

4.

SUR L'AMÉLIORATION
DES
Rivières à fond affouillable
ET EN PARTICULIER
DE LA LOIRE

EXTRAIT DES *Nouvelles Annales de la Construction*

Recueil mensuel fondé en 1855 par **OPPERMAN**, ingénieur des Ponts et Chaussées,

Gérant : **M. Ch. BÉRANGER**, ancien élève de l'École Polytechnique

Avril 1904. 6^e Série. Tome I

SUIVI D'UN

PROJET D'ESSAI

DES

Barrages obliques à vannes suspendues amovibles
(Système **AUDOUIN**)

DRESSÉ PAR

M. CHEMIN

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées en retraite

Ancien professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE **CH. BÉRANGER**, ÉDITEUR

SUCESSEUR DE BAUDRY ET C^{ie}

43, Rue des Saints-Pères

Même Maison à Liège, rue de la Régence, 21

1905



II - 354145

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316754

PKK - 0-10/2019

SUR L'AMÉLIORATION
DES
Rivières à fond affouillable

ET EN PARTICULIER
DE LA LOIRE

EXTRAIT DES *Nouvelles Annales de la Construction*

Recueil mensuel fondé en 1855 par OPPERMAN, ingénieur des Ponts et Chaussées,

Gérant : M. Ch. BÉRANGER, ancien élève de l'École Polytechnique

Avril 1904. 6^e Série. Tome I

SUIVI D'UN

PROJET D'ESSAI

DES

Barrages obliques à vannes suspendues amovibles

(Système AUDOUIN)

DRESSÉ PAR

M. CHEMIN

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées en retraite

Ancien professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE CH. BÉRANGER, ÉDITEUR

SUCESSEUR DE BAUDRY ET C^{ie}

45, Rue des Saints-Pères

Même Maison à Liège, rue de la Régence, 21

1905

SUR L'AMÉLIORATION

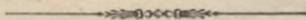
DES

Fleuves et Rivières à fond affouillable

Et en particulier de la **Loire**

EXTRAIT DES *Nouvelles Annales de la Construction*

Publiées à la Librairie Polytechnique Ch. BÉRANGER (6^e série, Tome I, avril 1904)



La mise à l'état de navigabilité des grands fleuves et rivières a, comme chacun le sait, une importance capitale au point de vue économique. Aussi les gouvernements des divers pays font-ils les plus louables efforts pour y arriver et les législatures votent-elles chaque année des sommes importantes pour cet objet.

Mais il est certains fleuves qui semblent jusqu'ici s'être montrés réfractaires à toutes les tentatives que l'on a faites pour les améliorer. Ce sont particulièrement ceux dont le fond mobile et affouillable présente en temps de crue un lit majeur énorme, qui se réduit en basses eaux à un chenal très restreint et où des hauts-fonds interposés entre des mouilles (parties plus profondes) rendent la navigation à peu près impossible, ou tout au moins extrêmement difficile pendant plusieurs mois de l'année.

De ce nombre est la Loire.

La question de la Loire navigable préoccupe depuis longtemps, et à juste titre, toutes les populations de l'Ouest de la France. Des dépenses considérables ont été faites pour canaliser quelques-uns des affluents de notre grand fleuve, tels que la Mayenne, la Sarthe, etc., mais elles sont restées jusqu'à présent à peu près improductives parce que la naviga-

tion sur le fleuve récepteur se fait généralement d'une manière irrégulière et toujours précaire.

Au moment où le Parlement vient de voter des fonds destinés à chercher, à titre d'expérience, la solution de cet important problème, il ne sera peut-être pas sans intérêt de faire connaître un système imaginé par L. Audouin, ancien élève de l'Ecole Polytechnique, capitaine d'artillerie mort récemment, et qui, par sa simplicité et les principes très rationnels sur lesquels il s'appuie, paraît mériter d'arrêter l'attention des ingénieurs et de toutes les personnes qui se préoccupent de cette difficile question.

Ce système a été dénommé par son inventeur : « *Barrage oblique à vannes suspendues amovibles* pour l'amélioration des rivières à fond affouillable. »

But à atteindre. — Le but à atteindre est d'assurer l'existence permanente d'un chenal continu, qui conserve, même pendant les plus basses eaux, un tirant d'eau suffisant pour livrer passage aux bateaux qui fréquentent le fleuve.

Etant donné que le débit de la Loire, en basses eaux, n'est guère que de 120 à 150 mètres cubes entre Angers et Nantes, tandis que la largeur du lit varie entre 350 et 500 mètres et plus, il est clair que le chenal ne peut avoir un tirant d'eau suffisant qu'à la condition d'affecter la forme d'une sorte de lit mineur de largeur restreinte.

Pour obtenir ce résultat, l'inventeur emploie des procédés différents, selon que le fleuve se partage en plusieurs bras, ou qu'au contraire il coule dans un lit unique. Aux endroits où le fleuve se partage en plusieurs bras, il en choisit un pour y diriger le chenal et il aménage l'entrée de ce bras de manière à y concentrer le volume d'eau nécessaire à l'existence d'un chenal, tout en dirigeant les apports sableux vers les autres bras. Aux points où le fleuve n'a qu'un seul bras, de largeur parfois considérable, mais de profondeur insuffisante, il provoque la création du lit mineur par l'exécution de travaux convenablement appropriés.

Utilisation de la force du courant. — C'est le courant lui-même qui sera amené à se creuser son chenal. La force ainsi mise en jeu a été étudiée, il y a de longues années, par M. Fargue, inspecteur général des Ponts et chaussées. Ses expériences l'ont conduit à formuler des conclusions qui peuvent se résumer ainsi :

« Toute surface résistante, heurtée plus ou moins obliquement par le courant, devient un centre de concentration de quantité de mouvement et, si le fond est mobile, d'affouillement. Il s'ensuit que, dans un fleuve sinueux, le chenal se creusera toujours le long de la rive concave.

« Mais la forme de cette rive n'est pas indifférente ; elle doit présenter une courbure régulière, sans variation brusque, et la succession des courbes doit être convenablement appropriée à la largeur du lit et à la vitesse du courant. Aux points d'inflexion du courant correspondent toujours des seuils qu'on peut faire disparaître en rétrécissant le lit en ces points. »

Ces principes sont évidemment applicables à la Loire, dont le fond, formé d'un sable fin, est aussi mobile que possible ; si donc les rives étaient corrigées suivant des courbes régulières et progressives convenablement appropriées, le chenal se creuserait le long des rives concaves et offrirait toujours en ces points un tirant d'eau suffisant pour la navigation. Mais il subsisterait des seuils aux points d'inflexion et la profondeur d'eau sur ces seuils résultant du tracé des rives serait insuffisante pour la navigation en basses eaux, à moins d'opérer un rétrécissement du lit aux points d'inflexion.

Ces rétrécissements du lit, s'ils ont l'avantage de supprimer au point considéré l'obstacle que le seuil apportait à la navigation, ont en revanche des inconvénients très graves. Ils provoquent toujours un abaissement du plan d'eau d'étiage, et par suite ils aggravent les difficultés de la navigation sur les seuils situés en amont. Ils n'ont en somme supprimé l'obstacle en un point que pour le reporter un peu plus haut en l'aggravant. D'ailleurs, sur la Loire, ces rétrécissements du lit auraient des inconvénients particuliers, parce que la violence des crues, déjà si terrible, serait rendue encore plus dangereuse.

La rectification des rives est donc incapable à elle seule de produire une amélioration complète des conditions de navigabilité d'un fleuve. Mais elle a néanmoins l'avantage de contribuer à une amélioration permanente en donnant au thalweg une direction à peu près constante, qui chemine de courbe concave en courbe concave, et une profondeur qui n'est insuffisante que sur les seuils et seulement pendant la période des basses eaux. Pour compléter cette amélioration, il suffirait donc de créer pendant la période des basses eaux un chenal artificiel au travers des seuils.

Pour que cette solution soit satisfaisante, il faut et il suffit qu'elle permette de creuser à travers les seuils un chenal de profondeur convenable et assez rapidement pour que la navigation soit toujours possible, tout en n'entraînant pas de modifications sensibles en amont et en aval et en ne changeant pas sensiblement le plan d'eau.

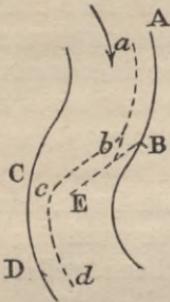


Fig. 1.

Barrage oblique. — Voyons comment on peut satisfaire à ces conditions. Considérons une partie sinueuse de la Loire et supposons que les rives aient été rectifiées comme on l'a dit plus haut. Les portions AB, CD (fig. 1) sont tracées en courbes régulières et il se produit naturellement des cuvettes profondes (des mouilles) de *a* en *b* et de *c* en *d*. Il s'agit de relier ces deux mouilles à travers le seuil pour former un chenal continu. Plaçons en BE une paroi oblique résistante : son obliquité va créer un centre d'affouillement. Mais en même temps elle rétrécit la section d'écoulement et la vitesse augmentera. Cette action s'ajoutant à la première, l'affouillement se produira le long de BE et d'autant plus vite qu'on aura donné au barrage plus d'obliquité et de longueur. Il sera toujours possible de choisir le tracé et la longueur de ce barrage de manière à obtenir l'affouillement nécessaire dans le temps qu'on voudra.

Barrage à vannes suspendues. — Voyons maintenant comment s'opérera cet affouillement et ce que deviendra le sable entraîné.

On sait que le sable, entraîné par le courant, est charrié pour la plus grande partie sur le fond du fleuve. Si des parcelles, formées de limon, sont mises en suspension, elles restent en proportions bien plus considérables dans les couches du fond qu'à la surface. (Rapport de M. GUÉRARD, ingénieur en chef à Marseille, au *Congrès de Navigation intérieure* de Paris 1892.) Dès lors, si, au lieu de former la paroi BE par un barrage reposant sur le fond, on le constitue avec des vannes maintenues à une petite distance du fond, il va s'établir sous le barrage un courant intense, qui produira un affouillement rapide en entraînant le sable *derrière le barrage* ; si ce courant de fond est réduit à une épaisseur assez faible par rapport à la hauteur totale de l'eau, il s'éteindra très vite dans la masse d'eau située derrière le barrage et le sable se déposera. On pourra à volonté produire ce dépôt à

une distance plus ou moins grande en augmentant ou diminuant la hauteur du passage laissé au courant sous les vannes.

Quant au phénomène de la concentration de quantité de mouvement, provoqué par le barrage oblique, il va se faire sentir sur une zone plus ou moins large, le long du barrage ; il en résultera un affouillement sur le fond, et le sable mis en mouvement, roulant sur ce fond, viendra tomber dans l'excavation profonde creusée sous le barrage et il passera à son tour derrière ce dernier.

Ainsi la plus grande partie du sable entraîné viendra se déposer derrière le barrage et formera une grève, précisément devant la rive convexe, ce qui est sa place naturelle, d'où le courant ne tendra pas à le déloger, même dans les grandes eaux, quand les vannes du barrage seront enlevées ; car le barrage a été placé précisément au point où la force naturelle d'affouillement du courant cesse d'être suffisante par elle-même.

Une très faible quantité de sable sera entraînée parallèlement au barrage ; il ira se déposer à l'aval de celui-ci, dans la zone qu'il met en dehors du courant, et il en tombera infiniment peu dans la mouille *cd*, qui n'en sera pas sensiblement modifiée.

Tous ces phénomènes ont été vérifiés par une expérience (d'ailleurs imparfaite), exécutée sur la Loire en juillet 1897, lorsque les eaux n'étaient qu'à 0 m. 80 au-dessus de l'étiage. L'affouillement produit par le courant passant sous des vannes légèrement soulevées a atteint rapidement en quelques jours une profondeur voisine de 1 mètre. Quant à la zone dans laquelle s'est fait sentir la concentration de la quantité de mouvement, elle a embrassé une largeur de 30 à 40 mètres, et le profil en travers y a pris une régularité semblable à celle d'un canal artificiel.

En opérant en eaux moyennes, c'est-à-dire par 2 mètres au-dessus de l'étiage, l'affouillement aurait plus de profondeur et la largeur de la zone affouillée serait un peu augmentée.

Il importe de remarquer que cette zone affouillée est relativement étroite, et c'est là un fait heureux, parce qu'ainsi le seuil ne se trouve pas complètement dérasé ; il est simplement traversé par un chenal étroit et profond, analogue aux dragages en sillon préconisés par M. Pasqueau pour les travaux de la Garonne. Ces sillons ne modifient pas beaucoup

la section mouillée de la rivière en basses eaux, et par suite ils ont l'avantage de donner plus de profondeur d'eau, sans provoquer l'abaissement du plan d'eau d'étiage.

Ainsi, quand les rives naturelles présentent un tracé se rapprochant du tracé normal, indiqué par M. Fargue, on pourra, par des travaux simples et peu coûteux, donner aux rives concaves des courbures régulières et progressives. Dès lors on obtiendra un chenal continu, toujours navigable, en rectifiant les rives concaves et en plaçant *temporairement* près des points d'inflexion un barrage oblique amovible à vannes suspendues réglables.

Ce procédé aura, sur ceux actuellement en usage, l'avantage de ne pas provoquer le dérasement permanent des seuils ; il y creusera seulement un sillon étroit et profond, modifiant peu la section mouillée ; par suite, il ne troublera pas l'état du fleuve en amont, tout en donnant au point amélioré un tirant d'eau satisfaisant pour tous les besoins de la navigation.

Il aura en même temps l'avantage d'être plus économique que les autres procédés et, dans le cas des crues, de n'apporter aucun obstacle au libre écoulement des eaux ; car on comprend, sans autre explication, que les vannes pourront être rapidement enlevées dans ce cas, et qu'il ne restera que les pieux qui leur servaient d'appui et qui ne gêneront en rien le régime de ces grandes eaux.

Nous ajouterons, du reste, que l'inventeur a prévu aussi le cas où l'on ne voudrait rien laisser de permanent dans le lit du fleuve et qu'il a aussi étudié un dispositif spécial pour soutenir les vannes par des supports flottants, pouvant par suite se transporter d'un point à un autre du cours d'eau.

Nous ne nous étendrons pas sur les cas où le fleuve présente plusieurs branches et où l'une d'elles seulement doit être améliorée.

Il importe de remarquer que les travaux de correction de rives dont nous avons jusqu'ici parlé s'appliquent aux rives naturelles ; quand il deviendra nécessaire de substituer à ces dernières un ouvrage artificiel, celui-ci devra toujours être élevé à la hauteur moyenne des rives, c'est-à-dire à 3 mètres ou 3^m50 au-dessus de l'étiage. C'est là une condition essentielle pour obtenir les effets d'affouillement prévus ; car c'est seulement à l'époque des eaux moyennes que le chenal peut être régularisé d'une manière durable, ainsi que le disait

M. Jacquet, inspecteur général des Ponts et Chaussées, dans un rapport au Congrès International de l'utilisation des eaux fluviales en 1889 :

« L'action que les eaux exercent sur le lit dépend de leurs débits, et, pour chaque débit, de sa durée. L'état qui a le plus de permanence correspond à des débits moyens, assez forts pour agir sensiblement sur le fond et assez durables pour que cette action soit efficace. Les grandes eaux et celles d'étiage ne sont pas celles qui donnent aux hauts-fonds ou plus généralement au lit du fleuve les formes et le relief qu'on observe aux basses eaux. L'effet produit par les grandes crues est modifié par des eaux moins élevées qui leur succèdent et qui déterminent la forme définitive qui persiste après chaque crue. Ces eaux intermédiaires, supérieures à l'étiage, sont réellement régulatrices du lit d'étiage, et c'est sur elles qu'il convient de se baser pour étudier la limite d'action du lit mineur à créer. »

Sur la Loire, lorsque les eaux s'abaissent à 1^m50 au-dessus de l'étiage, la vitesse du courant est à peine égale à 1 mètre et la force d'affouillement n'est plus considérable. C'est par les eaux de 2 à 3 mètres, dont la durée se prolonge généralement assez longtemps, qu'il faut faire produire les effets d'affouillement destinés à créer le chenal.

Les ouvrages bas trop longtemps submergés sont d'ailleurs à proscrire dans l'ordre d'idées qui nous occupe. Dès qu'une paroi oblique heurtée par un courant est submergée, elle cesse d'être forcément une cause d'affouillement. Ce fait a été observé très nettement sur la Loire en 1897, notamment en amont d'Ingrandes.

Résumé. — En résumé, le procédé de M. Audouin pour améliorer les rivières à fond affouillable consiste essentiellement à demander à la rectification des rives du lit moyen, complétée au besoin par des épis plongeants rattachés à la rive convexe, une amélioration permanente, qui n'est que partielle et serait insuffisante en basses eaux, et à compléter cette amélioration par la création d'un sillon artificiel à travers les seuils, mais seulement pendant les basses eaux.

Le moyen proposé pour créer ce sillon constitue en lui-même une innovation dont l'intérêt est général. Il pourrait trouver aussi une application avantageuse pour l'amélioration des fleuves qui débouchent dans des mers sans marée. L'espèce de décantation et d'emmagasinement des matières

sédimentaires qu'il peut provoquer tout le long du cours d'un fleuve important de ce genre aurait pour effet subsidiaire de retarder, dans une certaine mesure, l'avancement des deltas, en diminuant les apports qui vont les constituer.

Il y a évidemment là une idée nouvelle et fort simple, dont l'importance n'échappera à personne.

PROJET D'ESSAI

DES

BARRAGES OBLIQUES A VANNES SUSPENDUES AMOVIBLES

(Système AUDOUIN)

DRESSÉ PAR

M. CHEMIN

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées en retraite
Ancien professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées

Le projet que nous présentons a pour but de démontrer le fonctionnement pratique des Barrages à vannes suspendues (système AUDOUIN), pour l'amélioration des rivières à fond mobile.

Tous les ingénieurs connaissent les difficultés que présente la solution de ce problème. Pendant longtemps les tentatives de toutes sortes qui ont été faites à ce sujet sont restées à peu près stériles, et l'on peut dire que ce n'est réellement que depuis les recherches et travaux de M. l'inspecteur général FARGUE qu'on a pu déterminer les conditions dans lesquelles les améliorations doivent être tentées et qu'on a pu les réaliser effectivement. Les exemples du Rhône et des grands fleuves allemands montrent tout le parti qu'on a tiré.

Toutefois certains fleuves présentent des difficultés tout à fait exceptionnelles. Parmi ceux-ci, il faut citer d'une manière toute particulière la Loire. On se trouve ici en présence d'un lit majeur limité par des digues qu'on s'est efforcé de rendre insubmersibles, entre lesquelles doivent être théoriquement contenues les eaux des grandes crues extraordinaires, et qu'on ne peut laisser rompre ni surmonter, sous peine de causer les plus grands désastres dans les régions voisines plus basses qu'elles sont chargées de protéger.

On ne peut donc songer à établir ici, dans le lit ainsi constitué, d'ouvrages permanents qui concentreraient les eaux dans un lit déterminé à l'avance ; car ils auraient pour con-

séquence de diminuer la section d'écoulement, déjà à peine suffisante pendant les crues extraordinaires. D'autre part, pendant la période des basses eaux, le débit se réduit tellement que toute navigation devient impossible si l'on ne peut pas amener toutes les eaux dans un lit mineur de section suffisamment restreinte pour que cette faible quantité d'eau puisse néanmoins assurer le passage des bateaux qui fréquentent le fleuve et y rendre leur croisement possible.

Il résulte de ces conditions multiples que les solutions qui ont pu être adoptées ailleurs et qui y ont donné des résultats satisfaisants rencontrent ici des difficultés d'un ordre tout spécial et qu'il est presque impossible de prévoir à l'avance si elles seront ou non couronnées de succès.

Le système imaginé par feu le capitaine Audouin, et dont nous proposons aujourd'hui l'essai pratique, paraît devoir se montrer efficace là où les autres moyens ne pourraient que difficilement ou imparfaitement réussir. Les principes sur lesquels il repose ne sont en somme que des applications heureuses et raisonnées de ceux que M. Fargue a formulés. Nous ne les développerons pas ici et nous renverrons pour leur exposé à la brochure où ils sont clairement décrits (1). Mais avant de parler de leur application, il sera bon de développer quelques considérations générales, qui se rattachent plus spécialement à la Loire.

Quand on jette les yeux sur des plans de sondages successifs de ce fleuve exécutés à différentes époques et avec le plus grand soin par les ingénieurs du Service spécial de la Loire, on ne peut manquer de reconnaître, au milieu des changements secondaires incessants que les eaux impriment au modelé du fond, certains traits caractéristiques qui paraissent rester constants ou qui varient dans des limites peu étendues. Ce sont les positions des mouilles ou parties profondes et des maigres, seuils ou hauts-fonds qui les séparent. On peut constater, disons-le en passant, que les lois formulées par M. Fargue trouvent encore ici leur vérification. Les mouilles sont généralement le long des rives concaves, les hauts-fonds sont aux points de passage de deux mouilles, c'est-à-dire aux points d'inflexion qui séparent deux courbes

(1) Cf. *Esquisse d'un nouveau système d'amélioration des rivières à fond mobile*, par L. AUDOUIN, capitaine d'artillerie breveté. Paris, Librairie Polytechnique Ch. Béranger, éditeur.

concaves consécutives, mais de sens inverse. Le lit du fleuve est donc formé d'une série d'échelons dont les mouilles et les maigres constituent les emmarchements.

Pour assurer la navigabilité en basses eaux, il est donc nécessaire de rendre possible le passage d'une mouille à la suivante ; mais il faut le faire dans des conditions telles que l'étiage de la mouille amont ne se trouve pas sensiblement modifié par les travaux que l'on aura exécutés. Sans quoi, l'amélioration d'un passage difficile aura pour conséquence forcée d'aggraver l'état de la région située en amont et, par suite, de rendre plus difficiles les travaux qu'on devra y faire. On n'aura fait que déplacer la difficulté d'un point à un autre.

Si le débit en basses eaux restait toujours suffisamment important, on conçoit qu'en réunissant et en concentrant toutes les eaux, on pourrait diminuer dans une certaine mesure les effets fâcheux que nous signalons, sans néanmoins les faire disparaître complètement. Mais comme tel n'est pas le cas sur la Loire, il s'ensuit logiquement que les passages à réaliser doivent tout naturellement présenter la profondeur nécessaire pour la navigation et avoir aussi une largeur suffisante pour assurer toujours le facile croisement des bateaux, mais qu'il serait imprudent et que ce serait même aller à l'encontre du but à atteindre que de chercher à déterminer en ces points des chenaux de plus grande largeur qu'il n'est strictement nécessaire, parce que les basses eaux normales seraient impuissantes à les remplir et que, par suite, on n'aurait réalisé aucune amélioration locale, tout en ayant plutôt aggravé l'état général.

D'après ce qui précède, le but à atteindre est donc de ménager d'une mouille à l'autre des passages de largeur et de profondeur strictement suffisantes et de réaliser ces desiderata par le moyen d'ouvrages qui n'encombrent pas le lit du fleuve quand celui-ci est en crue.

C'est ce double résultat que procurera l'application raisonnée du système Audouin. Les expériences faites à Montjean en 1897, dans des conditions assez précaires, ont néanmoins démontré que la création d'un chenal dans les conditions que nous venons d'énumérer plus haut a été facilement et rapidement réalisée. Un certificat du Gérant de la Société des houillères, carrières et fours à chaux de Montjean, en témoigne au point de vue pratique. Les profils relevés par M. Audouin l'établissent également. Mais comme ces faits ont

manqué de sanction officielle par suite d'une absence de contrôle, la Société d'amélioration de la navigabilité des rivières, qui s'est constituée pour faire connaître et propager le système Audouin, a pensé qu'un nouvel essai, entouré cette fois de toutes les garanties désirables de sanction, établirait d'une manière indiscutable les avantages qu'on réclame pour ce système. C'est pour répondre à ces vues, et d'accord avec le Service des Ponts et Chaussées, que nous avons dressé le présent avant-projet.

L'emplacement a été choisi, d'un commun accord, un peu en amont de l'embouchure de la Maine dans la Loire, sur la rive gauche de cette dernière. Les travaux à faire partiront un peu au-dessus de la borne 558. La rive présente en ce point une mouille avec une courbure assez prononcée pour que le chenal s'y maintienne constamment à une bonne profondeur. Le barrage continuera la courbure de la rive à travers un haut-fond qu'il s'agira de creuser en se dirigeant vers la mouille suivante, qui se trouve à la pointe aval de l'île aux Dames.

On se trouve ici dans le cas de ce que M. l'ingénieur en chef Girardon appelle « un mauvais passage » ; car, en plan, les mouilles chevauchent l'une par rapport à l'autre, et le passage de l'une à l'autre (quand il est possible) s'effectue actuellement suivant une direction à peu près normale à celle du lit du fleuve.

Le barrage, dont l'emplacement et la direction générale ont été arrêtés de concert avec les Ingénieurs du service de la Loire, aura une longueur totale de 500 mètres. La première partie, longue de 250 mètres, constitue une rectification de la rive gauche du fleuve qu'elle prolonge dans le lit élargi en ce point et avec laquelle elle se raccorde tangentiellement. Elle sera faite en clayonnages, retenus par des pieux ayant 3 m. 50 de fiche et 1 m. 80 d'écartement, avec petits pieux intermédiaires de 1 mètre à 1 m. 50 de fiche.

La deuxième partie aura une longueur de 250 mètres. Elle sera formée de pieux de 0, 25 de diamètre moyen, de 7 m. à 7 m. 50 de longueur, distants les uns des autres de 1 m. 80 et qui seront battus de manière que leurs têtes soient à une hauteur uniforme de 2 mètres au-dessus de l'étiage. Ils auront en moyenne de 4 m. 50 à 5 mètres de fiche ; ils seront réunis en tête par un double cours de moises. Ils seront également reliés par une autre moise inférieure, retenue sur eux par des colliers et descendue à 2 mètres au-dessous des premières.

Elle sera posée dans l'eau. Chaque élément aura 5 m. 70 de longueur, pour pouvoir s'appuyer sur quatre pieux consécutifs. C'est sur ces moises que seront portées les glissières destinées à recevoir et à guider les vannes.

Afin de parer aux irrégularités inévitables dans des batages de pieux, ces glissières, distantes de 0 m. 90 les unes des autres, seront placées entre les pieux voisins et descendront jusqu'au fond ou dans son voisinage. Elles recevront les vannes, qui seront elles-mêmes formées de deux parties, l'une fixe, l'autre mobile, ayant toutes les deux 0 m. 80 de largeur. La vanne fixe, longue de 2 m. 50, descendant dans la première glissière, sera maintenue en place fixe au moyen de broches en fer implantées dans sa partie supérieure. Elle ne sera bougée et, au besoin, retirée que quand les eaux seront assez grandes pour que l'effacement du barrage s'impose afin de n'apporter aucun obstacle à leur libre écoulement.

La partie mobile, haute de 1 m. 60, se déplacera dans une autre glissière superposée à la précédente et disposée de telle manière que sa face postérieure puisse se mouvoir sur la face antérieure de la vanne fixe. Une tige fixée en son milieu permettra de la descendre au fur et à mesure que les approfondissements se produiront, afin de conserver toujours sous elle une lame d'eau dont la force vive continue à effectuer le creusement du fond et le transport des déblais à l'arrière, ainsi qu'il est exposé dans le mémoire du capitaine Audouin. Pour ce premier essai, les vannes, aussi bien fixes que mobiles, ont été prévues en bois. Mais plus tard, pour des applications en grand, elles pourront être faites en tôle et fer.

La pose et la manœuvre de ces deux genres de vannes s'effectueront normalement au moyen de bateaux accostés à l'arrière de la ligne des pieux. Les matériaux charriés par la Loire se composent presque uniquement de sables, qui cheminent sur le fond et n'entrent en suspension que dans les très grandes crues ; on n'a donc pas à craindre que les glissières viennent à s'engorger et, par suite, à rendre les manœuvres difficiles ou impossibles. Il convient de remarquer qu'elles seront toujours des plus simples, étant données les dimensions restreintes des vannes ; si d'aventure elles ne pouvaient pas se faire à la main, ainsi que cela doit avoir lieu normalement, elles seront toujours réalisables au moyen de leviers ou de crics venant prendre leur point d'appui sur les cours de moises supérieures.

L'enlèvement total de tous les vannages ne devra être pratiqué qu'en grandes eaux, comme nous l'avons déjà dit, et quand leur maintien dans le lit majeur pourrait apporter à l'écoulement de ces dernières un obstacle de nature à amener des perturbations dangereuses. Le reste du temps, ils devront rester en place jusqu'à ce que la traversée du haut-fond se soit régulièrement pratiquée, maintenue et qu'elle ait été fixée.

On sait en effet que l'un des résultats de l'établissement du système consistera dans la création à l'arrière des vannes d'une grève, dont la hauteur ira successivement en augmentant jusqu'à une cote variable, dans chaque cas, suivant les circonstances locales.

Cette grève devra être défendue et fixée progressivement par les moyens ordinairement en usage, épis, clayonnages noyés, plantations, etc. Comme elle épouse très sensiblement en plan la forme du barrage et que celui-ci, de son côté, détermine le tracé du chenal que l'on crée, on voit qu'elle constituera en quelque sorte la rive en lit mineur du chenal ainsi pratiqué, et, une fois bien et dûment fixée, elle servira à continuer d'assurer sa direction et son régime, quand le barrage aura été enlevé pour être utilisé dans un autre endroit.

Quand les eaux seront grandes et dépasseront le sommet du barrage, ce dernier ne sera jamais un danger pour la navigation, car ses pieux pourront servir à porter un certain nombre de balises qui jalonneront son emplacement et l'indiqueront de loin aux bateliers, si la navigation est encore possible.

Il convient de remarquer que, dans notre système, et par des eaux moyennes, le chenal sera creusé dans un temps relativement court ; il sera fixé ensuite. La navigation pourra s'en servir immédiatement, et c'est précisément ce qui s'est produit à Montjean en 1897. Au contraire, par l'emploi d'épis noyés, ce n'est souvent qu'après un temps assez long que le chenal qu'on veut déterminer devient utilisable, si tant est qu'il se réalise avec les profondeurs prévues. Ici la réalisation est certaine et pour ainsi dire immédiate.

On nous permettra d'insister sur ce que l'essai dont il est question ici n'a pas pour but immédiat de transformer en un bon passage tout le seuil qui existe à l'aval de la borne 558. Les ressources dont nous disposons ne nous permettent pas d'entreprendre ce travail dans toute son étendue. Ce que nous cherchons surtout, c'est à démontrer que le système

fonctionne bien ainsi qu'on l'a représenté, et que sa mise en œuvre sur des points difficiles donne la solution que d'autres ne peuvent pas fournir, tout au moins dans des conditions aussi bonnes de rapidité et de sécurité.

La dépense prévue monte à 22.000 francs. La Société doit demander le concours de l'Etat pour mener à bien cette épreuve, qui intéresse à un si haut degré toutes les régions que traverse la Loire. Nous ne doutons pas qu'il soit accordé, ainsi qu'il a été fait pour les essais plus importants qui sont actuellement en cours d'exécution entre l'embouchure de la Maine et Chalonnes.

Angers, le 9 février 1905.

O. CHEMIN,

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées en retraite,
Ancien professeur à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées.

Pièces annexes

I. Essais de *Barrages mobiles obliques*, exécutés sur la Loire à Montjean, en 1897, — article publié dans le « Figaro » du 11 juillet 1897 :

« Angers. — La Commission nommée par le Ministère des Travaux publics pour étudier la question de la Loire navigable, sous la présidence de M. l'inspecteur général Fargue, s'est rendue aujourd'hui à Angers et est descendue en bateau à vapeur d'Angers à Nantes. Elle s'est arrêtée à Montjean, où l'attendaient MM. le vicomte de la Bourdonnaye et Laurent Bougère, députés de Maine-et-Loire, pour étudier les effets d'un système de barrages mobiles, expérimenté par M. Audouin. Ces barrages, formés de panneaux soutenus par des pieux, placés là depuis deux jours, sur une ligne oblique, avaient produit déjà un affouillement de plus d'un mètre.

« La batellerie utilise déjà le chenal ainsi obtenu, de préférence au chenal naturel que jalonnent les balises et qui est d'une profondeur moindre. »

II. Extrait du Discours prononcé le 24 juillet 1903, par M. le général VILLIEN, commandant l'École polytechnique et membre du Comité technique de l'artillerie, aux obsèques de Louis AUDOUIN, ancien élève de l'École polytechnique, capitaine d'artillerie breveté, chevalier de la Légion d'honneur, décoré de la médaille du Tonkin :

« ... AUDOUIN n'était pas seulement un officier d'artillerie « complet. Il était en même temps un ingénieur des plus « distingués, un remarquable polytechnicien. Le métier « pourtant si complexe de l'artilleur ne suffisait pas toujours « à occuper les journées et aussi les nuits de ce travailleur « acharné. Il avait constamment plusieurs chantiers ouverts, « et c'est ainsi qu'au moment où la maladie est venue le ter- « rasser, il mettait la dernière main à un grand projet, si « judicieusement étudié dans les moindres détails que l'exé- « cution semble devoir s'en imposer, si l'on veut résoudre « enfin une question depuis longtemps à l'étude, qui est celle « de la *Navigabilité de la Loire*. AUDOUIN songeait même à « employer ses procédés, aussi simples qu'ingénieux, pour « débarrasser d'autres fleuves, tels que le Mississipi, des « sables qui gênent la navigation à leur embouchure. »

III. Appréciation de M. FARGUE, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, sur le Système de « *Barrages obliques à vannes suspendues amovibles* » (Lettre du 17 oc-

tobre 1903 à M. E. AUDOUIN, professeur à l'Université de Poitiers) :

« On sait depuis longtemps que, sur la Loire comme sur toutes les rivières à fond mobile, le débit solide est pres que en totalité traîné sur le fond, tandis qu'à la surface on ne trouve que peu ou pas de sable, et seulement les limons les plus ténus.

« Mais ce qui, je crois, est nouveau, c'est le dispositif ingénieux à l'aide duquel l'auteur utilise ce fait pour éviter l'ensablement du chenal navigable. C'est très séduisant et il est désirable que l'expérience confirme les espérances qu'on en peut concevoir. »

IV. Vœux émis en faveur d'un essai sur la Loire des « *Barrages obliques à vannes suspendues amovibles* » (Système AUDOUIN) :

1^o Vœu émis à l'issue d'une Conférence faite à Angers le 12 avril 1904, par M. CHEMIN, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, en présence des délégués des Comités de la Loire navigable :

« Les personnes présentes à la Conférence faite le 12 avril à Angers, par M. Chemin, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, ancien professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées, sur « *Les améliorations des rivières à fond mobile, et en particulier de la Loire* »,

« Considérant que le Parlement, sans vouloir se prononcer dès à présent sur le choix d'une solution définitive pour l'établissement d'une voie navigable de Nantes à Orléans, a décidé qu'il serait fait des essais de mise en état de navigabilité de la Loire ; que, conformément à cette décision, l'Administration des Ponts et Chaussées se propose de faire exécuter entre Angers et Nantes des travaux de régularisation pour l'obtention d'un chenal navigable ;

« Considérant qu'il y a intérêt à expérimenter les divers systèmes susceptibles d'assurer le succès ;

« Considérant qu'un nouveau procédé d'amélioration des rivières à fond mobile a été inventé récemment par le capitaine d'artillerie breveté AUDOUIN sous le nom de « *Barrages obliques à vannes suspendues amovibles* » ; que ce procédé paraît de nature à offrir certains avantages et qu'il est désirable que l'expérience confirme les espérances qu'on en peut concevoir ;

« Emettent le vœu que, sans modifier ni retarder les essais projetés antérieurement, ce procédé puisse être aussi expérimenté, sur une autre section, et que M. le Ministre des Travaux publics veuille bien déterminer dans quelles conditions cette expérience pourrait être faite. »

2^o Un vœu identique a été émis par la **Chambre de Commerce d'Angers** dans sa séance du 17 mai 1904, et par la **Chambre de Commerce de Laval** dans sa séance du 28 mai 1904.

3^o Vœu de la **Chambre de Commerce d'Orléans et du Loiret** (Séance du 3 juin 1904) :

« La Chambre de Commerce d'Orléans et du Loiret,
« Considérant que le Parlement... (mêmes considérants que
« plus haut),

« Emet le vœu que, sans modifier ni retarder les essais pro-
« jetés antérieurement, ce procédé puisse être aussi expéri-
« menté.

« Elle exprime le vif désir que cette expérience soit faite
« sur une section de la Loire située entre Angers et Orléans,
« selon les instructions qui seront données par M. le Ministre
« des Travaux publics. »

Un vœu identique a été émis par la **Chambre de Commerce de Poitiers** dans sa séance du 8 juin 1904.

4^o Vœu de la **Chambre de Commerce de Saumur** (Séance du 15 juin 1904) :

« La Chambre de Commerce de Saumur,
« Considérant que le Parlement... (mêmes considérants que
« plus haut),

« Emet le vœu que, sans modifier ni retarder les essais
« projetés antérieurement, ce procédé puisse être aussi expé-
« rimenté en amont des Ponts-de-Cé et dans la section des
« Ponts-de-Cé à Saumur. »

5^o Vœu de la **Chambre de Commerce de Saint-Nazaire** (Extrait du procès-verbal de la séance du 6 octobre 1904) :

M. le Président donne communication d'une lettre de M. Audouin, secrétaire général du Comité Poitevin de la Loire navigable, appelant l'attention de la Chambre de Commerce sur le nouveau système d'amélioration des rivières à fond mobile, telles que la Loire, inventé par son frère, ancien élève de l'Ecole polytechnique, capitaine d'artillerie breveté.

Ce nouveau procédé est connu sous le nom de « *Barrages obliques à vannes suspendues amovibles* ».

M. le Président dit qu'il résulte des renseignements qui lui ont été fournis, ainsi que de l'examen auquel il a pu lui-même se livrer par la brochure explicative qui accompagnait la lettre de M. Audouin, que le système dont il s'agit paraît de nature à offrir certains avantages et qu'il est désirable que l'expérience puisse en être faite au plus tôt. Il prie, en conséquence, ses collègues de vouloir bien exprimer un vœu dans ce sens.

Cette proposition est appuyée tout particulièrement par M. Creston, qui, en sa qualité de président du Comité de la Loire navigable à Saint-Nazaire, fait remarquer que le système Audouin est précisément appelé à donner à la Haute Loire une profondeur suffisante pour assurer la navigation

des grandes allèges, sans aucun transbordement du départ de Saint-Nazaire, ainsi que l'avait demandé son Comité. Il rappelle que la Chambre de Commerce elle-même avait pris, dans le temps, une délibération identique.

Après échange d'explications,

« La Chambre,

« Considérant que l'intérêt supérieur qui s'attache à la
« réussite de l'œuvre de l'approfondissement de la Haute
« Loire exige l'expérience des divers procédés susceptibles
« d'en assurer le succès ;

« Considérant que le système AUBOUIN, dit « *Barrages obli-*
« *ques à vannes suspendues amovibles* », lui semble particu-
« lièrement de nature à pouvoir assurer en Loire les profon-
« deurs désirables ;

« Vu la délibération par laquelle elle demandait une pro-
« fondeur minima de 2 mètres, afin d'éviter aux allèges
« venant de la mer un transbordement onéreux en cours de
« route ;

« Emet le vœu que le système dont il s'agit soit expéri-
« menté sur une section quelconque de la Loire (en amont
« du confluent de la Maine, si possible), et fait appel, à ce
« sujet, à toute la sollicitude de M. le Ministre des Travaux
« publics ».

6^o Vœu du **Conseil général de la Loire-Inférieure** (Session d'août 1904) :

« Le Conseil général,

« Considérant que le Parlement a décidé qu'il serait fait
« des essais de mise en état de navigabilité de la Loire ; que,
« conformément à cette décision, l'Administration des Ponts
« et Chaussées se propose de faire exécuter entre Angers et
« Nantes des travaux de régularisation pour l'obtention d'un
« chenal navigable ;

« Considérant qu'il peut y avoir intérêt à expérimenter les
« divers systèmes susceptibles d'assurer le succès ;

« Considérant qu'un nouveau procédé d'amélioration des
« rivières à fond mobile a été récemment inventé par le capi-
« taine d'artillerie breveté AUBOUIN, sous le nom de *Barrages*
« *obliques à vannes suspendues amovibles* ; que ce procédé
« pourrait offrir certains avantages et qu'il est désirable que
« l'expérience confirme les espérances qu'on peut en conce-
« voir ;

« Emet le vœu que, sans modifier ni retarder les essais pro-
« jetés antérieurement, ce procédé puisse être aussi expéri-
« menté sur une autre section, en amont de la première, et
« que M. le Ministre des Travaux publics veuille bien déter-
« miner dans quelles conditions cette expérience pourrait
« être faite, étant entendu que la dépense occasionnée par
« elle ne sera pas prélevée sur les fonds destinés aux essais
« projetés antérieurement, mais bien sur des ressources spé-
« ciales. »

Un vœu analogue a été émis par le **Conseil général de la Mayenne**, dans sa séance du 19 août 1904.

7^o Vœu du **Conseil général de la Sarthe** (Séance du 19 août 1904. Extrait du procès-verbal).

M. MASCAREL donne lecture du rapport suivant :

« Messieurs,

« Votre Commission des Routes a été saisie d'une demande
« de M. AUDOUX, professeur à la Faculté des lettres de Poi-
« tiers, tendant à faire étudier par l'Administration un pro-
« cédé nouveau d'amélioration des rivières à fond mobile,
« telles que la Loire, inventé par son frère le capitaine Au-
« doux et qui a été soumis à M. le Ministre des Travaux pu-
« blics.

« Cette demande est appuyée par les délibérations des
« Chambres de Commerce de Poitiers, d'Angers, de Saumur,
« de Laval, d'Orléans.

« Votre Commission des Routes, dans l'intérêt même de
« l'avenir de la question de la Loire navigable,

« Considérant qu'il y a intérêt à expérimenter les divers
« systèmes susceptibles d'en assurer le succès, donne un avis
« favorable au vœu qui lui a été présenté; demande que, sans
« modifier ni retarder les essais projetés antérieurement, le
« procédé du capitaine AUDOUX puisse aussi être expérimenté
« et que M. le Ministre des travaux publics veuille bien dé-
« terminer dans quelles conditions cette expérience pourrait
« être faite. »

Les conclusions du rapport sont adoptées.

8^o Vœu du **Conseil général d'Indre - et - Loire**
(Séance du 25 août 1904. Extrait du procès-verbal).

Sur rapport de M. BIENVENU, le Conseil général adopte le
vœu suivant :

« Le Conseil général,

« Considérant que la mise en état de navigabilité de la
« Loire serait de la plus haute importance,

« Emet le vœu que le nouveau procédé d'amélioration des
« rivières à fond mobile inventé par le capitaine d'artillerie
« AUDOUX soit expérimenté sur une section de la Loire ».

V. Subvention du **Conseil général de la Vienne**
(Séance du 1^{er} septembre 1904. Extrait du procès-verbal).

M. Poulle, au nom de la Commission des Finances, donne
lecture du rapport suivant :

« ... Il n'est point douteux que, si la question de la navi-
« gabilité de la Loire était résolue, la question de la navi-
« gabilité de la Vienne pourrait elle-même se rapprocher
« d'une solution favorable, qui présenterait pour toutes les
« populations traversées par la Vienne un intérêt incontes-
« table autant que considérable.

« Votre Commission a pensé que le département de la
« Vienne ne pouvait pas se désintéresser de l'essai qui allait
« être tenté, qu'il pouvait et devait même lui donner un
« appui moral et effectif. Aussi votre Commission des Fi-
« nances vous propose-t-elle de voter une somme de 500 fr. et
« de décider l'inscription de cette somme au budget supplé-
« mentaire de 1904, ainsi que son mandatement au nom de
« M. AUDOIN. »

Conclusions adoptées.

VI. Subvention du **Conseil général de Maine-et-Loire** (Séance du 2 septembre 1904. Extrait du procès-verbal).

M. le comte DE TERVES présente un rapport dont voici la teneur :

« ... Le dossier remis au Conseil général contient un
« certain nombre de vœux sollicitant l'Administration de
« vouloir bien, en même temps que les essais se poursuivent
« vers Chalonnnes, faire expérimenter sur un point à déter-
« miner, en amont de l'embouchure de la Maine, le système
« préconisé par M. le capitaine d'artillerie breveté AUDOIN,
« pour l'amélioration de la navigabilité de la Loire, au
« moyen de *Barrages obliques à vannes suspendues amo-*
« *vibles.* »

« ... Votre Quatrième Commission vous propose d'émettre
« le vœu que, sans modifier ni retarder les essais projetés
« antérieurement, le procédé de M. AUDOIN puisse être aussi
« expérimenté sur une autre section, et que M. le Ministre
« des Travaux publics, d'accord avec MM. les Ingénieurs,
« détermine le point en amont de la Maine où cette expé-
« rience pourrait être faite. »

... M. DE LA GUILLONNIÈRE estime que, pour encourager les essais, le vote d'une légère subvention par le Conseil serait nécessaire...

M. DE LA GUILLONNIÈRE propose le vote d'un amendement ainsi rédigé :

« Pour favoriser les essais tentés d'après le système
« AUDOIN en faveur de l'amélioration du lit de la Loire, le
« Conseil général vote une somme de 1.000 francs, qui ne
« sera, en aucun cas, dépassée ni renouvelée. »

M. le comte DE BLOIS déclare être autorisé par ses collègues de la Quatrième Commission à faire connaître qu'à l'unanimité ils acceptent l'amendement.

L'amendement, mis aux voix, est adopté par 17 voix contre 7.