

La régularisation du Rhin entre Strasbourg et Bâle avec description sommaire de la régularisation en aval de Strasbourg

Autor(en): **Spiess, K.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **51 (1925)**

Heft 15

PDF erstellt am: **24.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-39521>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

influencer défavorablement par ailleurs le régime actuel de la navigation.

Dans le secteur Bingen-Mannheim, le Comité a reconnu que l'état du chenal donne satisfaction pleine et entière aux besoins de la navigation.

Dans le secteur Mannheim-Strasbourg, les travaux de régularisation entre Sondernheim et Strasbourg ont donné de très bons résultats et ont permis d'obtenir normalement la profondeur de deux mètres sous l'étiage équivalent ; des travaux sont en exécution ou en projet pour amener le chenal au même état dans la partie comprise entre Mannheim et Sondernheim.

En ce qui concerne le secteur Strasbourg-Bâle, le Comité considère comme condition essentielle pour le développement ultérieur de la navigation entre Strasbourg et Bâle que les travaux d'aménagement auxquels la Commission Centrale a d'ores et déjà donné son adhésion pour le tronçon de Kembs dans une résolution du 10 mai 1922, et pour le surplus, les travaux qu'elle jugera propres à créer une voie permanente de grande navigation soient entrepris autant que possible concurremment et dans un délai rapproché.

Balisage. Le Comité a remarqué au cours de son voyage dans les eaux néerlandaises qu'il y existe un système complet de balisage du chenal, tant par des bouées que par des signaux d'alignement placés sur les rives ; sur les secteurs allemands, en aval de Mannheim, il existe un balisage du chenal au moyen de signaux flottants et de signaux fixes en tête des épis et le long des digues longitudinales ; en amont de Mannheim il n'existe, en général, pas de balisage. Le système de balisage employé aux Pays-Bas offrant, d'après les renseignements fournis par le délégué néerlandais des avantages importants pour la navigation, le Comité recommande d'étudier si, notamment sur les secteurs d'amont, il n'existe pas de points où la navigation pourrait également, sauf difficultés pratiques spéciales, être facilitée tant par des signaux flottants que par des signaux d'alignement à terre.

Le Comité recommande également la standardisation dans la mesure du possible, du balisage sur tout le parcours du Rhin.

Le Comité recommande également de signaler partout de façon uniforme les points où il existe dans le fleuve des canalisations immergées et en outre de compléter cette indication par des signaux à distance en amont et en aval, comme cela se pratique dans le secteur hessois.

Dans le même ordre d'idées, le Comité est d'avis que sur les secteurs où les marques kilométriques sont difficilement reconnaissables et lisibles pour le navigateur, il convient de les améliorer en adoptant le système en usage à l'aval de Bingen.

(A suivre.)

La régularisation du Rhin entre Strasbourg et Bâle¹

avec description sommaire de la régularisation en aval
de Strasbourg

par K. SPIESS, Oberbaurat à Karlsruhe.

3. Régularisation de la section Strasbourg-Bâle.

c) Tracé en plan du chenal navigable projeté.

Entre les digues de la correction, le fleuve s'est formé lui-même un chenal qui correspond au mouvement des graviers, aux débits, aux sinuosités du courant et, enfin, aux particularités que présente le fond. Pour obtenir une voie d'eau régularisée, il faut, à l'aide d'épis et de seuils de fond, créer un lit mineur, dans les limites duquel serpentera la voie navigable, comme c'est le cas pour la régularisation exécutée entre Sondernheim et Strasbourg. En fixant le tracé de la voie d'eau entre Stras-

bourg et Istein, on s'efforça de respecter le caractère actuel du talweg, en redressant toutefois, dans la mesure utile à la navigation, les passages d'une rive à l'autre. A moins d'y être obligé par des circonstances locales ou par la nécessité de rayons de courbure compatibles avec une navigabilité facile, on s'est abstenu d'imposer une gêne au fleuve par un redressement artificiel des sinuosités, ou par la réduction du nombre des passages. Cela ne veut pas dire que l'état existant momentanément doit déterminer le tracé du chenal navigable. Mais on tiendra compte du talweg qui a été suivi de préférence, durant un grand nombre d'années. Ça et là, une modification peut être imposée par des circonstances locales, sans que ces cas spéciaux puissent compromettre le résultat. Il s'agit ici, avant tout, de rochers existants, des ponts fixes de Neuenbourg, de Brisach et de Kehl-Strasbourg, ainsi que des six ponts de bateaux de Neuenbourg-Chalampé, de Brisach-Neu-Brisach, de Sasbach-Markolsheim, de Weisweil-Schœnau, de Kappel-Rheinau et de Ottenheim-Gerstheim. Le chenal navigable projeté croise les ponts fixes de Neuenbourg et de Brisach dans leur ouverture médiane, et les ponts de Strasbourg-Kehl sur la rive droite. Sauf à Weisweil-Schœnau, la traversée des ponts de bateaux s'opère près de la rive. Aucune installation importante de port n'existe sur tout le parcours à régulariser. Autant que possible, le projet du tracé du chenal navigable a tenu compte des anciens bras du Rhin et de leur rôle.

Le tracé du chenal navigable se compose de portions de lemniscates disposées de telle façon, que dans les courbes normales, le point d'inflexion des lemniscates coïncide sensiblement avec le point de croisement des axes du chenal et du fleuve. Le rayon de courbure diminue d'une façon constante depuis le point d'inflexion jusqu'aux sommets amont et aval des courbes. Le sommet correspond au point de tangence du chenal à la rive. Là où le fleuve présente de longues courbures prononcées, on ne put conserver au tracé du chenal sa courbure régulièrement progressive ; le tracé dut se rapprocher de l'arc de cercle de la courbure du fleuve.

Les fig. 12 et 13 montrent le tracé projeté du chenal navigable dans des tronçons situés près de Neuenbourg et de Kappel. Le tracé traverse en partie directement des bancs de gravier. L'état du plafond, représenté dans le plan, n'ayant qu'un caractère passager, l'exécution du projet ne rencontrera pas de difficultés. Il y a lieu de comparer cet état avec celui de la fig. 8 de la régularisation exécutée en aval de Strasbourg, où une pareille transformation du plafond est facilement reconnaissable.

Le tableau que nous publierons dans notre prochain numéro donne l'aperçu des sinuosités actuelles et futures du talweg.

d) Examen de la question hydraulique.

Dans la section Strasbourg-Bâle, les convois se composent généralement d'un remorqueur et de deux chaudières espacés de deux longueurs. A la descente, les cha-

¹ Voir *Bulletin technique* du 20 juin 1925, page 156.

lands sont accouplés et rapprochés du remorqueur. Un convoi montant doit pouvoir croiser un convoi descendant dans le chenal navigable. Selon les indications des bateliers, cela exige, pour le chenal, une largeur de 75 m. et une profondeur de 2 m. Mais les dimensions du chenal navigable ne sont pas identiques à celles du lit mineur, situé entre les digues de correction, et dans lequel le chenal doit encore se former. La mobilité du plafond ne permet pas d'obtenir la section régulière que prévoit le calcul : pour assurer suffisamment la formation d'un chenal de largeur et de profondeur voulues, la section du lit mineur doit être augmentée.

On utilisa, pour le calcul hydraulique, la formule du mouvement uniforme de l'eau, et pour la fixation de la valeur c dans la formule $v = c\sqrt{R.J.}$, la formule de Ganguillet et Kutter, soit

$$c = \frac{23 + \frac{l}{n} + \frac{0,00155}{J}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{J} \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}\right)}$$

En premier lieu, le calcul du coefficient de rugosité n , était de grande importance. On disposait pour cela des résultats de 74 jaugeages, exécutés durant les années précédentes et pendant l'élaboration du projet, près de Bâle, de Huningue, de Kembs, de Brisach, de Rheinau, de Warlen et de Maxau. On détermina, en outre, la section et le périmètre mouillés, ainsi que la pente du plan d'eau de 57 profils en travers de la rivière, entre Strasbourg et Bâle. Leur relation avec le débit du même jour, à Bâle, fournit le coefficient de rugosité de tous les profils. Les résultats correspondirent bien à ceux que donnèrent les jaugeages directs. Les valeurs suivantes de n résultent des deux procédés :

km. badois	km. franç.	Lieu	n
8	9,4	Istein	0,0320
81	8,3	Weisweil-Schœnau	
81	83	Weisweil-Schœnau	0,0310
111,2	113	Altenheim	
111,2	113	Altenheim	0,0300
126,0	128	Kehl-Strasbourg	

Pour ne pas paraître vouloir recourir à des prévisions trop favorables, et quoique les ouvrages de resserrement de la régularisation dussent nécessairement augmenter le degré de rugosité du lit de la rivière, on employa pour les calculs suivants la valeur de n , telle qu'elle résulte de l'état actuel.

Dans la section au droit des sommets de l'axe du chenal navigable, les seuils devaient se placer à une profondeur d'au moins 3 m. au-dessous du plan d'eau rectifié. Cette nécessité détermina essentiellement les contours du lit mineur. On s'inspira partiellement des travaux de régularisation exécutés en aval de Strasbourg, pour fixer au sommet, les fruits de 1 : 3 pour le côté rive

du profil, et de 1 : 20 pour la tête de l'épi situé en face. Au droit des points d'inflexion, on donna aux talus des ouvrages sur les deux rives, la pente de 1 : 15.

C'est dans les profils au droit des sommets des courbes que la proportion est la plus défavorable entre la largeur calculée du lit mineur, à 2 m. de profondeur, et la largeur recherchée de 75 m. pour le chenal navigable. Pour un débit de 525 m³/sec. et une pente J de 105 ‰ à Istein, de 0,86 ‰ à Brisach et de 0,62 ‰ à Strasbourg, les proportions correspondantes sont de 1,16, de 1,29 et de 1,48 à Strasbourg. Pour la régularisation Sondernheim-Strasbourg, prenant son origine ici et exécutée sur la base d'un plan d'eau rectifié de + 1,50 m., au limnimètre de Strasbourg, avec une largeur recherchée du chenal navigable de 88 m., et une largeur du plafond de 126,0 m., la valeur correspondante est de 1,43, à 2,0 m. de profondeur en dessous de la cote de + 1,50 m. au limnimètre. Pour le chenal navigable de 75 m. de largeur de la régularisation Strasbourg-Brisach, la même valeur se retrouve près de Altenheim, au km. badois 111,2 (km. franç. 113).

Pour vérifier les résultats des calculs hydrauliques, on compara les sections calculées du lit mineur, au droit des sommets du chenal navigable, avec les sections d'écoulement effectives, correspondant à un débit de 540 m³/sec. et situées aux endroits où le courant longe parallèlement la rive. On constata ainsi, qu'à peu de chose près, les sections calculées correspondaient bien aux sections effectivement mesurées.

Les calculs hydrauliques se rapportent donc aux sections comprises entre les ouvrages de resserrement. Il reste ainsi à examiner comment se produit l'écoulement des eaux dans l'intervalle de ces ouvrages et, en particulier, si les érosions produites cesseront avec l'exécution de la régularisation. A ce point de vue, il faut revenir sur l'état actuel du fond de la rivière. C'est la disproportion entre la force d'attaque de l'eau et la force de résistance du plafond qui produit, comme on le sait, les érosions. L'affouillement n'est pas seulement fonction de la pente, mais aussi de la forme et surtout de la profondeur de la section. L'examen du fond actuel de la rivière démontre que le point le plus élevé du banc de gravier voisine avec la plus grande profondeur de la mouille, et cela approximativement dans les sections qui présentent le plus fort rétrécissement de la surface d'écoulement. A ces endroits des mouilles, l'attaque érosive est la plus active. En vue de diminuer la force d'attaque de l'eau, le projet recourt à des ouvrages réduisant fortement les dénivellations transversales des sections. L'eau ne s'écoulera donc plus par un bas-fond étroit, mais à travers une section large et égalisée. (Voir fig. 14.) Cette suppression des dénivellations est grandement facilitée par les digues longitudinales projetées. Aux endroits mêmes où le chenal navigable s'appuie à la rive, et où il faut prévoir le plus fort affouillement du fond, la forte déclivité du talus de rive actuel, de 1 : 1 à 1 : 1 1/2 est remplacée par le talus d'au moins 1 : 3 à 1 : 8

des digues. Les ouvrages transversaux de la régularisation augmentent en général la résistance du fond. Mais il faut bien se rendre compte que ce résultat est dû moins aux ouvrages isolés, qu'à leur ensemble, agissant comme une grande armature. Aux endroits des plus fortes érosions, soit aux sommets du chenal navigable, la rivière est munie de seuils de fond et d'épis sur toute sa largeur. Entre deux groupes consécutifs de seuils de fond, et durant l'exécution des travaux, on pousse déjà jusqu'à la profondeur du fond effectif, les épis que le plan de situation n'indique que jusqu'à la limite du plafond normalisé.

Seules les basses eaux qui n'ont plus cette action érosive, suivent le lit mineur. Aujourd'hui déjà, et dans la rivière non régularisée, les eaux moyennes s'écoulent par-dessus les bancs de gravier, en un courant plus redressé. Avec une force érosive croissante, les hautes eaux suivent de plus en plus l'axe même du fleuve. Le courant principal passe en biais au-dessus du lit mineur de la régularisation, et sa force est brisée par les épis pénétrant fort avant dans le lit mineur. En corrélation avec ce fait, il ressort du mouvement des bas-fonds et des bancs de gravier, qu'une mouille chemine, dans son état actuel, le long de la rive, et que, près du talweg, sa profondeur diminue rapidement. C'est un fait bien connu que dans le Haut-Rhin, les crues provoquent le relèvement des passages du talweg, sur lesquels se déposent donc des graviers. Les deux phénomènes permettent de conclure que la force érosive de l'eau agit à proximité des rives actuelles et parallèlement à elles ; qu'elle diminue rapidement, dès que le talweg s'écarte de la rive et qu'elle disparaît au droit du passage. Les forces érosives tendront à agir de même dans le lit régularisé. Mais les seuils de fond et les digues s'y opposent. Grâce à leur pente réduite et à leur profondeur suffisante, ces ouvrages empêchent les bas-fonds de se propager vers le milieu du fleuve. Il ne faut pas s'attendre non plus à une érosion du fond entre les seuils de fond, qui se suivent à 60 m. d'intervalle seulement dans la partie supérieure de la régularisation, et à 70 m. d'intervalle dans la partie inférieure de celle-ci. Même si les intervalles entre les seuils de fond ne se comblaient pas entièrement de gravier, cela n'influerait pas d'une façon appréciable sur le plan de l'eau, lequel s'adapte à la section d'écoulement limitée par les seuils de fond et non point à la profondeur du fond entre ces seuils.

Ce qui précède démontre que la régularisation mettra fin aux érosions actuelles. Comparativement à l'état actuel, elle créera une pente uniformisée et diminuera sensiblement les variations de vitesse du courant.

Il n'y a pas lieu de craindre un effet fâcheux des ouvrages de régularisation sur l'écoulement des crues. Les sections les plus défavorables de la rivière correspondent actuellement aux sommets des bancs de gravier. Selon les constatations faites dans la section régularisée de Sondernheim-Strasbourg, et par suite du barrage des bas-fonds et des bras secondaires, ces sommets sont em-

portés par les eaux et les matériaux colmatent, à peu près jusqu'au niveau des seuils de fond, les mouilles qui se trouvent entre les ouvrages. Il faut aussi remarquer que les bas-fonds, situés derrière les bancs de gravier ont formé, depuis, comme des angles morts pour l'écoulement des crues et ont, par conséquent, facilité le dépôt des matériaux. Les ouvrages ne provoquent donc qu'un remaniement des matériaux, sans restreindre la section d'écoulement des crues. Des rétrécissements temporaires, au cours des travaux, disparaîtront à la suite d'une crue d'été.

Par suite des écoulements dans le canal de Huningue et dans la nappe souterraine de la vallée du Rhin, il faut tenir compte d'un supplément et admettre que le débit de 540 m³/sec. en chiffre rond, à Bâle, correspond au débit de 525 m³/sec. dans le secteur compris entre Brisach et Bâle. Le débit correspondant à Strasbourg n'est pas aussi aisé à établir. Le régime d'étiage des cinq années 1901/05 correspond bien à la moyenne durable. Or, selon la courbe de durée des débits établie pour ces années, le débit à Bâle dépasse 540 m³/sec. pendant 318 jours, et reste inférieur à ce chiffre durant 47 jours. On peut donc prévoir, qu'avec la profondeur de 2,0 m. admise aujourd'hui en aval de Strasbourg, la navigation pourra s'effectuer en moyenne pendant 318 jours.

Au cours des cinq années 1901/05, le débit rectifié de 540 m³/sec. a donné en moyenne la cote + 0,40 m. au limnimètre de Bâle. Or l'indication de ce limnimètre est de + 42 m. pour l'étiage équivalent 1908 (E. E. 1908), que la Commission centrale pour la navigation du Rhin a fixé, en se basant sur le régime des années 1901/05. Le plan d'eau rectifié de la section Strasbourg-Bâle, pour le débit de 540 m³/sec. au limnimètre de cette dernière place, est donc sensiblement le même que l'étiage « équivalent 1908 », indiqué au limnimètre de Strasbourg par la cote 1,79 m.

Les modifications intervenues depuis dans le plafond ont reporté les cotes limnimétriques, pour le plan d'eau rectifié, à + 0,0 m. à Bâle et à + 1,90 m. à Strasbourg. En prévision d'une même durée des niveaux d'eaux inférieurs, et à l'aide de relevés directs, les cotes correspondantes ont été établies pour les limnimètres placés entre Bâle et Strasbourg.

e) *Système de construction.*

En général, on a adopté le système de construction appliqué à la section régularisée entre Sondernheim et Strasbourg. Il comprend l'établissement d'épis et de seuils de fond dans le lit existant des eaux moyennes (voir fig. 15). Pas plus qu'en aval de Strasbourg, on ne peut envisager ici des digues parallèles continues. Le système adopté permet de tenir compte des circonstances locales qui se présentent lors de la formation du chenal par les ouvrages de resserrement. De courtes digues parallèles sont par contre prévues aux endroits où le chenal navigable projeté s'appuie à la rive. Celle-ci est ainsi mise à l'abri des affouillements, et l'on évite la

construction d'épis de quelques mètres de longueur seulement, incapables de résister suffisamment à l'action du courant. Le but principal de la régularisation est la création du chenal navigable de largeur et de profondeur suffisantes. Mais par suite de l'abaissement du fond entre Istein et Weisweil, et de l'alluvionnement entre Weisweil et Kappel, la régularisation doit également empêcher dans la mesure du possible, la continuation des affouillements ; elle doit s'opposer au charriage considérable d'alluvions dans le secteur en aval de Weisweil, et supprimer l'alluvionnement entre Weisweil et Kappel. La réduction du charriage de matériaux et la cessation du relèvement du fond libéreront la force de charriage des eaux, ce qui exposera à une action érosive le secteur actuellement alluvionné, ainsi que les parties qui lui succèdent en aval. Ici aussi, il faut donc garantir le plafond contre des érosions fâcheuses. On recourra, par conséquent, à un développement rationnel des sections et l'on augmentera la résistance du fond au moyen de seuils et d'épis. Tant isolément que dans leur ensemble, ces ouvrages devront faire face à l'attaque principale du courant et en neutraliser l'effet sur le plafond. Lorsque le charriage d'alluvions diminuera progressivement dans la direction de Kehl-Strasbourg, la régularisation existante entre Sondernheim et Strasbourg s'en ressentira favorablement, par suite de l'amélioration du chenal navigable en profondeur et en largeur. On peut compter obtenir avec certitude une profondeur de 2,50 m. en dessous de l'étiage équivalent. Le fort charriage de matériaux venant à cesser plus tard dans la section régularisée de Strasbourg-Kembs, une même profondeur minima y sera également obtenue. Lorsque cette profondeur sera atteinte entre Sondernheim et Mannheim, ainsi qu'au Binger Loch, la navigation pourra s'effectuer de Cologne à Bâle avec un mouillage minimum de 2,50 m. en dessous de l'étiage équivalent.

Les seuils de fond se placent à 3,0 m. de profondeur moyenne en dessous du plan d'eau rectifié. Dans le fleuve non régularisé, l'affouillement se produit également surtout aux endroits où le talweg s'appuie à la rive. Les seuils de fond sont, par conséquent, prévus aux sommets de courbure du chenal navigable projeté. Leur nombre et leur emplacement devront être fixés selon les besoins, au fur et à mesure de l'exécution des travaux. Dans la partie supérieure de la régularisation, qui présente les pentes les plus fortes, l'intervalle entre les seuils de fond sera de 60 m. ; vers l'aval, où les pentes sont plus faibles, l'intervalle sera porté à 70 m. Chaque second seuil forme le prolongement d'épis. Le plus fort intervalle entre deux épis consécutifs donne ainsi le double de la distance entre seuils de fond. Aux endroits où la direction actuelle du courant oblige le lit mineur à suivre la rive sur un plus long parcours, la distance de 70 m. entre les seuils de fond a été partiellement augmentée. Aux points d'inflexion, on plaça les têtes des épis à une profondeur de 0,25 m. au-dessous du plan d'eau rectifié. De là, l'épi

présente, vers le fond, une inclinaison de 1:15 et remonte vers la rive avec une pente de 1:50 à 1:100. En aval du point d'inflexion, l'inclinaison de la tête d'épi est diminuée sur le côté convexe et augmentée sur le côté concave de la courbe du chenal navigable. Aux sommets, cette inclinaison est de 1:20 et de 1:3. En outre, le niveau de la tête d'épi est abaissé de $-0,25$ m. à $-0,50$ m. sur le côté convexe ; sur le côté concave, il est relevé à $+0,50$ m. au-dessus du plan d'eau rectifié. Avec la largeur croissante du Rhin, la pente du couronnement entre la tête et la racine des épis diminue

Profils des ouvrages 1:200

Fig. 6. Epis

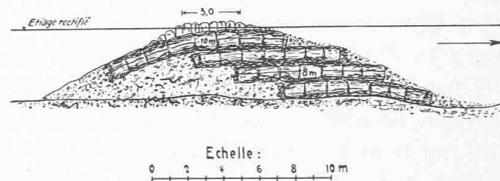
30 m de largeur en couronne
recouvert de pavés

Fig. 7. Epis

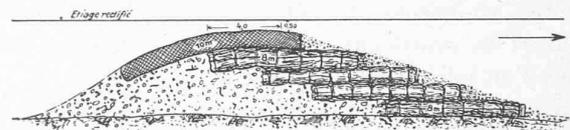
40 m de largeur en couronne
recouvert par des saucissons entrelissés

Fig. 8. Seuil de fond

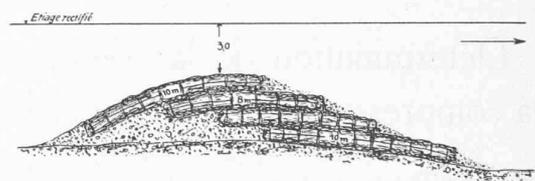


Fig. 15.

de 1:50 à 1:100. Les digues parallèles s'appuient à la rive avec une inclinaison de 1:3 ; à partir du sommet de la courbe du chenal navigable, cette inclinaison diminue vers l'aval et vers l'amont, pour se confondre avec celle des épis, à l'extrémité des digues. En général, la longueur de celles-ci correspond à 4 intervalles entre seuils de fond. En amont de Strasbourg, la hauteur des ouvrages se rapporte au plan d'eau rectifié de $+1,90$ m. au limnimètre de cette ville ; en aval, les ouvrages sont construits selon la cote $+1,50$ m. du même limnimètre. Le raccordement de la régularisation de la section Strasbourg-Brisach à la régularisation existante de Sondernheim à Strasbourg, nécessite une transition graduelle des hauteurs des ouvrages, ainsi que des dimensions iné-

gales du lit mineur. Les fig. 12 et 13 fournissent d'autres détails.

Durant les travaux, on réservera à la navigation des bassins de virage, entre autres en amont des ponts de bateaux. A ces endroits, on supprimera deux des épis prévus. Le maintien définitif de l'un ou de l'autre de ces bassins dépendra des besoins constatés.

Vers l'amont, le corps des épis aura un talus de 1 : 2, vers l'aval de 1 : 3. Selon la position des épis, la largeur de leur couronnement mesurera 3,0 ou 4,0 m. Les mêmes talus seront appliqués aux seuils de fond.

En général, on emploiera pour les ouvrages des corps immergés ayant la forme de saucissons de 8-10 m. de longueur, et de 0,9 à 1,0 m. de diamètre, enrobés de fascines. Grâce à cette enveloppe élastique, ces saucissons s'adaptent bien au sol et sont suffisamment résistants (voir fig. 2 et 3). Les deux rives fournissent les matériaux des fascines. Pour la construction des épis, la pose des saucissons nécessite un remplissage préalable de gravier, ainsi que le montre la fig. 15. Selon leur destination, le garnissage des saucissons se compose de moellons de dureté variable ou de gros galets (Wacken). Le poids moyen des moellons doit atteindre 60-100 kg., ce qui correspond à des dimensions de 0,30 à 0,50 m. Le couronnement des épis émergeant de l'eau, est renforcé par un pavage ou par un enrochement soigneusement exécuté. Au-dessous de l'étiage, le couronnement est recouvert de saucissons composés de moellons et enveloppés d'un solide treillis en fil de fer.

Sur toute la longueur de la régularisation, entre Strasbourg et Bâle, le dimensionnement du corps des ouvrages reste en général le même. Dans le secteur Brisach-Bâle, l'intervalle réduit entre les ouvrages tient compte de l'attaque plus prononcée du courant.

(A suivre.)

Détermination de la résistance à la compression des mortiers et bétons

par J. BOLOMEY, ingénieur-directeur des travaux d'aménagement des chutes de Barberine et Vernayaz (Chemins de fer fédéraux).

(Suite.)¹

Sans un regrettable accident de mise en page, la figure 5 qui illustre cet article aurait paru dans notre dernier numéro. R.É.D.

Composition granulométrique à densité maximale.

La densité apparente et le volume des vides ont été déterminés expérimentalement pour divers sables de rivière, gradués ou non. Les valeurs trouvées sont indiquées dans le tableau I ci-après.

Ce tableau permet de se rendre compte de l'importance qu'il y a à utiliser des matériaux convenablement gradués et à éviter l'emploi de sables et graviers de grosseur uniforme.

¹ Voir *Bulletin technique* du 4 juillet 1925, page 169.

TABLEAU I

Densité et compacité de sables et graviers

Diamètre des grains	Damé		Non damé		
	Densité apparente	% de vides	Densité apparente	% de vides	
Matériaux de rivière granulation uniforme	0-0.5 mm.	1.61	39	1.39	47.5
	0.5-1 »	1.63	38	1.41	47
	1-2 »	1.68	36	1.43	46
	2-5 »	1.62	39	1.49	44
	5-10 »	1.61	39	1.48	44
	10-25 »	1.58	40		
Sable gradué 0-25 »	1.85	30	1.65	38	
Gravier » 5-80 »	1.74	34	1.62	39	
S + G » 0-80 »	2.04	23	1.85	30	

Le volume des vides peut être réduit de 380 à 230 ou de 460 à 300 litres par m³, soit de plus du tiers, par l'amélioration de la composition granulométrique.

Le damage modéré fait diminuer de 5 % le volume du gravier et de 10 % celui du sable.

La densité apparente du mélange (S+G) est d'autant plus grande que l'échelle de graduation est plus étendue ; elle passe de 1,85 pour un sable de 0-5 mm. à 2,04 pour (S+G) de 0-80 mm. Elle est par contre sensiblement la même pour toutes les grosseurs de sables et graviers non gradués, soit environ 1,60.

Détermination de la granulation d'un sable à densité maximale.

Elle a été faite par la méthode suivante :

Un gravillon de 5-10 mm. a été mélangé dans des proportions variables avec des sables de diverses grosseurs en mesurant chaque fois le volume du mélange. Nous avons trouvé que la densité apparente est maximale si le grain du sable ajouté est le dixième de celui du gravillon. Il n'y a pas intérêt appréciable à diminuer le rapport des diamètres au delà du 1/10.

Le tableau ci-dessous donne le résultat d'un de ces essais :

TABLEAU II

Variation de la compacité suivant les proportions du mélange de deux sables non gradués

Poids du sable de rivière		Poids du mélange gr.	Volume du mélange tassé cm ³	Densité apparente mélange tassé	Vides en % du volume du mélange
5-10 mm.	0.5-1 mm.				
100	0	100	63.5	1.57	41
»	10	110	63.5	1.73	35
»	20	120	68.5	1.75	34
»	30	130	70.0	1.85	31
»	40	140	73.5	1.91	28
»	50	150	77.5	1.93	27
»	60	160	81.0	1.97	26
»	70	170	87.5	1.95	26.5
»	80	180	93.5	1.93	27.5
»	90	190	100.0	1.90	28
»	100	200	106.0	1.88	29