

Analyse de la cohérence des données hydrométriques pour la validation des débits de la crue de 1910 à Paris ou « de la valeur du jaugeage »

Yan LACAZE², Emmanuel RAIMBAULT¹, Sylvain CHESNEAU², Jean-Pédro SILVA¹, Carine CHALEON¹

¹ Service de Préviation des Crues Seine moyenne, Yonne, Loing. email: prenom.nom@developpement-durable.gouv.fr

² Maintenant au Service de Préviation des Crues Gironde, Adour, Dordogne, DREAL Aquitaine, rue Jules Ferry, Bordeaux

RÉSUMÉ. – La crue de 1910 est une crue de référence pour la région parisienne. Très utilisée et étudiée, il subsiste paradoxalement d'importantes zones d'ombres quant à l'estimation des débits à Paris et à l'amont de l'Ile-de-France. En effet, les jaugeages y ont été effectués après les pointes de crue. Les diverses reconstitutions et calculs effectués à partir des jaugeages en décrue ou de modélisations hydrologiques et hydrauliques concluent à un débit à Paris de l'ordre de 2400 m³/s. Or ces études ne tiennent peu ou pas compte de nombreux jaugeages, pourtant effectués lors du passage de la pointe de crue à l'aval de Paris ni d'estimation supérieures et argumentées effectuées quelques mois après la crue.

Le service de prévision des crues de la DRIEE a entrepris depuis plusieurs années d'exploiter ses précieuses archives, notamment les mesures effectuées par le service de M. Willemin qui présentent une bonne fiabilité. Ses jaugeages, basés sur des vitesses de surface, correspondent à un débit de pointe de 2650 m³/s à Paris corroboré par les mesures effectués pendant la crue de 1955, la stabilité des sections mouillées durant la première moitié du XX^{ème} siècle et l'analyse des vitesses de surface ainsi que des mesures plus récentes.

L'évolution des références bibliographiques, parfois circulaires, est retracée puis certains jaugeages oubliés ré-analysés. Par delà la valeur retenue, ce cas illustre l'importance tant de réaliser des jaugeages au maximum de la crue que la nécessité de leur conservation pour toute étude ultérieure avec des moyens de calculs supérieurs.

Mots-clés : débit de crue, validation, vitesse de surface, données historiques

Analysis of the spatial consistency of the hydrometric database of the 1910 flood on the Seine River. Highlighting the value of gauging

ABSTRACT. – The Seine basin flood of January 1910 is a reference for all the hydraulic studies in Ile-de-France. Yet a global uncertainty remains about the peak flow of this phenomenon. It has been assessed at 2400 m³/s by extrapolation of stream gaugings made during the fall of flood-level and by hydrologic studies. However many very reliable gaugings downstream Paris seem not to have been exploited as deeply as it could. Using archives from the period a re-calculation of the peak flow was undertaken by studying the sources of uncertainty of these gaugings. It leads us to propose a new value equals to 2650 m³/s. The way very few documents affect a whole bibliography years after is summed up for this peculiar case. Beyond the mere value of this flood discharge, we want to underline how important it is for hydrometric services to organise themselves to be able to gauge important peak discharges. Moreover this study highlights the necessity of registering very carefully the measures and the associated meta data. May we pass on data to future engineers at least as rich as we received, despite the exclusive use of computers to the detriment of archives.

Key-words: flow measurement, validation, surface speed, historical data

I. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Entre décembre 1909 et mars 1910 le bassin de la Seine était touché par une importante crue qui depuis, tient lieu de crue de référence pour le risque d'inondations en région parisienne. Bien documentée à l'époque et largement médiatisée depuis, elle s'est imposée dans la culture hydrologique du bassin au point de laisser penser que tout était établi à son sujet. Les moyens de modélisation et de communication actuels semblent avoir scellé la connaissance hydrologique de cette crue. Pourtant, non jaugée à son maximum à Paris, une incertitude demeure quant au débit de la crue. Dans les

années qui ont suivi, de nombreuses études se sont intéressées aux débits de la Seine lors de cet événement reprenant par des analyses hydrométriques théoriques tout ou partie des observations faites au cours de la crue [Obolensky, 1955 ; Goubet, 1971]. Ces études ont donné lieu à des estimations divergentes [Marti, 1997] et il ne semble pas que des valeurs « officielles » de débits aient été établies sur l'ensemble du bassin pour leur donner une cohérence hydrologique d'ensemble. Une longue filiation de rapports d'études hydrométriques a alors suivi pendant plusieurs décennies, centrant leurs analyses sur le point critique manquant, Paris. En 1997, une expertise spatiale complète était initiée pour le compte

de l'Institution Interdépartementale des Bassins Réservoirs du Bassin de la Seine (IIBRBS), à partir de modélisations numériques des débits de la Seine, de l'Aube, de la Marne, de l'Yonne et de l'Oise, depuis l'amont du bassin vers l'aval. Les hydrogrammes d'entrée (apports de têtes et latéraux) qui ont servi à la simulation de la crue sont des reconstitutions réalisées à partir de données pluviométriques via des fonctions de transfert pluie efficace-débit calées sur des données actuelles et les limnigrammes d'époque [Lepelletier, 1997]. Basées sur des données hydrométriques partiellement lacunaires concernant notamment les débits de pointe estimés à partir de courbes de tarage hypothétiques, ces modélisations ont permis d'établir une cohérence d'ensemble des caractéristiques de l'hydrologie de l'événement sur le bassin hydrographique, en accord avec les dernières estimations du débit de Paris, mais ont conclu à des débits parfois contradictoires avec les observations d'époque plus à l'aval. Cet important travail s'est depuis imposé comme référence, avec pour conséquence une relative confusion entre mesures et estimations ; les valeurs proposées ont en outre éclipsé les mesures historiques, méconnues, et trop ponctuelles pour répondre aux besoins actuels des études hydrauliques.

Pourtant, des mesures insuffisamment explorées des débits de la Seine en 1910 existent, et en grand nombre, notamment sur la Seine en aval de Paris. Certaines fournissent des valeurs des débits de pointe de la crue en différents sites, corroborant la cohérence spatiale globale du phénomène en confortant ou infirmant les estimations de débit connues. Le travail de mise en cohérence d'ensemble n'a vraisemblablement jusqu'alors pas fait l'objet de synthèse exhaustive faute d'avoir pu rassembler et concentrer toutes les archives hydrométriques disponibles. Grâce à la documentation très précise établie en 1910 rassemblée à l'occasion de transferts d'archives, il nous a été possible de revisiter ces mesures anciennes sous-exploitées pour consolider la connaissance hydrologique de cet événement de référence et mieux dessiner les contours de ses incertitudes.

Si les études existantes ont traité le débit à Paris comme une conséquence aval des débits amont, notre démarche ne s'appuie que sur les mesures, principalement celles effectuées à l'aval de Paris négligées jusque là dans cet exercice. Les valeurs amont concentrent en effet une plus grande incertitude, faute d'avoir pu jauger les maxima.

Dans un premier temps nous proposons de dresser un constat bibliographique des estimations des débits de la crue de 1910 à Paris. Des divergences initiales au consensus d'une valeur, cet état des lieux met en évidence la propagation dans le temps des références et leur filiation commune.

Ce constat et le manque d'exploitation des jaugeages à l'aval de Paris ont motivé que la présente étude s'appuie sur les jaugeages originels mesurés au cours de la crue. Nous avons cherché à identifier les imprécisions de tous les protocoles de jaugeage et des hypothèses de calcul des débits employés en 1910 pour l'intégralité des mesures, et ce, à la lumière des progrès des connaissances hydrauliques.

Cette analyse des débits apporte des éléments inédits et nous conduit à une nouvelle proposition de débit maximum à Paris pour la crue de 1910 en cohérence avec l'ensemble des mesures et au regard des inconnues encore présentes et du périmètre d'incertitude que nous avons défini.

Enfin, sans que nous puissions apporter d'explications fermes à la sous-exploitation des archives, nous en dressons le constat et pouvons en tirer des enseignements quant au fort enjeu à disposer de mesures au cours des phénomènes rares et quant au poids que revêt la publication des données.

II. BILAN BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. Les éléments du rapport Picard

II.1.1. Quelques débits publiés

A la suite des inondations de janvier 1910, une commission présidée par Alfred Picard, président de section au Conseil d'Etat et membre de l'Académie des Sciences, a été instaurée pour rechercher les causes de l'inondation, en examiner les conditions dans lesquelles elle s'est produite, et étudier et proposer les moyens propres à empêcher ou diminuer de pareils désastres. Le rapport de la Commission des Inondations [Picard, 1910], aussi appelé rapport « Picard », a été édité en juin 1910 quelques mois seulement après la crue de janvier. Les champs qu'il couvre sont vastes, aussi la partie relative à l'hydrométrie reste assez vague sur les débits des différents cours d'eau du bassin versant de la Seine. Elle compile différents rapports, dont certains font état de mesures de débits, sans logique d'ensemble apparente. On peut ainsi lire :

— p.189, « *Un calcul simple permet d'établir que le débit de la Seine pendant la crue a été plutôt supérieur à 2500 mètres cubes par seconde, [...]* »

— p.604, « *La crue de 1910 a atteint la cote de 3,42 m au pont de Bray ; son débit a été voisin de 450 mètres cubes, [...]* »

— p.605, « *[...], sur le Grand-Morin, le débit des crues atteint 350 à 400 mètres cubes par seconde, comparable aux grandes crues de la petite Seine.* » ; l'auteur ne mentionne pas si le débit de la crue de 1910 a été plus ou moins important que les 350 à 400 mètres cubes par seconde annoncés.

— p.628, on trouve le tableau reproduit ci-dessous des débits journaliers (m^3/s) à Lagny, Corbeil et Paris :

— p.669 et 670, les valeurs de 900 et de 2200 m^3/s sont mentionnées respectivement pour la Marne à Lagny et la Seine à Melun.

— p. 670, « *Le débit effectif de la Seine n'a donc pas pu dépasser 2550 m^3/s au pont National* ».

II.1.2. Une description hydrométrique lacunaire

La section relative aux débits ne rapporte pas explicitement toutes les sources de données utilisées et tous les

Tableau 1 : débits journaliers du rapport Picard.

	22	23	24	25	26	27	28	Maximum
Marne à Lagny	425	400	425	540	750	800	''	825
Seine au pont de Corbeil	1350	1528	1615	1735	1997	2100	''	2100
Seine à Paris	1810	1920	2050	2120	2260	2390	''	2500

jaugeages effectués. Le rapport mentionne à plusieurs reprises le débit maximum à Paris comme ayant été légèrement supérieur à 2500 m³/s. Cette estimation du débit faisait déjà l'objet de nombreuses discussions, mais sa validation n'était pas la priorité du rapport (voir p.628, C.). On peut en outre lire que « *la monographie, pour être complète, aurait dû comporter toutes constatations concernant les jaugeages de débit des cours d'eau du bassin de la Seine [...]. Malheureusement ces données n'ont pu encore nous parvenir et il nous a été impossible d'en faire état dans la présente monographie.* ». Un volet exhaustif sur l'hydrométrie fait donc défaut au rapport dit « Picard » pour enrichir sa vocation synoptique de la crue de 1910. Les études hydrométriques rédigées suite à la crue se sont concentrées sur les secteurs de compétence des ingénieurs subdivisionnaires et celles qui suivront n'auront à l'avenir pas la même portée générale et ne connaîtront pas la même médiatisation que ce document central. Faute de temps, l'occasion d'établir une hydrologie validée est ratée.

II.2. La traversée du XX^{ème} siècle

II.2.1. Le subdivisionnaire Arana discrédité

Les jaugeages de la Seine à Paris au cours de la crue de janvier 1910 ont tous eu lieu à la décrue, le premier intervenant cinq jours après le passage du maximum dans la capitale. Le 9 avril 1910, le subdivisionnaire M. Arana publiait son rapport [Arana, 1910] sur la crue de janvier-février de la même année, décrivant tous les jaugeages réalisés à Paris pendant l'épisode, proposant une courbe de tarage issue de ces mesures, et finalement un débit de pointe atteint lors de cette crue. Ses conclusions sont établies à partir des seules mesures faites à Paris.

L'extrapolation linéaire effectuée sur la courbe de tarage établie sur la base des jaugeages réalisés pendant la crue conduit à une valeur de 2466 m³/s. M. Arana conclut son rapport de la façon suivante : « *A ce nombre, il faudrait ajouter le débit qui est passé par la ligne du chemin de fer d'Orléans ; cette dernière quantité est faible et n'atteint probablement pas 40 mètres cubes, de sorte que le débit maximum de la crue de janvier 1910 serait de 2500 mètres cubes par seconde* ».

Nous retiendrons donc que le débit de pointe à Paris calculé à l'issue de l'épisode, par les personnes ayant elles-mêmes réalisé ces mesures, s'établit à 2500 m³/s. Plusieurs études ont par la suite apporté des nuances à cette valeur.

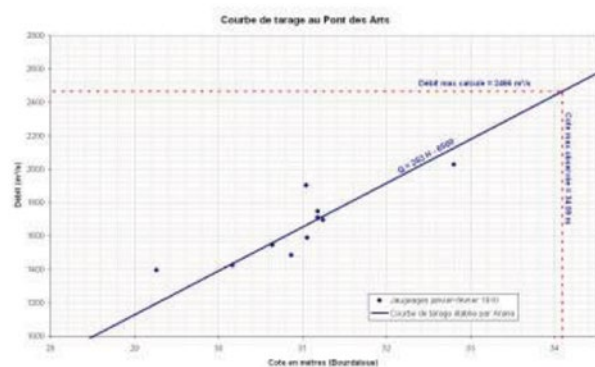


Fig. 1 : Jaugeages, courbe de tarage et débit de pointe estimé par M. Arana.

II.2.2. Rappel bibliographique des études postérieures

La courbe de tarage proposée par M. Arana et, par conséquent, le débit de pointe de la crue de janvier 1910 calculé à Paris ont par la suite suscité de nouvelles analyses concluant à de nouvelles valeurs. S.Obolensky [1955] et A. Goubet [1971] sont les deux principaux auteurs à porter un regard critique sur les mesures effectuées à l'époque d'une part et sur la loi hauteur-débit utilisée d'autre part.

M. Obolensky publie son étude suite à la crue de 1955. Les jaugeages réalisés durant la crue lui offrent l'occasion de ré-étudier les coefficients de réduction entre vitesse de surface et vitesse moyenne utilisés en 1910 pour le calcul du débit à Paris, en comparaison de ceux qu'il a retenus pour la crue de 1955. Cependant il ne tiendra finalement pas compte des coefficients de réduction pourtant calculés par lui-même, et s'en tient, pour le débit de 1910, à la valeur retenue dans les études de l'ingénieur en Chef M. Perrier, « *corroborée par celle obtenue sur le modèle réduit* » : 2330 m³/s. Si nous avons pu étudier les travaux de M. Obolensky, les études de M. Perrier auxquelles il fait référence n'ont pu être retrouvées, et avec elles les arguments et calculs permettant de conclure à cette valeur de 2330 m³/s.

M. Goubet réalise dans son étude des courbes de tarage de la Seine à Paris un tour d'horizon des lois hauteur-débit établies depuis 1876, sur la base de jaugeages réalisés depuis cette date et abonde dans le sens de la défiance vis-à-vis des travaux de M. Arana de 1910. Le discrédit jeté sur ses conclusions par MM. Perrier et Obolensky est à nouveau partagé par l'auteur, considérant que les valeurs retenues par ces derniers « *ne présenteraient plus un très grand écart avec celles que l'on pourrait déduire des jaugeages antérieurs* ». Il faut bien sûr garder à l'esprit que, comme pour les mesures effectuées en 1910, tous ces jaugeages antérieurs ont été réalisés soit aux flotteurs, soit à l'hydrotachymètre, et sont donc a priori soumis aux mêmes incertitudes.

Les jaugeages effectués entre 1876 et 1883 au pont de la Tournelle ont été rectifiés par M. Goubet de telle sorte que le coefficient de réduction de 0,8 utilisé à l'époque a été porté à 0,9 sur la base des travaux de M. Obolensky en 1955. La courbe de tarage en vigueur a été modifiée en conséquence et, considérant que « *les conditions d'écoulement ne se sont pas sensiblement aggravées de 1896 à 1910* », c'est elle qui a été utilisée pour le calcul du débit de pointe de janvier 1910, communément retenu depuis : 2400 m³/s (figure 2)

M. Goubet valide son travail (débit de pointe retenu à 2400 m³/s) en soulignant la bonne cohérence de ses conclusions avec celles des études de Perrier (débit de pointe

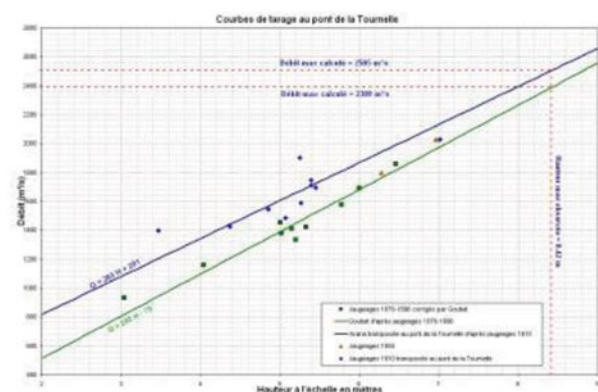


Fig. 2 : Comparaison des conclusions de Goubet et d'Arana.

retenu : 2330 m³/s). La divergence avec les résultats obtenus par M.Arana et la dispersion des mesures réalisées par ce-dernier vont jusqu'à lui faire « *mettre en doute l'ensemble des résultats des mesures* ».

Il est étonnant de constater, à la lecture des rapports de MM.Goubet, Obolensky et à travers eux, Perrier, ou enfin Arana, le peu de référence ou de considération pour les travaux de M.Willemin [1910] sur les jaugeages de la Seine à l'aval de Paris ; leurs analyses se sont essentiellement concentrées sur les caractéristiques locales des écoulements.

La référence systématique aux travaux de l'Ingénieur en Chef M. Perrier dont nous avons perdu la trace (M. Goubet lui-même se plaint de ne pas avoir obtenu les documents auprès de M. Obolensky...) et le manque de justifications auquel nous sommes confrontés pose un certain nombre de questions. Si les jaugeages de M. Arana présentent effectivement une importante dispersion et sont entachés de fortes incertitudes, n'apportent-ils pas néanmoins des informations précieuses pour l'estimation du débit de pointe à Paris ? La mesure du pic ayant été manquée à Paris, doit-on baser nos estimations sur les seules extrapolations de courbes de tarage ? Les mesures réalisées à l'aval de Paris semblaient connues, mais n'ont pas été exploitées. Peut-on trouver une cohérence spatiale entre tous les jaugeages réalisés ? Quelle est l'influence du moment de la mesure en crue ou décrue ?

III. RÉ-ANALYSE DES JAUGEAGES D'ÉPOQUE

III.1. Données disponibles

Partant du constat de la référence commune des études précédemment citées, nous avons cherché à reprendre les données brutes des jaugeages afin d'en explorer les incertitudes et de discriminer les jaugeages dont l'incertitude serait rédhibitoire. Les données de base relatives à de nombreux jaugeages effectués lors de la crue de 1910 sont toujours disponibles. La figure 4 illustre le caractère lacunaire de la connaissance des débits en amont de Paris par rapport à l'aval. On dénombre 11 sites jaugeés entre l'aval immédiat de Paris et

l'embouchure de la Seine. Ces jaugeages ont été effectués selon plusieurs méthodes analysées dans la suite de cet article : lochs de divers types, flotteurs de surface et de fond, moulinet Woltmann et hydrotachymètre de Ritter. Nous renvoyons à la littérature pour le détail du fonctionnement de ces appareils [Ponts et Chaussées, 1892 ; Ritter, 1896 ; Goutx, 2008].

Certains sites ont fait l'objet de plusieurs jaugeages, en crue et en décrue. Dans la plupart des cas, le débit maximum de la crue a pu être jaugeé.

III.2. Détermination de l'incertitude associée aux jaugeages de la crue de 1910

III.2.1. Paramètres retenus pour l'estimation de l'incertitude

L'information la plus factuelle pour reconstituer l'hydrologie de la crue de 1910 provient des jaugeages réalisés à l'époque, aussi nous cherchons à étudier, de manière empirique, la sensibilité des termes intervenant dans le calcul du débit obtenu selon l'équation simple :

$$Q = KxVxS, \quad (1)$$

où S est la section mouillée (en m²), V la vitesse surfacique moyenne (en m/s) et K le coefficient de réduction entre la vitesse surfacique et la vitesse moyenne sur l'ensemble de la section.

L'estimation des incertitudes est issue des informations dont nous disposons sur les moyens mis en œuvre pour la mesure des vitesses de surface (selon la technique utilisée), pour le relevé de la bathymétrie et enfin des travaux menés spécifiquement sur la détermination de la valeur du coefficient de réduction K. Nous avons établi les incertitudes sur la base de constats empiriques ainsi que suite à une expérimentation d'intercomparaison de jaugeages entre flotteurs, moulinet et ADCP (par exploration du champ des vitesses par effet Doppler à partir d'ondes acoustiques). Les incertitudes retenues sont en outre cohérentes avec les travaux publiés par M.Audinet [Audinet, 1995].

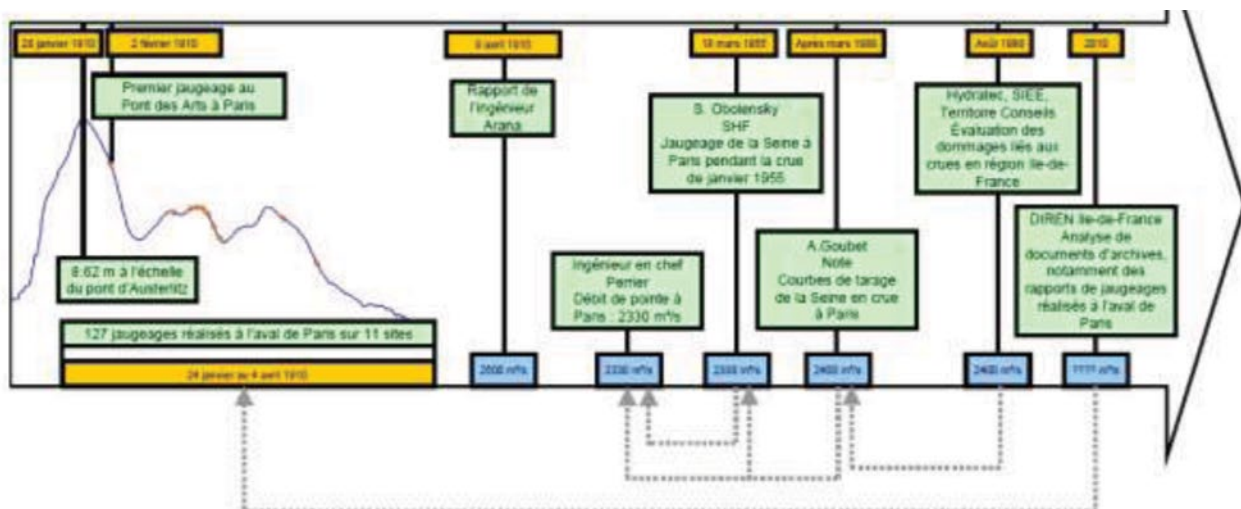


Fig. 3 : Les analyses qui font référence sur le débit de la crue de 1910 se sont attachées à revenir sur les paramètres déductibles des caractéristiques des écoulements dans Paris, en vue d'affiner les extrapolations des courbes de tarage. Néanmoins, on note que les auteurs fondent leurs analyses sur les mêmes données initiales et parviennent de fait à des conclusions similaires à celles de leurs prédécesseurs. Les conclusions sont toutes liées par un lien de parenté.

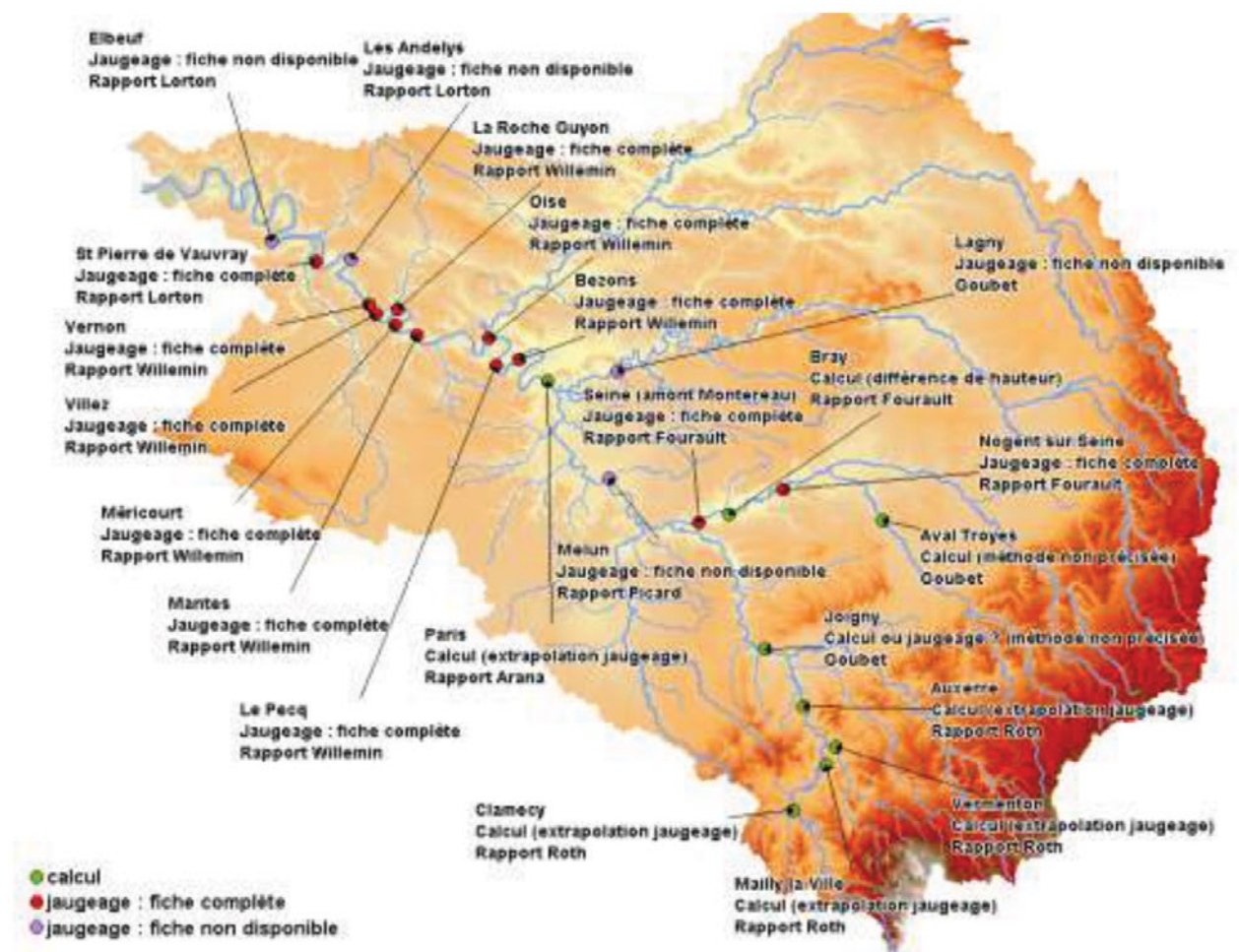


Fig. 4 : Archives analysées des jaugeages de la crue de 1910.

III.2.2. Incertitude sur les surfaces

Les mesures de débit réalisées en 1910 font toutes intervenir la surface de la section de jaugeage. Celle-ci est toujours précisément décrite comme l'illustre la figure 5.

Nous ne disposons malheureusement pas d'informations détaillées sur la façon dont a été relevée la bathymétrie, mais pouvons néanmoins formuler quelques hypothèses. Plusieurs sources d'incertitude peuvent intervenir : enfoncement plus ou moins important de la perche en fonction de la nature du fond, verticalité de la perche de mesure, battillage au niveau de la surface de l'eau et difficultés à lire la graduation, etc.

Aussi nous retiendrons une erreur estimée de 10 centimètres commise pour chaque valeur relevée. Dans le cas présenté en figure 5 à titre d'exemple, cette incertitude conduit à un écart de 1,7 %.

Un calcul similaire a été réalisé sur toutes les sections de jaugeage et l'on retiendra finalement qu'une incertitude de $\pm 2 \%$ peut être associée à la mesure des surfaces.

III.2.3. Incertitudes sur la mesure des vitesses

Ces incertitudes sont liées au type de matériel employé [Ritter, 1896]. Les incertitudes de l'hydrotachymètre, du moulinet Woltmann ou du Loch ont été estimées à $\pm 1,5 \%$ [Goutx, 2008]. Concernant les flotteurs de surface et flotteurs immergés, la vitesse est obtenue par la combinaison d'une mesure de longueur et d'une mesure de temps. A titre exploratoire, nous retenons une erreur possible de $\pm 1 \text{ m}$ pour 50 m et

de $\pm 5 \text{ m}$ pour 500 m, sur la mesure de la longueur ainsi que de $\pm 1 \text{ s}$ sur le temps chronométré, comprenant une incertitude possible de l'appareil utilisé combinée à l'erreur liée à la manipulation de ce dernier par l'opérateur lors du passage du flotteur devant les bornes matérialisant la longueur parcourue.

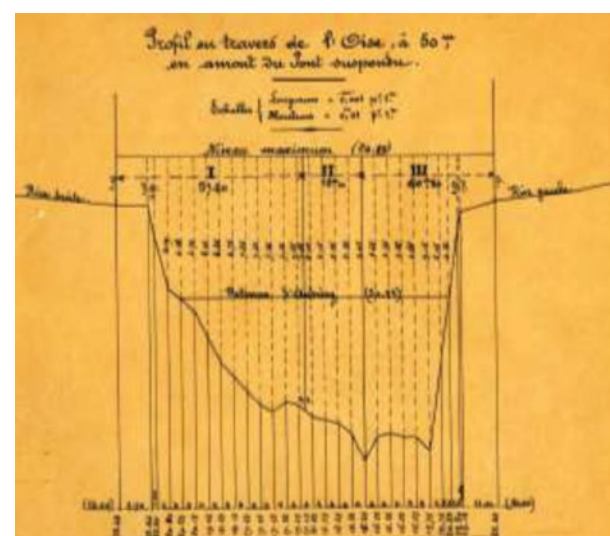


Fig. 5 : Exemple de profil en travers d'une section de jaugeage de l'Oise pour la crue de 1910.

III.2.4. Incertitude sur le coefficient de réduction K

Le coefficient de réduction dépend de la répartition des vitesses sur la verticale et de la régularité des forces de frottement. Pour la Seine à l'aval de Paris, on trouve pour K des valeurs comprises entre 0,8 et 0,9. Lors de la crue de 1910, pour les jaugeages à l'aval de Paris notamment, un coefficient unique de 0,8 était initialement utilisé. Cette valeur a entraîné des remises en question. L'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées M. Nouaillac-Pioch [1912] avait donné l'instruction de réévaluer les débits jaugeés en 1910 par application d'un coefficient de réduction variable. On peut retrouver dans les mesures faites depuis 1876 par les ingénieurs Boulé, Bresse, Lion et Ritter, des valeurs comprises entre 0,8 et 0,9 en hautes eaux.

MM. Obolensky et Goubet concluent à la pertinence de ré-évaluer le coefficient de réduction à la valeur 0,9 au lieu de 0,8 suite à des jaugeages réalisés pendant la crue de 1955. Enfin, des analyses réalisées sur plusieurs grands fleuves ont montré [Roche, 1963] que le coefficient de réduction était compris entre 0,80 et 0,95 pour des vitesses lentes à moyennes.

III.2.5. Compilation des incertitudes

Pour l'ensemble des sites de jaugeage et pour l'intégralité des mesures effectuées, nous avons recalculé toutes les composantes des jaugeages en intégrant les différentes incertitudes aux relevés soigneusement consignés sur les fiches de l'époque. Cette démarche systématique a porté pour chacune des sous-sections de la section mouillée, sur la bathymétrie, la section mouillée, les vitesses, le coefficient K . A titre d'exemple les résultats pour le cas de Mantes sont présentés figure 6.

III.3. Exploitations des résultats

Dans son rapport de 1910, M. Lorton réalise une autocritique des jaugeages effectués par son service : il n'accorde pas une grande confiance aux résultats obtenus du fait des conditions de travail qui portent ici préjudice à la fiabilité des résultats. Pour les sites les plus à l'aval, les marées ont pu, en outre, jouer un rôle perturbateur. [Lorton, 1910].

Ces mesures ne sont en revanche pas directement comparables à celles proposées par M. Willemin. Le site le plus

aval suivi par son service, Vernon, apporte une grande satisfaction quant à sa fiabilité [Goutx, 2008]. L'analyse des jaugeages de Villez, la Roche Guyon, Méricourt, Mantes, Fin d'Oise, Le Pecq et Bezons, confirme le bon degré de confiance que l'on peut avoir en ces mesures.

On note en outre, que toutes incertitudes confondues, les valeurs proposées par leurs auteurs se situent plutôt en partie basse des fourchettes.

III.4. Mise en cohérence spatiale et critique

La bonne confiance accordée aux jaugeages réalisés sur le secteur d'étude de M. Willemin nous permet de remonter jusqu'aux portes de Paris, avec le site de Bezons. Là, à son maximum, la crue était jaugeée à 2740 m³/s. Compte tenu du peu d'apports entre Paris et Bezons, et de la très bonne cohérence spatiale des mesures sur la Seine à l'aval de Paris (fig. 7), il semble prouvé par la mesure, que le débit de pointe à l'entrée de Paris s'établisse aux environs de 2650 m³/s. Cette valeur appelle nécessairement une vérification critique.

III.5. Critique de la valeur de 2650 m³/s

Les jaugeages réalisés par Arana et son équipe, bien que dispersés et réalisés à la décrue, fournissent des informations précieuses sur certaines caractéristiques physiques de l'écoulement (section mouillée, vitesses). Nous avons exploité ces caractéristiques physiques pour reconstituer l'hydrogramme de la crue de 1910 à Paris par extrapolation.

III.5.1. Extrapolation de la surface mouillée

La représentation des surfaces calculées en fonction des cotes observées permet de déterminer une relation linéaire liant les unes aux autres au Pont des Arts (fig. 8). La représentation schématique de la section mouillée au pont des Arts illustre l'évolution de la surface mouillée que sous-tend cette relation. Les photographies du pont des Arts le 28 janvier 1910 ne montrant pas de débordement ainsi que les commentaires d'Arana (avril 1910), suggèrent que la relation linéaire déterminée plus haut est valable jusqu'à la cote maximale atteinte. On retiendra donc une surface de 1470 m² au niveau de la section de jaugeage pour le calcul du débit de pointe à Paris.

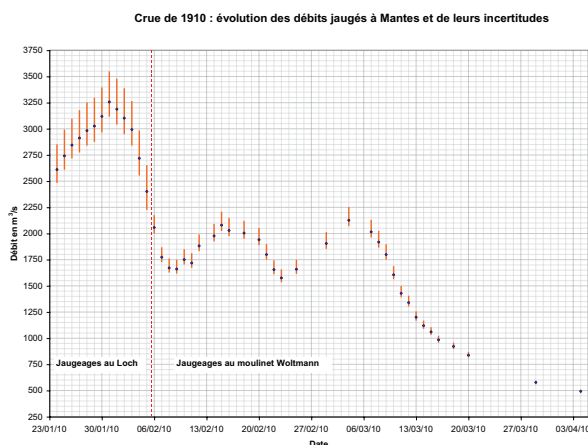


Fig. 6 : Jaugeages effectués à Mantes en 1910, avec les bornes d'incertitude.

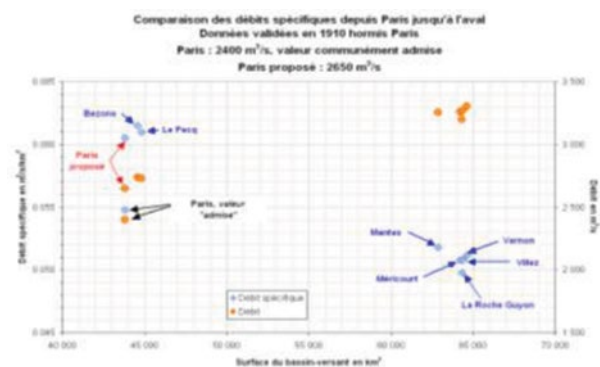


Fig. 7 : Cohérence spatiale des débits spécifiques des jaugeages de 1910 avec la valeur de 2650 m³/s proposée pour Paris.

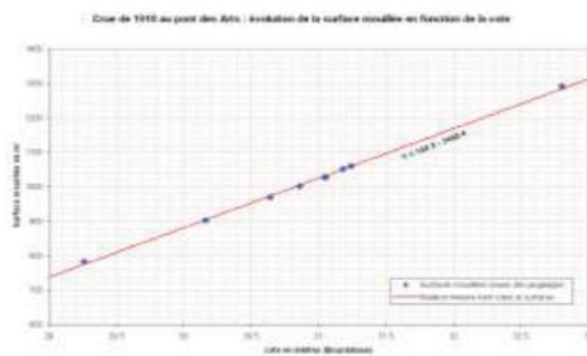


Fig 8 : Détermination de la relation linéaire liant les surfaces mouillées calculées aux cotes observées



III.5.2. Extrapolation des vitesses : phénomène d'hystérésis

L'extrapolation des vitesses est plus délicate pour déterminer le débit de pointe à partir des jaugeages réalisés pendant la décrue. L'évolution des vitesses de surfaces mesurées aux différentes cotes est représentée sur la figure 9.

Aucune tendance ne se dégage des vitesses superficielles mesurées. Ces vitesses sont globalement comprises entre 1,7 et 1,9 m/s.

La valeur de 1,8 m/s est donc retenue pour la phase de décrue. Nous ne disposons d'aucune information sur les vitesses lors de la montée des eaux à Paris en janvier 1910. Le phénomène d'hystérésis inhérent à ce type d'événement majeur nous impose cependant d'estimer des vitesses supérieures pour la phase de crue. Lors de la crue de janvier 1955, des jaugeages ont été réalisés pendant la phase de montée des eaux [Obolensky, 1955]. Bien qu'inférieurs, les débits atteints lors de cet épisode (plus de 2000 m³/s) permettent de rapprocher les caractéristiques physiques mesurées à celles de janvier 1910 et consolident l'hypothèse de vitesses



Fig. 9 : Vitesses de surface des jaugeages de Paris.

d'écoulement pouvant aller jusqu'à 2 m/s pour la phase de montée des eaux. L'ampleur du phénomène bien supérieure en 1910, a pu engendrer des vitesses supérieures à celles observées en 1955. A titre de comparaison, le phénomène d'hystérésis observé à Mantes au cours de la crue de 1910 se traduit, à cote égale, par des débits supérieurs d'environ 20 % à la crue par rapport à la décrue, alors que ce même phénomène est quasi-inexistant lors d'épisodes plus modérés comme la crue de mars 2001 (2030 m³/s jaugés à Mantes). Les valeurs proposées pour Paris (2 m/s à la crue et 1,8 m/s à la décrue) conduisent à un écart de 10 % entre deux débits calculés pour une même cote (alors que l'écart était de 6 % en 1955).

Dès lors pour un coefficient de réduction retenu de 0,9, le débit de pointe s'établit bien à 2650 m³/s.

IV. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les extrapolations réalisées sur les vitesses et sur les surfaces mouillées permettent de reconstituer l'hydrogramme de la crue à partir des cotes observées, dont on note la bonne cohérence avec les jaugeages réalisés à la décrue (figure 10). Par ailleurs, le raisonnement proposé conduit à un débit de pointe atteint à Paris le 28 janvier 1910 de 2650 m³/s, valeur plus forte que toutes celles issues des extrapolations de courbes de tarage proposées, mais pourtant en accord avec les jaugeages réalisés non seulement au cours de l'événement, mais aussi au cours d'événements ultérieurs comme celui de janvier 1955.

IV.1. Paris, un peu plus qu'une section de jaugeage

De part son étendue, Paris couvre un linéaire de la Seine de 13 km. Parler du débit à Paris revient indirectement à faire référence à l'échelle couramment utilisée pour représenter Paris et assimiler la section de jaugeage associée à cette échelle au tronçon qui couvre l'ensemble de la commune. Or la taille de Paris justifie que l'on détaille les éventuelles variations du débit de la Seine sur un tronçon situé entre une section amont, en entrée de Paris et une section aval en sortie de Paris.

Nous nous sommes intéressés à quatre sources de variations éventuelles : la Bièvre, le canal de l'Ourcq, les collecteurs et la gare d'Orléans.

Compte tenu des relevés pluviométriques et du temps de réponse du bassin, la Bièvre n'a pu avoir d'impact significatif le 28 janvier 1910 ; les fortes pluies ayant été enregistrées plusieurs jours auparavant.

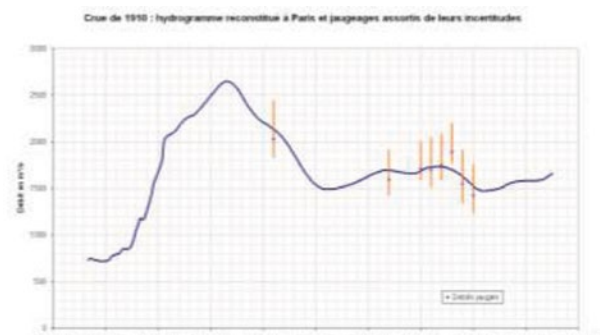


Fig. 10 : Hydrogramme de Paris reconstitué, jaugeages et incertitudes.

Sur l'ensemble des photographies exploitées, le canal de l'Ourcq ne présente pas de vitesses d'écoulement notables. A partir des notes de synthèse de fonctionnement du canal [Groupe d'étude du bassin de la Seine, 1962], on peut conclure à une contribution négligeable de l'ordre de 2 m³/s.

Les collecteurs de Paris forment un réseau de canalisations qui court-circuitent Paris dérivant une partie du débit prélevé sur le bief de Paris, vers l'aval. Pour estimer l'effet potentiel de ce réseau de collecteurs nous avons cherché à calculer le débit dérivé dans les conditions de janvier 1910 [Picard, 1910]. On obtient les débits suivants pour le collecteur de Clichy : 16 m³/s ; pour le collecteur d'Asnières, profil 5 : 10 m³/s et 13 m³/s pour le profil 7 et pour le collecteur de Marceau : 13 m³/s. Au maximum de la crue, les collecteurs ont donc pu évacuer un débit de l'ordre 40 m³/s dans le meilleur des cas.

Quant au rôle de la gare d'Orléans, nous sommes contraints de nous en tenir aux éléments suggérés par M. Arana dans son rapport, ne pouvant étayer ou infirmer ses propos par des éléments extérieurs. Seul un faible débit, inférieur à 40 m³/s aurait transité hors du lit mineur, par la ligne de chemin de fer d'Orléans.

IV.2. Perspectives

La démarche nécessiterait de poursuivre l'étude de la cohérence spatiale plus en amont. Néanmoins l'amont de Paris souffre pour cette crue de lacunes de jaugeages. Ces archives nous font actuellement défaut pour pouvoir mener l'étude de sensibilité des mesures de l'époque. Une série d'études réalisées par le service d'étude des débits de la 1ère circonscription électrique en 1968 [Goubet, 1968] mentionne des débits parfois précis à l'amont, mais l'absence des fiches originales de jaugeage limite le travail de complément de l'hydrologie du bassin pour la crue de 1910.

Les importantes zones d'inondation à l'amont de Paris ont eu un rôle de stockage au cours de la crue de 1910. Quelque 180 millions de m³, Seine et Marne confondues, ont pu être stockés selon notre estimation. Cette zone tampon marque une rupture entre une étude hydrologique amont-aval et l'étude par l'aval, centrée sur les jaugeages, que nous avons menée.

Enfin, il serait précieux de connaître les raisons précises de la sous-exploitation des jaugeages réalisés à l'aval de Paris. Mais il est à craindre que des raisons de découpages administratifs de territoires de compétences de l'époque aient nuit à la connaissance globale et à l'exploitation commune de toutes les données. Cette hypothèse reste ouverte.

IV.3. Enseignements

Cette étude vise à montrer le fort enjeu à disposer de mesures au cours des phénomènes rares ainsi que le poids de l'héritage des données publiées qui, au fil du temps, complique la remise en question. Ces deux enjeux se recoupent dans le temps lorsque l'incertitude initiale sur le phénomène ne peut plus être levée que par une information extérieure. Il nous paraît donc important d'insister sur la valeur des jaugeages, qui doivent être au centre du dispositif d'élaboration de la connaissance, et l'unicité et la centralisation de l'hydrométrie.

Par ailleurs, cette étude illustre l'importance de la conservation tant des données de base que des métadonnées associées. En effet, sans connaissance du contexte des mesures, aucun calcul a posteriori n'est possible dans des conditions de précision satisfaisante et la confiance apportée aux mesures est dégradée.

V. REFERENCES

- Arana (1910) — *Crue de janvier février 1910. Rapport du subdivisionnaire. Service hydrométrique central du bassin de la Seine*
- Audinet (1995) — *Hydrométrie appliquée aux cours d'eau ; collection de la Direction de Etudes et Recherches d'Electricité de France ; Ed. Eyrolles. 453 p*
- Direction Des Études Et Recherches D'électricité De France (1955) — *Jaugeage de la Seine à Paris janvier 1955*
- District De La Région De Paris (1962) — *Établissement du programme duo décennal d'équipement 1962-1973. Groupe d'études « Bassin de la Seine » ; Bilan des débits actuels et futurs à l'amont du barrage de Suresnes compte tenu des puisages ; Note de synthèse*
- Goubet A. (1968) — *Les crues dans le bassin de la Haute Seine (amont de Montereau). Agence financière de bassin « Seine-Normandie » et Ministère de l'industrie, 1ère circonscription électrique, études du service d'étude des débits. 117 37 p*
- Goubet A. (1971) — *Courbe de tarage de la Seine à Paris. Mémoire privé*
- Goutx D., Lacaze Y. (2008) — *Relire les jaugeages de la crue de la Seine en 1910 à la lumière des mesures récentes à l'ADCP. DIREN Ile-de-France. Colloque SHF Mesures hydrologiques et incertitudes, avril 2008. 8p*
- Ritter C. (1892) — *Instruments nouveaux et procédés auxiliaires de jaugeage en eaux courantes. Annales des Ponts et Chaussées – Mémoires et documents. 7(III) 17*
- Lepelletier T., Et Al. (1997) — *Evaluation des impacts socio-économiques des crues en région Ile-de-France. Rapport de fin d'étude*
- Lorton, Mahieu (1910) — *Crue de janvier février 1910. Rapport de l'ingénieur ordinaire. 2ème arrondissement de la 3ème section de la Navigation de la Seine. 17p*
- Marti R., Lepelletier T. (1997) — *L'hydrologie de la crue de 1910 et autres grandes crues du bassin de la Seine. Hydratec. n° La Houille Blanche. 8 33 - 39*
- Nouailhac-Pioch (1912) — *Coefficients variables à appliquer dans les vérifications des résultats. Jaugeages à l'aide des vitesses superficielles, Service hydrologique central du bassin de la Seine*
- Obolensky (1955) — *Jaugeages de la Seine à Paris pendant la crue de janvier 1955. Mémoire présenté au Comité Technique de la Société Hydrotechnique de France 18 mars 1955. La Houille Blanche. A 301-306*
- Picard A. Et Al. (1910) — *Rapports et documents divers. Commission des inondations, service hydrométrique du bassin de la Seine. 771 p*
- Ritter C. — *Note sur le jaugeage de la Seine à Paris pendant la crue de novembre 1896. Manuel hydrologique du Bassin de la Seine, Service Hydrométrique du bassin de la Seine ; Imprimerie Nationale*
- Roche M. (1963) — *Hydrologie de surface. Paris : Gauthiers-Villars Orstom*
- Willemin T. (1910) — *Rapport général de l'ingénieur ordinaire du 1er arrondissement de la 3ème section de la Navigation de la Seine. Crue de 1910, service navigation de la Seine*
- Willemin T. (1898) — *Débit constaté à Mantes. Jaugeages en 1898, service navigation de la Seine*
- Willemin T. (1910) — *Jaugeages au pont de Vernon. Crue de 1910, service navigation de la Seine*
- Willemin T. (1910) — *Tarage au moulinet Woltmann. Crue de 1910, service navigation de la Seine*
- Willemin T. (1910) — *Tarage du Loch. Crue de 1910, service navigation de la Seine*