

Zeitschrift: Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Géologie et géographie = Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg. Geologie und Geographie

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 8 (1913-1919)

Heft: 2: Contribution à l'étude du cours de la Sarine et de sa puissance d'alluvionnement

Artikel: Contribution à l'étude du cours de la Sarine et de sa puissance d'alluvionnement

Autor: Leclère, F.

Kapitel: II: Eléments du travail d'un fleuve

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-306987>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

CHAPITRE II.

Eléments du travail d'un fleuve.

Quand une force quelconque déplace son point d'application, on dit qu'elle fournit un travail. Celui-ci varie avec deux éléments de la force : avec sa grandeur et avec le déplacement qu'elle imprime à son point d'application. C'est ce qu'exprime la formule :

$$Q = F \cdot e$$

Pour étudier le travail d'un cours d'eau et ses effets, qui le rendent apparent, il faut étudier les éléments qui nous permettent de définir ce travail : la force, et la vitesse dont dépend le déplacement plus ou moins rapide du cours d'eau considéré.

§ 1. Force d'un cours d'eau.

Qu'est-ce que la force d'une rivière ? C'est la force cinétique de l'eau qu'elle roule, ou comme l'on dit actuellement, sa force d'entraînement. Elle a été étudiée avec précision par Du Boys dans son travail « Grandeur et effets de la force d'entraînement » (Annales des Ponts et Chaussées de 1879, chapitre II).

L'auteur a cherché à déterminer la force d'entraînement, en tenant compte de la profondeur de l'eau, et de la hauteur de chute qu'elle subit. Du Boys admet d'une part, que l'eau se meut d'un mouvement uniforme, et d'autre part, que l'augmentation de force vive de la rivière considérée est à chaque instant annulée par le travail résistant qu'elle est obligée à chaque instant d'effectuer sur son lit. Il pose donc que la force d'entraînement de

l'eau est égale et de sens contraire à la force résistante du lit du cours d'eau. Cette supposition est légitime, car elle est conforme au principe général de l'égalité de l'action et de la réaction énoncé par Newton : « Si une force exerce son action, elle fait naître en même temps une réaction égale et directement opposée. » Partant de ces considérations, il a trouvé pour la force d'entraînement la formule :

$$(I) X = 1000 \cdot H \cdot I$$

expression dans laquelle H désigne la profondeur d'eau, et I le rapport exprimant l'inclinaison du lit du cours d'eau par mètre.

E. Thiéry, traitant le même problème dans son ouvrage : « Restauration des montagnes, correction des torrents, reboisement » (Paris 1891), est arrivé à un résultat analogue. Appelant f l'épaisseur infiniment petite d'un fil d'eau, l la longueur de ce fil d'eau sur le parcours considéré de la rivière, et enfin i l'inclinaison du fil sur l'horizontale, il arrive à la formule suivante donnant la valeur de la force d'entraînement :

$$x = f \cdot d \cdot l \cdot \sin i, \quad d \text{ étant la densité.}$$

Cette force ne dépend pas de l'inclinaison du lit, mais de celle de la surface de la rivière ; on peut le démontrer rigoureusement. En effet, que l'on suppose le fond et la surface du cours d'eau parallèles, convergents, ou divergents, on arrive toujours à la formule précédente.

Nous savons maintenant quelle est la force x d'un filet d'eau de la rivière. Pour trouver la force X de la totalité du cours d'eau, il faut faire la somme des forces de tous les filets d'eau qu'il contient. Cette somme est donnée par l'intégrale définie entre les limites a et b considérées :

$$\int_b^a f \cdot d \cdot l \cdot \sin i = {}^*F_b^a (f \cdot d \cdot l \cdot \sin i) = F \cdot d \cdot l \cdot \sin i,$$

F désignant la surface mouillée du profil transversal du cours d'eau pendant le parcours considéré. L'angle i étant

* Le signe de l'intégrale est remplacé ici par un grand F.

très petit on peut écrire : $\sin i = \text{tang } i = I$ ou inclinaison de la rivière. De plus

$$F. d. l = M$$

poids de la masse mise en mouvement. La force d'entraînement du cours d'eau est donné par l'expression :

$$(2) X = M. I$$

ce qui revient à dire que la force d'entraînement d'un cours d'eau est égale au produit du poids d'eau qu'il roule par l'inclinaison relative du cours d'eau.

L'identité des formules (1) et (2) données pour calculer la valeur de cette force, est facile à reconnaître. Pour établir la formule (1), on admet qu'un prisme d'eau de base 1 m^2 , et de hauteur égale à la profondeur d'eau du fleuve au point considéré, soit H , repose sur le lit; sa force d'entraînement est X . En admettant que le poids spécifique de l'eau soit $d = 1000 \text{ Kgs}$ pour 1 m^3 , l'expression $1000 H$ représente dans la formule (1) le poids du prisme considéré, alors que dans la formule (2) il est appelé plus simplement M . Pour que les deux formules soient équivalentes, on doit avoir évidemment :

$$1000 H. I. = M. I;$$

en effet pour un cube égal à l'unité, $H = 1$, et M dans ces mêmes conditions est 1 m^3 , dont le poids est 1000 Kgs . L'inclinaison est désignée dans les deux formules par I ; les deux formules sont donc équivalentes, et peuvent s'employer indifféremment.

Application pratique :

Comme application de cet exposé sur la force d'entraînement, calculons la force d'entraînement de la Sarine à diverses époques, connaissant le poids d'eau qu'elle roule, et l'inclinaison de son cours au point considéré.

1^o) En 1869, la Commission technique de la Société des Eaux et Forêts détermina le débit de la rivière, et trouva 16 m^3 . La pente moyenne générale de la Sarine

est de 1,5 ‰ ; en effet elle sort du glacier de Zanfleuron à 2350 m. d'altitude et se jette dans l'Aar à Wileroltigen à 450 m. Son cours a une longueur de 120 km. environ. avec une différence de niveau de 1900 m. entre sa source et son point d'affluence. La pente moyenne générale est donc de $\frac{1900}{120.000} = 0,015$ m. soit 1,5 cm par mètre. Tabler

sur la pente moyenne générale ne serait point exact, car la pente de la première partie du cours n'est pas comparable avec celle du tronçon qui avoisine Fribourg, et qui nous intéresse particulièrement. Dans la première partie de son cours, la Sarine possède une pente de torrent, alors que sur le plateau elle a une pente de rivière. Nous prendrons plutôt la pente moyenne du tronçon Thusy-Singine. Entre Thusy, qui est à 640 m. d'altitude, et son point de confluence avec la Singine qui est à 487 m., la Sarine parcourt 51 km. bien que la distance à vol d'oiseau entre ces deux points ne soit que d'une trentaine seulement. La différence de niveau est de $640 - 487 = 153$ m. La pente moyenne du tronçon Thusy-Singine du cours de la rivière

est donc exprimé par le rapport $\frac{153}{51.000} = 0,003$, soit 3 mil-

limètres par mètre, pente bien inférieure à la pente moyenne générale du cours d'eau.

Dans ces conditions, en employant la formule (2), nous pouvons facilement calculer la force d'entraînement ; elle était de 48 kilogrammètres par seconde.

2°) En 1880, le Conseil Fédéral fit mesurer le débit de la Sarine ; on trouva 9 m³ par seconde, ce qui donne une force de 27 kilogrammètres par seconde.

3°) En décembre 1904, une mesure du débit de la rivière a donné pour résultat 7 m³, ce qui correspond à une force de 21 kilogrammètres par seconde.

4°) Enfin, par les jours de bise du mois d'octobre, où la Sarine atteint son minimum de débit, ainsi que nous le montrent les courbes annuelles, la quantité d'eau roulée

peut, paraît-il, tomber à 4 m³. La force d'entraînement n'est alors que de 12 kilogrammètres par seconde.

Résumons ces résultats en un tableau :

Années	Kilogrammètres	Mètres cubes
1869	48 kgm. correspondant à	16
1880	27 kgm. » » »	9
1904	21 kgm. » » »	7
Actuellement parfois :	12 kgm. » » »	4

Ces résultats marquent une décroissance rapide de débit, par conséquent de force et de puissance de la Sarine. A quoi peut tenir cette forte diminution, forte en effet, car parfois le débit peut tomber au quart de ce qu'il était il y a une cinquantaine d'années ?

Avant de rechercher les causes de ce phénomène, remarquons qu'il n'y a pas lieu de s'alarmer de ces diminutions toutes temporaires, constatées dans cette courte statistique. Il suffit de jeter un coup d'œil sur les graphiques annuels de débit du cours d'eau, établis par l'entreprise électrique Thusy-Hauterive, pour voir que ces minimums sont largement compensés par les crues du printemps, et par les apports provenant des orages et de la fonte estivale des neiges.

Ces courbes présentent l'aspect d'une série de pointes et de rentrants. Un bon baromètre enregistreur inscrit sur son tambour une courbe plus accidentée qu'un appareil moins sensible ; il enregistre plus vite, et avec plus d'ampleur, les plus minimes variations de la pression atmosphérique. De même la Sarine devient de plus en plus sensible aux précipitations, qui tombent sur son bassin de réception. Elle enregistre par une crue rapide et forte un orage, mais retombe vite à un faible débit. En résumé elle prend un caractère torrentiel.

Cet état de choses doit provenir d'une grande rapidité de ruissellement de l'eau tombée sur le bassin de réception vers la rivière qui est chargée de son drainage. Cet apport des précipitations au cours d'eau a été en effet rendu plus rapide par le déboisement et par le drainage.

Le déboisement, la plaie moderne des pays de montagne, supprime les arbres, spécialement organisés pour retenir l'eau des précipitations de mille manières, fait disparaître la terre végétale, qui s'en gorge comme une éponge, ne la rendant que peu à peu au fur et à mesure des besoins causés par la sécheresse, met à nu la roche sous-jacente, qui, usée, ravinée, emportée vers la rivière, lui donne cette couleur jaune caractéristique des temps de crue, enfin donne peu à peu au pays dans lequel il sévit un aspect aride, pelé et désertique.

Le drainage a pour but d'empêcher l'eau de séjourner dans les terres arables et d'assécher les marais, régularisateurs par infiltration du débit de la rivière dans le bassin de réception de laquelle ils se trouvent. Ce dernier facteur, de jour en jour plus important, favorise beaucoup l'apport des précipitations au cours d'eau, drainant le pays sur lequel elles tombent.

Evidemment ce n'est point une rivière à caractère torrentiel, que choisit le technicien pour alimenter ses turbines. Il remédie aux inconvénients des cours d'eau irréguliers par la construction de barrages formant des lacs artificiels, dont le niveau est maintenu constant par un jeu de vannes approprié. Mais un barrage s'alluvionne plus ou moins vite ; tel est le cas de celui de Fribourg, qu'il faut exhausser ou draguer. Un lac artificiel de grandes dimensions serait bien préférable ; c'est ce dont on parle actuellement pour le canton de Fribourg.

§ 2. *Vitesse d'un cours d'eau.*

La vitesse d'un cours d'eau est l'espace parcouru en l'unité de temps par un point donné d'un fil d'eau de ce cours d'eau. Disons immédiatement que cette vitesse variera, suivant la position du fil d'eau dans lequel est choisi le point, dans la rivière considérée. En supposant l'accélération à chaque instant annulée par le frottement sur le lit, l'eau pure, c'est-à-dire non chargée de matériaux, coulera d'un mouvement uniforme.

Bien des formules ont été proposées pour mesurer la vitesse des cours d'eau ; une des plus employées est celle d'Eytelwein :

$$v = k \sqrt{R \cdot i}$$

où R représente la profondeur hydraulique, exprimée par le rapport suivant :

$$\frac{S}{P} = R = \frac{\text{Section transversale}}{\text{Profil mouillé}},$$

i l'inclinaison, et k une constante, variable d'ailleurs avec le caractère du cours d'eau considéré. On admet ordinairement pour k les valeurs suivantes :

10, pour les torrents charriant beaucoup de matériaux solides, c'est le cas de la majorité des cours d'eau de montagne ;

40, pour les cours d'eau plus considérables, ayant toutefois leur source dans une région montagneuse. La constante doit être de cet ordre de grandeur pour la Sarine ;

50, 60, et même plus encore pour les grands fleuves.

Ordinairement on prend 50 pour valeur de k. Cette formule n'est qu'approchée, car, dans son établissement, qui est d'ailleurs aisé, on ne tient pas compte de l'influence de la nature du lit de la rivière.

La détermination théorique de la vitesse d'un cours d'eau en un point donné est une opération compliquée, nécessitant une série de sondages et de mesures pour connaître exactement les dimensions de la section transversale, au point où l'on veut mesurer la vitesse de la rivière.

Il est plus aisé de mesurer cette vitesse expérimentalement c'est cette méthode qui fut employée. On observe avec une bonne montre à seconde le temps que met un flotteur, de bois par exemple, pour descendre un parcours jalonné, ou mesuré avec précision au moyen d'un curvi-mètre sur une carte à grande échelle.

Application pratique :

Etudions, au moyen de cette méthode pratique, l'influence qu'exerce le barrage sur la vitesse des eaux qu'il

recueille. Pour cela, mesurons la vitesse de la Sarine en amont du barrage, en des endroits de plus en plus éloignés de l'ouvrage.

Remarquons d'abord que la vitesse est presque complètement amortie dans le voisinage immédiat du barrage. De plus, l'action de ce dernier ne se fait pas sentir probablement au-delà du coude, qui se trouve entre l'usine chargée d'alimenter le réservoir de la ville et l'Asile des vieillards; l'eau arrive en ce point avec une vitesse de rivière à pente forte, si bien qu'il est assez pénible de passer la Sarine à gué en cet endroit, ou de la remonter en barque au-delà de ce coude; un fort tourbillon se produit au bas de la falaise; ensuite, la vitesse du cours d'eau est déjà nettement diminuée. La vitesse est faible à la Pisciculture et diminue de plus en plus jusqu'au barrage.

Mesure de la vitesse de la Sarine au Breitfeld.

Un flotteur de bois mis à l'eau en ce point mit 45 minutes à parcourir 350 mètres. On avait donc pour valeur de la vitesse :

$$v = \frac{350}{45.60} = 0,129 \text{ mètres par seconde, ou } 464,4 \text{ m. à l'heure.}$$

Mesure de la vitesse de la Sarine à la Pisciculture :

Un flotteur de bois mis à l'eau en ce point mit 51 minutes 40 secondes à parcourir 100 mètres, ce qui donne une vitesse de

$$v = \frac{100}{340} : 0,294 \text{ mètres par seconde, ou } 30 \text{ centimètres environ, ce qui correspond à } 1080 \text{ mètres à l'heure.}$$

Nous avons donc la décroissance suivante :

1° Avant l'usine : vitesse normale de la rivière, de l'ordre d'une dizaine de kilomètres au moins.

2°) A la Pisciculture ; on constate une vitesse d'un kilomètre à l'heure environ.

3°) A la falaise du Breitfeld, on constate une vitesse d'un demi kilomètre à l'heure environ.

4°) Au barrage, la vitesse est presque complètement amortie.

Ces constatations ont été faites le premier Juin 1917, le lendemain de l'éboulement du Breitfeld, causé par d'abondantes pluies qui avaient fait notablement grossir le débit de la Sarine.

Ces chiffres montrent très nettement l'influence retardatrice et progressive exercée par le barrage sur la Sarine jusqu'à une distance de 2500 m. de l'ouvrage.

Passons maintenant à l'étude d'une particularité très intéressante : le fil d'eau. Le fil d'eau est, à chaque point de son cours, le point le plus rapide du courant d'une rivière. Si ce fil d'eau est déplacé, dévié, il se produit une érosion dissymétrique ; le cours d'eau creuse des méandres.

Pour déterminer le fil d'eau d'un fleuve, il faut mesurer avec précision la vitesse de divers fils d'eau de ce fleuve, choisis plus ou moins éloignés des deux rives.

Soit à déterminer le fil d'eau d'une rivière entre les deux sections transversales o et o' .

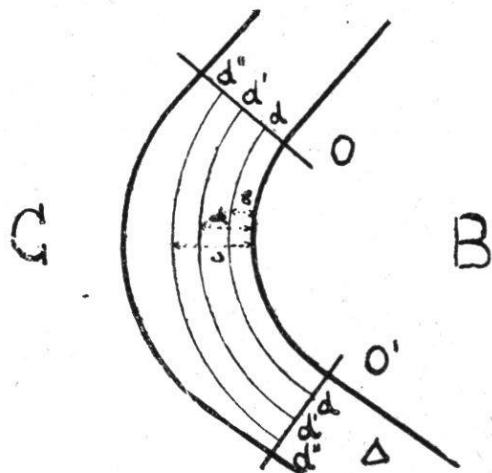


Fig. 1.

Un observateur jette un flotteur à une distance a du bord ; au moment où le flotteur tombe à l'eau, il presse sur le bouton d'un chronomètre totalisant les secondes. Un second observateur, placé en aval, à une distance me-

surée exactement, repère la section o' , comme le premier observateur l'a fait pour la section o ; il observe le corps flottant et fait un signal, au moment où le flotteur passe par la section o' . Le premier observateur arrête son chronographe ; soit t le nombre de secondes employé par le corps flottant pour parcourir l'espace dd séparant les deux sections o et o' . On recommence en faisant parcourir au flotteur l'espace $d'd'$ situé à une distance b du bord de la rivière, puis en lui faisant parcourir l'espace $d''d''$. Soient t' et t'' les temps employés par le corps flottant pour effectuer respectivement ces deux parcours. On constatera dans le cas figuré par le dessin ci-contre que $t'' < t' < t$; comme d'autre part approximativement $dd = d'd' = d''d'' =$ la base mesurée, on en déduira facilement les vitesses des divers fils d'eau considérés :

$$v = \frac{dd}{t}, \quad v' = \frac{d'd'}{t'}, \quad v'' = \frac{d''d''}{t''}.$$

En raison de l'égalité des espaces et de l'inégalité des temps mis à les parcourir, nous avons : $v'' > v' > v$.

On peut traduire ce fait graphiquement. Soient deux axes de coordonnées OX et OY ; portons en ordonnées les vitesses aux trois distances diverses de la rive B , et ces mêmes distances en abscisses. Nous obtiendrons une ligne du genre de la ligne OSC .

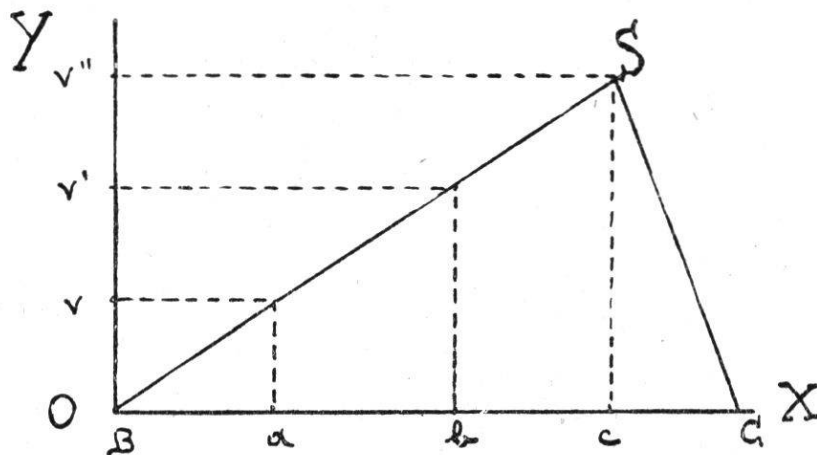


Fig. 2.

Application pratique :

Au moyen de cette méthode, nous pourrions facilement

construire une carte du fil d'eau de la rivière étudiée, en répétant cette opération un certain nombre de fois et en réunissant les points où l'on observe la plus grande vitesse pour tracer le parcours du fil d'eau.

Cette méthode est très utile pour déterminer le fil d'eau dans les tronçons rectilignes d'un cours d'eau, où son parcours est bien moins apparent que dans les tronçons sinueux. Elle fut employée pour déterminer le fil d'eau aux environs de la Pisciculture.

Détermination du fil d'eau à la Pisciculture.

La base mesurée avait 100 mètres de longueur ; les résultats suivants furent obtenus :

1^o) Près du pilier de la passerelle détruite, le flotteur emporté par le courant met 6 minutes pour parcourir la base ; sa vitesse dans ce fil d'eau était donc exactement d'un kilomètre à l'heure.

2^o) Près de l'îlot sablonneux, plus rapproché de la rive droite que de la rive gauche, le flotteur emporté par le courant met 7 minutes pour parcourir la base, ce qui correspond à une vitesse de 857 mètres à l'heure.

Le fil d'eau est donc en cet endroit plus rapproché de la rive gauche que de la rive droite.
