

Jaugeages de la Seine à Paris pendant la crue de janvier 1955

Gauging of the Seine at Paris during the flood of January 1955

PAR S. OBOLENSKY

INGÉNIEUR AU SERVICE DES ÉTUDES ET RECHERCHES HYDRAULIQUES D'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE

Lors de la crue de janvier 1955, la Division Essais Extérieurs du Service des Etudes et Recherches de l'Electricité de France a été amenée à exécuter plusieurs jaugeages simultanés de la Seine dans sa traversée de Paris. L'exploration du champ des vitesses a été effectuée au moyen de moulinets montés sur perche ou sur saumon et manœuvrés à partir de bateaux ou de pont. Le débit maximum de 2 050 m³/s ainsi que la répartition des débits entre les bras de la Seine sont en excellente concordance avec les résultats obtenus sur un modèle réduit entrepris par le Laboratoire National d'Hydraulique dans le but d'améliorer l'écoulement des eaux dans Paris.

During the flood of January 1955 the Outside Tests Division of the Service des Etudes et Recherches of Electricité de France made several simultaneous gaugings of the Seine in its passage across Paris. The velocity measurements were carried out with current meters mounted on rods or on streamlined weights, and controlled from boats or bridges. The maximum discharge of 2 050 m³/s as well as the distribution of flow between the branches of the Seine are in excellent agreement with the results obtained on a scale model, on which studies are being undertaken by the Laboratoire National d'Hydraulique with a view to improving the flow through Paris.

I. — GÉNÉRALITÉS

Au cours de la dernière crue de la Seine, de nombreuses mesures de débit ont été effectuées, tant à l'amont qu'à l'aval de Paris, en particulier par la Première Circonscription Electrique et la Troisième Section du Service de la Navigation de la Seine.

La Division des Essais Extérieurs du Service des Etudes et Recherches de l'Electricité de France a été appelée indirectement à fournir sa contribution à ces relevés par quelques mesures effectuées dans la traversée de Paris. L'objet essentiel de ces mesures était, en effet, de contrôler quelques-uns des résultats obtenus sur un modèle réduit entrepris par le Laboratoire National d'Hydraulique à la demande de la Deuxième Section du Service de la Navigation de la Seine, dans le but d'améliorer l'écoulement des eaux dans Paris, et en particulier dans le bras de la Monnaie.

Les contrôles envisagés intéressaient surtout la répartition des débits dans les trois bras de la Monnaie, de Saint-Louis et Marie et en outre la relation entre les débits effectifs et la pente du cours d'eau dans les limites du modèle, en vue d'une retouche éventuelle de la rugosité réalisée sur ce dernier.

C'est dans ce but que la Deuxième Section du Service de la Navigation de la Seine nous avait demandé d'effectuer des relevés dans chacun des bras précités en installant en outre une section complémentaire à l'aval des îles en vue de contrôler la précision des mesures effectuées dans chacun des bras.

Malgré le délai très court de la préparation de ces essais, la première détermination des débits a pu être effectuée dès le 21 janvier, deux jours avant le maximum de la crue. Une seconde me-

sure exécutée le 23 janvier a coïncidé avec le maximum de la crue. Enfin, une mesure de contrôle destinée en outre à déterminer éventuellement l'influence de la non-permanence de l'écoulement a été entreprise en cours de décrue pour une cote relativement voisine de celle réalisée au cours du premier jaugeage. Ce programme très serré, en particulier l'aménagement de

quatre sections de mesure dans un délai de deux jours, n'a pu être tenu que grâce au remarquable dynamisme du personnel du Service de la Navigation, qui, malgré la surcharge de ses équipes occupées aux importants travaux de protection contre les inondations, a pu procéder à l'installation du matériel nécessaire aux relevés, tel que portière, trilles, blondins, etc.

II. — EMBLACEMENT ET AMÉNAGEMENT DES SECTIONS DE MESURE

Ainsi que le montre la figure 1, quatre sec-

tions principales ont été aménagées. Nous avons résumé, dans le tableau suivant les conditions d'exécution des jaugeages à chacun des postes.

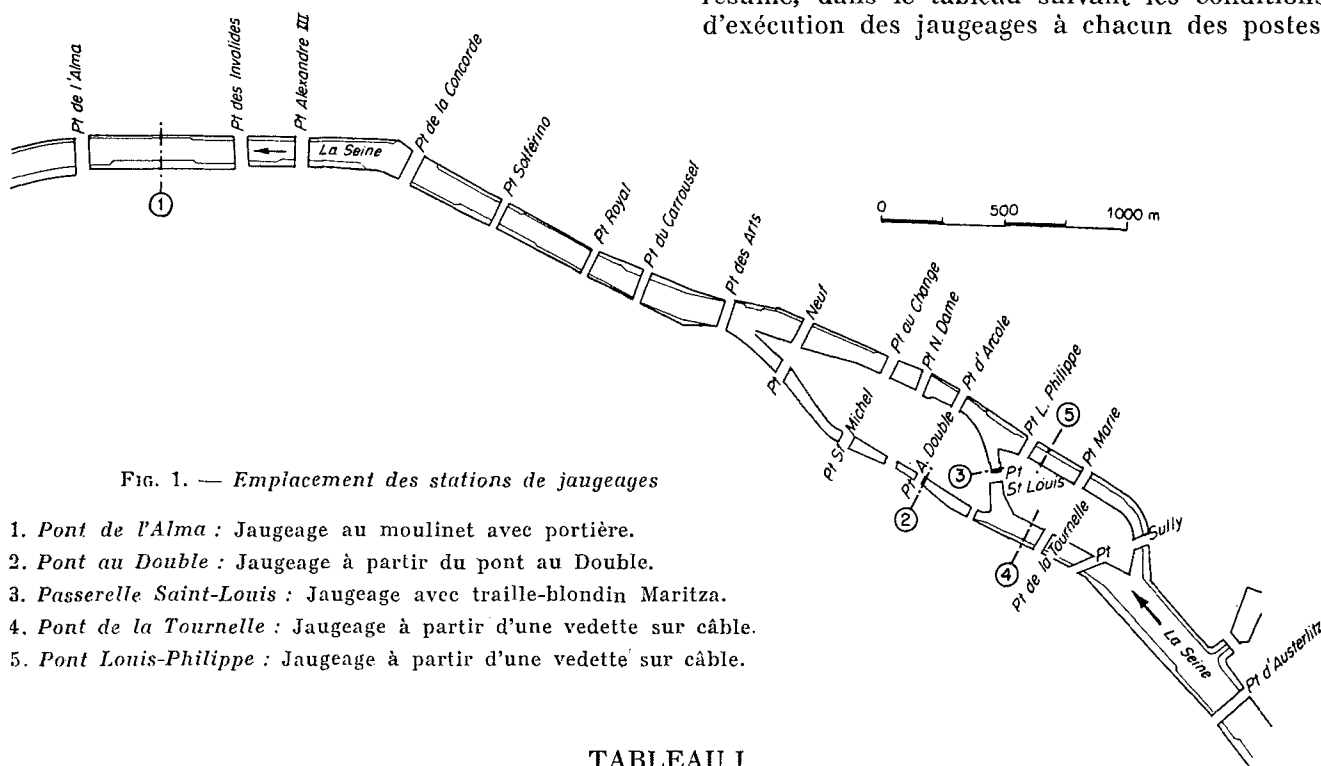


FIG. 1. — Emplacement des stations de jaugeages

1. Pont de l'Alma : Jaugeage au moulinet avec portière.
2. Pont au Double : Jaugeage à partir du pont au Double.
3. Passerelle Saint-Louis : Jaugeage avec trille-blondin Maritza.
4. Pont de la Tournelle : Jaugeage à partir d'une vedette sur câble.
5. Pont Louis-Philippe : Jaugeage à partir d'une vedette sur câble.

TABLEAU I

DÉSIGNATION DE LA SECTION	MATÉRIEL DE MESURE EMPLOYÉ	NOMBRE DE POINTS DE MESURE
1. Pont de l'Alma.	Moulinets OTT sur : — perche jusqu'à un tirant d'eau de 6 m, — puis sur saumon, manœuvrés à partir d'une portière se déplaçant le long d'un câble tendu en travers.	Une centaine répartie sur 10 verticales.
2. Pont au Double.	Moulinet suspendu par câble manœuvré à partir du pont.	80 à 120 points sur 8 verticales.
3. Passerelle Saint-Louis.	Moulinet monté sur téléphérique léger « Maritza » enjambant la section.	Une centaine sur 15 verticales.
4. Pont de la Tournelle et Pont Louis-Philippe.	Moulinet monté sur saumon manœuvré à partir d'une vedette se déplaçant le long d'un câble.	80 points sur 7 verticales.

RÉSULTATS DES JAUGEAGES

Tous nos moulinets, du type Ott, étaient munis d'hélices moulées en coquille; dans la gamme des vitesses mesurées les appareils montés sur le même support avaient, de ce fait, la même équation de tarage à moins de $\pm 1\%$ près.

Pour profiter au maximum du matériel et des effectifs de la Division, la Deuxième Section du

Service de Navigation de la Seine avait demandé d'effectuer à titre d'information générale une mesure du débit de la Marne peu à l'amont de son confluent avec la Seine.

Une section analogue à celle établie près de l'Alma a été installée à 200 m à l'amont de la passerelle de Charentonneau dans un tronçon relativement bien calibré d'une longueur de 600 m environ.

III. — ANALYSE DES RÉSULTATS OBTENUS

Le tableau n° II rassemble les résultats obtenus les 21, 23 et 26 janvier 1955. Ces résultats appellent les remarques suivantes :

vés le débit mesuré au Pont au Double est systématiquement inférieur de 2 à 5 % à la moyenne des débits des deux autres bras.

TABLEAU II

	21-1-1955		23-1-1955		26-1-1955	
	Cote du plan d'eau N.G.F. m	Débit m ³ /s	Cote du plan d'eau N.G.F. m	Débit m ³ /s	Cote du plan d'eau N.G.F. m	Débit m ³ /s
Pont de l'Alma.....	30,90	1.920	31,44	2.030	30,80	1.800
Pont au Double.....	32,00	645	32,40	700	31,60	580
Passerelle Saint-Louis.....	32,00	670	32,50	700	31,65	610
Pont de la Tournelle.....			32,58	1.340	31,90	1.140
Pont Louis-Philippe.....	32,00	645	32,48	720	31,70	630
Station de la Marne.....			33,55	780	32,85	740

1° DÉBITS MAXIMA DE LA CRUE.

Le débit maximum de la crue de la Seine atteint le 23 janvier à Paris est de 2.050 m³/s; celui de la Marne est de 780 m³/s.

Compte tenu des bassins versants respectifs de 42.600 km² pour la Seine et de 13.700 km² pour la Marne, ces valeurs correspondent à des débits spécifiques respectifs de 50 et 57 l/s/km² de bassin versant.

2° RÉPARTITION DES DÉBITS ENTRE LES BRAS DES ILES DE LA CITÉ.

Autour des îles de la Cité, les débits se répartissent sensiblement à égalité. Les écarts entre les débits mesurés dans les trois bras ne dépassent en effet pas 3 % par rapport à la moyenne; ils ne sont donc pas significatifs. Tout au plus pourrait-on constater qu'au cours des trois rele-

3° PRÉCISION DES MESURES.

La précision des mesures est liée aux erreurs sur la détermination des vitesses d'une part et celle des tirants d'eau d'autre part.

En ce qui concerne la première, l'utilisation simultanée dans l'une des stations de deux dispositifs de support de moulinet et de plusieurs appareils nous a permis de contrôler la validité des étalonnages relatifs de ces appareils. Quant à leur étalonnage en valeur absolue, leur précision est liée à l'expérience que nous avons acquise depuis l'utilisation des hélices moulées en coquille dont le contrôle préalable au moyen d'une empreinte métallique permet d'escompter une conservation de tarage à moins de $\pm 1\%$.

L'erreur sur les tirants d'eau peut être notablement supérieure, du fait surtout de l'emploi de saumon dont le câble électro-porteur est soumis à une poussée non négligeable. Toutefois, la

comparaison entre les tirants d'eau effectifs calculés en tenant compte de l'inclinaison du câble porteur et ceux déduits de relevés effectués à la perche après la crue met en évidence des écarts accidentels de $\pm 0,20$ m sur la cote du fond.

Ces considérations nous amènent à penser que les erreurs doivent être inférieures à la valeur limite de 5 % que nous adoptons généralement par sécurité.

La comparaison des débits mesurés à l'Alma d'une part à la somme des débits des trois bras d'autre part fait ressortir des écarts compris entre - 1 % et + 4,5 %; de même l'écart entre la somme des débits des bras de la Monnaie et de Saint-Louis et celui relevé à la Tournelle est égal à 4 %.

4° RÉPARTITION DES VITESSES SUR LES VERTICALES DE MESURE.

Les courbes de répartition des vitesses dans les stations sont caractérisées par un faible gradient de vitesses dans la tranche supérieure de l'écoulement. De ce fait, le rapport de la vitesse moyenne à la vitesse superficielle d'une verticale de mesure est relativement élevé ainsi qu'en témoigne le tableau III ci-après.

Ce rapport, pratiquement compris entre les valeurs relativement élevées de 0,90 et 0,95, est cependant en conformité avec les chiffres cou-

ramment admis par quelques auteurs. En particulier, dans le cas des écoulements permanents, le Geological Survey des Etats-Unis recommande d'utiliser pour ce rapport de la vitesse moyenne à la vitesse superficielle des valeurs comprises entre 0,81 pour une section encombrée d'herbes ou de roseaux et 0,95 pour une rivière à fond de sable ou de terre glaise.

La station de la passerelle Saint-Louis est le siège d'un écoulement fortement dissymétrique dû aux conditions d'entrée de l'eau dans le bras de Saint-Louis. La vitesse maximum y est atteinte à une profondeur de 6 m à 30 m de la rive. De ce fait, les rapports entre vitesse moyenne et vitesse superficielle y sont très variables et ne présentent aucun intérêt d'ordre général.

5° COMPARAISON DES RÉSULTATS AVEC CEUX OBTENUS ANTÉRIEUREMENT.

L'un des buts essentiels de nos mesures, la vérification des données de l'étude des pertes de charge de la Seine dans la traversée de Paris sur modèle réduit, semble conduire à des résultats très satisfaisants.

En effet, les débits mesurés en janvier 1955 confirment les valeurs admises par le Laboratoire National d'Hydraulique. La pente de la ligne d'eau, entre le pont d'Austerlitz et le pont des Arts, relevée au cours de la crue coïncide à ± 5 % près avec celle mesurée sur le modèle.

TABLEAU III

RAPPORT DE LA VITESSE SUPERFICIELLE A LA VITESSE MOYENNE

DÉSIGNATION DE LA STATION	RAPPORT u/V_s %	ÉCART MOYEN PAR RAPPORT A LA MOYENNE %	RAPPORT u/V_1 %	ÉCART MOYEN %
Pont de l'Alma.....	92	± 4	90	± 3
Pont de la Tournelle.....	91	± 5	94	± 5
Pont au Double.....	93	± 6	92	± 4
Passerelle Saint-Louis.....	114	± 15	105	± 10
Pont Louis-Philippe.....	101	± 8	100	± 6
Station de la Marne.....	104	± 11	95	± 7

Légende

u : vitesse moyenne sur une verticale,

V_s : vitesse superficielle.

V_1 : vitesse à 1 m au-dessous de la surface.

Par ailleurs, nos jaugeages ayant permis d'explorer la totalité de la section mouillée en chacune des stations, il nous a paru intéressant de les rapprocher de toutes les mesures publiées jusqu'à présent et dont l'exécution n'avait pas été conduite de manière aussi complète. Depuis 1910, en effet, les jaugeages ont été exécutés par relevé de vitesses de surface soit au flotteur, soit au moulinet, ce dernier étant placé entre 0,20 et 1 mètre au-dessous du plan d'eau. Le calcul du débit devait ainsi tenir compte d'un coefficient de vitesse à la surface, qui, suivant les auteurs, a été pris égale à 0,80, 0,842 ou 0,85. Compte tenu des valeurs déduites de nos propres relevés, il semble que les débits estimés précédemment devraient être corrigés aux valeurs reproduites dans le tableau suivant :

TABLEAU IV

Date de la crue	Coefficient admis %	Débit admis m^3/s	Débit corrigé m^3/s
1910	90	2.330	2.330
1924	84,2	1.900	2.030
1941 a	85	1.495	1.586
1941 b	85	1.084	1.150
1944	80	1.600	1.800
1945	80	1.770	1.990
1952	80	1.200	1.350

D'après ce tableau, les crues de janvier 1924 et de janvier 1955 correspondent à des débits très voisins.

Par contre la crue de 1910 nous paraît avoir été plus importante : la valeur de $2.330 m^3/s$ qui résulte des études faites par M. l'Ingénieur en Chef PERRIER sur les jaugeages effectués à cette époque avec un hydrotachymètre de Ritter, dans une section installée au pont des Arts, semble être corroborée par celle obtenue sur le modèle réduit.

6° COURBE DE TARAGE ACTUELLE DE LA SEINE A PARIS.

Il nous a paru intéressant de rapporter nos résultats de mesure à l'échelle d'Austerlitz utilisée comme échelle de référence à Paris.

On peut constater sur la figure 2, sur laquelle nous avons reporté également les débits figurant dans le tableau précédent, que les points correspondant aux trois jaugeages de la dernière crue se répartissent autour d'une droite avec une dispersion de l'ordre de 2 %. Un calcul simple permet de vérifier que cette dispersion n'est pas due à la non-permanence du débit : la correction correspondante étant de l'ordre de 0,1 %.

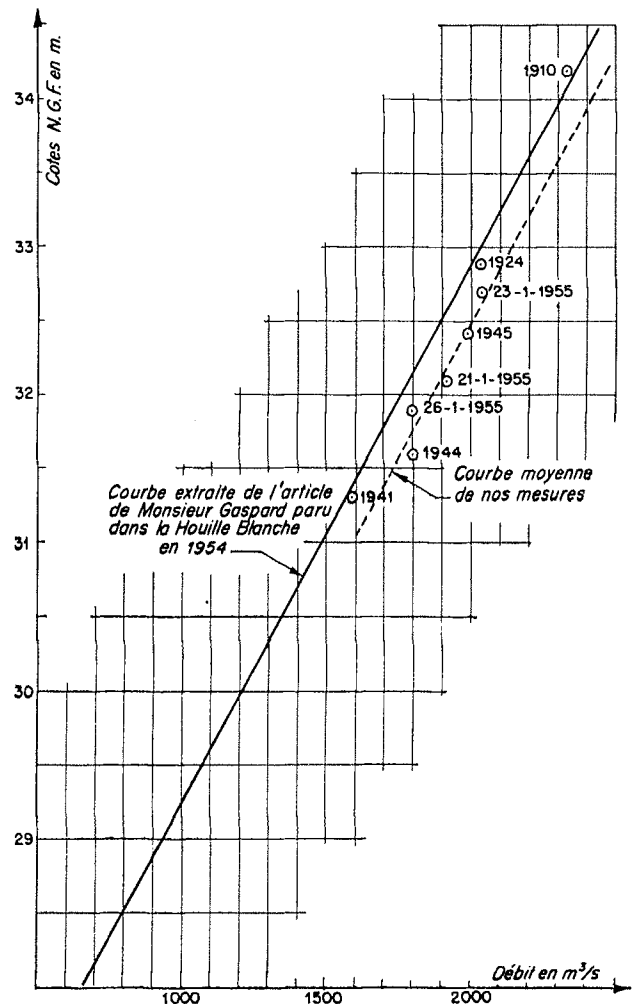


FIG. 2. — Courbe des débits de crues de Seine à Paris en fonction des cotes au pont d'Austerlitz dressée le 3 février 1953.

Ce graphique montre, en outre, que les jaugeages les plus récents sont en bonne concordance avec nos relevés. Le point de mesure correspondant au débit de crue de 1910 se situe très au-dessus de la courbe moyenne. Il semble qu'en première approximation la cote du plan d'eau correspondant à un même débit soit actuellement inférieure de 0,50 m à celle obtenue à cette époque.

IV. — CONCLUSIONS

Les mesures effectuées en janvier 1955 sur la Seine et sur la Marne à la demande de la Deuxième Section du Service de la Navigation de la Seine sont très cohérentes entre elles. Les recoupements obtenus permettent d'escompter l'approximation des débits à $\pm 5\%$ près.

Le débit maximum de $2.050 \text{ m}^3/\text{s}$, l'égalité de répartition des débits entre les trois bras de la Monnaie, de Saint-Louis et du Pont-Marie ainsi

que la valeur de la pente du plan d'eau dans la traversée de Paris sont tous en excellente concordance avec les résultats obtenus sur un modèle réduit du Laboratoire National d'Hydraulique.

Le rapport entre la vitesse moyenne et la vitesse superficielle d'une verticale de mesure reste pratiquement égal à 0,90 en moyenne avec une dispersion accidentelle inférieure à 5 %.

DISCUSSION

La discussion commune aux communications de MM. OBOLENSKY, LAVAL, BABINET et GRAND se trouve à la fin de l'article de M. GRAND.

