

MISCELLANÉES

Réponse au Problème N° 1 du Prof. Cyprien Leborgne

I — Rappel de l'énoncé :

« Les spécialistes se sont souvent préoccupés de diminuer le débit d'eau nécessaire à un trafic donné, dans les canaux à écluses. L'Ingénieur Simon GIRARD, au début du XIX^e siècle, avait remarqué que tout bateau qui entre dans un pas d'écluse en faisait sortir un volume d'eau égal au volume d'eau déplacé. Il en avait déduit que lorsque l'exploitation du canal est telle que les bateaux descendent pleins et remontent vides, le gain d'eau du bief amont peut, de ce fait, être supérieur à la perte d'eau de l'éclusée.

Ce fait conduisait à adopter un système de dimensionnement des écluses, tel qu'il n'y avait plus à se préoccuper de l'alimentation du bief supérieur. Ceci donna lieu, alors, à de vives controverses.

Indépendamment de toute considération économique et loin des passions de l'époque, il est intéressant de regarder en toute objectivité les divers aspects de ce problème.

On rétablira aisément les raisonnements de M. GIRARD. Avec un peu plus d'attention, on rétablira aussi l'argumentation de ses adversaires.

On schématisera avantageusement le problème en considérant une écluse séparant un bief amont d'un bief aval. On fera passer successivement un bateau montant et un bateau descendant et on établira le bilan des volumes d'eau passés du bief supérieur au bief inférieur ; il sera commode de considérer les données suivantes :

V : volume de l'éclusée.

v_1, v_2 : volumes d'eau déplacés par les bateaux descendants et montants.

II — Nous avons reçu, d'un certain nombre de lecteurs de l'Isère, qui ont tenu à conserver l'anonymat, mais qui sont probablement des élèves actuels ou anciens de l'Université de Grenoble, des réponses fort pertinentes au problème posé. Tous sauf un, ont retrouvé le raisonnement

subtil par lequel M. P.-S. GIRARD croyait pouvoir révolutionner l'art d'établir les canaux de navigation. Nous allons donc indiquer, ci-dessous, les démonstrations mêmes de M. P.-S. GIRARD avec ses propres notations :

On suppose :

a) qu'il s'agit de faire passer les bateaux d'un bief dans un autre.

b) que ces bateaux de forme prismatique, comme le sas de l'écluse, le remplissent assez exactement pour que l'intervalle compris entre leurs bords et les parois du sas puisse être négligé par rapport à l'espace que les bateaux occupent.

On désigne par :

S = section horizontale du sas et des bateaux.

x = chute de l'écluse.

t_1 = tirant d'eau d'un bateau montant.

t_2 = tirant d'eau d'un bateau descendant.

Pour faire passer un bateau du bief inférieur au bief supérieur, il sort du bief supérieur une quantité d'eau :

Sx (pour élever l'eau du sas) + $S t_1$ passage du bateau du sas dans le bief).

Si la communication restant établie entre le sas et le bief supérieur, un bateau descend, le bief supérieur reçoit une quantité d'eau : $S t_2$.

Au total, après le double passage, le bief supérieur aura perdu :

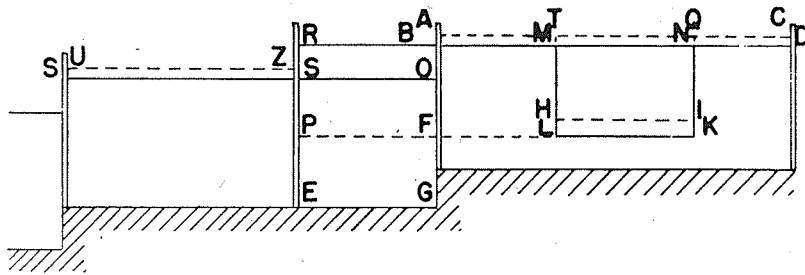
$$Sx - S(t_2 - t_1) = Sy'$$

la dépense pouvant être représentée par un prisme d'eau ayant pour base la section horizontale du sas et pour hauteur y' .

La quantité $y' = x - (t_2 - t_1)$ peut être positive ou négative selon la valeur de x par rapport à $t_2 - t_1$. On pourra donc rendre la dépense d'un bief quelconque aussi petite qu'on le voudra et même faire remonter dans ce bief un certain volume d'eau du bief inférieur contigu. L'auteur généralise ensuite ce résultat à n doubles passages alternatifs, puis au cas de convois de bateaux.

Ce raisonnement paraît sans faille, et cependant le résultat en est paradoxal. Aussi, M. Ch.-Jos. MINARD fit des observations à ce mode de raisonnement qu'il publia en 1821. Nous donnons, ci-après, un résumé de cet exposé, précédé de son avant-propos, dont les lecteurs pourront apprécier l'élégance d'expression.

« On lit dans les annales de chimie et de physique (juillet 1820) un mémoire sur les canaux de navigation, dans lequel l'auteur annonce un moyen nouveau de diminuer la quantité d'eau que les bateaux dépensent au passage des écluses. Il prétend de plus que, par une certaine combinaison de la hauteur de leur chute avec le tirant d'eau des bateaux, on peut rendre cette dépense nulle, et même faire remonter l'eau dans les biefs.



L'élégance et la clarté avec lesquelles l'auteur présente sa découverte, le résultat heureux et important qu'il annonce, enfin la réputation qu'il s'est acquise par les recherches savantes qu'il a déjà publiées, ont dû nécessairement influencer sur l'opinion avec laquelle on reçoit le perfectionnement proposé ; mais plus son cortège est brillant, plus il est essentiel de se prémunir contre la séduction et de l'examiner avec attention.

Les conséquences du nouveau système sont graves ; il ne s'agit rien moins que de changer les règles du tracé des canaux, de proscrire les dimensions des écluses actuelles, de condamner les opinions des ingénieurs les plus célèbres, et de prononcer enfin si leur routine a fait perdre au commerce une partie de son activité, et à plusieurs nations un accroissement de richesse.

Ces motifs sont suffisants pour qu'on se fasse un devoir de combattre les nouveaux principes, si on les juge erronés, c'est mon opinion, et j'en vais l'appuyer par des preuves ».

Il est faux de dire que, pour le bateau montant, la quantité d'eau sortie du bief supérieur pour remplir le sas est Sx . En effet, ce n'est pas du bief supérieur que l'on peut tirer la quantité d'eau nécessaire pour remplir l'écluse jusqu'au premier niveau de ce bief, car du fait

que l'eau du bief s'écoule dans l'écluse, sa surface s'abaisse ; la diminution du niveau est, en général, fort petite mais, quelle qu'elle soit, elle produit l'éclusée et ne peut être négligée dans les calculs exacts.

Examinons maintenant les trois cas signalés par GIRARD, correspondant aux diverses valeurs de x par rapport à $t_1 - t_2$.

1° — La chute étant plus grande que la différence des tirants d'eau, la dépense sera aussi petite qu'on voudra. Il est bien certain que plus la chute sera petite, moins l'éclusée sera volumineuse. C'est un fait bien connu.

2° — La chute étant égale à la différence des tirants d'eau la dépense sera nulle.

La dépense sera toujours égale à l'éclusée, car le niveau du bief supérieur s'abaissera toujours lorsqu'on remplira l'écluse ; la tranche d'eau qu'il perd et qui est égale à l'éclusée étant indispensable à la navigation de ce bief, il faudra prendre cette eau au bief culminant.

3° — La chute étant plus petite que la différence des tirants d'eau, un certain volume remontera du bief inférieur dans le bief supérieur.

Dans ce cas, la dépense sera encore égale à l'éclusée, et il ne sera pas remonté une seule goutte d'eau.

D'après la formule $y' = x - (t_2 - t_1)$ la quantité d'eau qui remonterait dans le bief supérieur serait d'autant plus grande que le tirant d'eau du bateau montant serait plus petit ; supposons-le nul (ce sera le cas le plus favorable).

Soit AC et SS les niveaux amont et aval, M N P Q le volume du bateau qui descend. Après ouverture des portes amont, le niveau s'abaisse en VA' C' et le bateau est venu en M' N' P' Q'. Le bief supérieur a perdu en volume ACA' C' qui est passé dans le sas en VA' ST. Quand le bateau est passé dans le sas il a fait refluer dans le bief supérieur, un volume d'eau égal à celui qu'il déplaçait : donc le vide

$M'N'P'Q'$ sera remplacé par le volume $VA'P_1Q_1$.

Le bateau n'a changé ni de poids ni de volume pendant son mouvement ; aussi sa ligne de flottaison $M'N'$ n'est pas sortie de l'eau, le fond $P'Q'$ n'est pas sorti d'un plan horizontal et la masse $VA'P_1Q_1$ s'est mue entre deux plans horizontaux et son centre de gravité n'a pu ni monter ni descendre.

$(VA'P_1Q_1) = (VA'St)$ qui est sorti du bief supérieur et qui y est rentré + (STP_1Q_1) partie de l'eau du bief inférieur et qui passe dans le bief supérieur ; puisque sa base P_1Q_1

est restée horizontale, son centre de gravité ne s'est pas élevé ; c'est la partie d'eau du bief inférieur qui passe dans le supérieur et qui y remplace une partie du volume plongé du bateau à même hauteur qu'elle *mais elle n'est pas montée*.

« Il reste donc à démontrer, conclut MINARD, que l'eau du bief inférieur qui passe dans le supérieur n'a pas monté ; que le bief supérieur s'est abaissé et qu'il a perdu une écluse, comme à l'ordinaire, avec cette différence qu'au lieu de tomber dans le bief inférieur, elle est descendue dans une partie du vide abandonné par le bateau ».