, cette mesure s'accompagne de biais, liés à la simplicité du protocole et de l'outil ou encore au fait qu'il est adressé à un public non scientifique. Une problématique s'est alors imposée au sein de La Pagaie Sauvage : quelle est l'erreur associée à la mesure du courant ? Pour répondre à cette problématique, la justesse et la fiabilité de différents outils participatifs tels que le flotteur de surface, le flotteur à fil déroulant, la perche vélocimétrique et l'hydrométrie par analyse d'images ont été comparées entre elles puis avec celles d'un outil référence, le courantomètre électromagnétique. Les résultats ont montré que le flotteur de surface était un bon outil lorsque 2 citoyens étaient disponibles. Lorsque le citoyen est seul, le flotteur à fil déroulant représente une bonne alternative. Enfin, lorsque la donnée est nécessaire, la perche vélocimétrique peut être utilisée pour des cours d'eau peu profonds à forte turbulence. Ces outils ne dépassent globalement pas 20% d'erreur, ce qui correspond à un maximum d'environ 5m<sup>3</sup> en volume filtré. Toutefois, il serait intéressant de prolonger l'étude sur plus de 2 mois pour acquérir plus de données ou encore de la poursuivre en impliquant de vrais citoyens par exemple. L'objectif final est d'identifier dans la base de données actuelle les conditions hydrologiques des cours d'eau afin de pouvoir associer à la donnée l'erreur quantifiée.

**Mots-clés** : surveillance environnementale, eau douce, données hydrométriques, métrologie, science participative, erreurs expérimentales

## *Remerciements*

---

Dans un premier temps, je tiens à remercier grandement Lise DURANTOU de m'avoir fait confiance, de m'avoir accueillie le temps de 2 mois au sein de La Pagaie Sauvage et de m'avoir accompagnée. J'ai beaucoup appris de cette immersion professionnelle en ce qui concerne la démarche d'une étude scientifique.

Je souhaite également remercier tout particulièrement Laurent LANCELEUR, qui avec toujours beaucoup de bienveillance m'a guidé dans mon travail.

Leur chaleur humaine m'a apaisée pour la poursuite d'études et l'insertion professionnelle.

Je me dois de remercier Manon HARREWYN qui a veillé à mon confort durant 2 mois et sans qui le stage n'aurait pas été aussi simple. Merci pour le soutien, les conseils, les discussions et cette gentillesse débordante.

Plus intimement, je tiens à remercier Margaux, qui m'a donné le nom de l'association d'abord puis soutenu sur mes incertitudes durant toute la période du stage. Merci plus globalement à mes amis, Alexia, Liza, Tom, Lucas de m'avoir toujours poussée, bien au-delà des études.

## *Avant-Propos*

---

L'étude présentée dans ce travail s'inscrit dans le cadre d'un stage de fin de Licence Biologie des Organismes, réalisé au sein du laboratoire citoyen La Pagaie Sauvage. Cette association collégiale à but non lucratif, dont le siège social est basé à Bayonne (64), s'investit dans l'étude de la pollution microplastiques d'eau douce. L'association réalise de nombreuses missions et collaborations avec des partenaires privés comme publiques, dans le but d'informer, de sensibiliser mais également d'agir face à la pollution microplastiques. Créée par l'envie commune d'agir d'un groupe d'amis, elle mène également de nombreuses missions impliquant des citoyens bénévoles motivés.

J'ai alors eu l'opportunité de travailler avec Lise DURANTOU, pionnière et chargée de missions à La Pagaie Sauvage mais également avec Laurent LANCELEUR, enseignant-chercheur à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour au site d'Anglet qui travaille en collaboration avec La Pagaie Sauvage.

# Table Des Matières

---

<i>Résumé</i>	2
<i>Remerciements</i>	3
<i>Avant-Propos</i>	4
<i>Table Des Matières</i>	5
1. <i>Introduction</i>	6
2. <i>Matériels Et Méthodes</i>	7
2.1 <i>Sites D'étude</i>	7
2.2 <i>Choix Des Outils De Mesure</i>	7
2.3 <i>Relevés De Terrain</i>	8
2.3.1 <i>Méthode De Mesure Pour Chaque Outil</i>	8
2.3.2 <i>Relevé Des Métadonnées</i>	9
2.4 <i>Traitement Et Analyse Des Données</i>	9
2.4.1 <i>Quel Outil Est Le Plus Juste ?</i>	10
2.4.2 <i>Quel Outil Est Le Plus Fiable ?</i>	10
2.4.3 <i>Quantification De L'erreur</i>	10
3. <i>Résultats</i>	11
3.1 <i>Justesse De L'outil : Courbes De Corrélation</i>	11
3.1.1 <i>Comparaison F.S, F.F Et C.E</i>	11
3.1.2 <i>Comparaison P, Lspiv Et C.E</i>	13
3.2 <i>Fiabilité De L'outil : Analyse De L'intervalle De Confiance</i>	14
3.3 <i>Quantification De L'erreur Liée À La Mesure Du Courant</i>	15
4. <i>Conclusion Et Discussion</i>	17
4.1 <i>Choix Des Outils Dans Le Contexte De Science Citoyenne</i>	17
4.2 <i>Effet Du Courant</i>	17
4.3 <i>Effet Du Site</i>	18
4.4 <i>Limites Et Poursuite Potentielle De L'étude</i>	19
5. <i>Références Bibliographiques</i>	20
6. <i>Annexes</i>	21

# 1. Introduction

---

*Les mots en bleu sont des éléments cliquables et renvoient directement au texte/figure/tableau concerné.*

La pollution microplastiques constitue l'un des principaux sujets d'inquiétude pour la planète qui se retrouve submergée par une production de plus de 430 millions de tonnes chaque année ([Programme des Nations Unis pour l'environnement, 2023](#)). Ces microplastiques, d'une taille inférieure ou égale à 5mm de diamètre, peuvent se retrouver directement dans l'environnement (microplastiques primaires) ou bien provenir de la dégradation de déchets plastiques plus gros (microplastiques secondaires). L'enjeu est grand, d'autant plus que leur provenance dépend entièrement de notre mode de consommation. Cigarettes, textiles, produits cosmétiques ne sont que le début d'une longue liste de leur origine ([Programme des Nations Unis pour l'environnement, 2023](#)). À défaut de pouvoir réinventer toute l'industrie, des études sont alors menées chaque année pour sensibiliser, alerter et agir. Parmi toutes les informations disponibles sur la pollution plastique, beaucoup traitent de l'impact sur les environnements marins, les microplastiques se retrouvant finalement dans les océans ([Fondation Tara Océan](#)). Cependant, les microplastiques impactent tous les milieux, justifiant l'importance d'organismes tel que le laboratoire citoyen La Pagaie Sauvage dont le travail se porte sur la pollution microplastiques des eaux douces. De plus, malgré l'urgence de la situation, les microplastiques restent difficilement quantifiables de par leur taille et une distribution hétérogène ([Orange, 2025](#)). Ainsi, multiplier les efforts en impliquant le grand public semble nécessaire pour lutter contre ce fléau. Il s'agit là de tout l'intérêt de la science citoyenne.

De ce fait, La Pagaie Sauvage implique les citoyens notamment dans la collecte d'échantillons microplastiques avec des outils simples d'utilisation comme les babylegs ([La Pagaie Sauvage, 2017](#)). Le citoyen doit alors fournir, en plus de l'échantillon, la mesure du courant essentielle au calcul du débit et de la concentration en microplastiques du cours d'eau. Toutefois, si cela comporte de nombreux avantages (enrichissement de la base de données ...), certaines limites peuvent être rencontrées. En effet, en science citoyenne, l'accessibilité prime sur la rigueur scientifique, justifiant en l'occurrence des vitesses de courant biaisées, parfois aberrantes, liées à la simplicité du protocole et à l'implication d'un public non scientifique. Une question s'est alors posée au sein de La Pagaie Sauvage : quelle est l'erreur associée à la mesure du courant dans un contexte de sciences citoyennes ?

Pour répondre à cette problématique, différents outils participatifs ont été testés, comparés entre eux et comparés avec un courantomètre électromagnétique défini comme outil référence pour sa grande précision et son coût onéreux (plus de 8 000 €). Les mesures ont été prises sur différents sites aux conditions hydrologiques différentes (turbidité, vitesse du courant, profondeur ...). Il s'est alors rapidement dégagé divers objectifs intermédiaires : déterminer les outils dont les vitesses mesurées se rapprochaient le plus de celles obtenues par l'outil référence ; déterminer les outils les plus fiables, soit les moins variables dans leurs erreurs commises. Enfin, l'objectif principal a été de définir les outils les mieux adaptés à la mesure du courant dans un contexte de science participative, en fonction des conditions hydrologiques du cours d'eau puis de quantifier le pourcentage d'erreur associé et ce que cela représente en volume filtré.

## 2. Matériels Et Méthodes

### 2.1 Sites D'étude

En se basant sur la base de données actuelle du laboratoire citoyen et à la durée limitée du stage de 2 mois, 3 types de cours d'eau ont été échantillonnés, selon la largeur et l'aménagement. De plus, il a été décidé de rester dans un rayon de **20 km autour de l'UPPA** situé Allée du Parc Montaury, à Anglet, afin de réduire le temps et les frais de déplacement. De ce fait, après repérage, **4 sites ont été sélectionnés** : un cours d'eau grand (largeur supérieure à 5m) naturel, un autre grand aménagé et deux petits (largeur inférieure à 5m) aménagés, correspondant respectivement à une portion de la rivière de la Nive, une portion du fleuve de l'Adour et 2 portions au ruisseau de l'Aritxague et à la rivière du Maharin (figure 1).

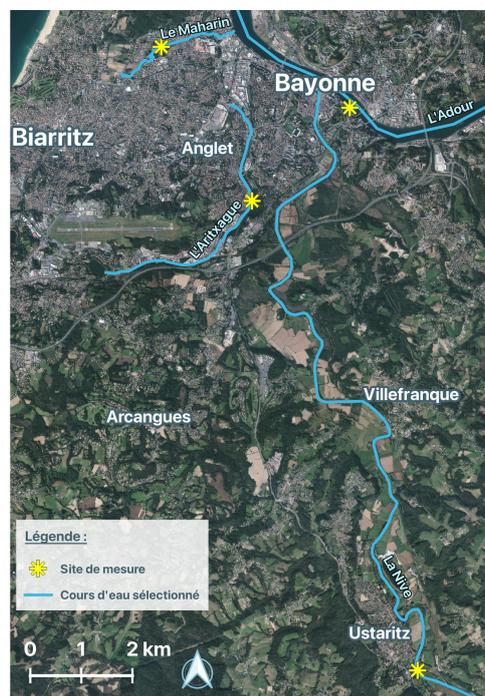
De plus, il a fallu s'assurer qu'il y ait bien du courant et ne pas confondre avec le mouvement d'eau créé par le vent. Une bonne accessibilité et un niveau d'eau ne dépassant pas la hauteur des hanches ont permis de mesurer en toute sécurité.

### 2.2 Choix Des Outils De Mesure

Un travail de recherche bibliographique puis une synthèse dans un tableau d'aide à la décision (tableau A1) a permis de sélectionner 5 outils de mesure du courant de surface dont 4 outils participatifs et 1 outil sélectionné comme outil référence de comparaison.

Outils participatifs :

- **Flotteur de surface (F.S)** : cet outil est actuellement utilisé par le laboratoire citoyen et devait donc inévitablement être inclus dans l'étude. Son utilisation est très simple, ne nécessite aucun coût (2 citoyens, chronomètre, flotteur naturel de type branche) et peut être appliqué pour tout type de cours d'eau. De plus, il est indiqué comme étant l'outil participatif préféré des citoyens dans l'étude de [Davids et al., 2019](#). Ses inconvénients est qu'il est sensible au vent et aux fortes turbulences.
- **Flotteur à fil déroulant (F.F)** : cet outil est en réalité qu'une simple modification du flotteur de surface et a été imaginé par Laurent LANCELEUR. De ce fait, tout comme le flotteur de surface, il est très simple d'utilisation, n'engage aucun coût et ne nécessite qu'un seul citoyen. Il a été sélectionné car il permettrait de limiter le biais de mesure lié à l'appréciation visuelle (distance déjà définie grâce au fil). Ses inconvénients est qu'il est sensible au vent, aux turbulences et qu'il peut être ralenti si le dérouleur ne se déroule pas bien.
- **Perche vélocimétrique (P)** : cet outil s'appuie sur la loi de Bernoulli et repose donc sur le même principe que la règle à jauger de l'INRAE, le Bernoulli run-up ou encore le tube de Pitot. Toutefois, c'est la perche vélocimétrique qui a été sélectionnée car elle peut être fabriquée en suivant rigoureusement le protocole du British Columbia ([Young et al., 2021](#)) et avec un peu de dextérité manuelle. Elle est très facile et rapide d'utilisation et ne nécessite qu'un citoyen.



**Figure 1 : Localisation des sites de mesure du courant dans le cadre d'une science citoyenne, dans le département des Pyrénées Atlantiques (64)**

**Légende :** Cartographie réalisée avec QGIS ; fond de carte : IGN, Ortho 20 ; cours d'eau : IGN, Hydrographie ; éléments de légende : VALERY Nell, 05/2025

Cependant, sa fabrication engage une rigueur dans le respect des dimensions (pour pouvoir se référer à la table de correspondance des vitesses), des frais de matériaux (Plexiglas, règles ...) et surtout elle ne peut être appliquée que pour des cours d'eau peu profond (inférieur à 1m).

- **Hydrométrie par analyse d'images (Large Scale Particle Image Velocimetry)** : elle est considérée comme une méthode pédagogique visuelle très prometteuse en science participative pour de nombreux scientifiques (Lacaze et Guichet, 2017). De plus, elle n'engage aucun coût (téléphone/caméra, logiciel gratuit) et les vidéos sont archivables. Cependant, elle dépend des conditions météorologiques, est peu adaptée aux courants irréguliers et nécessite une qualité vidéo suffisante (bonne résolution, sans reflets ...) pour l'analyse sur logiciel. Dans cette étude, Tracker a été choisi comme logiciel d'analyse pour sa simplicité d'utilisation, son accès gratuit et sa compatibilité sur tout ordinateur.

Outil référence : Le **courantomètre électromagnétique (C.E)** a été sélectionné comme outil référence pour cette étude. Il a en effet une très grande précision, couvre un large spectre de type de cours d'eau, est simple d'utilisation et surtout est disponible à l'UPPA, lieu du stage. Son coût supérieur à 8 000 € le rend totalement inaccessible au grand public.

## 2.3 *Relevés De Terrain*

### 2.3.1 *Méthode De Mesure Pour Chaque Outil*

**Flotteur de surface (F.S)** : Chaque opérateur s'est positionné à une distance de 5,20m au site de la Nive, 2,40m au site du Maharin, 2,20m au site de l'Aritxague et 10m au site de l'Adour, selon l'accessibilité du site (végétation ...). Le premier opérateur avait un flotteur naturel (branche), le second avait un chronomètre. Au moment où le flotteur a été lâché dans la veine d'eau, le chronomètre a été lancé. Celui-ci a ensuite été arrêté lorsque le flotteur passait devant le second opérateur. 3 mesures totales ont été réalisées pour la même portion étudiée. Ensuite, la formule suivante : **vitesse (m/s) = distance parcourue (m) / temps (s)** permet d'obtenir 3 vitesses d'écoulement d'eau en surface par site.

**Flotteur à fil déroulant (F.F)** : Le flotteur naturel a été rattaché à un fil de 5m, noué à une bouteille d'eau lisse servant de dérouleur. L'opérateur s'est placé au centre de la veine d'eau, a positionné le dérouleur dans le sens du courant pour ne pas ralentir le fil avant de lâcher le flotteur naturel et de lancer le chronomètre. Le flotteur s'est ensuite arrêté une fois les 5m de fil déroulés. Le chronomètre a été stoppé à l'arrêt du flotteur. 3 mesures totales ont été réalisées pour la même portion étudiée sur l'ensemble des sites à l'exception de celui de la Nive pour lequel l'outil n'était pas encore au point. Enfin, la [formule](#) citée ci-dessus permet d'obtenir 3 vitesses d'écoulement d'eau en surface par site.

**Perche vélocimétrique (P)** : La perche a été plongée jusqu'au fond de l'eau, perpendiculairement au niveau d'eau. Cela entraîne une dépression en aval de la perche et donc une différence de niveau d'eau entre l'amont et l'aval, appelée charge dynamique. L'opérateur a donc mesuré cette différence de niveau puis, en se référant à la table de correspondance des vitesses du [British Columbia](#), a pu obtenir la vitesse du courant en m/s. 3 points de mesure ont été réalisés, répartis à équidistance dans la portion étudiée, pour le site de l'Aritxague et le site du Maharin. Elle n'était pas encore au point pour la première sortie au site de la Nive et non applicable au site de l'Adour à cause d'une profondeur supérieure à 1m.

**Hydrométrie par analyse d'images (LSPIV)** : Le téléphone, tenu par le premier opérateur, a été placé bien parallèle au sens du courant. Un repère de taille connue (mètre) a été installé de sorte à ce qu'il soit visible dans le champ de la vidéo. Puis un élément flottant a ensuite été lâché par un second opérateur dans la veine d'eau et sa progression filmée jusqu'à sortie du champ. La vidéo a

ensuite été importée dans le logiciel Tracker. Le repère, de taille connue, permet au logiciel d'associer une distance (taille du repère) à un nombre de pixels (de la vidéo). Puis, la position de l'élément flottant a été marquée manuellement tout au long de la vidéo lue image par image. Enfin, le logiciel a calculé automatiquement la vitesse de l'objet, soit la vitesse du courant de surface. 3 vidéos au total ont été filmées pour chaque site, à l'exception du site de La Nive pour lequel 1 seule vidéo a été filmée.

**Courantomètre électromagnétique (C.E)** : la sonde du courantomètre électromagnétique a été placée environ 5 cm sous la surface de l'eau, dans la veine d'eau (COMETEC). Le courantomètre électromagnétique a ensuite été lancé en lecture en temps réel. Une vingtaine de vitesses ont été enregistrées pour chaque point de mesure. 3 points de mesure ont été réalisés, répartis à équidistance dans la portion étudiée, à l'exception du site de l'Adour où seule 1 mesure a été réalisée car le courant était linéaire et régulier tout au long de la portion étudiée.

Pour chaque relevé sur site, les opérateurs ont conservé leur tâche. Ainsi, Lise DURANTOU était au chronomètre et à la vidéo tandis que Nell VALERY était au lâcher des flotteurs et au courantomètre.

### *2.3.2 Relevé Des Métadonnées*

Des métadonnées générales et environnementales ont été relevées sur site ([figure A1](#)).

#### Métadonnées générales :

- Date de la sortie terrain : JJ/MM/AA
- Heure de début de mesure - Heure de fin de mesure : 00:00:00
- Temps total passé sur site : 00:00:00
- Nom du site : Nom du cours d'eau
- Code du site : 2 premières lettres du nom du site\_N(naturel)/A(artificiel)\_n° de relevé au site (ex pour le premier relevé de la Nive : NI\_N1)
- Localisation : ville du site
- Données GPS : °N, °W
- Nom des opérateurs

#### Métadonnées environnementales :

- Marée : basse/haute/ascendante/descendante
- Profondeur (m)
- Etat du ciel à J-1 : soleil/nuage/pluie
- Etat du ciel : soleil/nuage/pluie
- Vent : nul/faible/moyen/fort
- Etat des berges : végétal/roche/béton
- Couleur de l'eau : claire/trouble/verdâtre
- Obstacles : si oui, quel type ?
- Turbulence : faible/modérée/forte

## *2.4 Traitement Et Analyse Des Données*

Toutes les données recueillies ont ensuite été enregistrées dans différentes feuilles de calcul d'un même tableur Excel. Les outils participatifs ont ensuite été comparés chacun avec l'outil référence, soit le courantomètre électromagnétique, mais également entre eux. Pour se faire, la performance globale a été analysée pour chaque outil. La performance globale comprend la justesse de l'outil permettant de répondre à la question : quel outil donne les vitesses les plus proches de celles du courantomètre électromagnétique ? ; ainsi que la fiabilité de l'outil permettant de répondre à la question : quel outil est le moins variable dans ses erreurs ? Il est attendu une conclusion nuancée selon les conditions hydrologiques du cours d'eau.

#### 2.4.1 Quel Outil Est Le Plus Juste ?

Pour répondre à cette première question posée, les pourcentages d'erreur ont été calculés pour chaque outil et chaque site. Pour se faire, la formule suivante a été utilisée :

**% d'erreur = [(vitesse outil participatif - vitesse outil référence) / vitesse outil référence] \* 100.**

Ensuite, des courbes de corrélation des vitesses (m/s) entre le courantomètre électromagnétique (outil référence) et chaque outil participatif ont été réalisées sur Excel. Ainsi, 4 courbes de corrélation ont été obtenues. Les attendus de ces courbes de corrélation étaient alors d'observer des variations d'erreur, soit des sous-estimations ou surestimations de vitesse ainsi que des erreurs plus ou moins importantes selon le site. De plus, concernant les méthodes impliquant un flotteur (F.S, F.F, LSPIV), il était attendu principalement une sous-estimation de la vitesse, due à l'inertie des flotteurs qui est un facteur limitant la progression en surface. D'autre part, LSPIV était pressentie comme méthode la plus juste car elle implique l'utilisation d'un logiciel et limite alors de nombreux biais (biais de mesure, biais lié à l'appréciation visuelle...).

#### 2.4.2 Quel Outil Est Le Plus Fiable ?

Pour répondre à cette question, il a été calculé dans un premier temps les moyennes des vitesses par outil et par site. Puis, les intervalles de confiance à 95% pour chaque moyenne ont été calculés sur RStudio par la méthode des Bootstrap car il y a peu de données, irrégulières, impliquant alors des tests non paramétriques. Par ailleurs, il n'a pas été réalisé des tests statistiques sur R de type Test de Wilcoxon dans ce cas. En effet, les intervalles de confiance consistent déjà à tester la significativité des différences observées. De plus, selon Denis POINSOT (Poinsot, 2004), ils sont préférables aux tests statistiques qui amènent plus facilement à de mauvaises interprétations et en l'occurrence, ne sont pas solides avec peu de données irrégulières. Enfin, les moyennes associées aux intervalles de confiance ont été représentées sous forme de dotplot. De ce fait, lorsque les intervalles de confiance entre outils se recoupent, il est possible de considérer qu'il n'y a pas de différence significative. À l'inverse, s'ils ne se recoupent pas, il existe bien une différence significative. La taille de l'intervalle de confiance permet de renseigner sur la fiabilité de l'outil. Par exemple, un outil avec un plus petit intervalle de confiance que les autres est considéré plus fiable car moins variable dans ses erreurs commises.

#### 2.4.3 Quantification De L'erreur

Enfin, l'objectif principal de l'étude étant la quantification de l'erreur liée à la mesure du courant, les pourcentages d'erreur ont été ramenés à une erreur de volume filtré. Pour se faire, il a d'abord fallu passer par le calcul du volume filtré théorique de l'outil référence associé aux vitesses mesurées par le courantomètre électromagnétique, selon cette formule : **volume C.E (m<sup>3</sup>) = vitesse C.E (m/s) \* 0,011 \* 1800**. Cette formule suppose que l'aire d'entrée du babylegs immergé dans l'eau est de 0,011 m<sup>2</sup> (basé sur la base de données actuelle du laboratoire citoyen) et que la filtration ait duré 1 800 secondes, soit 30 minutes (selon le protocole babylegs du laboratoire citoyen). Puis l'erreur en volume filtré a été calculé avec la formule suivante : **erreur volume = volume C.E (m<sup>3</sup>) \* (% erreur de l'outil participatif / 100)**. Cela permettra par la suite au laboratoire citoyen d'appréhender l'erreur au niveau de la concentration en microplastiques. En effet, connaître la vitesse d'écoulement d'eau de surface ne représente qu'une donnée transitoire vers le calcul du débit et le calcul d'une concentration. Ainsi, il a été résumé dans un tableau, pour chaque vitesse de courant mesurée par le courantomètre électromagnétique, le pourcentage d'erreur de l'outil et ce que cela représente en terme de volume filtré.

### 3. Résultats

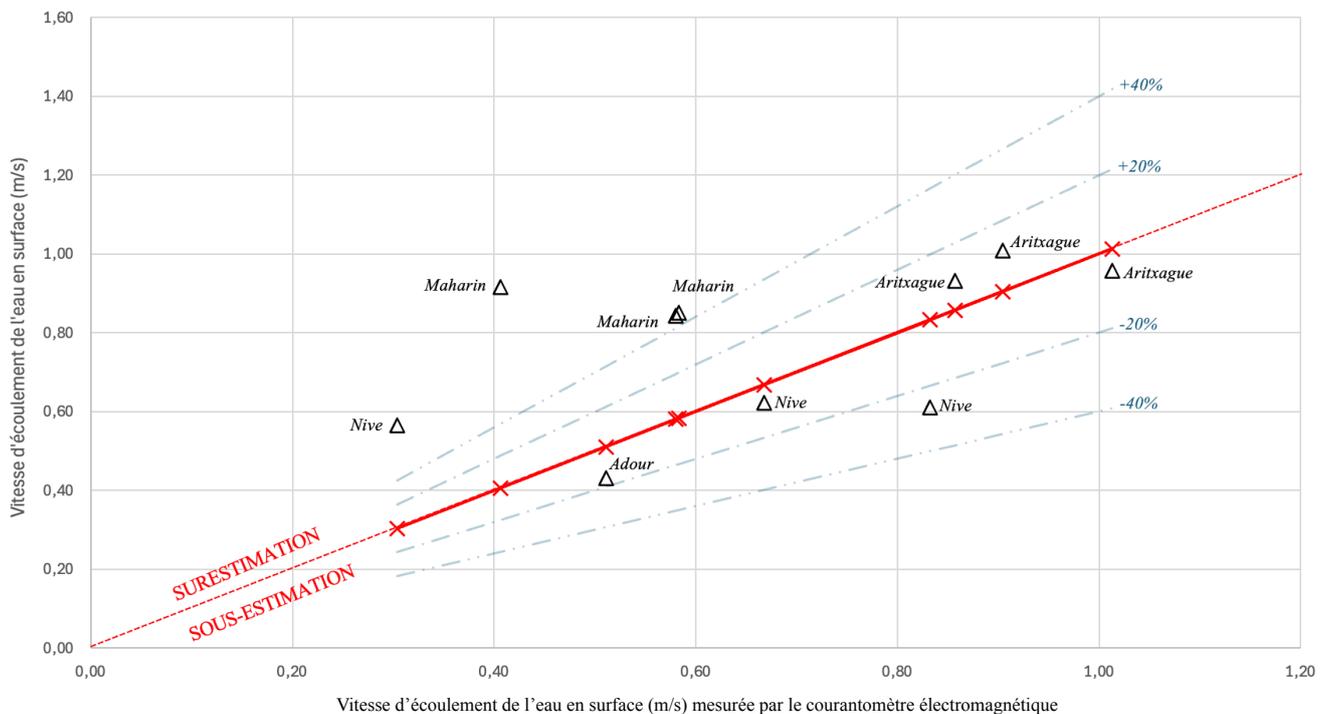
Les références aux figures/tableaux A... renvoient à la partie *Annexe*

#### 3.1 Justesse De L'outil : Courbes De Corrélation

La première question posée fut : quel outil mesure les vitesses de courant les plus proches de celles obtenues par le courantomètre électromagnétique ? Il semble donc pertinent d'y répondre dans un premier temps.

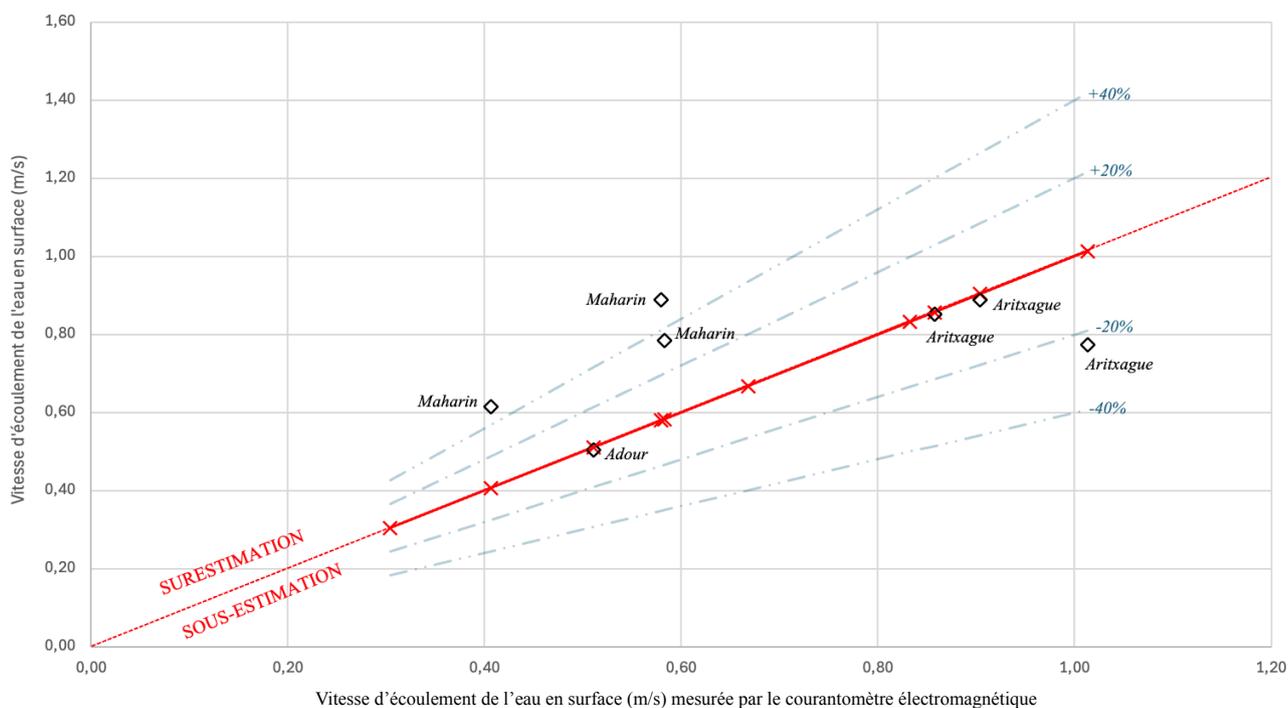
Une première observation des vitesses moyennes, tirée de la [figure A2](#), permet de constater que le flotteur de surface (F.S) obtient les valeurs moyennes de courant les plus proches des valeurs références mesurées par le courantomètre électromagnétique (C.E) pour 3/4 des sites. De plus, la méthode la plus éloignée de l'outil référence semble, à première vue, être LSPIV pour les 4 sites.

##### 3.1.1 Comparaison F.S, F.F et C.E



**Figure 2 :** Appréciation visuelle de l'écart de mesure de la vitesse du courant de surface (m/s) par le **flotteur de surface (F.S)** par rapport au **courantomètre électromagnétique (outil référence)**, selon les différents sites.

**Légende :**  $\times$  : vitesses du courantomètre électromagnétique (C.E).  $\Delta$  : vitesses du flotteur de surface (F.S). Chaque point est associé à un site de mesure. Les droites pointillées 20% et 40% correspondent à des seuils d'erreur. Lorsque les points sont au-dessous de la droite rouge, F.S sous-estime la vitesse de courant. Lorsque les points sont au-dessus de la droite rouge, F.S sur-estime la vitesse de courant. Pour pouvoir comparer, 10 mesures ont pu être retenues sur les 12 initiales.



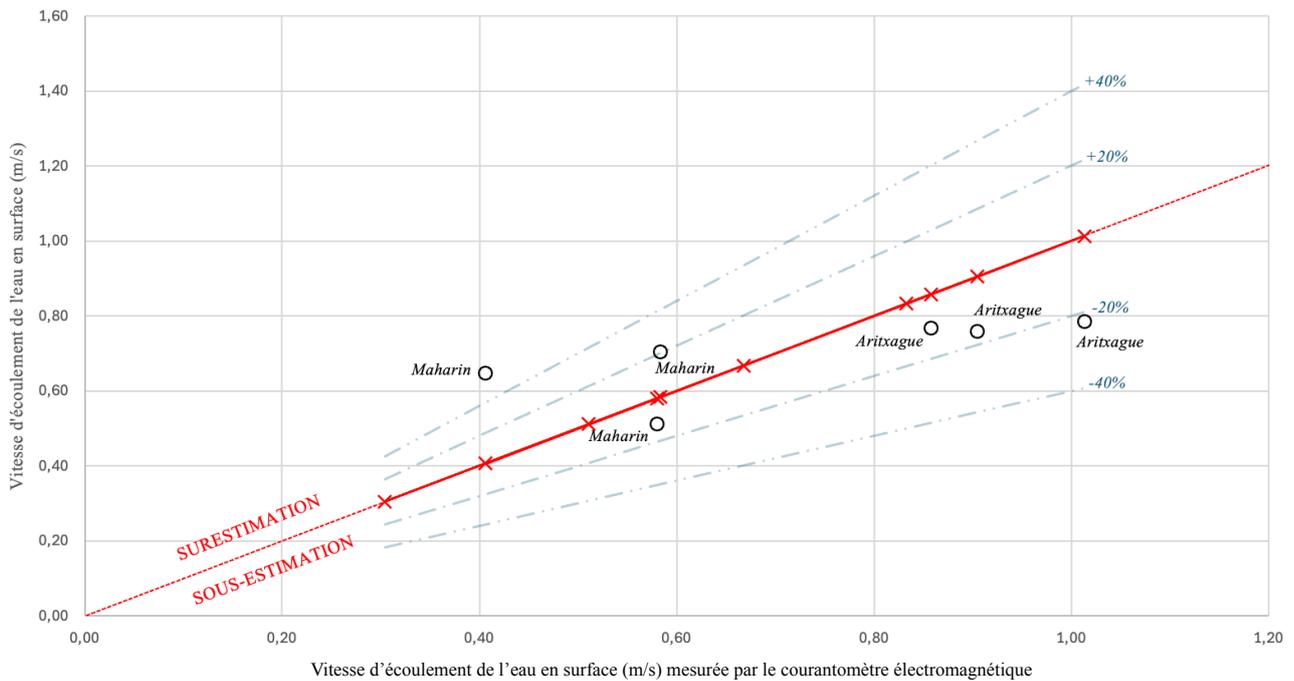
**Figure 3 : Appréciation visuelle de l'écart de mesure de la vitesse du courant de surface (m/s) par le flotteur à fil déroulant (F.F) par rapport au courantomètre électromagnétique (outil référence), selon les différents sites.**

**Légende :** x : vitesses du courantomètre électromagnétique (C.E). ◇ : vitesse du flotteur à fil déroulant (F.F). Chaque point est associé à un site de mesure. Les droites pointillées 20% et 40% correspondent à des seuils d'erreur. Lorsque les points sont au-dessous de la droite rouge, F.F sous-estime la vitesse de courant. Lorsque les points sont au-dessus de la droite rouge, F.F sur-estime la vitesse de courant. Pour pouvoir comparer, 10 mesures ont pu être retenues sur les 12 initiales.

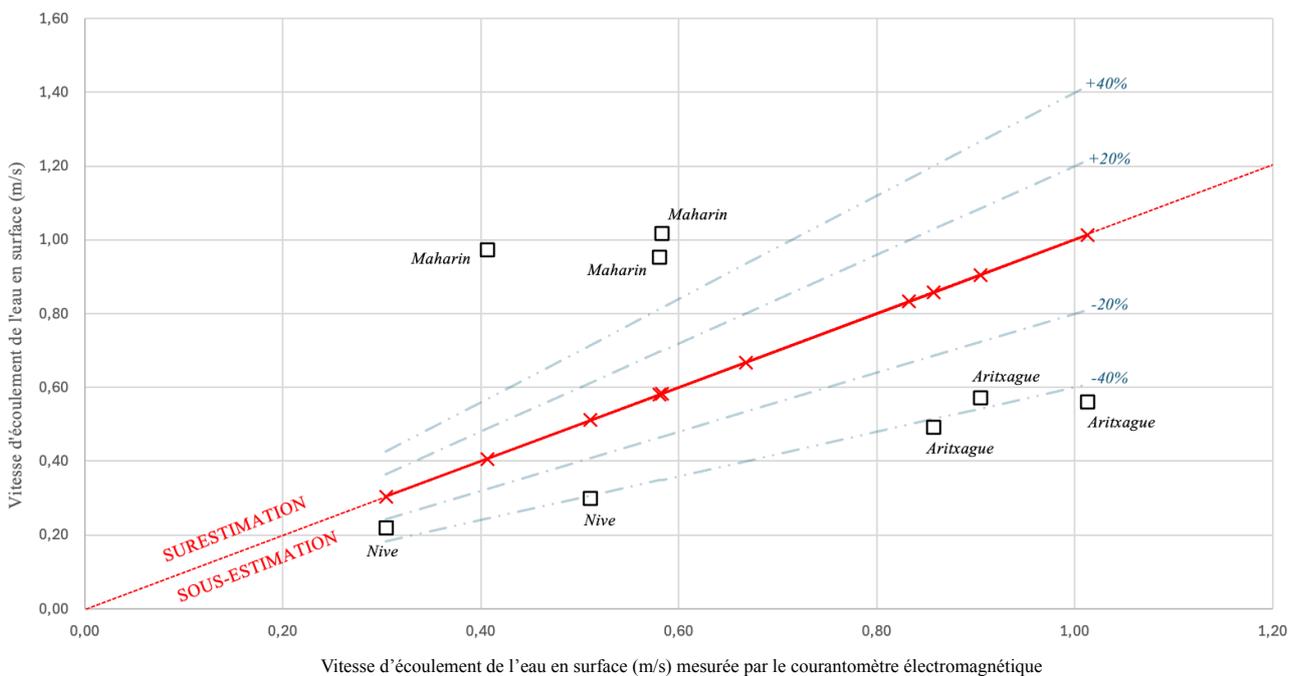
Les figures ci-dessus représentent des courbes de corrélation montrant, respectivement, les vitesses du flotteur de surface (F.S) (figure 2) et du flotteur à fil déroulant (F.F) (figure 3), selon les sites, par rapport aux vitesses du courantomètre électromagnétique (C.E) qui est l'outil référence.

Dans un premier temps, les 2 flotteurs surestiment ou sous-estiment la vitesse du courant selon le site. Par exemple, le F.S a tendance à surestimer la vitesse du courant pour le Maharin et l'Aritxague tandis qu'il a tendance à la sous-estimer pour l'Adour et la Nive. De même, le F.F surestime la vitesse du courant au Maharin tandis qu'il la sous-estime pour l'Adour et l'Aritxague. Dans un second temps, en ce qui concerne le F.S, 4 mesures s'éloignent à plus de 40% de la vitesse référence obtenue par le C.E dont 3 sont observées au site du Maharin avec une vitesse supérieure à 0,8 m/s par rapport à des vitesses comprises entre 0,4 et 0,6 m/s pour le C.E. Les autres vitesses restent sous le seuil de 20% d'erreur ou s'en éloignent que de peu (exemple du 7ème point, au site de la Nive :  $\approx -27\%$  d'erreur, cf tableau A2). Le F.F quant à lui, mesure presque les mêmes vitesses que l'outil référence C.E pour le site de l'Adour et 2 points de mesure à l'Aritxague. Cependant, pour cet outil également, les plus grands écarts ( $\approx 40\%$  d'erreur) par rapport aux vitesses références sont observés au site du Maharin.

### 3.1.2 Comparaison P, LSPIV et C.E



**Figure 4 :** Appréciation visuelle de l'écart de mesure de la vitesse du courant de surface (m/s) par la **perche vélocimétrique (P)** par rapport au **courantomètre électromagnétique (outil référence)**, selon les différents sites.  
**Légende :** X : vitesses du courantomètre électromagnétique (C.E). o : vitesse de la perche (P). Chaque point est associé à un site de mesure. Les droites pointillées 20% et 40% correspondent à des seuils d'erreur. Lorsque les points sont au-dessous de la droite rouge, P sous-estime la vitesse de courant. Lorsque les points sont au-dessus de la droite rouge, P sur-estime la vitesse de courant. Pour pouvoir comparer, 10 mesures ont pu être retenues sur les 12 initiales.



**Figure 5 :** Appréciation visuelle de l'écart de mesure de la vitesse du courant de surface (m/s) par **analyse d'image via Tracker (LSPIV)** par rapport au **courantomètre électromagnétique (outil référence)**, selon les différents sites.  
**Légende :** X : vitesses du courantomètre électromagnétique (C.E). □ : vitesse de LSPIV. Chaque point est associé à un site de mesure. Les droites pointillées 20% et 40% correspondent à des seuils d'erreur. Lorsque les points sont au-dessous de la droite rouge, LSPIV sous-estime la vitesse de courant. Lorsque les points sont au-dessus de la droite rouge, LSPIV sur-estime la vitesse de courant. Pour pouvoir comparer, 10 mesures ont pu être retenues sur les 12 initiales.

Les figures 4 et 5 ci-dessus représentent des courbes de corrélation montrant, respectivement, les vitesses de la perche (P) et de LSPIV, selon les sites, par rapport aux vitesses du courantomètre électromagnétique (C.E) qui est l'outil référence.

Dans un premier temps, un élément notable est que la perche ne présente qu'une vitesse à plus de 40% d'erreur, au site du Maharin. Toutes les autres vitesses mesurées sont sous ou avoisinent les 20% d'erreur pour le Maharin et l'Aritxague. De plus, comme F.F, elle sous-estime la vitesse du courant pour l'Aritxague. La particularité de cet outil est la justesse des mesures au site du Maharin, site pour lequel tous les autres outils surestiment les vitesses à plus de 40%.

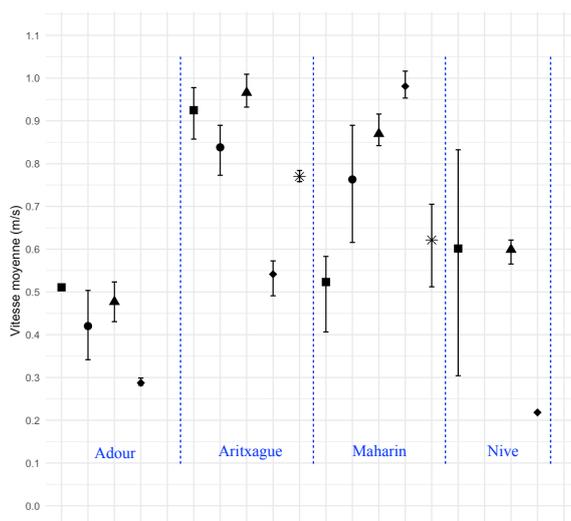
En ce qui concerne LSPIV, pas une seule vitesse mesurée ne se trouve sous le seuil de 20% d'erreur. Toutes les mesures s'éloignent à 40% et plus des vitesses références. Il semble alors évident, dans cette expérience, que LSPIV représente l'outil le moins juste parmi les outils testés. Il est donc écarté des outils potentiels.

Ainsi, d'un point de vue justesse, les deux flotteurs et la perche sont des outils intéressants car ils présentent pour la majorité de leurs mesures une erreur inférieure à 20% par rapport aux vitesses références. LSPIV, quant à lui, est écarté des outils potentiels. Un autre élément frappant ressortant de ces figures est que le Maharin semble être un site impliquant de grands écarts entre vitesse mesurée par l'outil et vitesse référence, à l'exception de la perche. De plus, à partir d'un courant d'environ 0,6 m/s, les outils ont tendance à sous-estimer la vitesse, sauf le F.S (figure 1).

Cependant, avoir une idée de la performance globale des outils implique d'analyser également la fiabilité, soit dans cette étude, l'intervalle de confiance. En effet, un outil peut se rapprocher en moyenne de l'outil référence (justesse) mais avoir une grande variabilité dans ses erreurs. Pour rappel, la moyenne ne tient pas compte des valeurs extrêmes. Dans le cadre d'une science citoyenne, il est alors important d'avoir un outil certes juste, mais également fiable afin de pouvoir retranscrire la même erreur sur les données acquises.

### 3.2 *Fiabilité De L'outil : Analyse De L'intervalle De Confiance*

La deuxième question posée fut alors : quel outil est le moins variable dans ses erreurs de mesure commises ?



**Figure 6 :** Moyennes des vitesses de courant par outil, selon les sites et intervalle de confiance à 95% associés.

**Légende :** ■ : courantomètre électromagnétique (C.E) ; ● : flotteur à fil déroulant (F.F) ; ▲ : flotteur de surface (F.S) ; ◆ : LSPIV ; \* : perche vélocimétrique (P). Les intervalles de confiance ont été calculés par Bootstrap sur RStudio et sont représentés sous forme de barre d'erreur de part et d'autre des moyennes. L'absence d'intervalle de confiance au point C.E à l'Adour et au point LSPIV à la Nive se justifie par le fait qu'une seule valeur de vitesse a été obtenue pour ces deux points.

La figure 6 ci-dessus présente les moyennes des vitesses de courant par outil, selon les sites ainsi que les intervalles de confiance à 95% calculés par Bootstrap. Elle permet d'indiquer s'il existe des différences significatives entre les outils ou non et de visualiser la variabilité des outils dans leurs erreurs commises.

Pour le site de l'Adour, les intervalles de confiance des deux flotteurs se recoupent, indiquant qu'il n'y a pas de différence de mesure de vitesse significative entre ces deux outils. Cependant, le flotteur de surface semble avoir un intervalle de confiance plus petit, ce qui signifierait une meilleure fiabilité que le flotteur à fil déroulant.

Pour le site de l'Aritxague, les intervalles de confiance du F.S et du F.F ne se recoupent pas, indiquant une différence de mesure de vitesse significative entre ces deux outils. Toutefois, ils recourent chacun l'intervalle de confiance du courantomètre électromagnétique. Comparé à l'intervalle de confiance du F.F, celui du F.S recouvre plus celui du C.E et est plus petit, laissant supposer qu'il constitue un outil plus précis que le F.F. La perche et LSPIV s'éloignent totalement de la moyenne du C.E.

Pour le site du Maharin, là encore, les intervalles de confiance du F.S et du F.F se recoupent en grande partie. L'intervalle de confiance du F.S reste plus petit que celui du F.F. Cependant, leur moyenne est assez éloignée de la moyenne du C.E et leurs intervalles de confiance ne se recouvrent pas. Seul l'intervalle de confiance de la perche recoupe en partie celui du C.E, appuyant les observations déjà faites aux figures 2, 3, 4 et 5.

Enfin, pour la Nive, le courantomètre électromagnétique possède un très grand intervalle de confiance recouvrant celui du flotteur de surface. Ici encore, LSPIV est en dehors de toute considération.

### 3.3 Quantification De L'erreur Liée À La Mesure Du Courant

**Tableau 1** : Quantification du pourcentage d'erreur commis par les différents outils, rapporté à l'erreur de volume filtré (m<sup>3</sup>), pour des vitesses références de courant obtenues avec le courantomètre électromagnétique.

Site	Courant référence associé	Flotteur de surface		Flotteur à fil déroulant		LSPIV		Perche	
		% d'erreur	Erreur volume filtré	% d'erreur	Erreur volume filtré	% d'erreur	Erreur volume filtré	% d'erreur	Erreur volume filtré
Ni	0,304	85,87	5,17			-28,25	-1,70		
Ma	0,406	125,40	10,09	51,52	4,15	139,39	11,22	59,20	4,76
Ad	0,511	-15,72	-1,59	-1,42	-0,14	-41,52	-4,20		
Ma	0,580	45,19	5,19	53,39	6,13	64,37	7,39	-11,72	-1,35
Ma	0,583	45,96	5,31	34,40	3,97	74,30	8,58	20,91	2,41
Ni	0,668	-7,00	-0,93						
Ni	0,832	-26,68	-4,40						
Ar	0,857	8,72	1,48	-0,65	-0,11	-42,73	-7,25	-10,43	-1,77
Ar	0,904	11,60	2,08	-1,62	-0,29	-36,68	-6,57	-16,18	-2,90
Ar	1,013	-5,58	-1,12	-23,72	-4,76	-44,65	-8,96	-22,61	-4,54

**Légende** : Ni : Nive ; Ma : Maharin ; Ad : Adour ; Ar : Aritxague. Le pourcentage d'erreur a été calculé par rapport aux vitesses références obtenues par le courantomètre électromagnétique. Ce pourcentage d'erreur a ensuite été ramené à une erreur de volume filtré afin de donner une idée du biais sur la concentration finale en microplastiques.

Le plus intéressant à interpréter dans le tableau ci-dessus est l'erreur rapportée en volume filtré. En effet, il a été vu dans les précédents résultats de la [partie 3.1](#) que les outils participatifs retenus tels que le flotteur de surface, le flotteur à fil déroulant et la perche vélocimétrique ne dépassent pas une erreur avoisinant les 20% pour la majorité des sites. Par exemple, selon le [tableau 1](#), le F.S comprend seulement 4 mesures sur 10 s'écartant de plus de 40% des vitesses références (85,87%, 125,40%, 45,19% et 45,86%), correspondant à 3 mesures au site du Maharin et 1 mesure au site de la Nive. En prenant alors l'exemple d'une surestimation de 11,6 % pour cet outil au site de l'Aritxague, petit cours d'eau aménagé peu profond et peu turbulent avec un courant d'environ 0,9 m/s, cela représente en terme de volume filtré à une surestimation d'environ 2 m<sup>3</sup>. Or une surestimation du volume signifie une sous-estimation de la concentration microplastiques par rapport à la concentration réelle du cours d'eau. Afin d'imager l'impact sur la concentration, admettons qu'un échantillonnage ait été réalisé sur ce site et que 11 microplastiques aient été comptés pour un volume filtré de 19,13 m<sup>3</sup>, signifiant une concentration d'environ 0,57 MP/m<sup>3</sup> (formule : **nombre de microplastiques / volume filtré**). En partant alors de l'hypothèse que le volume filtré a été surestimé de 2 m<sup>3</sup>, en réalité, 17,13 m<sup>3</sup> d'eau ont été filtrés. La concentration réelle serait alors d'environ 0,64 MP/m<sup>3</sup>. Cela signifie qu'en terme de pourcentage d'erreur, la concentration a été sous-estimée d'environ 11% (formule : **[(concentration mesurée - concentration réelle) / concentration réelle] \* 100**). Ainsi, dans ce cas, une surestimation du volume de 2m<sup>3</sup> entraîne une sous-estimation de 11% de la concentration en microplastiques.

## 4. Conclusion Et Discussion

---

### 4.1 Choix Des Outils Dans Le Contexte De Science Citoyenne

Au vu des précédents résultats, il semble judicieux de nuancer les propos et conclure sur le choix de divers outils selon les conditions hydrologiques du cours d'eau.

Ainsi, le flotteur de surface, actuellement utilisé par l'association La Pagaie Sauvage, constitue un outil largement satisfaisant alliant bonne justesse (figure 2) et bonne fiabilité (figure 6). Ses mesures se rapprochent de celles obtenues par le courantomètre électromagnétique dans la majorité des conditions hydrologiques testées, à l'exception d'un cours d'eau très turbulent et peu profond comme c'est le cas pour le Maharin. De plus, il n'y a aucun coût de fabrication, son utilisation est très simple et il peut s'appliquer pour tout type de cours d'eau. Néanmoins, il implique la présence de 2 citoyens. De ce fait, lorsque le citoyen ne peut être accompagné, le flotteur à fil déroulant représente une excellente alternative. En effet, cet outil présente une meilleure justesse que le flotteur de surface (figure 3) mais également une très bonne fiabilité. Il n'est en réalité qu'une simple modification du flotteur de surface, sans coût et à la fabrication très simple.

Enfin, seule la perche a montré des résultats satisfaisants au site du Maharin, cours d'eau sinueux peu profond avec une turbulence élevée. Elle représente donc le meilleur choix pour de telles conditions hydrologiques. Cependant, elle nécessite des frais de construction (Plexiglas, règle, scie/cutter ...), une certaine dextérité manuelle et ne peut être utilisée que sur des cours d'eau de faible profondeur ne dépassant pas 1m. De plus, les dimensions de la perche doivent être entièrement respectées pour pouvoir se référer ensuite à la table de correspondance fournie par le [British Columbia](#). Sa fabrication comporte donc un important risque de biais. Toutefois, des organismes tels que l'INRAE peuvent disposer de règles à jauger ([Le Coz, 2023](#)) et éventuellement les prêter. Il serait alors intéressant, lorsque la donnée est vraiment nécessaire, de se rapprocher auprès de ces organismes ou bien de construire rigoureusement la perche.

Enfin, dans cette étude, la méthode LSPIV est la moins concluante. Il s'agit d'un résultat étonnant car cette méthode est prometteuse selon de nombreux scientifiques et organismes. Peut-être s'agit-il du choix du logiciel Tracker, pas assez performant pour cette requête ou bien une qualité vidéo insuffisante. Les causes peuvent être multiples. Il serait alors intéressant de poursuivre cette piste en changeant divers paramètres, comme le logiciel par exemple et analyser si elle fournit de meilleurs résultats ou non.

### 4.2 Effet Du Courant

Le flotteur à fil déroulant, la perche et LSPIV ont tendance à sous-estimer la vitesse d'écoulement de l'eau à partir d'un courant rapide d'environ 0,6 m/s. Ils ont tendance à la sur-estimer pour un faible courant (< 0,6 m/s). En ce qui concerne le flotteur à fil déroulant et LSPIV, ceci peut s'expliquer par l'inertie du flotteur qui est un facteur limitant la vitesse. En effet, le flotteur est plus dense que l'eau, comprend des aspérités, une certaine longueur. Ces propriétés physiques le ralentissent et sa progression dans le cours d'eau est alors plus lente que la vitesse réelle captée par la sonde juste sous la surface de l'eau. Pour la perche vélocimétrique, une possibilité est qu'à vitesse élevée, la dépression qui se crée en aval de la perche entraîne des remous et des bulles, rendant difficile la lecture de la différence de niveau. De plus, il peut être difficile de maintenir la perche bien perpendiculaire dans le cas d'un courant rapide. La mesure a été relevée avec une règle, à vu d'oeil et toujours réalisée par le même opérateur durant cette étude. De ce fait, l'opérateur devait

lire la mesure de la même manière, en sous-estimant la vitesse avec l'addition de tous les facteurs de biais potentiels.

Un résultat étonnant est qu'il est observé, avec le flotteur de surface, des cas de sur-estimation au-delà de 0,6 m/s alors qu'il devrait répondre au même principe d'inertie que le flotteur à fil déroulant et LSPIV, soit sous-estimer également la vitesse. Cela signifie que les facteurs de biais ne proviennent pas des propriétés physiques du flotteur mais sûrement de la méthode de mesure. En effet, l'appréciation visuelle de l'opérateur peut entraîner une latence au lancement et à l'arrêt du chronomètre. En condition de science citoyenne où la rigueur n'est pas la priorité, la distance parcourue peut également être surestimée, entraînant une surestimation de la vitesse. Ces facteurs ainsi que d'autres sûrement pourraient expliquer la surestimation par le flotteur de surface dans un cas de courant rapide ( $> 0,6$  m/s).

### 4.3 *Effet Du Site*

Comme observé sur les précédentes figures, le site du Maharin est toujours associé à environ 40% d'erreur pour l'ensemble des outils à l'exception de la perche vélocimétrique. Cela laisse supposer que le site, avec ses conditions hydrologiques particulières, possède un effet sur la justesse de l'outil. Les données acquises, par leur nombre insuffisant et leur irrégularité, n'ont pas permis l'application de test statistique fiable pour l'analyse de l'interaction site \* outil. Ainsi, seule l'interprétation basée sur une approche descriptive mène à l'explication de ces valeurs aberrantes.

Le site de mesure pour le Maharin correspond à un site peu profond ( $\approx 15$  cm), étroit (largeur  $< 5$  m), sinueux et très turbulent avec un fond irrégulier et rocheux. Ici, 2 hypothèses sont envisagées.

La première, établie lors d'une discussion avec Laurent LANCELEUR, enseignant chercheur, remet en question non pas la justesse des outils testés mais celle du courantomètre électromagnétique, défini dès le départ comme outil référence pour la mesure du courant. En effet, un fait remarquable est que 3/4 des outils testés surestiment de 40% ou plus la vitesse par rapport au courantomètre électromagnétique. En prenant du recul sur ce qui a été établi (courantomètre électromagnétique comme outil référence) et en changeant de point de vue, il est alors possible de voir qu'en réalité, il est le seul outil à donner des valeurs différentes des 2 flotteurs et de LSPIV. L'erreur ne serait alors pas commise par les outils participatifs mais par l'outil référence. Une explication à cela est que le courantomètre électromagnétique est un outil très précis qui lit la vitesse du courant en temps réel à l'endroit où la sonde est placée. Cependant, si le courant est très turbulent, il est alors irrégulier et les vitesses lues par le courantomètre électromagnétique varient grandement. Après analyse des données brutes extraites du courantomètre, celui-ci mesure, en un même point, une vitesse minimale d'environ 0,5 m/s et, quelques secondes après, une vitesse maximale supérieure à 0,8 m/s ([tableau A3](#)). Pour limiter l'effet de cette grande variabilité sur la moyenne retenue, il aurait alors fallu acquérir beaucoup plus de vitesses en ce point (soit une plus longue durée d'enregistrement) afin d'avoir une moyenne plus représentative et dans ce cas alors, l'écart de 40% aurait peut-être été moins important.

La seconde hypothèse, établie lors d'une discussion avec Lise DURANTOU, chargée de mission du laboratoire citoyen, ne remet pas en cause la fiabilité du courantomètre électromagnétique en condition de forte turbulence mais s'appuie sur le principe de mesure de chaque outil pour expliquer ces écarts. En effet, le courantomètre lit la vitesse du courant en temps réel à l'endroit où est positionnée la sonde. Les 2 flotteurs et LSPIV, quant à eux, relèvent une moyenne de vitesse pour une distance définie. Ainsi, l'un mesure en un point précis durant quelques secondes, tandis que les autres mesurent sur une distance choisie. En ce qui concerne la perche, elle mesure également la vitesse en un point précis. Son principe de mesure équivaut à celui du courantomètre. Cela permettrait alors d'expliquer pourquoi 40% d'écart est observé entre les flotteurs, LSPIV et le

courantomètre alors que la perche, elle, est très proche de la référence. Après réflexion personnelle, il semblerait que l'hypothèse 2 explique les résultats des corrélations pour tous les outils, là où l'hypothèse 1 ne permet pas de comprendre le résultat de la corrélation perche / courantomètre.

#### *4.4 Limites Et Poursuite Potentielle De L'étude*

Enfin, l'étude réalisée sur 2 mois de stage seulement comporte certaines limites.

Dans un premier temps, il aurait été intéressant de recueillir plus de données. En effet, une taille d'échantillon limitée peut réduire la puissance statistique et masquer certains effets. Il n'a pas été possible par exemple d'analyser l'interaction site \* outil. De plus, certains outils n'ont pas pu être testés sur tous les sites parce qu'ils n'étaient pas encore au point au moment de la sortie.

D'autre part, il peut y avoir un biais de l'opérateur dans l'utilisation du courantomètre électromagnétique (positionnement de la sonde, pas au bon endroit dans la veine d'eau...).

Par ailleurs, cette étude a conduit à une expérimentation naturelle qui implique la présence de facteurs confondants, non contrôlés, liés aux outils et susceptibles d'influencer l'erreur de vitesse mesurée. Par exemple, la pente du lit, une irrégularité verticale du courant dans la colonne d'eau comme facteurs environnementaux ou bien un biais d'apprentissage constituent des exemples de facteurs confondants pouvant avoir un effet sur la performance globale des outils.

Si une continuité de l'étude devait être envisagée, il serait alors intéressant d'appliquer des conditions de science citoyenne plus représentatives. En effet, dans cette étude, seul le paramètre "conditions hydrologiques" varie. Les opérateurs ne changent pas, ni les outils utilisés. Cependant, il pourrait être intéressant de faire varier par exemple les opérateurs en impliquant de vrais citoyens bénévoles afin d'évaluer les performances globales dans un cas où il n'y a pas de biais d'apprentissage et d'analyser la variabilité inter-citoyen. De même, il serait intéressant de fabriquer l'outil à chaque sortie afin d'évaluer les performances globales dans un cas où il n'y a pas de biais de représentativité de l'outil.

Toutefois, la finalité de cette étude et des poursuites potentielles serait, si possible, de parvenir à associer des pourcentages d'erreur aux données déjà acquises par La Pagaie Sauvage. Pour se faire, il faudrait alors associer le pourcentage d'erreur selon l'outil mais également selon les conditions hydrologiques bien définies. Ainsi, par exemple, avec un pourcentage d'erreur d'environ 12% associé au flotteur de surface dans un cas de petit cours d'eau peu profond et peu turbulent avec un courant aux alentours de 0,9 m/s ([partie 3.3](#)), il serait alors possible de calculer la concentration réelle du cours d'eau échantillonné par les citoyens **présentant les mêmes conditions hydrologiques**. Toute la difficulté réside donc à associer correctement les pourcentages d'erreur aux données déjà acquises.

S'il s'avère que la difficulté et la possibilité d'une mauvaise association sont trop importantes, il faudrait alors envisager une modification du protocole fourni aux citoyens afin de relever les conditions hydrologiques du cours d'eau et pouvoir alors, pour les données futures, associer le pourcentage d'erreur à la mesure du courant.

## 5. Références Bibliographiques

---

1. COMETEC. (s.d.). *Courantomètre électromagnétique EMC 4 – Fiche technique*. <https://www.cometec.fr/wp-content/uploads/2015/04/Courantmetre-EMC4.pdf>
2. Davids, J. C., Rutten, M. M., Pandey, A., Devkota, N., van Oyen, W. D., Prajapati, R., & van de Giesen, N. (2019). Citizen science flow – an assessment of simple streamflow measurement methods. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(2), 1045-1065. <https://doi.org/10.5194/hess-23-1045-2019>
3. Fondation Tara Océan. (s.d.). Pollution par les microplastiques dans l’océan [Article]. <https://fondationtaraoccean.org/actualite-politique/pollution-microplastiques-ocean/#:~:text=Plus petits que des grains,chimique, densité et autres caractéristiques>
4. Lacaze, J., & Guichet, M. (2017). L’hydrométrie participative – Contexte, enjeux et perspectives. Direction régionale de l’environnement, de l’aménagement et du logement (DREAL) Nouvelle-Aquitaine. [https://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/lacaze-hydrometrie\\_participative.pdf](https://www.nouvelle-aquitaine.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/lacaze-hydrometrie_participative.pdf)
5. La Pagaie Sauvage. (2017, 26 juin). *Le babylegs : faire un filet à microplastiques pour moins de 5 €* [Billet de blog]. <https://lapagaiesauvage.org/2017/06/26/le-babylegs-faire-un-filet-a-microplastique-pour-moins-de-5e/>
6. Le Coz, J. (2023, 6 juin). *Streamgauging rulers* [Présentation / guide]. INRAE RiverLy. <https://riverhydraulics.riverly.inrae.fr/content/download/533/7274?version=1>
7. Orange, R. (2025, 27 janvier). *Comment nettoyer les microplastiques de l’océan ?* Alfa Laval. <https://www.alfalaval.fr/medias/histoires/municipal-wastewater-treatment/membranes-a-solution-to-microplastics-in-our-oceans/>
8. Poinot, D. (2004). Statistiques pour statophobes : Une introduction au monde des tests statistiques à l’intention des étudiants qui n’y entravent que pouic et qui détestent les maths par dessus le marché. [En ligne]. [https://perso.univ-rennes1.fr/denis.poinot/Statistiques\\_%20pour\\_statophobes/STATISTIQUES%20POUR%20STATOPHOBES.pdf](https://perso.univ-rennes1.fr/denis.poinot/Statistiques_%20pour_statophobes/STATISTIQUES%20POUR%20STATOPHOBES.pdf)
9. Programme des Nations Unies pour l’environnement. (2023, 28 avril). *Les microplastiques : l’héritage au long cours de la pollution plastique*. <https://www.unep.org/fr/actualites-et-recits/recit/les-microplastiques-lheritage-au-long-cours-de-la-pollution-plastique>
10. Young, E. L., Pike, R. G., & Goetz, J. D. (2021). Stream Velocity Board : Guide utilisateur [Version française, trad. Jérôme Le Coz]. BC Ministry of Environment and Climate Change Strategy. [https://a100.gov.bc.ca/pub/acat/documents/r50525/SVB\\_Guide\\_Fr\\_2021\\_1632845008305\\_C54252B9EC.pdf](https://a100.gov.bc.ca/pub/acat/documents/r50525/SVB_Guide_Fr_2021_1632845008305_C54252B9EC.pdf)

## 6. Annexes

**Tableau A1** : Tableau d'aide à la décision - comparaison des outils potentiels de mesure de courant dans un contexte de science citoyenne.

Outil/Méthode	Difficulté de la procédure	Coût	Inconvénients	Avantages	Intérêt Science Participative
<b>Flotteur en surface (bâton) *</b>	1/3	0 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sensible aux turbulences, au vent (car en surface)</li> <li>Nécessite 2 personnes</li> <li>Intrusif donc pas adapté en période de crue</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Non coûteux</li> <li>Pas besoin de matériel</li> </ul>	OUI - Méthode préférée des citoyens selon l'étude de <a href="#">Davids al., 2019</a> Actuellement utilisée par l'association
<b>Règle à jauger INRAE</b>	1/3	<ul style="list-style-type: none"> <li>200€ règle à jauger INRAE</li> <li>Possibilité de la fabriquer (voir Perche vélocimétrique)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cours d'eau peu profond (5 à 70 cm)</li> <li>Vitesses comprises entre 20 et 120 cm/s</li> <li>Intrusive donc pas adaptée en période de crue</li> <li>Doit être étalonnée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rapide et facile</li> <li>Nécessite 1 seule personne</li> <li>Précision (souvent erreur &lt; 10% par rapport à la référence selon <a href="#">INRAE</a>, d'après l'étude de <a href="#">Le Coz al. 2024</a>)</li> </ul>	OUI - Utilisée par l'INRAE pour des programmes de science participative
<b>Perche vélocimétrique *</b> ≈ Bernoulli run-up ≈ Tube de Pitot	2/3 (Etapas de construction mais facile à utiliser)	< 100 € (Coûts des matériaux de construction si achat)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Moins intuitive</li> <li>Cours d'eau peu profond</li> <li>Intrusive donc pas adaptée en période de crue</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rapide et facile</li> <li>Nécessite 1 seule personne</li> <li>Pas d'étalonnage</li> </ul>	OUI - Reste simple, ludique à fabriquer et facile à utiliser
<b>Flotteur à fil déroulant *</b>	1/3	< 10 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>Peut se coincer dans la végétation</li> <li>Vent/turbulences peuvent dévier la trajectoire du fil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Non coûteux</li> <li>Pas besoin de matériel</li> </ul>	OUI - Méthode "améliorée" du flotteur en surface grâce à la limite du biais d'erreur lié à l'appréciation visuelle.

<b><u>Hydrométrie par analyse d'images (Ex : LSPIV) *</u></b>	2/3	0 € (Logiciel gratuit comme Kinovea ...)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dépend des conditions météo</li> <li>• Peu adapté aux courants irréguliers</li> <li>• Manipulations sur ordinateur et logiciel</li> <li>• Une bonne caméra bien placée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Non coûteux</li> <li>• Non invasif</li> <li>• Pas besoin d'entrer dans l'eau pour filmer</li> <li>• Archivable</li> <li>• Permet une analyse collective</li> </ul>	OUI - Méthode pédagogique et visuelle - estime les vitesses de surface
<b><u>Courantomètre électromagnétique *</u></b>	1/1	+ de 8000 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas accessible au grand public</li> <li>• Très coûteux</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très grande précision</li> <li>• Large spectre de type de cours d'eau</li> <li>• Simple d'utilisation</li> </ul>	NON - mais sert de <b>référence</b> pour comparaison avec d'autres outils
ADCP	3/3	+ de 8 000 €	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Données et traitements complexes</li> <li>• Très coûteux</li> <li>• Limites de mesure (profondeur &lt; 75 cm et surface (60-70 cm) non mesurées selon <a href="#">INP Grenoble</a>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Très grande précision (incertitude &lt; 10% selon l'étude de <a href="#">Despax. et Le Coz. 2018</a>)</li> </ul>	NON - Trop technique et coûteux

**Légende :** Les informations du tableau ci-dessus ont été trouvées dans divers travaux scientifiques ainsi que des sites internet. Les éléments soulignés conduisent à une source (site internet, article scientifique...).

La difficulté de la procédure est notée de 1 à 3 : 1 correspondant à une procédure simple ; 3 correspondant à une procédure difficile. Le code couleur **vert** et **rouge** permet visuellement d'établir l'intérêt de l'outil dans le cadre d'une science participative. \* : outils choisis pour les tests

## FICHE TERRAIN - Mesures du courant Sortie n°



DATE	NOM SITE
HEURE DÉBUT - FIN	CODE
TEMPS TOTAL	LOC GPS
MAREE	PROFONDEUR

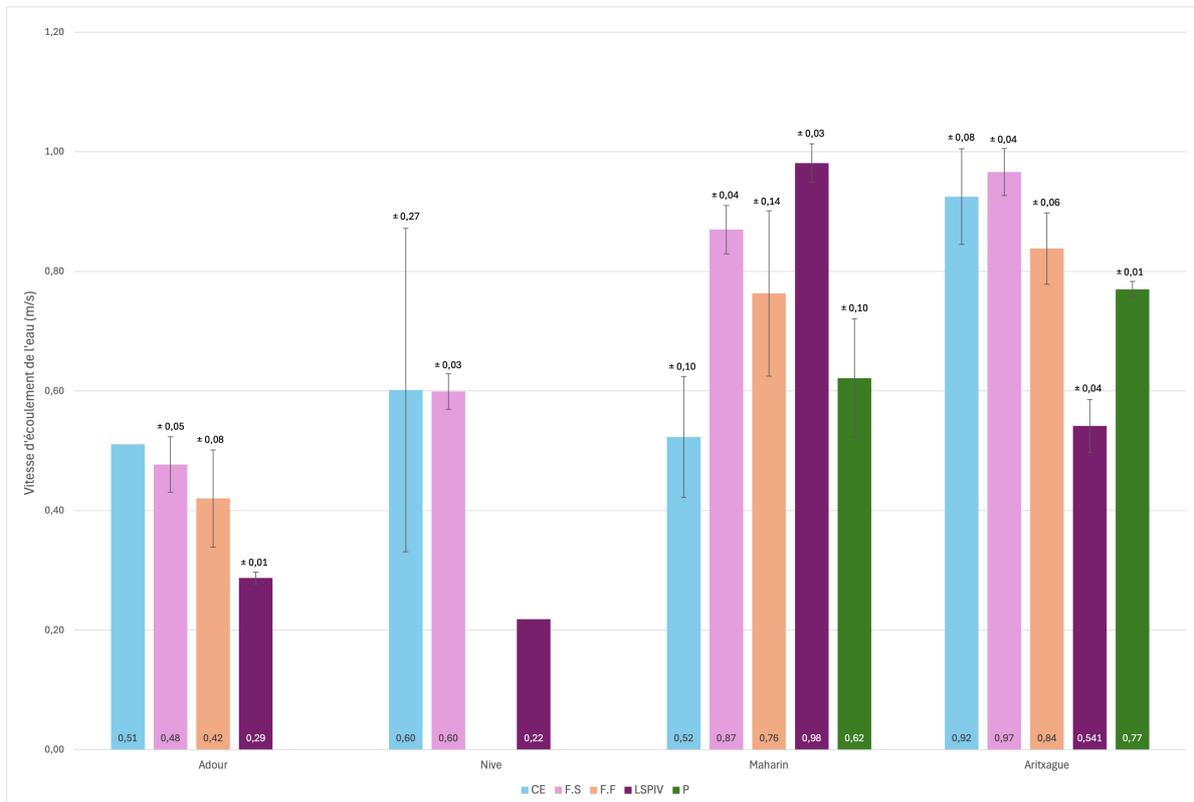
Métadonnées Environnementales :							
ETAT DU CIEL J-1	ETAT DU CIEL	VENT	T° AIR	ETAT DES BERGES	COULEUR DE L'EAU	OBSTACLES	TURBULENCE
Soleil / Nuages / Pluie		Nul / Faible / Moyen / Fort		Végétal / Roche / Béton		Claire / Trouble / Verdâtre	
						Si oui, quel type ?	
						Faible / Modérée / Forte	

Opérateurs / Missions :

	Courantomètre	Flotteur de surface	Flotteur à fil déroulant	Moulinet	Perche vélocimétrique	LSPIV
Mesure 1						
Mesure 2						
Mesure 3						

<p><b>INCIDENTS OBSERVÉS :</b></p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p><b>AUTO-ÉVALUATION DES OUTILS :</b></p> <p>LE PLUS FACILE : .....</p> <p>LE PLUS DIFFICILE : .....</p> <p>LE PLUS FIABLE : .....</p> <p>LE MOINS FIABLE : .....</p>	<p><b>REMARQUES :</b></p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
---	--	--

**Figure A1 : Fiche terrain complétée lors des sorties**



**Figure A2 : Barplot des moyennes de courant (m/s) ± écart-type, par outil et par site**

*Légende : CE : courantomètre électromagnétique, outil référence ; F.S : Flotteur de Surface ; F.F : Flotteur à Fil déroulant ; LSPIV : Large Scale Particle Image Velocimetry (analyse d'image par logiciel) ; P : perche vélocimétrique. La perche n'a pas pu être testée pour l'Adour (profondeur non adaptée supérieure à 1m) et la Nive (outil pas encore au point). De même, F.F n'a pas pu être testée pour la Nive (outil pas encore au point). Les écarts-type pour C.E à l'Adour et pour LSPIV à la Nive n'ont pas pu être calculés car une seule mesure de courant a été obtenue.*

**Tableau A2** : Vitesses d'écoulement de l'eau en surface (m/s), mesurées par l'ensemble des outils testés, selon les sites.

	C.E	F.S	F.F	LSPIV	P
1. La Nive	0,304	0,565		0,218	
2. Le Maharin	0,406	0,916	0,616	0,973	0,647
3. L'Adour	0,511	0,430	0,504	0,299	
4. Le Maharin	0,580	0,842	0,890	0,953	0,512
5. Le Maharin	0,583	0,851	0,784	1,016	0,705
6. La Nive	0,668	0,621			
7. La Nive	0,832	0,610			
8. L'Aritxague	0,857	0,932	0,852	0,491	0,768
9. L'Aritxague	0,904	1,009	0,890	0,573	0,758
10. L'Aritxague	1,013	0,957	0,773	0,561	0,784

**Légende** : 10 mesures ont été conservées pour pouvoir comparer le courantomètre électromagnétique (C.E) avec les outils participatifs. Ce tableau a été utilisé pour établir les courbes de corrélation.

**Tableau A3** : Données brutes extraites du courantomètre électromagnétique correspondant à la 1ère mesure au site du Maharin.

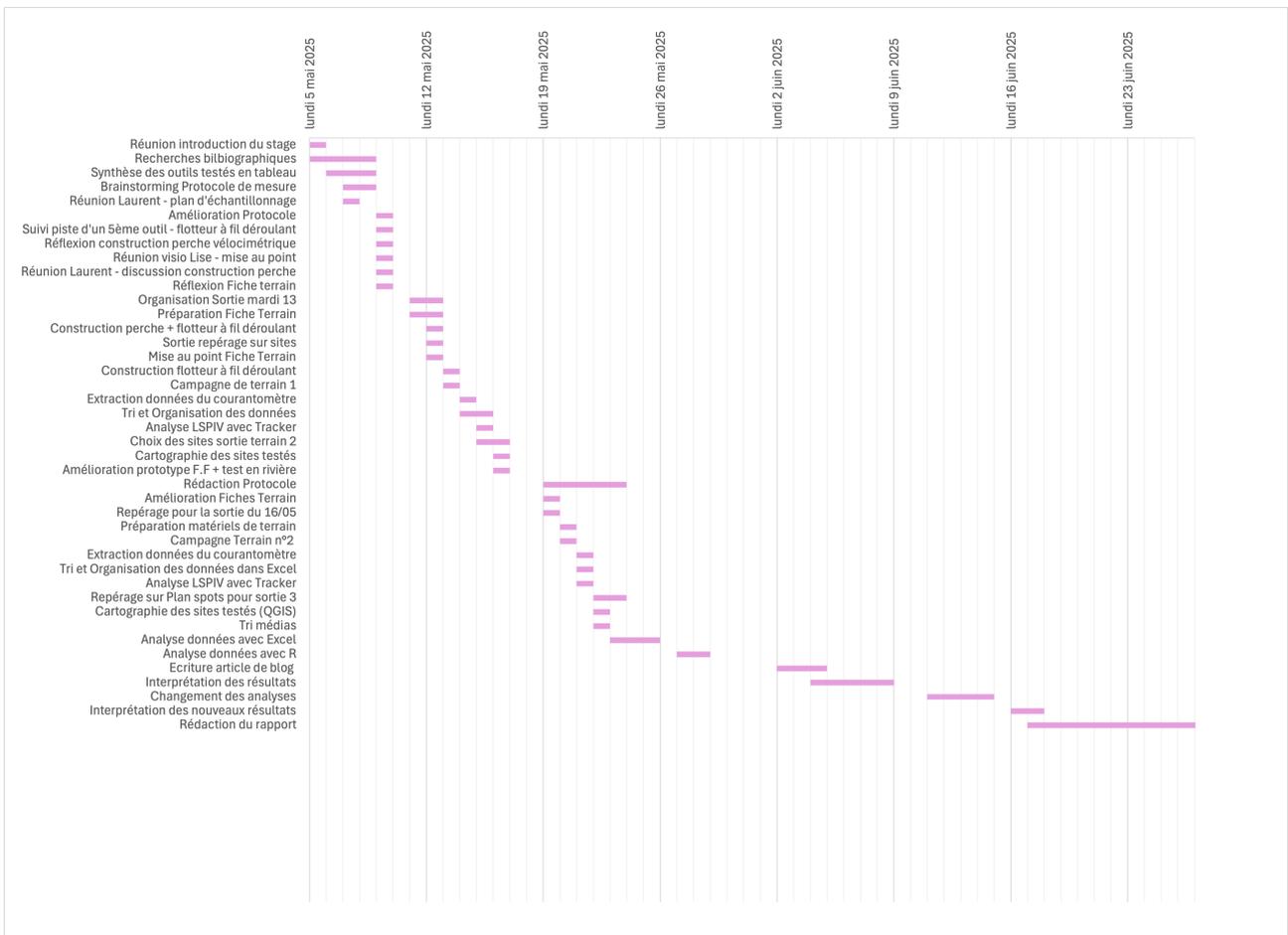
Date de mesure	Heure de mesure	Vitesse
20/05/25	10:11:20	578 mm/s
20/05/25	10:11:19	577 mm/s
20/05/25	10:11:18	578 mm/s
20/05/25	10:11:17	579 mm/s
20/05/25	10:11:16	579 mm/s
20/05/25	10:11:15	579 mm/s
20/05/25	10:11:14	581 mm/s
20/05/25	10:11:13	588 mm/s
20/05/25	10:11:12	604 mm/s
20/05/25	10:11:11	588 mm/s
20/05/25	10:11:10	551 mm/s
20/05/25	10:11:09	621 mm/s
20/05/25	10:11:08	758 mm/s
20/05/25	10:11:07	838 mm/s
20/05/25	10:11:06	822 mm/s
20/05/25	10:11:05	797 mm/s
20/05/25	10:11:04	771 mm/s
20/05/25	10:11:03	745 mm/s
20/05/25	10:11:02	719 mm/s
20/05/25	10:11:01	698 mm/s

**Légende** : Ces données ont été extraites le 21/05/2025 à 10:48:58. Les vitesses ci-dessus représentent les vitesses relevées au premier point de mesure sur les 3 réalisés dans la portion d'étude au site du Maharin. En ce même point, un **minimum** de 551 mm/s et **maximum** de 838 mm/s ont été observés.

**Tableau A4 : Tableau des tâches**

Intervenant	Idee originale	Bibliographie	Mise en place du protocole	Collecte de données	Traitement et analyse des données	Rédaction
Principal	Lise D.	Nell V.	Nell V.	Nell V.	Nell V.	Nell V.
Secondaires			Laurent L.	Lise D.	Laurent L.	

**Légende :** Lise D. : Lise DURANTOU, tutrice et chargée de missions à La Pagaie Sauvage ; Laurent L. : Laurent Lanceleur, enseignant-chercheur à l'UPPA ; Nell V. : Nell VALERY, stagiaire



**Figure A2 : Diagramme de Gantt - calendrier du stage**