

2.

VIII^{ème} CONGRÈS INTERNATIONAL DE NAVIGATION
PARIS 1900

PREMIÈRE SECTION

NOTE SUR UNE MEILLEURE UTILISATION
DES COURS D'EAU NATURELS
COMME VOIES NAVIGABLES
A L'AIDE DE RÉSERVOIRS D'ÉTIAGE

COMMUNICATION

PAR

M. L.-L. VAUTHIER

Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Paris

PARIS

IMPRIMERIE GÉNÉRALE LAHURE

9, RUE DE FLEURUS, 9

1900



II-354099

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000318931

Akc. Nr. _____

B94-15 15/2018

NOTE SUR UNE MEILLEURE UTILISATION
DES COURS D'EAU NATURELS

COMME VOIES NAVIGABLES

A L'AIDE DE RÉSERVOIRS D'ÉTIAGE

COMMUNICATION

PAR

M. L.-L. VAUTHIER

Ingénieur des Ponts et Chaussées, à Paris.

PRÉAMBULE

Dans un premier travail, en réponse aux deux questions ci-après du programme :

(1^{re} Section. — Travaux). *Influence des travaux de régularisation sur le régime des rivières ;*

(2^e Section. — Exploitation). *Utilisation des voies naturelles à faible mouillage, en dehors de leur partie maritime ;*

nous avons abordé le problème dans son ensemble et n'en avons traité la partie spéciale qui fait l'objet de la présente note qu'après avoir exposé quelques considérations générales sur les points suivants :

Fonction naturelle des cours d'eau, — Services qu'ils peuvent rendre. — Dangers qu'ils occasionnent ;

Individualité des cours d'eau, — Circonstances qui les différencient ;

Influence des forêts sur le régime des cours d'eau ;

Irrégularité du régime des pluies, — Renseignements à ce sujet ;

Dispositions générales du profil longitudinal des thalwegs ;

Modes divers de déplacement des matériaux entraînés dans les thalwegs ;

Généralités sur l'assiette des cours d'eau, — Rivières à fond mobile. — Travaux de régularisation auxquels elles ont donné lieu ;

Limites à s'imposer dans les travaux de régularisation des rivières à fond mobile.

Ces considérations générales, auxquelles venait postérieurement s'adjoindre un aperçu sur quelques fleuves de la France coloniale et sur le cadre étroit dans lequel doivent, selon nous, se renfermer actuellement les améliorations de ces fleuves, avaient donné à notre travail une étendue dépassant notablement des limites réglementaires que nous ignorions.

Signalée, après coup, à notre attention, cette circonstance nous a forcés de réduire notre exposé à sa portion principale qui va suivre.

On nous excusera si cette partie détachée, privée des indications générales qui lui servaient d'appui, présente quelques lacunes et quelques obscurités.

I. — CE QUE SERAIT L'IDÉAL DE PERFECTION D'UNE VOIE DE TRANSPORT EXAMEN DES VOIES NAVIGABLES A CE POINT DE VUE CANAUX, LITS NATURELS AVEC OU SANS RELÈVEMENT DU PLAN D'EAU

L'idéal de la perfection, pour les diverses voies de transport d'un même pays, serait qu'elles offrissent, chacune dans son genre, en toute leur étendue, au véhicule le mieux adapté à les desservir, une uniformité absolue de conditions de parcours.

Un tel idéal est pratiquement irréalisable.

Pour les voies de terre, routes ordinaires et chemins de fer, les pentes et rampes s'opposent à cette uniformité et l'on sait combien celles-ci y sont distribuées avec peu d'ordre, au gré des accidents de terrain, sans qu'il ait été tenu méthodiquement compte, dans leur distribution et leur intensité, du plus ou moins d'importance du trafic à desservir. De plus, on n'ignore pas que, pour les chemins de fer, on en est arrivé, beaucoup trop facilement selon nous, à se départir aujourd'hui de l'identité de largeur de la voie, considérée à l'origine comme une condition primordiale de bon service.

Dans cette situation, il serait, semble-t-il, peu raisonnable de demander trop impérativement aux voies navigables, si fortement dominées et différenciées par des circonstances naturelles, une uniformité dont on fait ailleurs si bon marché. Entrons, à cet égard, dans quelques brèves explications.

Les voies navigables se divisent naturellement en trois catégories distinctes : les fleuves et rivières, avec ou sans relèvement du plan d'eau, et les canaux entièrement artificiels. Dans ces diverses voies, un véhicule flottant, dirigeable à volonté, doit trouver réalisées, autant que possible, les conditions suivantes : d'abord une section mouillée assez spacieuse,

par rapport aux dimensions transversales de la partie plongée du véhicule, pour que la résistance au déplacement ne soit pas trop considérable ; en second lieu, un mouillage de profondeur suffisante ; enfin, dans la veine fluide où le véhicule se meut, une vitesse de courant qui ne dépasse pas une certaine limite.

Le canal artificiel, avec sa série de plans d'eau à peu près horizontaux et sa vitesse de courant presque nulle, constitue la solution idéale par rapport à la dernière condition posée ; et, quant aux deux autres, si ce n'était l'élevation des dépenses nécessaires, il serait toujours possible, en principe, de les lui donner. Toutefois, cette question de dépenses, à laquelle se rattachent les frais de construction d'écluses plus ou moins coûteuses, domine tellement, en général, les solutions pratiques que les mouillages des canaux sont loin d'avoir été, pour tous, portés au même taux et que leurs dimensions transversales sont restées assez étroitement limitées pour qu'il soit impossible d'imprimer aux bateaux qui les parcourent une vitesse tant soit peu élevée. Les propulseurs mécaniques, prenant sur l'eau leur point d'appui, y sont d'un emploi inadmissible ; la traction sur berges, autrement que par moteurs animés, n'est pas un problème résolu et le halage sur chaîne noyée semble le maximum du progrès qu'on puisse y réaliser. Le canal est, par ces divers motifs, forcément une voie lente, apte seulement au transport des marchandises, et cette lenteur est encore aggravée par le sassement aux écluses.

Quand on passe du canal aux fleuves et rivières, la scène change entièrement. La fonction naturelle de ceux-ci est de drainer leur bassin des eaux météoriques qu'il reçoit, et on ne peut les soustraire à cette fonction. On est donc là en présence d'états des eaux incessamment variables ; et si les dimensions de la section mouillée sont, en général, assez grandes pour qu'on n'ait pas à en craindre l'insuffisance, les hauteurs de mouillage peuvent, en revanche, faire défaut et, lors des crues, les vitesses et les hauteurs du plan d'eau croissent assez dans beaucoup d'entre eux pour que la navigation devienne dangereuse ou soit rendue impossible, par manque, sous les ouvrages transversaux, du tirant d'air indispensable.

En ce qui touche les crues, les inconvénients qui les accompagnent sont des tares momentanées auxquelles on ne peut soustraire la navigation en lit de rivière. Mais on en a jugé autrement, quant à l'insuffisance des mouillages ; ce défaut a paru corrigible et c'est par le relèvement artificiel du plan d'eau à l'aide de barrages éclusés qu'on y a paré.

C'est ici que l'admirable invention du barrage mobile, — un peu trop, peut-être, *perfectionnée* depuis, — est venue prêter son concours aux progrès de la navigation en lit de rivière. Sans empirer mais sans améliorer non plus les conditions d'écoulement des grandes eaux dangereuses, le barrage mobile a permis d'assurer, en basses eaux, sur tous les points d'un lit si irrégulier qu'il soit, un mouillage déterminé, et permis, en

outre, pour tous autres états des eaux, tant qu'elles sont navigables, de régler, à chaque instant, le plan d'eau des biefs de la façon la plus convenable aux besoins de la navigation.

De tels résultats sont d'une importance indiscutable. Mais ils ne sont obtenus qu'au prix d'un coût de premier établissement considérable, surtout lorsque le lit à régulariser est de grande largeur, et ils exigent, de plus, sauf cas spéciaux, indépendamment de manœuvres souvent dangereuses, des frais de manutention coûteux et d'entretien élevés.

Ce sont là des raisons suffisantes pour justifier des études ayant pour objet de rechercher, s'il ne serait pas possible de remédier à la pénurie des étiages, vice principal qui pèse sur la navigation en eau libre, autrement qu'à l'aide de la création, par relèvement du plan d'eau, d'une suite de biefs artificiels.

Un tel remède, sans doute, laisserait toujours à désirer, en ce sens qu'on ne pourrait jamais réaliser sur de longues étendues l'établissement souhaitable d'un mouillage uniforme. Or, dans ce cas, c'est le plus souvent, le mouillage minimum qui, réglant seul l'enfoncement possible du véhicule flottant, restreint le service à en obtenir, et ce mouillage peut rarement dépasser une limite réduite. Nous examinerons plus loin les inconvénients qui s'attachent à cette double circonstance. Mais, quant à la dernière, sans contester le grand avantage, au moins théorique, de mouillages élevés, nous nous demanderons tout de suite si l'on ne s'en est pas quelquefois exagéré l'importance. A-t-on bien fait toujours les efforts voulus pour tirer parti des mouillages naturels disponibles, et, dans les améliorations artificielles, n'a-t-on pas, en certains points, dépassé la mesure? En Allemagne, où, grâce à mille circonstances favorables, les transports par voie navigable ont pris un grand développement, la navigation en eau libre occupe une large place, sans que les mouillages y soient considérables. Ce à quoi on s'est attaché beaucoup plus qu'on ne l'a fait encore en France, c'est à créer de vrais ports fluviaux munis de l'outillage nécessaire pour activer les manutentions commerciales. Mais, quant aux tirants d'eau des véhicules, pour ne citer qu'un fait, l'Elbe, principale voie fluviale en relation avec Hambourg, qui, dans son long parcours, dessert des centres importants tels que Dresde, et, concurremment avec l'Oder, réunit, par des voies transversales, Berlin au réseau fluvial allemand, l'Elbe, disons-nous, porte bien en amont du point le plus rapproché de la capitale de la Prusse, un trafic, remonte et descente, qui, dans cette section, s'est élevé, de 1875 à 1897, de 460 000 à 3 150 000 tonnes, avec un mouillage qui ne dépasse pas 0^m,94.

C'est à la vérité, à l'aide de bateaux de forme spéciale qu'est obtenu ce résultat remarquable; mais, peut-être pensera-t-on, en face d'un tel exemple, qu'on pourrait s'être livré à un effort économique peu justifié, en créant à grands frais, entre Rouen et l'embouchure de l'Oise, une navigation perfectionnée à 3 mètres de tirant d'eau, pour un trafic dont la

croissance s'amortit chaque jour, et qui ne dépassait pas, en 1899, 1 612 000 tonnes à parcours entier.

Quoi qu'il en soit, si le barrage mobile auquel nous rendons, techniquement, un hommage sans réserve, a contribué à développer, outre mesure peut-être, le mouvement ayant pour effet de *mécaniser* les cours d'eau, la pénurie des étiages a joué, dans ce mouvement, un rôle capital, et c'est une raison suffisante pour donner quelque intérêt aux recherches ayant pour objet d'améliorer, sous ce rapport, le régime des cours d'eau français, envisagés comme voies navigables.

**II. — CARACTÈRE TORRENTIEL DE LA PLUPART DES COURS D'EAU FRANÇAIS
CRUES EXCESSIVES — PÉNURIE D'EAU A L'ÉTIAGE
Y A-T-IL MOYEN DE PARER A CE DOUBLE INCONVÉNIENT ?**

Nos fleuves ont en général des régimes torrentiels; et il n'en est pas ainsi seulement dans la partie supérieure de leur cours, mais encore en des points où, par l'apport des principaux affluents, les étiages ont acquis une certaine tenue et les grandes crues elles-mêmes, par leur épanouissement normal, ont perdu leur caractère excessif.

La Seine, le plus paisible de nos grands cours d'eau, eu égard à la nature géologique crétacée de son bassin, présente, en aval de l'embouchure de l'Oise, à côté d'un débit d'étiage ordinaire de 40 mètres cubes environ, un débit de crue de 2 500 mètres, 62 fois plus élevé. La Garonne, en aval de l'embouchure du Lot, où les étiages descendent bien au-dessous de 40 mètres, puisqu'on y compte des mois entiers où la moyenne atteint à peine 57 mètres, a, dans ce même point, des débits de crue de 7 800 mètres et au delà, ce qui conduit à un écart approximatif exprimé par le chiffre 200. Enfin, la Loire, à Briare, en aval du Bec d'Allier, où le débit d'étiage descend souvent à 25 mètres, a, dans ce même endroit, des crues s'élevant à peu près à 9 000 mètres cubes, ce qui porte le chiffre de l'écart à 360; et cet écart énorme arrive à dépasser 600, un peu plus bas, dans le val d'Orléans, où l'étiage s'abaisse souvent à 12 mètres et exceptionnellement à moins de 6. Il y a là, à la vérité, un phénomène spécial, et le caractère torrentiel de la Loire diminue lorsqu'on se rapproche de l'embouchure.

Quoi qu'il en soit, le caractère torrentiel de ce fleuve reste partout excessif, et les dégâts causés par les crues qu'il subit ont acquis une douloureuse célébrité sur laquelle nous n'avons pas besoin d'insister. De tels dégâts ne frappent pas la Loire seule. Beaucoup d'autres grandes vallées que la sienne sont victimes de désastres analogues, et le problème consistant à corriger le régime torrentiel sous sa double face : réduction du volume des crues; augmentation du débit des étiages, se pose vis-à-vis de plusieurs autres grands cours d'eau français.

Une étude d'ensemble portant sur des faits d'écoulement qui ont entre eux une relation réciproque manifeste mérite certainement d'appeler l'attention, eu égard surtout à ce que les moyens à employer peuvent présenter une certaine analogie. Toutefois, c'est pour la Loire seule que nous dirons un mot de la première face du problème, et cela, pour le motif particulier que ce côté de la question a donné lieu, pour ce fleuve, à une étude approfondie fournissant des résultats sérieusement discutables, d'une grande utilité.

III. — ATTÉNUATION DES CRUES PAR RÉSERVOIRS D'ARRÊT DANS LES PARTIES SUPÉRIEURES DES BASSINS

Les études auxquelles il est fait allusion plus haut, en ce qui concerne la Loire, remontent à près d'un demi-siècle. Exécutées à titre officiel, ces études ont été dirigées par un ingénieur éminent, feu l'Inspecteur général Comoy, et c'est dans un rapport magistral, daté du 31 décembre 1860, qu'il rendait compte de la mission qui lui avait été confiée.

Dans les considérations générales qui n'ont pu trouver place à cette note, nous avons dit un mot de l'influence que peuvent avoir sur les inondations les travaux de régularisation du lit. Les progrès de l'hydraulique pratique dans ces derniers temps ont fourni, à cet égard, quelques lumières nouvelles. On est aujourd'hui mieux fixé qu'on ne l'était anciennement sur la nécessité de donner aux grandes eaux un lit d'écoulement aussi régulier que possible; d'en coordonner, dans tous les cas, convenablement les sections transversales successives de superficie différente, et il est, par exemple, maintenant hors de doute — ce qui eût été nié dans le passé — qu'au passage des grandes eaux dans une partie du lit qui s'évase pour se rétrécir de nouveau, le niveau de celles-ci se surélève le plus souvent au lieu de s'abaisser, comme l'augmentation de la section portait à le penser.

Il est permis de croire que si, dans son ensemble, le tracé des digues de défense de la Loire était soumis à un examen critique approfondi, on y trouverait à faire des corrections de la plus grande importance. Pour se former une idée de leurs défauts au point de vue de l'écoulement des hautes eaux, il suffit de constater qu'en aval du Bec d'Allier elles se partagent en quatre sections offrant, avec les pentes longitudinales mises en regard, les largeurs de lit suivantes :

1^{re} Section. — Distance moyenne des digues entre elles : 1450 mètres.
Pente moyenne 0^m,46 par kilomètre.

2^e Section. — Distance moyenne des digues entre elles : 790 mètres.
Pente moyenne 0^m,40 par kilomètre.

3^e Section. — Distance moyenne des digues entre elles : 1060 mètres.
Pente moyenne 0^m,26 par kilomètre.

4^e Section. — Distance moyenne des digues entre elles : 1620 mètres. Pente moyenne 0^m,46 par kilomètre.

Il existe visiblement entre ces moyennes une incohérence grave, surtout au passage de la 1^{re} section à la 2^e, et l'on peut conjecturer de là combien doivent être grandes, lorsqu'on entre dans le détail, les incohérences partielles que présente en certains points la réalité.

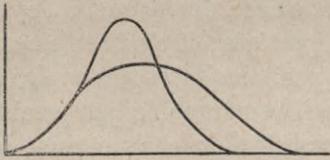
L'auteur des études de 1860 n'a pas examiné la question à ce point de vue. Dans un esprit de sagesse pratique, il s'est borné à suivre les crues observées dans leur développement, à constater les hauteurs atteintes aux divers points de leur cours, en tenant compte à la fois, non seulement du jeu des affluents, suivant que leur débit le plus élevé arrive au fleuve en avance ou en retard sur le volume maximum du courant principal, mais aussi des atténuations locales de hauteur dues, en certains points, à l'épanouissement accidentel des eaux dans les vals protégés; et c'est seulement après cette enquête approfondie faite pas à pas, ainsi qu'après avoir, à l'aide de considérations d'une ingéniosité aussi remarquable que paraissent rigoureuses leurs conclusions empiriques, fixé en chaque point le volume instantané des eaux débitées, qu'il a déterminé les hauteurs, différentes de celles observées, que le fleuve aurait atteintes, si les digues, suffisamment élevées, eussent contenu tout le courant, et empêché tout déversement dans les plaines riveraines.

L'étude ainsi conduite a montré que, pour obtenir une sécurité, qui ne peut jamais être que relative, le relèvement général, avec lequel le danger des ruptures s'accroît, devrait atteindre une hauteur moyenne générale de 2 mètres environ, ce qui, eu égard aux renforcements d'épaisseur nécessaires, à l'allongement et à la reconstruction totale de certains grands ponts, ont entraîné une dépense en travaux évaluée à 80 millions de francs, et causé, en outre, d'énormes perturbations dans des villes de grande importance, aussi bien que dans de nombreux et populeux villages situés sur les digues elles-mêmes ou tout à proximité, dans des emplacements où ils ont été anciennement appelés à s'établir, en vue de fixer au voisinage des digues une population intéressée à leur bonne conservation.

Cette solution écartée, des palliatifs étaient-ils possibles? Pouvait-on, en ne réalisant que certains surhaussements partiels, parer aux dangers de rupture au moyen soit de déversoirs de surface, soit de vannes de fond épandant les eaux sur les terrains submersibles sans les exposer aux ravages causés par les courants de vitesse énorme que les ruptures accidentelles entraînent? L'appréciation du développement considérable qu'il eût fallu donner aux ouvrages nécessaires dans l'un ou l'autre système pour les mettre en état de remplir utilement leur fonction, ayant fait également renoncer à l'adoption de ces mesures, l'auteur de l'étude a été amené à considérer la solution du problème sous cette forme : est-il possible d'arriver à atténuer suffisamment le débit maximum des crues, pour qu'elles puissent s'écouler dans le lit majeur actuel sans surélévation des

dignes, ou avec des surélévations minimales? C'est la réponse faite à cette question que nous allons examiner.

Il est superflu de dire ici que ce n'est pas le volume total d'eau qui s'écoule durant une crue, en un point donné, qui en constitue le danger, mais la façon dont ce volume s'écoule. C'est l'importance du débit à chaque instant de la crue qui en détermine la hauteur dans le lit, et la question est moins de réduire le volume à écouler que de répartir autrement les débits instantanés successifs, de manière à empêcher la production de ceux que leur excès rend nuisibles. En un mot, si l'on suppose que, sur une abscisse qui porte les temps, on élève aux divers instants de l'écoulement d'une crue des ordonnées qui représentent, à la même



échelle, les débits instantanés de celle-ci, et que l'on rattache les sommets de ces ordonnées par une courbe que nous appellerons avec M. Comoy : *courbe des débits*, la surface limitée par cette courbe donne la mesure du volume total écoulé, et ce qu'il faut obtenir, ce n'est pas de

réduire cette surface mais de modifier la forme de la courbe qui la limite par en haut, de telle sorte que, l'aire restant la même, le sommet dangereux que présente la courbe naturelle disparaisse, ainsi que l'indique le petit croquis ci-contre.

Tout cela est trop élémentaire pour que nous y insistions, et c'est dans cet ordre d'idées qu'ont été conduites les études de M. Comoy.

Or, il est parvenu à cette conclusion qu'en faisant passer l'eau des sommets des bassins de la Loire supérieure et de l'Allier par une série de *réservoirs d'arrêt* convenablement disposés, d'une capacité totale de 520 millions de mètres cubes, on pouvait modifier suffisamment les courbes des débits des crues des deux cours d'eau et, par suite, de celle résultant de leur réunion au Bec d'Allier, pour qu'il fût possible de se borner à l'aval, jusqu'à Nantes, à des travaux partiels minimales de régularisation des digues et de modifications des ponts n'entraînant plus qu'une dépense en évaluation, relativement faible, de 12 600 000 francs.

Nous avons appelé les réservoirs de sommet des *réservoirs d'arrêt*. C'est en effet là seulement le rôle qui leur est attribué par l'auteur du projet. Il n'entend nullement retenir l'eau dans ces réservoirs. Il laisse, au contraire, à celle-ci, un libre cours. Mais il munit les réservoirs d'orifices d'émission, constamment ouverts, disposés de façon que, capables d'écouler autant d'eau que les réservoirs en reçoivent jusqu'à un instant donné du débit croissant de la crue, ils en débitent moins à ce moment, et obligent ainsi momentanément à s'accumuler dans les réservoirs, dont la capacité est calculée en conséquence, la fraction du volume affluent qui produit dans la courbe des débits ce sommet dangereux dont il importe d'éviter l'apparition.

En adoptant ce système, qui, ainsi qu'on le voit, a pour conséquence de maintenir les réservoirs toujours vides à l'état normal et de ne les remplir que très rarement, lors des chutes pluviales exceptionnelles, l'auteur du projet a été dominé par l'idée que, dans un cas de ce genre, la plus extrême simplicité de disposition s'impose, et qu'il convenait de repousser tout procédé de retenue volontaire des eaux obligeant à manœuvrer, à des instants strictement déterminés, des appareils mobiles d'émission. Une telle considération doit certainement peser d'un grand poids. Nous ne tenterons pas de la discuter et relèverons seulement, ce qui est pour nous d'une extrême importance, que l'étude des réservoirs d'arrêt dont il s'agit a été faite sur place, par des ingénieurs exercés, parfaitement dirigés en outre, et que les évaluations produites portent le coût total d'établissement de ces réservoirs à la somme de 65 400 000 francs, laquelle, mise en rapport avec leur capacité totale, conduit, par mètre cube de capacité, à une dépense d'établissement de 0 fr. 125.

IV. — MÊME PROBLÈME QUE CI-DESSUS, QUANT A L'AUGMENTATION DES DÉBITS D'ÉTIAGE

Le chiffre auquel nous venons d'arriver, quelque garanties que donne sa provenance, est loin d'être un chiffre absolu. Il dépend, pour une part importante, de la plastique des hautes vallées dans lesquelles l'étude a conduit à placer les réservoirs. C'est toutefois un point de repère qui nous permet d'aborder avec un peu plus de sécurité le problème d'amélioration des débits d'étiage.

Avant d'y procéder, quelques observations sont nécessaires.

D'après les formules d'écoulement les plus certaines, — et nonobstant le scepticisme de quelques hydrauliciens à l'égard de ces formules en général, celles de Darcy, confirmées par les recherches postérieures de M. Bazin, ont, dans les limites dont nous n'aurons pas à sortir, un caractère d'exactitude largement suffisant pour servir de base à nos conclusions, — dans un lit de forme donnée, où la section mouillée est la même, la vitesse croît, ainsi que cela a toujours été admis, comme la racine carrée de la pente, et le volume débité suit la même loi. Par suite, ainsi que nous l'avons déjà fait observer, dans les cours d'eau naturels, les débits croissant en général de l'amont à l'aval, et les pentes, de leur côté, décroissant dans le même sens, il y a dans ces faits combinés un double motif pour rendre complètement impossible l'établissement, sur un long parcours, d'une voie navigable naturelle à mouillage constant.

Cette conséquence est-elle, nécessairement, en désaccord avec les convenances de la pratique? Oui, pour des bateaux dont le tirant d'eau reste le même durant tout le parcours. Non, lorsqu'il y a du poids transporté pris ou laissé en route, et que le trafic croît, à la descente, de l'amont à l'aval,

et décroît, en sens inverse, à la remonte, ce qui doit être le fait ordinaire pour les voies fluviales aboutissant à la mer, et desservant, pour l'exportation et l'importation, la navigation maritime. Ne traitant ici la question que sous son aspect tout à fait général, nous ne pouvons entrer dans des détails particuliers; mais, pour un fleuve comme la Loire, par exemple, le long duquel, à l'aval notamment, les centres de consommation et de production se succèdent à courte distance, sans qu'il y ait, vers l'amont, une source importante de matières extractives, le fait se vérifierait très probablement, si des conditions normales de navigabilité lui étaient rendues.

Ce point établi, quelles sont, comme dimensions transversales du lit, hauteur de mouillage minimum et vitesse maximum du courant à refouler à la remonte, les conditions pratiques à se poser? Il s'agit, remarquons-le, d'un lit d'étiage. Évasé vers le haut, ce lit augmentera de largeur pour tout autre état des eaux. En même temps, le mouillage croîtra, tandis que, d'autre part, à la vérité, la vitesse du courant augmentera.

En tenant compte de ces diverses circonstances, et prenant pour base des nombres simples, nous fixerons à 50 mètres, avec berges à 45 degrés, la largeur au plafond du lit minimum théorique d'étiage que nous considérerons; à 1 mètre le plus faible mouillage admissible, et à 1 mètre par seconde la vitesse moyenne du courant qu'il est désirable de ne pas trop dépasser, sans faire pourtant de cette dernière limitation une condition absolue.

Avec ces données, les formules de Darcy, pour parois en terre, conduisent aux résultats consignés au tableau suivant, correspondant à un mouillage uniforme de 1 mètre.

PENTES KILOMÉTRIQUES	VITESSE MOYENNE	DÉBIT PAR SECONDE
mètres	mètres	mètres
0,10	0,588	19,79
0,20	0,549	27,99
0,50	0,672	54,28
0,40	0,776	59,58
0,50	0,868	44,26
0,60	0,951	48,49
0,70	1,027	52,57
0,80	1,097	55,98
0,90	1,164	59,57
1,00	1,227	62,59

C'est à la pente de 0^m,70 par kilomètre que la condition de vitesse maximum obligerait à s'arrêter; toutefois il serait possible d'aller jusqu'à la pente de 1 mètre si l'on disposait d'un débit d'étiage suffisant, auquel cas on aurait, alors, à l'aval, pour la pente de 0^m,10 un mouillage presque

double de celui sur lequel le calcul est basé avec une vitesse de courant dépassant peu 0^m,60. Mais de tels volumes d'étiage se rencontrent rarement. Selon ce que nous en avons dit précédemment, aucun des grands cours d'eau français n'en présente de tels à une certaine distance de la mer.

D'après cela, comme la pénurie des étiages constitue ici notre principale préoccupation, nous avons cru devoir prendre la question sous une autre forme, et nous demander quels sont, pour les diverses pentes ci-dessus, les mouillages et les vitesses qu'on obtient lorsqu'on dispose de débits d'étiage d'une quotité déterminée. C'est à cette question que répond le tableau suivant, pour deux débits déterminés, 40 mètres et 60 mètres.

DÉBIT	ÉLÉMENTS CALCULÉS	PENTES PAR KILOMÈTRE									OBSERVATIONS	
		0,40	0,20	0,50	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90		1,00
m.												
40	mouillage. .	1,50	1,25	1,09	1,01	0,95	0,90	0,855	0,82	0,795	0,78	
	vitesse. . .	0,52	0,64	0,72	0,78	0,85	0,87	0,920	0,96	1,000	1,05	
60	mouillage. .	1,90	1,55	1,37	1,27	1,19	1,15	1,080	1,04	1,005	0,98	
	vitesse. . .	0,61	0,75	0,85	0,92	0,98	1,04	1,090	1,15	1,17	1,20	

Les chiffres de ce tableau montrent qu'avec un débit d'étiage de 40 mètres par seconde on peut, dans un lit mineur des dimensions et de la forme données, arriver un peu au-delà de la pente de 0^m,40 par kilomètre, en assurant à la navigation un mouillage de 1 mètre, sans que la vitesse moyenne du courant excède tant soit peu 0^m,78; et qu'avec un débit de 60 mètres, on peut aller jusqu'à la pente de 0^m,90 par kilomètre, sans descendre au-dessous du mouillage limite convenu, mais avec l'inconvénient d'avoir alors à refouler une vitesse de courant s'élevant à 1^m,17 par seconde.

Plusieurs autres indications sur lesquelles nous n'insisterons pas ressortent de ce petit tableau. On y voit entre autres choses que, sous la pente de 0^m,10 par kilomètre, on n'obtient pas, dans le lit mineur convenu, un mouillage qui dépasse : avec le débit de 40 mètres, 1^m,50; avec le débit de 60 mètres, 1^m,90. Pour arriver, sous cette pente, au mouillage de 2 mètres, le débit devrait s'élever à près de 65 mètres, auquel cas la vitesse atteindrait presque le taux, fort réduit d'ailleurs, de 0^m,62.

A l'aide du tableau qui précède, on est en mesure de savoir, pour un thalweg de forme déterminée, ce qu'il faut avoir d'eau pour y remonter, par navigation libre, jusqu'en un point où la pente atteint un chiffre assigné, et par suite quel volume il faut artificiellement ajouter au volume naturel

d'étiage pour obtenir un tel résultat. Enfin, quant au coût probable d'une semblable disposition, il est possible de la fixer approximativement d'après les considérations suivantes.

Le régime des étiages est loin d'être constant. Il varie d'une année à l'autre et n'est pas le même pour des cours d'eau différents. Il en est néanmoins bien peu où, même par des années de sécheresse exceptionnelle, les bas étiages durent plus de trois mois, soit 90 jours. Cette durée comprend 7 776 000 secondes. Portons, pour arrondir, ce nombre à 8 millions. Ce nombre représente la capacité d'un réservoir de retenue pouvant, sûrement, augmenter d'un mètre cube par seconde un débit d'étiage insuffisant. Un réservoir de cette capacité coûtera d'établissement, d'après le prix par mètre de 0 fr. 125 précédemment déterminé, juste la somme de 1 million de francs. Donc, autant de mètres cubes à ajouter aux étiages, autant de millions de dépense à faire pour établir les réservoirs de retenue correspondants.

Nous ne sommes plus ici dans le cas des réservoirs d'arrêt de M. Comoy. Les réservoirs d'étiage à créer sont tout à fait analogues, quant au fonctionnement, aux réservoirs alimentaires des biefs de partage des canaux, et n'impliquent aucune disposition spéciale qui les différencie. Et, à supposer qu'ils doivent être complètement distincts des réservoirs d'atténuation des crues, — ce que nous admettons sans le discuter à fond, — s'ils introduisent un élément fâcheux dans la question, c'est seulement par le côté de la dépense qui s'y rapporte, dépense qui pourrait être en partie compensée, quand les besoins de la navigation ne s'y opposeraient pas, par les services qu'ils rendraient à l'irrigation, et même éventuellement comme magasins de force motrice.

Ce système, qui préparerait ainsi l'aménagement général méthodique, si désirable, des bassins fluviaux, ouvre utilement, croyons-nous, un nouvel horizon à la question des voies navigables intérieures en eau libre ; et peut-être est-il à regretter qu'on ait, dans une autre direction, fait pour nos fleuves et rivières des dépenses d'amélioration considérables, sans qu'aient été discutés, comparativement, les services que pouvait rendre le mode spécial sur lequel nous appelons l'attention.

On ne peut songer à revenir sur ce qui est fait. Mais il est un de nos fleuves, la Loire, le plus important d'entre eux par son développement, qui, sur une grande partie de son cours inférieur, est resté jusqu'à ce jour vierge de grands travaux ayant pour objet l'amélioration de sa navigabilité, et il peut être intéressant de comparer les dépenses qu'entraînerait pour lui la création de réservoirs d'étiage à celle qu'occasionneraient des modes différents d'amélioration.

Nous ne jugeons pas utile de remonter dans le passé, d'y rechercher comment et pourquoi les conditions de l'écoulement du fleuve qui paraissent avoir été plus favorables autrefois se sont détériorées, et prenons les choses telles qu'elles sont. La Loire supérieure, en amont du bec d'Allier,

a été pourvue d'un canal latéral se soudant à Briare aux canaux du bassin de la Seine, et quelques-uns de ses affluents de gauche, le Cher notamment, ont été pourvus d'améliorations dans le système de voies artificielles éclusées. Mais rien n'a été fait à partir de Briare, point où les pentes longitudinales du lit et des hautes eaux ne dépassent pas 0^m,45 par kilomètre, et à partir duquel elles vont en se réduisant progressivement jusqu'à Nantes.

Dans cette section de 400 kilomètres, quel est le régime des étiages? A Briare, on évalue le débit ordinaire des basses eaux à 55 mètres, et ce débit, qui augmente à peine, sur 215 kilomètres, jusqu'au confluent du Cher, va croissant ensuite successivement jusqu'en amont de Nantes où il atteint le chiffre de 100 mètres. Mais les eaux descendent souvent beaucoup au-dessous de ces volumes. A Briare, on n'a bien souvent pas plus de 25 mètres et à Orléans, situé à 90 kilomètres à l'aval, les eaux s'abaissent parfois jusqu'au débit de 6 mètres. C'est là un cas extrême correspondant à un phénomène tout à fait exceptionnel et local qui fait disparaître du lit du fleuve et écouler souterrainement, sur la rive gauche, jusqu'à la source peu distante du Loiret, une partie des eaux qu'il contient. On ne peut néanmoins se dispenser, jusqu'à ce qu'on ait trouvé le moyen d'y remédier, d'avoir égard à cette circonstance, et il faut admettre que, pour être certain de n'avoir que tout à fait exceptionnellement au passage d'Orléans moins de 40 à 42 mètres cubes, il faut ajouter au débit naturel du fleuve un débit artificiel, par réservoirs de retenue, de 50 mètres cubes environ.

C'est là une dépense approximative de 50 millions. Elle a, sans doute, une certaine importance. Mais elle est loin d'être hors de proportion avec celle qu'entraîneraient les autres modes d'amélioration de la navigation. Il résulte, en effet, d'études faites à la fois, et pour l'établissement entre Briare et Nantes, d'un canal latéral et d'une navigation artificielle en lit de rivière, avec barrages éclusés, que le premier système entraînerait une dépense de 160 millions et le second une dépense de 577 à 261 millions, suivant le mode qui serait adopté pour régler l'accès de la batellerie aux écluses¹.

Mesurée à cette échelle, la somme de 50 millions apparaît comme une quantité bien faible. Il est vrai qu'elle ne représente pas la dépense totale à faire pour la formation régulière d'un lit mineur contenant les eaux basses et moyennes. Mais fallût-il y ajouter, pour cet objet, la somme relativement élevée de 190 000 francs par kilomètre, à laquelle ont conduit, pour la section comprise entre Angers et Nantes, de récentes études faites par une Commission technique spéciale, qu'on dépasserait peu la somme totale de 100 millions, qui reste encore bien au-dessous des évaluations relatives aux autres solutions comparées.

1. Ces chiffres sont empruntés à une note ministérielle insérée au numéro d'avril 1898 du journal : *La Loire navigable*.

Ajoutons, en faveur du système sur lequel ce qui précède appelle l'attention, qu'il aurait pour effet d'améliorer les conditions de navigabilité en amont de Briare et du Bec d'Allier; et que, si les pentes de cet affluent sont, tout de suite, trop fortes pour qu'une augmentation de débit lui fût beaucoup profitable, la Loire supérieure, en revanche, ne fournit-elle que la moitié du volume artificiel complémentaire, aurait un débit d'étiage assez fort jusqu'à Digoin, point en aval duquel on ne rencontre que de très courtes portions de pentes supérieures à 0^m,50 par kilomètre, pour qu'une navigation permanente libre, dans les deux sens, pût s'établir jusqu'à ce nœud de circulation fluviale important, situé à bien près de 600 kilomètres de Nantes.

RÉSUMÉ

En résumé, quelque imparfaite que soit la précédente note, nous pensons que le système qui y est exposé mérite d'attirer un instant l'attention du VIII^e Congrès international de Navigation.

TABLE DES MATIÈRES

Préambule	1
CHAPITRE I. — Ce que serait l'idéal de perfection d'une voie de transport. Examen des voies navigables à ce point de vue. Canaux; lits naturels avec ou sans relèvement du plan d'eau	2
CHAPITRE II. — Caractère torrentiel de la plupart des cours d'eau français. Crues excessives. Pénurie d'eau à l'étiage. Y a-t-il moyen de parer à ce double inconvénient ?	5
CHAPITRE III. — Atténuation des crues par réservoirs d'arrêt dans les parties supérieures des bassins	6
CHAPITRE IV. — Même problème que ci-dessus quant à l'augmentation des débits d'étiage	9
Résumé	14

