



L'hydrométrie au Centre de recherche en géographie

Sébastien LEBAUT et Luc MANCEAU*

L'hydrologie continentale est partie prenante des grands enjeux de société tels que l'énergie, l'agriculture, les risques, l'eau potable, les écosystèmes aquatiques... Une réponse scientifiquement argumentée à ces enjeux nécessite une bonne connaissance des processus hydrologiques que seule l'observation hydrométrique permet. Ce court texte présente les activités du LOTERR dans ce domaine.

1 - Les enjeux de l'hydrométrie

L'hydrologie continentale, science de la terre qui étudie le cycle de l'eau, vise la connaissance de la répartition dans l'espace et dans le temps des quantités d'eau disponibles sur les continents. Face à l'accroissement de la population, l'augmentation des besoins alimentaires et les effets probables du réchauffement climatique, la pression sur la ressource hydrique s'accroît dangereusement (Vörösmarty *et al.*, 2000). Dans le même temps, la vulnérabilité des populations face au risque inondation augmente également. Dans ce contexte, la portée pratique de l'hydrologie vise plus particulièrement la quantification de deux phases hydrologiques : les étiages qui renvoient à l'eau bienfaitrice, à la ressource, et les crues qui sont le facteur d'un danger. Pour répondre à ces enjeux, les données hydrologiques constituent les variables indispensables pour aider à définir des stratégies de gestion des crues et des étiages. En particulier, les données de débit des cours d'eau fournissent une information sur la disponibilité de la ressource en eau ainsi que sur sa variabilité dans le temps et l'espace.

À cet égard, dans un contexte réglementaire dense (DCE et loi sur l'eau), les acteurs de l'eau doivent gérer la ressource sur des territoires de plus en plus fins comme les masses d'eau de surface et souterraines définies par les SDAGES (Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux) ou à une échelle plus fine encore comme celle à laquelle s'exercent les missions de police de l'eau (sites particuliers). Concrètement, il s'agit de disposer sur un maillage territorial fin de valeurs de débits réglementaires fiables (débits fréquentiels d'étiage par exemple) essentielles pour la conception, la réalisation et l'exploitation des aménage-

ments et des ouvrages hydrauliques. Cette nécessité de disposer de telles valeurs, scientifiquement validées, a conduit les services de l'état à avoir recours de manière croissante à la modélisation pour la prédiction et la caractérisation des débits sur les bassins non jaugés. Cela se traduit dans la tendance actuelle de la recherche en hydrologie comme l'atteste par exemple la thèse de Catalogne (2012). Néanmoins, si cette démarche de régionalisation des écoulements permet d'avoir une idée des valeurs moyennes, elle ne renvoie pas au fonctionnement hydrologique réel, donc à une connaissance véritable de la ressource. En même temps que cette tendance au recours à la modélisation, on assiste à l'échelle globale à un désengagement des missions hydrologiques de l'état (OMM, 2008). En France, au niveau du district de l'AERM (Agence de l'Eau Rhin-Meuse) par exemple, la diminution du nombre de stations hydrométriques est de l'ordre de 10% depuis 2000. Cette situation, tendance modélisatrice comme substitution à la mesure et diminution du nombre de stations représentatives, si elle se renforce, peut conduire à deux écueils :

- le premier est de réduire le panel de stations représentatives des fonctionnements des bassins versants. Cela induirait de fait, une baisse de la qualité des modélisations et donc la portée des résultats, car la plupart des modèles utilisés en hydrologie de bassins versants sont du type conceptuel et leur application nécessite un haut niveau de calibration basé sur des données observées. De la même façon, la transposabilité des résultats sur des bassins non jaugés engendrerait une plus grande incertitude.

- le deuxième est de ne pas tenir compte de la non-stationnarité des paramètres affectant le cycle de l'eau telle qu'elle est mise en évidence pour la température par exemple ; on

* Sébastien LEBAUT, Maître de conférences, Luc MANCEAU, Ingénieur d'études, laboratoire LOTERR, Université de Lorraine

peut citer sur ce sujet l'article de Brulebois (2016) qui fait état de la nouvelle relation hydrique existant dans les bassins versants en France depuis le saut de moyenne des températures de 1987/1988. Pour pallier ce problème, seule la mesure hydrométrique sur le long terme garantit l'estimation et la prévision d'éventuelles modifications de l'environnement, ce qui est un aspect essentiel de la gestion des ressources en eau.

Finalement le débit, comme grandeur intégratrice des variables météorologiques et des constantes physiques d'un bassin versant, est indispensable à la connaissance de la Zone Critique. C'est la raison pour laquelle, au côté de services de l'état (DREAL...), de sociétés parapubliques (EDF, CNR...) dont les données sont bancarisées dans la Banque-Hydro (<http://hydro.eaufrance.fr/>), des laboratoires de recherche s'impliquent dans la mesure de débits à des échelles spatiales complémentaires et propres à faire émerger de la connaissance scientifique. Le LOTERR s'inscrit dans cette dynamique.

2-Réseau et campagnes de mesure

L'axe thématique Eaux et Milieux du LOTERR trouve son ancrage dans la connaissance hydrologique des territoires de l'eau (Gille, 2010) dans le nord-est de la France. Pour cela, il a acquis et perfectionné depuis sa création dans les années 1970 une expertise en hydrométrie : discipline qui s'attache à mesurer la hauteur et le débit des écoulements des rivières (Charte qualité de l'hydrométrie, 2017). En effet, les connaissances produites par le LOTERR se sont appuyées sur des données originales observées dans le cadre de thèses, de contrats d'études et de recherche. Historiquement, c'est plus d'une trentaine de stations hydrométriques que le LOTERR a installé et géré dans le nord-est de la France (Fig. 1). Derniè-

rement, des stations hydrométriques ont également été installées sur des oueds du piémont du Moyen-Atlas au Maroc dans le cadre d'un travail de recherche, en partenariat avec l'université de Béni Mellal, sur les crues-éclair comme facteur de risque.

Les mesures de débits, lorsqu'elles sont déployées en campagnes limitées dans le temps sur le linéaire des cours d'eau, en régime non directement influencé par les pluies, permettent une spatialisation des ressources en eaux. Cette méthodologie de « déglobalisation » de l'information hydrologique développée au LOTERR en collaboration avec l'AERM a été déployée sur l'ensemble du district de l'AERM. Elle a permis la réalisation de catalogues des débits d'étiage dont les valeurs servent de référence sur tout le district de Rhin-Meuse. Cette méthodologie a été transposée dans le Moyen-Atlas au Maroc dans le cadre de 3 thèses, ce qui a permis d'inférer les potentialités des ressources en eau souterraine du secteur.

Actuellement, le LOTERR gère un réseau de 14 stations hydrométriques (Tableau 1). Ces stations ont été retenues sur la base de trois critères. Le premier critère, commun à toutes les stations, est la bonne qualité des caractéristiques hydrauliques de la section de mesure puisque c'est un préalable à la précision des débits et à leur persistance. Un deuxième critère est la représentativité du bassin versant d'un contexte géologique particulier. Dans ce cas, les valeurs observées sont pertinentes dans le cadre d'une transposabilité sur des bassins non jaugés pour régionaliser les écoulements par modélisation. Le troisième critère est la longueur de la chronique de données disponibles, ce qui renvoie à leur utilité pour détecter l'impact des modifications environnementales sur les relations hydriques. Ces dernières stations relèvent d'une dimension patrimoniale dans la mesure où leurs données présentent une certaine profondeur historique.

Ce réseau de mesure hydrométrique est géré selon les principes de la « charte qualité de l'hydrométrie » (2017) que cela soit dans le type de matériel installé, dans le mode opératoire de gestion ou la production des données. Des nombreuses recherches menées à partir des données observées par le réseau du LOTERR on peut par exemple citer (références disponibles sur <https://loterr.univ-lorraine.fr/>) :

- les grès du Lias, représentent une épaisse formation aquifère grés-sableuse localisée dans le nord des départements des Ardennes et de la Meuse (Fig. 1). Ce secteur a été instrumenté en 1995 (remise en

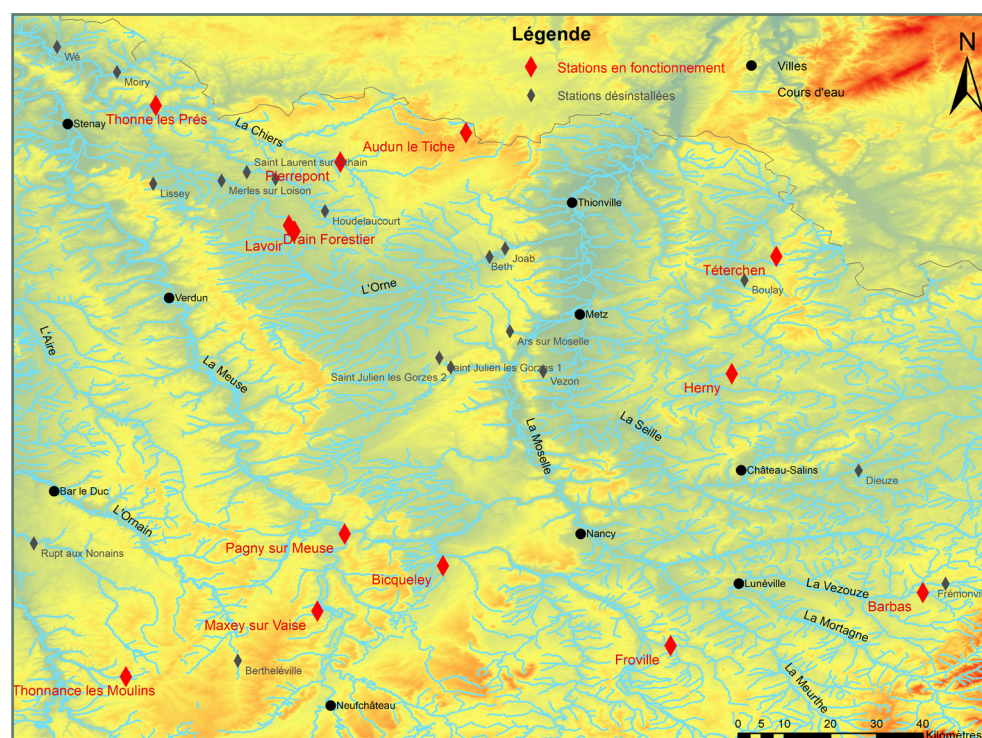


Figure 1 : Localisation des stations hydrométriques du LOTERR dans le nord-est de la France

fonction de la station de Thonne les Prés et installation de deux autres stations) dans le cadre d'un contrat pour l'AERM (Agence de l'Eau Rhin-Meuse) en 1996 et de la thèse de Lebaut (2000).

- les calcaires du Dogger, du Bathonien et de l'Oxfordien : ces formations aquifères suscitent l'intérêt croissant des acteurs de l'eau ou de l'environnement. Sept stations ont été installées ou remises en service dans le cadre d'études contractuelles pour notamment le CEN (Conservatoire des Espaces Naturels) de Lorraine en 2011, l'ANDRA (Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radio-Actifs) en 2011, ou de projets de recherche en partenariat avec l'AERM tels que VACARM (Vulnérabilité des Aquifères CALcaires du bassin Rhin-Meuse, 2015) ou la thèse de Fister (2012).

3-Du point de vue opérationnel

« Les observations hydrologiques sont inséparables des utilisations auxquelles elles sont destinées » (OMM, 2008). Or, dans la foulée du démantèlement des stations hydrométriques, leur vocation généraliste, nécessaire à la connaissance scientifique, s'est estompée au profit d'une spécialisation. On distingue par exemple les stations du « réseau d'annonce de crues » pour lesquelles la fiabilité est recherchée pour les hautes eaux tandis que pour le « réseau sécheresse » c'est une fiabilité des basses eaux qui est privilégiée.

En 1995, M. Audinet écrivait « les hydrologues en sont encore réduits à mesurer et enregistrer les variations du niveau des eaux, à déterminer par des mesures instantanées les lois hauteur-débit pour chacune des sections ». Si les progrès technologiques réalisés depuis lors sont réels, du point de vue opérationnel l'hydrométrie repose encore très largement sur le principe d'une loi empirique liant la hauteur à un débit ponctuel. Les hauteurs d'eau sont relevées en continues (pas de 10 minutes) par différents types de capteurs (Tableau 1). L'estimation du débit ponctuel des rivières mobilise différents



Figure 2 : Matériel de mesure

appareils de mesure en fonction de la gamme de débit à mesurer. Une perche avec un moulinet supportant une hélice de rayon plus ou moins grand est utilisée pour la mesure à gué de débits relativement faibles. Un bateau muni d'un capteur aDcp (Fig. 2) est mobilisé pour les forts débits. Enfin pour les débits de crue, rarement observés, nous avons recours à la modélisation hydraulique sur la base des éléments géométriques mesurés sur le tronçon d'implantation des stations. Au final, nous disposons donc de courbes de

tarage $Q=f(H)$ à partir desquelles nous estimons les débits (Fig. 3). La chaîne d'acquisition des données hydrométriques n'est pas un long fleuve tranquille, les écueils sont nombreux et peuvent conduire à des incertitudes importantes, jusqu'à plus de 30 % en crue (Le Coz, 2008).

Il est donc important que les étudiants qui auront à manipuler ces données observées dans un cadre professionnel, lors d'analyses et de modélisations hydrologiques et d'application de formules de l'ingénieur, soient au fait de la chaîne d'acquisition des débits. C'est la raison pour laquelle notre expertise de l'hydromé-

Station	Cours d'eau	Début	Capteurs	Formation géologique/aquifère
Audun-Le-Tiche	L'Alzette	1970	Ott Nimbus station	Calcaire du Dogger
Perte2 (Senon)	drain forestier	2012	Ott Sonde pression Orpheus-mini	Argiles de la Woëvre
Lavoir (Senon)	Ru de Boutesaulx	2012	Ott Sonde pression Orpheus-mini	Calcaires du Bathonien
Ru de Boutesaulx amont	Ru de Boutesaulx	2009	Ott r16 flotteur & Thalimèdes	Calcaires du Bathonien
Thonnance-les-Moulins	Le Rongean	2007	Ott r16 flotteur & Thalimèdes	Calcaire de l'Oxfordien
Maxey-sur-Vaise	La Vaise	1969	Ott r16 flotteur & Thalimèdes	Calcaire de l'Oxfordien
Bicqueley	La Bouvade	1983	Ott Nimbus bulle à bulle	Marno-calcaire du Dogger
Froville	L'Euron	1969	Ott Logosens Station radar	Argiles/Marnes du Keuper
Pagny-sur-Meuse	Ru du Moulin	2019	Ott Sonde pression Orpheus-mini	Calcaire de l'Oxfordien
Pierrepont	Le Nanheul	2000	Ott r16 flotteur & Thalimèdes	Calcaire du Dogger
Thonne-les-Prés	La Thonne	1973	Ott r16 flotteur & Thalimèdes	Grès du Lias
Teterchen	Le Bruchbach	2020	Ott Sonde pression Orpheus-mini	Calcaires du Muschelkalk
Herny	Ru d'Aisne	2009	Ott r16 flotteur & Thalimèdes	Argiles/Marnes du Keuper
Barbas	Le Vacon	1969	Ott x flotteur & Thalimèdes	Grès/Argiles du Muschelkalk

Tableau 1 : Sites instrumentés, capteurs et formations géologiques majeures des bassins versants

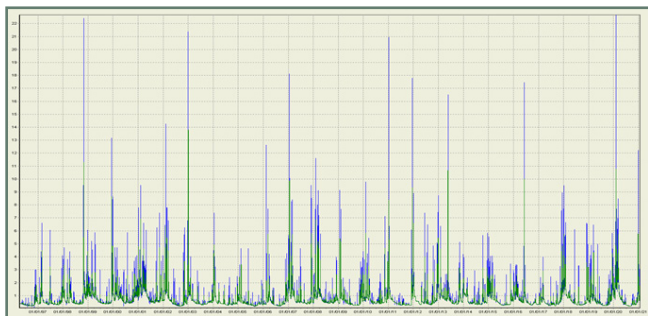


Figure 3 : Hydrogrammes (QTVAR en bleu et QMJ en vert) produits à la station de Thonne-les-Prés sur la période 1997-2018

trie trouve un prolongement du point de vue pédagogique. Dans le cadre du Master 2 ERGA (Eau, Ressources, Gestion et Aménagement), lors d'un stage de terrain (Fig. 4) nous sensibilisons les étudiants aux incertitudes associées aux données hydrométriques. Pratiquement, nous reprenons la méthode de l'interopérabilité qu'utilisent les DREAL, ce qui permet une mise en situation des étudiants en même temps qu'une mesure de l'incertitude liée aux différentes conditions de la mesure (section de mesure, opérateur, technologies de vélocimètres).

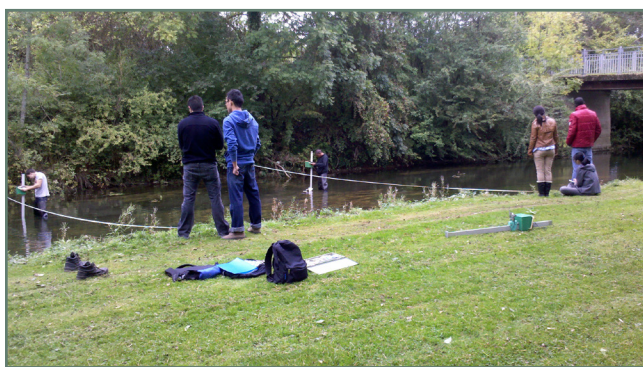


Figure 4 : Atelier de jaugeage avec une perche PIREE sur le Rupt de Mad

4-Perspectives

Les perspectives de l'hydrométrie au LOTERR sont multiples. Il s'agira tout d'abord d'assurer la pérennité du réseau existant, plus spécifiquement celui des stations patrimoniales. Comme jusqu'à présent, le laboratoire contribuera, en fonction des demandes des services de l'État et des opportunités de recherche, à la connaissance scientifique du fonctionnement de la Zone Critique par la production de nouvelles données hydrométriques.

La perspective la plus enthousiasmante viendra de l'espace. En effet, en septembre 2021 le satellite SWOT - Surface Water and Ocean Topography sera lancé. Sur la trace des missions des altimètres Radar Jason ou Saral par exemple, dont les données d'abord dédiées à la recherche océanographique avaient trouvé une utilisation en hydrologie continentale sur les plus gros fleuves de monde du fait de leur faible résolution spatiale, le satellite SWOT fournira une mesure de l'élévation des surfaces d'eau continentales avec une précision de 10 cm sur des

cours d'eau d'au moins 100 m de large (mais 50 m sont visés). Alors que ce type de données spatiales ne pouvait être mobilisé que sur les lacs, l'Amazone, le Congo, etc., il pourra être utilisé sur la Meuse, la Moselle et le Rhin. D'un point de vue opérationnel, encore une fois, il s'agira de convertir ces données altimétriques en débits et pour cela le LOTERR effectuera la mesure des éléments géométriques au droit de sections d'intérêt situées sur la trace du satellite. En plus de son réseau traditionnel de stations hydrométriques, le LOTERR devrait donc disposer d'un réseau hydrométrique « virtuel » dans le district de Rhin-Meuse, et au Maroc dans le cadre de collaborations scientifiques.

Bibliographie

Audinet M., 1995 : Hydrométrie appliquée au cours d'eau. Eyrolles, 453 p.

Brulebois E., 2016 : Impacts du changement climatique sur la disponibilité de la ressource en eau en Bourgogne : aspects quantitatifs et qualitatifs. Thèse de l'université de Bourgogne Franche-Comté, 296 p.

Catalogne C., 2012 : Amélioration des méthodes de pré-détermination des débits de référence d'étiage en sites peu ou pas jaugés. Thèse de l'université Joseph Fourier, 235 p.

Gille E., 2010 : Spatialisation et modélisation de l'écoulement - Une approche géographique de l'hydrologie. Habilitation à Diriger des Recherches.

Le Coz J., 2008 : Challenges in Hydrometry : Some Examples from France. Experiences and Advancements in Hydrometry, Seoul. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00509246/document>

Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2017 : Charte qualité de l'hydrométrie - Guide de bonnes pratiques, 83 p.

OMM, 2008 : Les observations hydrologiques : quels sont les problèmes ? Bulletin n° 57 (1). <https://public.wmo.int/fr/bulletin/les-observations-hydrologiques-quels-sont-les-probl%C3%A8mes>

Vörösmarty C.J., Green P., Salisbury J., Lammers R.B., 2000 : Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. Science, 289(5477), pp. 284-288.