

MISCELLANÉES

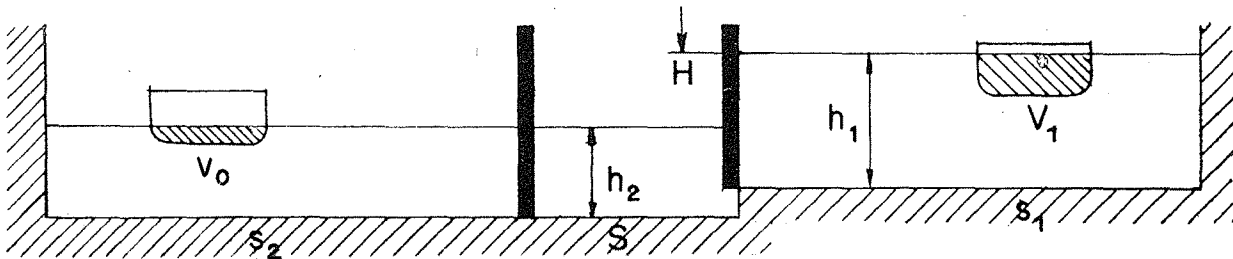
Au sujet du problème N° 1 sur l'écluse de P. S. Girard

Nous avons reçu de nombreuses réponses au sujet du paradoxe soulevé par P. S. GIRARD ; nous sommes heureux de communiquer ces différentes réponses ; peut-être en suggéreront-elles d'autres, mais nous apporterons une conclusion définitive au prochain numéro.

M. TACHE, ingénieur à Vevey, en Suisse, nous reproche de donner raison à C. J. MINARD :

« Permettez-moi donc de réfuter cette erreur en donnant d'abord par le calcul une démonstration irréfutable de la théorie de P.S. GIRARD et en soulignant ensuite le point faible de l'argumentation de son contradicteur.

Je considère l'écluse représentée par le croquis ci-après :



- S = surface de l'écluse.
- s_1 = surface du bief amont.
- s_2 = surface du bief aval.
- v_1 = volume d'eau déplacé par le bateau déchargé (montant).
- v_2 = volume d'eau déplacé par le bateau chargé (descendant).

J'établis le bilan volumétrique du bief amont et de l'écluse pour un cycle complet en supposant qu'au début du cycle le bateau vide se trouve dans le bief aval et le bateau plein dans le bief amont, le niveau de celui-ci étant à la cote h_1 et le niveau de l'écluse et le bief aval à la cote h_2 . Je suppose, pour simplifier les calculs que les parois des biefs et de l'écluse sont verticales.

Première opération. — On amène le bateau vide dans l'écluse et l'on ferme la porte aval.

Le volume d'eau dans l'écluse est :

$$V_3 = S h_2 - v_1$$

Le volume d'eau dans le bief amont est :

$$V_1 = s_1 (h_1 - a) - v_1$$

Deuxième opération. — On ouvre la porte

amont, le niveau de l'eau dans l'écluse et dans le bief amont se trouve à la cote $h_1 - a$.

Le volume d'eau dans l'écluse est :

$$V_3 = S (h_2 + H - a) - v_0$$

Le volume d'eau dans le bief amont est :

$$V_1 = s_1 (h_1 - a) - v_1$$

Il est évident que $V_1 + V_2 = V_3 + V_4$

Ce qui donne :

$$S h_2 - v_0 + s_1 h_1 - v_1 = S (h_2 + H - a) - v_0 + s_1 (h_1 - a) - v_1$$

On en tire :

$$(1) \quad a = H \frac{S}{S + s_1}$$

Troisième opération. — On fait l'échange des bateaux : le vide dans le canal, le plein dans l'écluse. Le niveau ne varie pas. Le volume de l'eau contenu dans le bief amont est :

$$V_3 = s_1 (h_1 - a) - v_0$$

Quatrième opération. — On ferme la porte amont et on introduit dans le bief amont une quantité d'eau Q de façon que ce bief contienne la même quantité d'eau qu'au début du cycle.

On a :

$$Q + V_3 = V_2$$

donc :

$$Q + s_1 (h_1 - a) - v_0 = s_1 h_1 - v_1$$

En remplaçant a par sa valeur on obtient :

$$(2) \quad Q = H S \frac{s_1}{s_1 + S} - (v_1 - v_0)$$

Après l'introduction du volume Q le niveau dans le bief amont est à la cote $h_1 - b$. Calculons b .

$$s_1 (h_1 - b) - v_0 = Q + V_3 = V_2 = s_1 h_1 - v_1$$

$$\text{d'où : } b = \frac{v_1 - v_0}{s_1}$$

Cinquième opération. — On charge le bateau vide, le niveau dans le bief amont va passer de la cote $h_1 - b$ à la cote $h_1 - c$.

Calculons c en exprimant que le volume de l'eau pendant le chargement reste constant.

$$s_1 (h_1 - c) - v_1 = V_2 = sh_1 - v_1$$

d'où :

$$c = 0.$$

Conclusion. — Le cycle est terminé, le niveau dans le bief amont se trouve de nouveau à la cote h_2 (puisque $c = 0$), le bateau est chargé et le bief amont contient la même quantité d'eau qu'au début du cycle. Au cours de celui-ci, il a fallu introduire un volume d'eau Q dont la valeur est donnée par l'équation (2).

$$\text{Si : } H S \frac{s_1}{s_1 + S} > v_1 - v_0$$

il faut alimenter le bief amont :

$$\text{Si : } H S \frac{s_1}{s_1 + S} = v_1 - v_0$$

l'alimentation est nulle :

$$\text{Si : } H S \frac{s_1}{s_1 + S} < v_1 - v_0$$

il faut après chaque éclusée enlever de l'eau dans le bief amont.

Remarquons que si l'on admet que S est très petit par rapport à s_1 et que si l'on pose $v_0 = S l$, et $v_1 = S t_2$ on obtient une relation semblable à celle de P. S. GIRARD.

Sa théorie est donc exacte.

Voyons maintenant les arguments de C. J. MINARD. Pour ne pas abuser de votre patience, je me bornerai à réfuter son troisième argument. Le début de son raisonnement est parfaitement correct, mais il omet, le malheureux, de terminer le cycle en chargeant le bateau vide qui se trouve dans le bief amont et dont le tirant d'eau est supposé nul. En chargeant le bateau vide, on fera monter le niveau dans le bief amont plus haut que A C et c'est par ce moyen que l'on peut faire monter de l'eau du bief aval dans le bief amont.

Je ne discuterai pas la valeur pratique de la théorie de P. S. GIRARD car ceci m'écarterait trop de mon sujet ; mon but unique étant de réhabiliter l'auteur de cette intéressante théorie et de donner tort à ses détracteurs.

J'espère que mes arguments vous auront intéressés et je vous serais très obligé si vous vouliez bien les porter à la connaissance de vos lecteurs. »

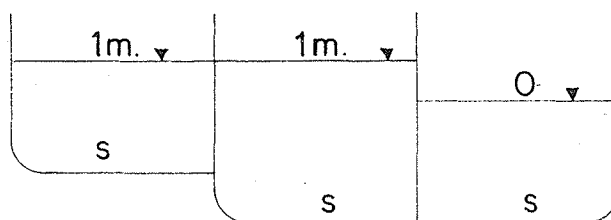
M. RUEFF, de Lisbonne, nous offre également un raisonnement fort complet :

« Nous nous excusons d'intervenir dans la sombre question des écluses de P. S. GIRARD qui semblerait définitivement réglée à la suite des raisonnements de feu Mr. CH. JOS. MINARD et des vôtres. Nous devons pourtant remarquer que ceux que vous indiquez dans le n° de Mars-Avril 1947 de la *Houille Blanche* sont aussi inexacts que ceux de P. S. GIRARD ou plutôt qu'ils sont exacts en soi, mais incomplets en sorte qu'ils ne résolvent pas le problème.

Il n'y a pas de doute, en effet, comme vous le montrez si élégamment, que le croisement d'un bateau chargé allant d'amont vers l'aval et d'un bateau non chargé allant d'aval vers l'amont ne saurait faire remonter le niveau de l'eau. Nous devons toutefois remarquer que vous avez oublié les conditions aux limites et c'est en quoi votre raisonnement est incomplet. Nous voulons dire par là que s'il circule des bateaux chargés dans un sens et déchargés dans l'autre, c'est sans doute qu'on les charge et les décharge en quelque endroit.

Considérons alors deux bassins séparés par un sas (tous 3 de même surface " s " pour simplifier). On suppose qu'il n'y a pas de fuites, etc. et qu'il y a un seul bateau à circuler entre les deux bassins,

a) soit 1 m., 1 m., 0, les cotes dans l'état initial, bateau vide dans le bassin amont, porte amont du sas ouvert.



b) On charge le bateau d'un poids de $2s$ tonnes. Le bateau joue alors le rôle de piston plongeur et fait monter le niveau dans l'ensemble du bassin amont et du sas, en communication entre eux et isolés du reste. Les niveaux s'établissent alors à 2 m., 2 m., 0. On fait passer le bateau dans le sas.

c) On ferme la porte amont et on ouvre la porte aval, les niveaux deviennent 2 m., 1 m., 1 m.

d) On fait alors passer le bateau dans le bassin et on le décharge. Les niveaux deviennent 2 m., 0, 0.

e) On fait entrer le bateau vide dans le sas. On égalise les niveaux du sas et du bassin amont ; ces niveaux sont alors 1 m., 1 m., et 0.

On fait passer le bateau dans le bassin amont

et l'on est revenu exactement à l'état initial sans avoir dépensé d'eau.

Le même raisonnement s'étend à deux bassins de surface quelconque G_1 et S_2 séparés par un sas de surface s initialement au même niveau que le bassin amont. Si h est la dénivellation initiale entre les bassins lorsque le bateau est vide dans le bassin amont — si la charge du bateau est de

$$P = \frac{hs(S_1 + A)}{S_1} \text{ tonnes}$$

on reviendra à l'état initial après le cycle. Il y a lieu de remarquer que la surface du bassin aval n'intervient pas, elle peut même être infinie sans que cela change les conclusions.

Il peut sembler paradoxal après la démonstration de M. MINARD qu'on fasse quand même remonter de l'eau du bassin inférieur dans le bassin supérieur. Mais comme tout paradoxe, celui-ci a son explication physique ; en fait, on n'a pas fait remonter d'eau, pour la seule raison qu'il n'y avait pas besoin d'en faire remonter. Regardons, en effet, les phénomènes d'un peu plus près, en reprenant notre premier exemple.

Partons des niveaux 1, 1, 0. On charge le bateau. Comme le bassin amont est en communication avec le sas, on ne changera rien au résultat final en chargeant le bateau dans le sas au lieu de le charger dans le bassin amont. Les niveaux remontent en 2, 2, 0. Là, on a effectivement fait remonter de l'eau du sas dans le bassin, parce qu'on a enfoncé un piston plongeur dans le sas). Fermons la parenthèse en même temps que la porte amont du sas et poursuivons.

Nous avons l'intention de mettre le sas et le bassin aval en communication et de décharger le bateau. Comme ces deux pièces d'eau comportent un volume d'eau isolé, nous ne changerons rien au niveau final en procédant dans l'ordre inverse, c'est-à-dire en déchargeant d'abord le bateau et en n'établissant la communication qu'après.

Procédons ainsi :

Les niveaux étaient 2, 2, 0; lorsqu'on aura déchargé le bateau, le niveau dans le sas va s'être abaissé de 2 mètres. Le sas va donc être à la cote zéro qui est celle du sas, il n'y a pas une goutte d'eau à faire passer du sas dans le bassin aval.

Cela explique pourquoi la dimension du bassin aval n'intervient pas.

On voit pourtant que ce n'est pas la circulation de bateaux qui intervient, mais leur char-

gement puisque à aucun moment nous n'avons fait circuler notre bateau.

Le résultat se généralise à une série de bassins et de sas.

Prenons, par exemple, 5 bassins dont la surface en mètres carrés est $4s$ séparés par 4 sas de surface s , dans lesquels nous faisons circuler 7 bateaux dont la différence des déplacements en charge et à vide est de $4s$ tonnes.

Dans l'état initial, on a un bateau vide dans le bassin amont, un bateau vide et un chargé dans chacun des autres bassins à l'exception du bassin aval. Les niveaux dans cet état initial sont 13,2 - 13,2 - 9 - 9 - 4 - 4 - 9 mètres (1).

Chargeons le bateau du bassin amont et faisons entrer les bateaux descendant dans les sas, les niveaux deviennent 14 - 14 - 9 - 9 - 4 - 4 - 0 (2).

Faisons une écluse, les niveaux deviennent : 14 - 13 - 13 - 5 - 5 - 0,8 - 0,8 (3).

Puis déchargeons le bateau arrivé dans le bassin aval. Les niveaux deviendront : 14 - 13 - 13 - 5 - 5 - 0 - 0 (4).

Faisons entrer les bateaux montants dans le sas et égalisons en sens inverse. On aura les niveaux : 13,2 - 13,2 - 9 - 9 - 4 - 4 - 0 et on sera revenu exactement à l'état initial.

Pour voir physiquement comment les choses se passent, on peut, partant de l'état (2) au lieu d'ouvrir les portes du sas, prendre avec des grues les bateaux descendants qui sont dans les sas pour les mettre dans le bassin immédiatement en aval, et faire simultanément la manœuvre contraire avec les bateaux montant à vide. Si l'on décharge ensuite le bateau qui est dans le dernier sas en aval, on retrouvera exactement l'état (4) sans avoir fait couler une goutte d'eau d'un bassin dans l'autre.

En résumé, alors qu'on avait l'impression de faire couler de l'eau des sas vers les bassins, on n'effectuait simplement qu'un brassage destiné à amortir l'énergie correspondant à la chute de la machine d'ATWOOD formée par un bateau vide et un bateau plein.

La seule circulation d'eau qui existe réellement s'effectue entre le premier bassin en amont et le premier sas à la remontée des bateaux vides. Nous avons vu comment elle était récupérée grâce à l'enfoncement effectif du bateau au fur et à mesure de son chargement.

Avec n bassins de surface "S" séparés par $n-1$ sas de surface "s", dans lesquels circulent $2n-3$ bateaux capables de transporter un chargement "M", les phénomènes se passeront de la même façon si les chutes, dans un état comparable à l'état (2) sont

$\frac{S+s}{S} M$ à l'exception de la dernière qui n'est que $\frac{M}{S}$

Nous demandons donc la réhabilitation de Pierre Simon GIRARD.

Nous ne proposons pourtant pas son système, car si pour une raison quelconque un bateau est obligé de s'arrêter, ou il faut aussi arrêter tous les autres, ou on risque d'en échouer un certain nombre dans une partie quelconque du canal. »

Enfin, M. BIESEL résume rapidement son opinion sur la question :

« Il me semble que les différences d'opinion concernant le problème de l'écluse proviennent de ce que celui-ci est au fond insuffisamment défini.

En effet, il ne suffit pas de considérer seulement le passage des bateaux sur l'écluse, mais aussi leur histoire ultérieure dans le bief amont. Or, sur ce point, deux hypothèses sont possibles (quoique inégalement vraisemblables).

Nous supposons tout d'abord, quoique cela ne soit pas dit explicitement dans l'énoncé, que le bief amont se termine en cul de sac sans recevoir ni perdre de débit en aucune façon. En effet, si par exemple le bief amont se terminait par une autre écluse, il serait nécessaire d'étudier le passage des bateaux à travers deux écluses, ce qui serait un nouveau problème (d'ailleurs pas plus difficile que celui qui nous occupe) ;

Ceci posé, les deux hypothèses possibles sont les suivantes :

1° — Le bief amont contient N péniches chargées que l'on échange avec N péniches vides venant de l'aval. Dans ce cas, le raisonnement de M. MINARD est parfaitement valable. C'est-à-dire qu'au total le niveau amont baissera, à chaque échange, au moins d'une éclusée quelles que soient les dimensions respectives des sas et des péniches.

2° — Il y a un va-et-vient continu de bateaux qui montent vides dans le bief amont, *y sont chargés*, et redescendent en aval. Dans ce cas, qui correspond beaucoup mieux à des conditions d'exploitation réelles, c'est au contraire le raisonnement de M. GIRARD qui reste valable. En effet, si l'eau chassée dans le bief amont tombe bien dans « une partie du vide laissé par le bateau », par contre au moment du chargement, un égal volume d'eau est chassé d'un tel « vide » en provoquant une élévation du niveau moyen du canal.

Par conséquent, dans ce cas d'utilisation très important au point de vue pratique le raisonnement de M. GIRARD est juste. Notons, cependant, qu'il faudrait, pour être complet, étudier les transports d'eau le long du bief amont. En effet, aux effets normaux dus à la circulation des bateaux en eau tranquille se superposera un courant d'ensemble allant du point de chargement des bateaux à l'écluse.

Au cas où le canal serait long et étroit, cet effet pourrait provoquer des variations de niveau importantes en cas de ralentissement, d'accélération ou d'arrêt de l'exploitation.

PROBLEME DU PONT-CANAL

Vous l'ignorez sans doute, mais le Professeur C. LEBORGNE s'adonne au plaisir de la pêche ; cependant, là encore, son esprit est absorbé par ses problèmes, à la grande joie des poissons qui viennent en surface narguer notre Professeur en contemplant ironiquement le méchant bouchon.

Cyprien LEBORGNE en face de Pont-Canal repense au problème que lui a posé un de ses correspondants hollandais :

« Pour un pont-canal, comment doit-on tenir compte du poids des bateaux dans le calcul de la résistance du pont ? Quel est le cas donnant les efforts les plus grands ? La question n'est pas nouvelle, mais on oublie souvent les conditions les plus importantes. » (*Dit vraagstuk is niet iets nieuws, maar men vergeet vaak de belangrijke omstandigheden*).

A peine le professeur avait-il commencé à lire la question à un cercle d'amis, qu'un débat passionné les met aux prises.

Un constructeur, sans doute peu versé en hydrostatique, prétendait qu'il fallait purement et simplement ajouter le poids du plus lourd chaland supposé au centre du pont.

Un jeune hydraulicien, très férù du principe d'Archimède, rétorqua alors que le bateau remplaçant un poids égal d'eau « déplacé » il n'y avait pas lieu d'en tenir compte en plus.

Un aviateur suggéra alors qu'il y avait sûrement à tenir compte d'effets dynamiques dus à la vitesse du bateau. Le Professeur fit admettre, sans peine, que pour de simples péniches tirées par un cheval, ces effets devaient être relativement de faible importance et qu'une augmentation des vitesses, par péniches automotrices par exemple, mettrait en cause la protection des berges de tout le canal avant de jouer sur la résistance du pont. Il fut convenu que cette question d'érosion des berges ne se posait pas pour le canal considéré par le correspondant.

Un témoin, qui depuis quelque temps assistait amusé à tout ce débat, rompit le cercle et dit : « Messieurs, ne voyez-vous donc pas que le cas le plus favorable correspond au cheval passant au milieu du pont (surtout après un bon picotin) ? ».

La plaisanterie était bonne, mais le Professeur dut rappeler que le problème devait être pris plus au sérieux et que le poids du cheval ou celui de quelques piétons était bien peu de chose en cette affaire...

Maintenant le savant Professeur est distrait de sa pêche par le piétinement régulier du cheval qui tire la péniche entre les herbes du vieux

canal. Tout le débat lui revient en mémoire ainsi que la solution toute différente proposée par son correspondant. Solution que la prompt réaction de ses amis ne lui avait pas laissé lire tout d'abord et que, distrait, il n'avait pas communiquée ensuite à ses interlocuteurs.

« Vite, attrapons ce poisson et convoquons nos amis pour le déguster et leur dire la solution « autorisée » figurant au bas de la lettre et qui a notre agrément. Nous y ajouterons, toutefois, un complément ».

Ami lecteur, quelles sont donc les idées essentielles omises au cours du débat ?

