

# VERS UNE HYDROMÉTRIE PARTICIPATIVE POUR LES RIVIERES NON SUIVIES ?

Yan LACAZE<sup>1</sup>, Michel GUICHET<sup>2</sup>

<sup>1</sup> DREAL Nouvelle-Aquitaine – Cité administrative, 5 rue Jules Ferry, BP 55, 33090 Bordeaux Cedex – yan.lacaze@developpement-durable.gouv.fr

<sup>2</sup> Particulier

*L'objet du présent article est de proposer une démarche expérimentale afin de faire émerger une hydrométrie participative sur les bassins versants non jaugés. Ce projet vise à participer à la construction d'une connaissance partagée des rivières non instrumentées par l'agrégation des observations et mesures in situ des particuliers. Pour ce faire nous proposons le développement d'une version applicative mobile de la méthode de LSPIV, reliée à une base de données que les utilisateurs de l'application peuvent venir enrichir de leurs mesures. Celles-ci doivent être réalisées en des sites préalablement définis dont un relevé topographie et bathymétrique doit être réalisé, et équipés d'une échelle limnimétrique pour pouvoir appliquer la méthode dans les meilleures conditions. A travers une revue non exhaustive de la littérature nous montrons d'une part le bénéfice que ces jaugeages pourraient apporter et d'autre part la possibilité technique d'un tel projet. Nous présentons dans cette communication les étapes, les points méthodologiques et les besoins de cette démarche.*

*Mots-clefs : Hydrométrie participative, bassins non jaugés, LSPIV, jaugeages ponctuels*

## *Towards a collaborative way to gauge the ungauged catchments*

*In this paper we introduce an experimental approach aiming at developing a collaborative hydrometry. The aim is to consolidate the observations and measurements that anyone along a river could make in an open database dedicated to ungauged catchments. This project targets the development of a mobile version of the LSPIV method on smartphones. The database would be filled with sporadic flow gaugings from the field obtained by anyone using the app. To be valid these measurements must be completed at predefined locations. Preliminary steps are necessary : the installation of a staff gauge and a survey of the cross section and of the river banks. This paper presents a short review of the expected benefits for ungauged catchments of such a database and the feasibility of the project. The main steps and requirements are discussed to highlight the interest for this project.*

*Key words : participative hydrometry, ungauged catchments, LSPIV, sporadic gauging*

## I INTRODUCTION

La connaissance du comportement des bassins versants et du régime des cours d'eau associés est essentielle à l'aménagement du territoire. Elle conditionne nombre de décisions locales d'aménagement, en lien avec la prévention du risque d'inondation, la gestion de la ressource en eau, l'étude de l'impact sur les écosystèmes des installations industrielles, le dimensionnement d'ouvrages en génie civil, etc. Qu'il s'agisse de déterminer le module d'une rivière, une crue de projet ou un niveau d'étiage sévère, dans tous ces domaines, on utilise des données hydrologiques de projet issues de l'étude physique des rivières et de l'étude statistique des données relevées, consolidées et déduites de l'observation de celles-ci. Ces questions peuvent se poser en tout point du réseau hydrographique. Or les stations de mesure continue constituent un réseau spatialement limité. Et la multiplication de stations, même provisoires, n'est pas envisageable compte tenu du nombre de points manquants et de la contrainte de temps pour obtenir un historique suffisant. Pour pallier l'absence d'observations, des méthodes ont donc été étudiées avec plus ou moins d'incertitudes intrinsèques notamment pour les besoins de détermination des valeurs de débits de référence. Pour obtenir la valeur de la variable considérée sur le secteur d'étude on peut recourir à une modélisation (au sens large) sur la base de données hydro-météorologiques indirectement explicatives : méthodes à base de formulation empirique, à base d'interpolation, ou à base de modélisation pluie-débit [Sauquet, 2010]. L'étude peut être locale mais de nombreuses approches ont été développées à des échelles régionales selon l'objectif poursuivi et les variables hydrologiques recherchées. Les bassins versants non jaugés constituent à ce titre un sujet d'intérêt récurrent dans les études. En parallèle de ces méthodes, plusieurs travaux ont montré le gain que des chroniques hydrométriques partielles ou des jaugeages ponctuels généraient dans l'estimation des débits de référence et la réduction des incertitudes des approches par modélisation.

Or, parmi les techniques modernes d'hydrométrie, émerge celle de l'hydrométrie par analyse d'images, via des capteurs vidéos. Les méthodes d'estimation de débit ont fait l'objet de nombreux développements récents, tant méthodologiques que matériels (méthode par Large Scale Particle Image Velocimetry LSPIV). Ces méthodes ont également pu être appliquées à des vidéos prises à la volée, sans aucun protocole, pour tenter d'estimer des débits de crue.

Aujourd'hui la capacité des smartphones, permettrait de faire tourner de telles méthodes de calcul. L'intégration d'une caméra sur ces appareils permet déjà de capturer à la volée un extrait vidéo. La technologie actuelle des téléphones ouvre donc la porte à de l'hydrométrie par traitement d'images portative. La grande disponibilité de ce matériel chez tout un chacun permet d'entrevoir la possibilité d'une hydrométrie de ce type, pour les cours d'eau non suivis, de manière participative.

Dans cette communication, nous présentons le besoin auquel pourrait répondre ce projet à travers quelques exemples de travaux sur les bassins versants non jaugés. Nous rappelons ensuite les grands principes des méthodes de mesure du débit par LSPIV. Une revue d'études marquantes sur les implémentations de ces méthodes nous permet de borner les possibilités d'un tel projet, d'en cadrer les modes opératoires et d'en identifier les limites. Enfin, nous présentons succinctement les étapes de la démarche expérimentale que nous poursuivons afin de faire émerger une enthousiasmante hydrométrie participative sur les rivières non jaugées.

## **II BASSINS VERSANTS NON JAUGÉS ET EXPLOITATION DE DONNÉES HYDROMÉTRIQUES PONCTUELLES**

### **II.1 Approches palliatives pour les bassins versants non jaugés**

#### *II.1.1 Un classique de l'hydrologie moderne*

Les bassins versants non jaugés sont des objets d'étude récalcitrants pour les hydrologues. L'Association internationale des sciences hydrologiques (AIHS) en a fait le thème principal d'étude d'une initiative lancée en 2003 et conclue en 2012 [Hrachowitz et al., 2013]. Le besoin de connaissance du débit à leur exutoire contraint à recourir à toute forme de modélisation. Il devient alors nécessaire d'exploiter des données provenant d'autres bassins versants, jaugés, dont on recherche une ressemblance géographique, climatique ou hydrologique avec les bassins versants non jaugés et dont on transpose l'information.

L'analyse cartographique, les méthodes géostatistiques, les méthodes de régression et de corrélation, la modélisation probabilistique, la modélisation déterministe et les techniques de régionalisation sont autant de techniques analytiques qui reposent sur un principe de substitution des données. Chaque méthode possède ses applications spécifiques, et leur utilisation dépend de la quantité de données disponibles et du type de problème à résoudre [OMM, 1994]. Ces différentes techniques sont souvent combinées.

Selon que l'on traite de prédétermination ou de prévision hydrologique, des approches particulières sont nécessaires pour répondre aux enjeux spécifiques des bassins versants non jaugés. Toutes sont des thématiques actives de recherche. Les quelques exemples suivants en témoignent, toutes thématiques confondues.

#### *II.1.2 Prédétermination de débits de référence :*

Folton et Lavabre [2007] proposent une méthode par modélisation des écoulements mensuels de référence d'étiage par un modèle hydrologique simple et robuste, pour le calcul du QMNA5 et du module en tout point d'un réseau hydrographique. Une validation croisée est mise en oeuvre pour contrôler la qualité de la méthode afin de s'assurer de la pertinence de l'information sur le territoire d'étude. Dans la continuité de ce travail, Folton et Arnaud [2013] présentent l'apport de la régionalisation d'une modélisation hydrologique distribuée pour la cartographie des débits d'étiage.

Sans être exhaustif [Sauquet, 2010] dresse un état des lieux, en écho au *Guide méthodologique en vue de l'estimation du module du cours d'eau* [CEMAGREF, 1987], à travers trois approches possibles pour l'estimation du module : deux d'origine statistique de krigage et la troisième s'appuyant sur la régionalisation de la modélisation à base conceptuelle proposée par Folton.

[Catalogne, 2012] s'intéresse également à l'estimation du QMNA5. Son travail insiste sur la détermination de l'incertitude et sur l'exploitation exhaustive des données présentes sur le bassin versant dont chaque ajout apporte une amélioration des résultats.

Oudin et al. [2010] s'attachent à la recherche de meilleurs descripteurs physiques capables de rendre compte du comportement hydrologique des bassins versants dont l'information peut être transposée aux bassins non jaugés.

Devant la multiplicité des méthodes proposées, [Boldetti, 2012] s'intéresse à l'analyse de la robustesse des méthodologies d'estimation régionale et propose une étude comparative de grande échelle et l'évaluation de leurs performances sur un grand échantillon de 800 bassins versants français. Deux pistes sont confrontées : la régionalisation des statistiques et la régionalisation classique des modèles pluie-débit, basée sur les critères de proximité spatiale et de similarité physique. Il propose une troisième voie, un schéma de régionalisation indirecte, qui se base sur la régionalisation des statistiques de débit.

Afin de mieux cerner les limites des méthodes de régionalisation employées, Bourgin et al. [2015] proposent une méthode permettant de transposer l'incertitude liée à la modélisation en bassins jaugés, aux bassins non jaugés.

Concernant les débits de crue, une référence incontournable est la méthode SHYREG [Organde et al., 2013 ; Arnaud et al., 2014 ; Aubert et al., 2014]. La méthode SHYREG est elle aussi une méthode de régionalisation de paramètres de modèles (à la fois pour un générateur de pluie et la modélisation hydrologique). Cette régionalisation est sensible à la présence sur le bassin de barrages, de karst, à l'influence de la fonte nivale ou dans le cas de bassins versants particulièrement urbains. Son intérêt principal réside dans l'estimation des quantiles pour lesquels elle présente de meilleurs résultats que des méthodes d'extrapolation s'appuyant uniquement sur les chroniques hydrométriques.

#### II.1.3 Préviation temps réel des crues

Le second volet d'étude des bassins versants non jaugés s'intéresse aux enjeux de la préviation des crues. Celle-ci nécessite des développements spécifiques pour la simulation des hydrogrammes et la mise à jour des modèles de préviation par l'utilisation d'une information en temps réel.

S'appuyant sur la même méthodologie que la méthode SHYREG, la méthode AIGA vise à la simulation des crues sur les bassins versants non jaugés [Javelle et al., 2010] en utilisant comme forçage une lame d'eau radar et un indice d'humidité des sols. [Fouchier, 2010] fait le lien entre ces méthodes en vue de contrôler la pertinence de la modélisation hydrologique mise en oeuvre à la fois en préviation et en prédétermination. La méthode AIGA a depuis été généralisée à l'ensemble de la France dans le cadre de la mise en place d'un service ambitieux d'avertissement aux crues soudaines [Javelle et al., 2014, 2016 ; de Saint-Aubin et al., 2016].

#### II.1.4 Comment alors combler les lacunes ?

Pour estimer certains débits de référence tels que le module, les débits des crues décennale et centennale et certaines caractéristiques de débit d'étiage, Lebecherel et al. [2014] présentent, pour les bassins versants non jaugés, l'impact de la densité spatiale du réseau hydrométrique sur ces calculs à travers l'utilisation d'un modèle pluie-débit et une méthode de régionalisation basée sur la proximité spatiale des bassins versants jaugés. La conclusion est que quelle que soit la variable recherchée, les résultats de régionalisation se dégradent à mesure que le réseau « source » de bassins voisins devient moins dense.

De même, les auteurs de la méthode SHYREG recommandent, lorsque cela est possible, de valoriser en complément les informations disponibles sur les crues exceptionnelles du site d'étude et/ou de sites voisins comparables.

Partageant cette opinion, plusieurs travaux se sont intéressés à analyser l'apport de l'utilisation de mesures ponctuelles de débit en complément des approches de régionalisation des variables hydrologiques et des paramètres des modèles pluie-débit.

## II.2 Bénéfices de jaugeages ponctuels

Afin de trouver un compromis entre le recours aux seules méthodes de régionalisation du fait de l'absence de données sur les bassins versants non jaugés, et l'installation irréaliste de stations à tous les points considérés, plusieurs auteurs se sont intéressés au rapport optimal entre la collecte ponctuelle de données et l'amélioration de l'estimation des débits sur les bassins non jaugés.

L'apport des jaugeages ponctuels a ainsi notamment été étudié dans le cadre d'une modélisation continue pluie-débit afin d'estimer ou de préciser les paramètres de calage des modèles appliqués à des bassins versants sans mesures continues [Rojas-Serna, 2006] par l'utilisation en nombre aussi limité que possible de mesures. D'une part ces travaux montrent le bénéfice indéniable de quelques mesures ponctuelles pour améliorer l'efficacité statistique des modèles. Si l'on s'intéresse à toute la gamme de débits simulés, les résultats obtenus suggèrent d'autre part qu'il est plus efficace de concentrer les mesures sur la saison des hautes eaux plutôt que de multiplier les mesures toute l'année sur des débits équivalents. La problématique d'optimisation du gain statistique des modèles, et donc de la connaissance du fonctionnement de ceux-ci, vis-à-vis de l'engagement de ressources supplémentaires humaines et/ou financières pour mener ces campagnes revient alors à la définition d'une stratégie de jaugeage sur les bassins versants non jaugeés. [Rojas-Serna, 2006] suggère ainsi que réaliser aléatoirement une trentaine de mesures sur une période de 3 à 5 ans est acceptable. Ce résultat est proche de ceux de Seibert et Beven [2009]. On trouve dans [Rojas-Serna et al., 2016] la conclusion que 10 jaugeages peuvent suffire à réduire de 50% l'écart qualitatif d'estimation entre bassins jaugeés et non jaugeés.

D'autres travaux ont ciblé plus particulièrement certaines gammes de débit. Afin de mieux caractériser les débits caractéristiques d'étiage (QMNA5) de bassins versants non jaugeés, Chopart [2008] enrichit des méthodes de régionalisation par valorisation de jaugeages ponctuels. La stratégie de jaugeages présentée consiste à, épisodiquement, mesurer concomitamment une station de référence et le site étudié. La relation linéaire qui lie les deux valeurs de débit est finalement peu sensible au nombre de jaugeages, mais l'est davantage au degré de similitude entre le site cible et la station de référence. Il se dégage alors une stratégie préférentielle devant cibler les périodes d'étiage avec une meilleure efficacité lorsque les points sont sur un même linéaire. De manière générale l'étude montre que l'intégration de jaugeages dans un cadre géostatistique d'extrapolation permet de mieux apprécier les débits caractéristiques d'étiage.

Catalogne [2012] dresse le même constat que les travaux précédents : la valorisation d'une information hydrologique locale même très fragmentaire est susceptible d'accroître de manière significative la fiabilité des estimations obtenues

La définition d'une stratégie de jaugeage pour l'appréciation des débits caractéristiques d'étiage est approfondie par Catalogne et al. [2014]. Les résultats obtenus en termes de performance montrent que la méthode surpasse les techniques d'interpolation classiques dès qu'un nombre réduit de jaugeages est disponible. Au-delà de 20 jaugeages, les gains n'évoluent plus significativement et un jaugeage est plus informatif si les campagnes sont espacées dans le temps (une fréquence de trois jaugeages par saison d'étiage est recommandée). Et cette stratégie est également valable pour d'autres variables caractéristiques de l'étiage. Ces questions de définition de stratégie optimale, ont récemment conduit l'ONEMA à éditer un guide technique pour valoriser les jaugeages ponctuels dans un contexte d'étiage [Sauquet et al., 2016].

L'apport des jaugeages ponctuels a donc été largement démontré dans la littérature. On retiendra enfin pour conclure qu'avec un nombre croissant de mesures, les différences avec les bassins jaugeés, et l'apport de la régionalisation, s'estompent. Les paramètres des modèles hydrologiques en sites non jaugeés tendent en effet vers les valeurs obtenues par calage en sites jaugeés lorsque le nombre de mesures augmente [Rojas-Serna, 2016]. Ce résultat pointe le compromis difficile à trouver entre l'intérêt malgré tout permanent des mesures (même s'il est faible) et la recherche de stratégies économes en jaugeages ponctuels.

### **III RAPPEL DES PRINCIPES DE LA MESURE PAR LSPIV**

#### **III.1 Une méthode éprouvée en constant progrès**

Une abondante littérature a été publiée sur l'hydrométrie par analyse de séquences d'images, technique appelée en anglais Large Scale Particle Image Velocimetry (LSPIV). Les technologies actuelles offrent une alternative intéressante à l'hydrométrie classique car elles permettent la mesure des vitesses de surface instantanées de façon non intrusive. Pour une description détaillée de la méthode, on peut se référer par exemple à [Fourquet, 2005 ; Hauet 2006].

Les performances de la mise en oeuvre d'une méthode de LSPIV pour l'estimation du débit ont aussi été démontrées. Des études font état d'écarts très faibles (de l'ordre de 5%) par rapport à des méthodes classiques de jaugeage [Kim et al., 2008 ; Muste et al., 2008]. Mais ces résultats sont à prendre avec précaution. Le Coz et al. [2010] indiquent que les écarts de mesures de vitesses sont fonction des conditions

d'écoulement et des conditions de prise de vue. Ils sont de l'ordre  $\pm 10\%$  en temps normal et peuvent aller jusqu'à 30-80% en conditions dégradées. Les résultats très prometteurs de la méthode [Jodeau et al., 2008 ; Dramais et al., 2011] ont conduit à poursuivre les développements et à l'industrialiser [Hauet et al., 2014 ; Jodeau et al. 2014 ; Le Coz et al. 2014]. Des travaux constants apportent régulièrement des améliorations à la méthode qui s'enrichit constamment [Jodeau et al., 2014].

La méthode est à présent suffisamment éprouvée pour que ses applications s'étendent [Bouchenafa, 2016 ; Benacchio, 2016]. L'application qui en est faite par Le Boursicaud et al. [2015] montre tout le potentiel de la méthode dans le cadre d'une utilisation non experte à travers l'exploitation de films amateurs. De même un important travail d'exploitation de contributions citoyennes a également été mené par Le Coz et al. [2016] dans le cadre des projets FloodScale, Cazadores de Crecidas et RiskScape.

### III.2 Principe de la LSPIV

L'analyse de séquences d'images utilisée dans le cadre de l'hydrométrie permet de mesurer le champ bidimensionnel de vitesse en surface d'un écoulement en rivière à condition que des marqueurs portés par le courant soient visibles, tels que des bulles, des motifs de turbulence, des petits corps flottants (végétaux, déchets, etc.).

Une mesure par LSPIV se fait en trois temps :

- l'enregistrement selon un pas de temps donné d'une séquence d'images de l'écoulement ;
- une correction géométrique des images pour corriger les effets de la perspective et de la distorsion de l'objectif. Ce traitement nécessite la connaissance de points fixes de référence identifiables sur les images et dont les coordonnées dans le repère de l'image et dans le repère réel sont connues. Le traitement vise également à compenser les mouvements parasites de caméra.
- l'identification et le calcul du déplacement des traceurs de l'écoulement grâce à une analyse de traitement statistique des images. Cette étape comprend au préalable un traitement éventuel des images pour supprimer les parasitages. Après calcul, elle comprend également l'application de filtres statistiques pour éliminer les aberrations de calcul sur les vitesses ou leur orientation.

Lorsque les conditions sont adaptées, on obtient alors le champ bidimensionnel des vitesses de surface.

Dès lors, le processus de traitement est similaire à celui effectué pour les jaugeages par mesure des vitesses de surface, tels que les jaugeages par flotteurs ou les jaugeages par vélocimètre radar SVR. Par rapport à ces méthodes la LSPIV apporte une information plus riche, puisqu'un champ de vitesse de surface est disponible au lieu de quelques mesures ponctuelles. Il est en effet recommandé, si l'on utilise des flotteurs naturels, de réaliser une vingtaine de trajets en des positions variées sur la section de jaugeage [WMO, 2010].

Les vitesses de surface sont intégrées sur la section en supposant (ou connaissant) la distribution des profils verticaux de répartition de vitesse dans la section. Le profil topographique et bathymétrique de la section doit bien sûr être connu.

Les trois étapes de la mesure par LSPIV semblent parfaitement réalisables et automatisables sur les appareils mobiles actuels (smartphones, tablettes).

## IV ÉTAPES DE LA DÉMARCHE EXPÉRIMENTALE ENVISAGÉE

### IV.1 Pour une bancarisation et une valorisation des observations de terrain des riverains ou usagers de passage

#### IV.1.1 Une connaissance du terrain nécessaire, potentiellement présente mais non sauvegardée

[Blöschl, 2016] synthétise les conclusions des travaux sur les bassins versants non jaugés en 6 grands parties. Il retient comme première recommandation l'intérêt à porter à la connaissance que l'on peut acquérir d'un bassin versant non jaugé par l'observation du terrain et la capitalisation des témoignages locaux. Cette liste se conclue sur une recommandation commune à toutes qui vise au partage, à l'agrégation des connaissances et à leur diffusion. Mais, compte tenu des moyens limités dont disposent les services en charge de l'hydrométrie ou de l'hydrologie, cette dernière recommandation n'est conciliable avec le besoin de consolidation de la connaissance du terrain que si des formes participatives de partage sont mises en œuvre.

L'instrumentation pérenne des rivières non jaugées ne répond pas aux critères d'un réseau optimisé [OMM, 1994] compte tenu de leurs caractéristiques communes telles que faible hydraulicité, difficulté à être instrumentées, accessibilité délicate (pour les stations très en amont), absence d'enjeux locaux, *etc.* Or les rivières des bassins versants non jaugés sont arpentées régulièrement si ce n'est quotidiennement par, qui le riverain, qui le pêcheur, qui le randonneur, *etc.* Mais rares sont les traces qui sont gardées des observations. C'est un manque à gagner énorme pour la connaissance patrimoniale hydrométrique. Le citoyen peut difficilement apporter sa propre connaissance qui ne peut être valorisée.

Une participation collective à la connaissance est donc possible par l'agrégation de toutes ces observations.

#### IV.1.2 Approche collaborative de la connaissance du terrain

Du point de vue hydrométrique ce principe est déjà balbutiant pour la pratique du canyonisme. Les passionnés enrichissent de leurs observations des conditions d'écoulement lors de leur sortie, une base de débits par tronçon descendu, depuis un site internet ([www.descente-canyon.com](http://www.descente-canyon.com)<sup>1</sup>). Mais les observations sur le débit restent qualitatives et subjectives, et l'horodatage est au pas de temps journalier. (Elles sont à choisir entre « sec », « petit filet d'eau », « débit correct », « gros débit », « très gros débit » et « trop d'eau »).

L'objectif du présent projet est donc la mise en place d'une base de données organisée avec la volonté de pouvoir impliquer l'ensemble des acteurs concernés au travers d'une approche collaborative : qu'il s'agisse du citoyen, du service technique d'une collectivité ou d'un service expert.

#### IV.1.3 Concrétisation d'une hydrométrie participative

La finalité que nous poursuivons est la mise en place d'une base de données publique et participative de mesures de hauteurs et de débits enregistrés, traités et transmis directement à l'aide d'appareils mobiles (smartphones ou tablettes). L'ambition est que des vitesses de surface puissent être calculés à chaud par analyse de séquences d'images issues de la capture vidéo de l'écoulement sur une section donnée. En proposant cette possibilité au droit de sections répertoriées, auxquelles une échelle limnimétrique a été préalablement installée, et desquelles on dispose de profils en travers, il est possible, une fois les vitesses calculées, de renvoyer et de bancariser une estimation du débit associée à la hauteur filmée.

## IV.2 Une plate-forme internet comme interface vers une base de données de débits

L'OMM rappelle un des objectifs fondamentaux d'un système de stockage et d'extraction de données hydrométriques lorsqu'il se met en place : favoriser une utilisation aussi large que possible [OMM, 1994]. Dès lors la plateforme internet à développer doit constituer la porte d'entrée pour la consultation ou l'enrichissement de la base de données permettant de rassembler les futures contributions. Elle doit permettre de manière simple et conviviale : la consultation des données sous forme cartographique, la contribution à chaud, l'exploitation, la gestion et l'expertise des observations par les services référents. La mise en place d'une telle base de données permet en outre la définition d'un référentiel commun à ce type de mesures, compatibles et exploitables par les services référents en hydrométrie. Il semble donc nécessaire que cette base de données soit unique et portée par un service de l'Etat ou un établissement public. La base nationale des données hydrométriques évolue vers la version 3 de la Banque Hydro et intègre des possibilités de renseignements de sites de jaugeages ponctuels. Cette base a vocation à être la base de référence pour tout producteur de données hydrométriques. Elle s'appuie sur un référentiel très complet auquel il paraît profitable de se conformer. Elle pourrait donc utilement intégrer la production de ces jaugeages ponctuels.

## IV.3 Intérêt d'une application pour appareils mobiles

Dans ce projet, la base de données est alimentée par les contributions des usagers d'une application mobile. L'optimisation pour les appareils mobiles permet notamment d'exploiter la géolocalisation et de proposer à l'utilisateur une recherche des sites autour de sa position qui permettent le calcul du débit. L'utilisation de sa position au moment de la contribution permet aisément de le rattacher à un site référencé. Elle permet également de proposer un contenu annexe enrichi relatif à l'environnement où s'est faite la prise d'images (informations culturelles, didactiques, pratiques, *etc.* telles que des informations détaillées sur le bassin versant ou des consignes de sécurité).

---

<sup>1</sup> Hauser B., Baratin D. - <http://www.descente-canyon.com/>

L'appareil mobile fournit également des informations précieuses sur le type d'appareil vidéo utilisé lors de la prise de vue et sur ses paramètres ( focale, inclinaison, etc.).

En outre le principe d'application mobile offre un lien de communication direct et réciproque avec l'utilisateur. Bien que n'étant pas infaillible, il permet néanmoins l'utilisation de notifications à des fins d'information ou pourquoi pas d'alerte. En retour, il permet la saisie directe d'observations faites *in situ* par les utilisateurs en leur ouvrant la possibilité d'annoter ou de commenter les informations collectées.

Ce support est également propice à une approche plus ludique. Des à côté ludiques pourraient trouver leur place dans l'application.

#### IV.4 Choix des sites et travaux sur le terrain

Un atout du projet est la simplicité de mise en oeuvre sur le terrain. Il requiert simplement que soient installées sur les rivières non jaugées retenues des échelles limnimétriques au droit desquelles il sera nécessaire de lever un profil en travers de la section pour pouvoir disposer de l'estimation du débit. L'échelle doit, elle, être rattachée en NGF. Des points de repères fixes aisément identifiables (type mires) peuvent également être implantés et levés en x,y,z. A défaut un lever topographique de la zone est nécessaire.

L'acquisition des données topographiques ne peut être faite que par des professionnels du domaine (géomètres). Ces relevés seraient à exploiter dans le cadre de la configuration préalable du site dans le logiciel. Ces relevés visent à disposer de points de repère topographiés et visibles, identifiables sur l'image numérique saisie par l'utilisateur. Ce point conduit à devoir guider le point de vue de l'utilisateur à travers un protocole, voire un support prédisposé à cet effet.

Un choix préalable de sites peut être effectué au regard du croisement de critères tels que :

- le besoin d'une connaissance hydrologique améliorée (cf. partie II) ;
- le besoin de recalage d'un modèle hydrologique utilisé pour un système d'alerte local de risque de crue ;
- la fréquentation de points de passage remarquables (ex : Pont d'Espagne dans le Parc National des Pyrénées) ; etc.

En outre l'intérêt de la proposition est que le choix des sites n'est pas définitif. Les données de vitesses acquises peuvent être exploitées *a posteriori*. Une campagne d'installation d'un site référencé peut être lancée au vu de critères tels que le nombre de mesures réalisées (la fréquentation du site), la rareté estimée de certaines mesures effectuées (crue rapide importante opportunément filmée [Le Boursicaud et al., 2015]), etc.

Installer une échelle limnimétrique ne représente pas un coût important au regard de la vie d'un réseau hydrométrique. Les limites au déploiement d'un réseau viennent des effectifs associés à l'entretien et au jaugeage régulier. La dépense à engager sur le terrain est suffisamment accessible pour que des collectivités ou établissements publics (EPTB) par exemple, puissent définir leurs propres points de mesure. Il n'y a pas d'appareils électroniques sur le site, donc l'entretien est bien plus aisé et bien moins coûteux qu'une station d'enregistrement continu classique. De plus le système informatique est entièrement déporté et l'utilisateur peut être directement informé des mises à jour du logiciel.

#### IV.5 Protocole de prise de vue

Afin d'optimiser la qualité a priori de la mesure il est nécessaire que soit cadré le protocole de prise de vue. De nombreuses contraintes et paramètres à ajuster aujourd'hui manuellement agissent sur la prise de vue. Un des enjeux du développement est d'automatiser le calibrage de la prise de vue de sorte que l'application soit utilisable par tout un chacun et donne des résultats corrects. Une possibilité est de forcer le point de vue par la pose d'un support pour poser la caméra. Ce support doit rappeler les règles de sécurité et peut être l'occasion de diffuser un contenu pédagogique associé à la rivière. Cette contrainte limiterait le nombre de points de mesure mais permettrait d'augmenter la capacité d'exploitation des films réalisés en ce lieu.

Le protocole doit en préambule insister en priorité sur les règles de sécurité. Il n'est pas de données qui valent une mise en danger. L'intérêt d'une application pour appareils mobiles peut être mis en avant sur ce point ; la lecture et l'acceptation des règles de sécurité pouvant être un préambule à l'exécution de l'application. Le retour d'expérience de Le Coz et al. [2016] est en ce sens riche d'enseignements. Le protocole de prise de vue doit préciser préalablement à l'utilisation de l'application quelques principes de base à respecter [Jodeau et al., 2013] : associer la hauteur à l'échelle soit visuellement soit par le traitement d'images, inclure dans le champ de l'image toute la largeur d'écoulement, inclure sinon les repères fixes

spécifiquement installés du moins un certain nombre de points identifiables (une dizaine), rester stable, filmer sur une durée appropriée, etc.

Le Boursicaud et al. [2015] ont en outre montré que la méthode n'était que négligemment sensible à la résolution des images.

## V CONCLUSIONS

Nous proposons dans cette communication un projet susceptible d'améliorer la connaissance des bassins versants non jaugés par l'émergence d'une hydrométrie participative grâce à la capitalisation de mesures par LSPIV de débits réalisées sur smartphones, et versées dans une base de données publique. Nous avons montré que le potentiel pour l'exploitation d'estimations de débits ponctuelles était avéré à travers l'abondante littérature sur l'amélioration de la connaissance des débits des bassins versants non jaugés tant en prédétermination qu'en prévision. Le projet propose de développer une version applicative pour appareils mobiles grand public (smartphones et tablettes) de la méthode de LSPIV. En parallèle doivent être définis des sites d'expérimentation propices à l'installation d'une échelle limnimétrique. Leur géométrie doit être levée. Le temps du déploiement du réseau d'échelles doit permettre de poursuivre le développement de l'application ; la technologie actuelle méritant encore d'être approfondie.

Plusieurs limites sont néanmoins d'ores et déjà identifiables dans la mise en place et la vie de ce projet. Mais aucune ne semble rédhibitoire. La première vient de la difficulté à rendre la méthode accessible en tout lieu. Des séquences de calibrage nombreuses sont nécessaires, mais les travaux présentés en partie III sont très encourageants. Au cours de la vie du projet, la qualité de l'estimation du débit est directement liée à la géométrie de la section. Et celle-ci peut évoluer dans le temps si le fond est mobile. L'estimation du débit peut également être faussée si un détarage saisonnier ou temporaire apparaît. Néanmoins la possibilité pour l'utilisateur de commenter sa mesure peut permettre de signaler des changements pénalisants. Des contrôles *a posteriori* de cohérence amont aval peuvent aussi permettre de critiquer et valider ou pas les mesures. Quoi qu'il en soit, la valeur du champ de vitesse de surface demeure et peut être réexploitée ultérieurement.

Par cette communication, nous espérons pouvoir susciter l'intérêt pour un tel projet que nous nous proposons dans un premier temps d'expérimenter sur les bassins aquitains, nombreux et propices au tourisme hydrologique.

## VI REFERENCES

- Arnaud P., Y. Aubert, D. Organde, P. Cantet, C. Fouchier, N. Folton (2014) - Estimation de l'aléa hydro-météorologique par une méthode par simulation : La méthode SHYREG : Présentation – Performances – Base de données, *La Houille Blanche* n°2
- Aubert Y., P. Arnaud, P. Ribstein et J. A. Fine (2014) - La méthode SHYREG débit, application sur 1605 bassins versants en France Métropolitaine. *Hydrological Sciences Journal*, **59** (5), 1-13.
- Benacchio, V., Piégay H., Buffin-Bélanger T., Vaudor L. (2016) - A new methodology for monitoring wood fluxes in rivers using a ground camera: Potential and limits, *Geomorphology* (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.07.019>
- Blöschl G. (2016) - Predictions in ungauged basins – where do we stand ? *Proc. IAHS*, **373**, 57–60
- Boldetti G. (2012) — Estimation of the parameters of hydrological models on ungauged basins: a comparison of direct and indirect approaches. *PhD thesis, AgroParisTech-Irstea*. 207 pp.
- Bouchenafa W, Boucher O., Mouhous-Voyneau N., Sergent P. (2016) - Mesure des champs de vitesse et débit d'écoulement par la méthode LSPIV : application sur un modèle réduit d'une bouche de métro *XIVèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Toulon, 29 juin au 1er juillet 2016*
- Bourgin, F., Andréassian, V., Perrin, C., and Oudin, L. (2015) - Transferring global uncertainty estimates from gauged to ungauged catchments, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **19**, 2535-2546



- Catalogne C. (2012) — Amélioration des méthodes de prédétermination des débits de référence d'étiage en sites peu ou pas jaugés. *Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble*. 285 pages
- Catalogne C., E. Sauquet, M. Lang. (2014) - Valorisation des données de jaugeages épisodiques pour l'estimation du débit de référence d'étiage QMNA5. *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau, EDP Sciences*, **2014**, pp.78-87.
- CEMAGREF (1987) - Guide méthodologique en vue de l'estimation du module du cours d'eau. *Note technique*, 10 pages.
- Chopart S., Sauquet E. (2008) — Usage des jaugeages volants en régionalisation des débits d'étiage. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*. **21(3)**, 2008, p.267-281
- Céline de Saint-Aubin, Léa Garandeau, Bruno Janet and Pierre Javelle (2016) A new French flash flood warning service *E3S Web Conf. Volume 7, 2016 3rd European Conference on Flood Risk Management (FLOODrisk 2016)* ; 18024, 5 pages
- Dramais G., J. Le Coz, A. Gallavardin, P. Duby, A. Hauet, et al.. Mesures sans contact des débits de crue : avancées et perspectives. *Ecotechs 2011, Oct 2011, Clermont-Ferrand, France*. 4 p., 2011.
- Folton N., J. Lavabre (2007). Approche par modélisation pluie-débit pour la connaissance régionale de la ressource en eau : application à la moitié du territoire français. *La Houille Blanche*. (3), 64-70.
- Folton N., P. Arnaud. (2012). Régionalisation d'une modélisation hydrologique distribuée pour la cartographie des débits d'étiage. Application au territoire français. *9ème congrès international GRUTTEE 2012, Oct 2012, Aix-en-Provence, France*. 5 p., **2012**. <hal-00776136>
- Fouchier C. (2010) : Développement d'une méthodologie pour la connaissance régionale des crues ; *Thèse de doctorat de l'université Montpellier II Sciences et techniques du Languedoc*.
- Fourquet G. (2005) – Développement d'un système hydrométrique par analyses d'images numériques. *Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble*, 272 p.
- Hauet A. (2006) – Estimation de débit et mesure de vitesse en rivière par Large-Scale Particle Image Velocimetry. *Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Grenoble*, 322p.
- Hauet A., M. Jodeau, J. Le Coz, B. Marchand, A. Die Moran, et al..(2014) Application de la méthode LSPIV pour la mesure de champs de vitesse et de débits de crue sur modèle réduit et en rivière. *Houille Blanche, EDP Sciences*, **2014, 3**, pp.16-22.
- Hrachowitz M., H.H.G. Savenije, G. Blöschl, J.J. McDonnell, M. Sivapalan, J.W. Pomeroy, B. Arheimer, T. Blume, M.P. Clark, U. Ehret, F. Fenicia, J.E. Freer, A. Gelfan, H.V. Gupta, D.A. Hughes, R.W. Hut, A. Montanari, S. Pande, D. Tetzlaff, P.A. Troch, S. Uhlenbrook, T. Wagener, H.C. Winsemius, R.A. Woods, E. Zehe & C. Cudennec (2013) - A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB) — a review, *Hydrological Sciences Journal*, **58:6**, 1198-1255, DOI: 10.1080/02626667.2013.803183
- Javelle P., C. Fouchier, P. Arnaud et J. Lavabre (2010) - Flash flood warning at ungauged localisations using radar rainfall and antecedent soil moisture estimations. *Journal of Hydrology*, **394**, 267-274.
- Javelle, P., Demargne, J., Defrance, D., Pansu, J., Arnaud, P. (2014). Evaluating flash-flood warnings at ungauged locations using post-event surveys: a case study with the AIGA warning system. *Hydrological Sciences Journal - Journal Des Sciences Hydrologiques*, 59(7), 1390-1402. doi: 10.1080/02626667.2014.923970
- Javelle P., Didier Organde, Julie Demargne, Céline de Saint-Aubin, Léa Garandeau, Bruno Janet, Clotilde Saint-Martin, and Catherine Fouchier (2016) ; Development of a national Flash flood warning system in France using the AIGA method: first results and main issues. *Geophysical Research Abstracts* **Vol. 18**, EGU2016-16433, 2016 EGU General Assembly **2016**

- Javelle P., Didier Organde, Julie Demargne, Clotilde Saint-Martin, Céline de Saint-Aubin, Léa Garandeau, Bruno Janet (2016) - Setting up a French national flash flood warning system for ungauged catchments based on the AIGA method *E3S Web of Conferences e3s conf 7,18010 FLOODrisk2016 - 3rd European Conference on Flood Risk Management*
- Jodeau M., A. Hauet, A. Paquier, J. Le Coz, G. Dramais (2008). Application and evaluation of LS-PIV technique for the monitoring of river surface velocities in high flow conditions. *Flow Measurement and Instrumentation, Elsevier*, 19 (2), p. 117 - p. 127.
- Jodeau M., Hauet A., Le Coz J. (2013) - Fudaa-LSPIV 1.3.2 Guide d'utilisation. 28 p.
- Kim, Y., M. Muste, A. Hauet, W. F. Krajewski, A. Kruger, and A. Bradley (2008), Stream discharge using mobile largescale particle image velocimetry: A proof of concept, *Water Resour. Res.*, **44**, W09502, doi:10.1029/2006WR005441.
- Lebecherel L., V. Andreassian, C. Perrin, P. Maugis (2014). Analyse de la sensibilité des calculs hydrologiques a la densité spatiale des réseaux hydrométriques. *La Houille Blanche - Revue internationale de l'eau, EDP Sciences*, **2014**, pp.39-44.
- Le Boursicaud R., Pénard L., Hauet A., Thollet F., Le Coz J. (2016) - Gauging extreme floods on YouTube: application of LSPIV to home movies for the post-event determination of stream discharges *Hydrol. Process.* **30**, 90–105
- Le Coz, J., Hauet A., Pierrefeu G., Dramais G., Camenen B. (2010) - Performance of image-based velocimetry (LSPIV) applied to flash-flood discharge measurements in Mediterranean rivers. *J. Hydrol.* DOI: 10.1016/j.jhydrol.2010.05.049
- Le Coz J., Le Boursicaud R., Jodeau M., Hauet A., Marchand B. (2014) - Image-based velocity and discharge measurements in field and laboratory river engineering studies using the free FUDAA-LSPIV software, *conference AIRH River Flow 2014, Lausanne, Switzerland*
- Le Coz J., Patalano A., Collins D., Federico Guillén N., Marcelo García C., M. Smart G., Bind J., Chiaverini A., Le Boursicaud R., Dramais G., Braud I. (2016) - Crowdsourced data for flood hydrology: Feedback from recent citizen science projects in Argentina, France and New Zealand. *Journal of Hydrology Volume 541*, Part B, October 2016, Pages 766–777
- Muste, M., I. Fujita, and A. Hauet (2008), Large-scale particle image velocimetry for measurements in riverine environments, *Water Resour. Res.*, **44**, W00D19, doi:10.1029/2008WR006950.
- OMM (1994) - Guide des pratiques hydrologiques - Acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications - *OMM n°168* – Organisation météorologique mondiale
- Organde D., P. Arnaud, J.A. Fine, C. Fouchier, N. Folton et J. Lavabre (2013) : Régionalisation d'une méthode de prédétermination de crue sur l'ensemble du territoire français : la méthode SHYREG. *Rev. Sci. Eau* **26** (1)
- Oudin L, Kay A, Andréassian V & Perrin C (2010) Are seemingly physically similar catchments truly hydrologically similar ? *Water Resources Research* **46**(11):n/a-n/a.
- Rojas-Serna C., Michel C., Perrin C. Andréassian V. (2006) — Ungauged catchments: How to make the most of a few streamflow measurements ? *IAHS Publication.* **307** 230-236
- Rojas-Serna C., (2006) Quelle connaissance hydrométrique minimale pour définir les paramètres d'un modèle pluie-débit ? *Thèse de Doctorat, École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Paris.* 320 pages

- Rojas-Serna Claudia, Laure Lebecherel, Charles Perrin, Vazken Andreassian, Ludovic Oudin (2016) - How should a rainfall-runoff model be parameterized in an almost ungauged catchment ? A methodology tested on 609 catchments; *Water Resour. Res.*, **52**, 4765–4784
- Sauquet E., Catalogne C., Plasse J., Lang M., (2016). Guide pour l'exploitation des jaugeages en hydrologie. Application à la prédétermination des débits caractéristiques d'étiage *Onema, collection Guides et protocoles*, 34 pages.
- Sauquet E. (2010) - Interpolation des modules : quelles évolutions depuis la note technique de 1987 ? *Note de travail* **Septembre 2010**
- Seibert J., Beven K.J. (2009) — Gauging the ungauged basin: how many discharge measurements are needed ? *Hydrol. Earth Syst.Sci.***13** 883-892
- World Meteorological Organization. (2010). Manual on stream gauging. Volume I – *Fieldwork* **WMO-No. 1044**, 250 p.