

de commerce, banques, administrations, etc., allument leurs lampes. Vers 5 heures, les bureaux sont fermés et c'est le tour des restaurants, hôtels, etc., qui produisent la seconde pointe vers 5 heures trois quarts.

La première courbe se rapporte à la saison d'été; les deux pointes n'existent pas et l'on voit une allure plus régulière.

En de prochains articles, nous décrivons l'utilisation électrique des chutes du Niagara.

J. COURBIER,

Ancien élève de l'Ecole Polytechnique
et de l'Ecole Supérieure d'Electricité de Paris
Licencié en Droit.

Réflexions sur les études préliminaires à l'aménagement des chutes d'eau

I. Essai de classification des chutes

1^o Que faut-il entendre par haute, moyenne et basse chute? Y a-t-il intérêt à conserver ces expressions?

A prendre les choses du point de vue de la mécanique rationnelle, ces expressions imprécises sont sans utilité, l'indication de la mesure métrique du débit et de la hauteur suffisant à différencier les chutes entre elles. Aussi les traités didactiques, tout au moins ceux qui sont à la disposition du commun des mortels, traitent-ils cette question par prétérition.

Cependant les auteurs qui ont dû exposer la question au public ont du lui parler sa langue. M. Aristide Bergès (opuscule *La Houille Blanche*, page 7, ligne 13) emploie l'expression *haute chute* ce qui implique l'usage de toute la série. Les auteurs de publications industrielles récentes, les constructeurs de machines se servent, comme le grand public, de ces expressions et on doit les adopter quand on veut se faire entendre.

Il convient donc d'en préciser le sens.

Tout d'abord la valeur de ces dénominations ressort-elle nettement de l'usage qui en est actuellement fait?

Voici, par exemple, le savant directeur d'une très importante maison de constructions, qui a un renom universel, que lisons-nous dans la notice qu'il a rédigée pour diriger ses clients, dans le choix d'une turbine ou d'une roue?

« Nous divisons les chutes en quatre classes :

1^o *Les basses chutes*, dont la hauteur est comprise entre 0 m. 50 et 3 m.

2^o *Les moyennes chutes*, entre 3 m. et 8 m.

3^o *Les hautes chutes*, entre 8 m. et 12 m.

4^o *Les très hautes chutes*, depuis 12 m. et au-delà. »

Cette classification semble calquée sur l'ancienne répartition des machines à vapeur entre les types de machines à basse, moyenne et haute pression, laquelle prêtait fortement à l'arbitraire, comme chacun sait, et variait selon les auteurs et les constructeurs.

A côté de cette première classification nous devons citer l'opinion d'une maison de constructions étrangère, et non

des moindres. Pour elle les *hautes chutes* ne commencent qu'au delà de 100 m.

M. Rateau, ingénieur des Mines, au Congrès International de Mécanique de 1900, dit qu'on est « assez généralement d'accord pour qualifier de petites chutes, celles qui sont inférieures à 6 m. et de grandes celles qui dépassent 40 m. »

Enfin, M. de la Brosse, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, dans une étude (1) récente qualifie de *chutes faibles* (quelques mètres) des chutes ayant jusqu'à 12 m. de haut et de *chute d'importance moyenne* des chutes de 60 m. à 70 m.

Il ne qualifie pas les chutes de 500 m. à 600 m. et il n'indique pas non plus, encore qu'on s'en doute, dans quelle catégorie il range celles de 20 m. à 40 m.

Sans qu'il soit nécessaire de prolonger ces citations, on avouera qu'il est embarrassant de choisir et qu'il est bien désirable de trouver un moyen de sortir de l'indécision, ne serait-ce que pour s'entendre.

Nous croyons avoir trouvé un pareil moyen, mais avant de le proposer il convient d'éclaircir un point spécial, qui servira à préciser nos conventions.

2^o Quelle limite extrême de hauteur peut-on assigner actuellement aux plus hautes chutes?

Théoriquement, il n'y a pas de limite supérieure à fixer aux hauteurs de chute; mais, en pratique, il semble qu'on puisse en fixer une en s'aidant de considérations rationnelles.

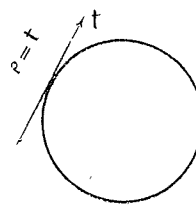
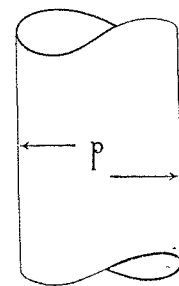
Pour capter les chutes on se sert de tuyaux et, afin d'allier la solidité à la légèreté, on les fait souvent en métal. Or, la résistance spécifique des métaux aux efforts d'extension auxquels on peut les soumettre n'est pas indéfinie. C'est cette résistance que nous utiliserons en premier lieu, pour assigner une limite pratique à la hauteur des colonnes d'eau à mettre en œuvre.

Actuellement la métallurgie fournit au commerce des fontes capables de résister couramment à des efforts de traction de 15 par millimètre carré de section (2) du métal. Or, on sait d'après les théorèmes de Lamé, que si t représente la tension moyenne par unité de surface de la section transversale de la matière du tube et p la pression qui s'exerce sur l'unité de la surface cylindrique intérieure au même endroit, on a entre ces deux forces l'équation :

$$t - p = c^0 = a \quad (1)$$

a est la tension initiale du métal quand la pression p est nulle ($a = t - 0 = t_0$). Dans un tuyau simple, plein d'air, la tension initiale t_0 est nulle, c'est la valeur de la constante dans ce cas particulier, et nous écrivons :

$$t - p = 0 \quad (2)$$



(1) Les installations hydro-électriques dans la région des Alpes, par R. de la Brosse — Grenoble, Gratier.

(2) Soit 1/10 de l'effort produisant la rupture estimé à 15 kg par millimètre carré de section pour les fontes ordinaires. Une fabrication soignée obtient beaucoup plus.

Il en résulte que la pression p , qu'on peut exercer à l'intérieur du tube, est limitée par la tension t que le métal peut supporter sans dommage.

Or, si $t = 1^k5$ par mm^2 de section du métal, la pression tolérable par millimètre carré de surface intérieure du tube sera également 1^k5 et, par centimètre carré de cette surface, $1^k5 \times 10^2 = 150^k$. C'est la pression qu'exercerait une colonne d'eau de 1 500 m. de haut sur chaque centimètre carré de sa section de base. Car sur chacun des centimètres carrés de cette base reposerait une colonne de 150 000 centimètres de haut, cubant $150\ 000\ \text{cm}^3$ et pesant 150 000 m. ou 150^kg et, à tout niveau, la pression est la même en tous sens quand le liquide est en repos.

Mais on sait aussi, d'autre part, que les effets des chocs sont deux fois plus accusés que ceux des efforts statiques. Communément on en tient compte en doublant, pour le moins, les dimensions que les calculs assignent aux organes des machines en raison des efforts statiques auxquels ils peuvent être soumis. Nous inspirant du même principe nous n'exposerons nos matériaux qu'à des efforts moitié moins grands que ceux que le calcul vient de nous indiquer. Nous estimons donc sage de ne pas dépasser $\frac{1500^m}{2} = 750^m$ pour les plus grandes hauteurs de chute à mettre en œuvre, afin d'avoir des assurances sérieuses contre les coups de bélier possibles (1).

Telle est donc la hauteur d'eau qu'on pourrait exploiter en toute sécurité en faisant ses tuyaux, *même en fonte*. Nous n'hésitons pas à l'adopter comme limite supérieure des hauteurs de chute, afin de diminuer, d'une manière aussi rationnelle que possible, la part de l'arbitraire dans la classification que nous avons en vue.

Nous ne nous dissimulons nullement, du reste, que l'emploi de l'acier permettrait de reculer considérablement cette limite. Aujourd'hui tous les industriels ont adopté les tuyauteries en tôle d'acier, au grand avantage de la sécurité de leurs installations.

Mais une autre raison milite encore en faveur de l'adoption de cette limite de 750 m., savoir la manière dont la vie se répartit dans le relief montagneux.

Cette répartition est due à des phénomènes très divers : climatiques, agricoles, hydrographiques, géologiques et sociaux. Nous ne pouvons pas songer à développer ici leur analyse qui est, à proprement parler, la géographie même ; tout au plus pouvons-nous la résumer très brièvement pour ne pas nous écarter hors de propos de notre sujet.

Quand on cherche à classer entre elles les altitudes auxquelles montent les diverses cultures agricoles, horticoles, forestières et alpestres de la zone tempérée, on trouve qu'*en moyenne* on peut partager le relief en quatre étages, savoir :

- 1° Etage des cultures agricoles et horticoles.
- 2° Etage des forêts.
- 3° Etage de l'alp, du pâturage.

(1) Il convient aussi, dans cet ordre d'idées, de tenir compte de la résistance des enveloppes des turbines, qui sont fréquemment faites en fonte et où le métal reçoit des formes tourmentées ne lui permettant pas de résister aussi bien que celui de la conduite à la pression de l'eau, laquelle est la même dans l'un et l'autre de ces réceptifs.

4° Etage presque stérile, domaine de la glace et du rocher.

Si on cherche à classer les passages de vallée à vallée en raison de leur praticabilité aux diverses saisons on en vient à définir aussi quatre étages qui sont :

- 1° L'étage de la praticabilité des voies en toute saison.
- 2° Celui de la praticabilité réduite au printemps, à l'été et à l'automne.
- 3° L'étage de la praticabilité pendant l'été seulement.
- 4° Celui où la praticabilité n'est jamais, ou presque jamais assurée, c'est-à-dire celui de la glace perpétuelle (où on peut en toute saison trouver de la glace sur le sol).

Partant de là, comme la population s'est tout naturellement agglomérée là où elle pouvait vivre le plus aisément et comme la voie de communication est le complément obligé de la maison, le réseau des chemins s'est trouvé forcément plus serré, plus complexe, dans les parties les plus basses, les plus riches et les plus tempérées. Le relief local est alors venu faire sentir son action : les chemins se développant plus aisément sur les replats que sur les escarpes, partout où des replats ont présenté des conditions favorables à la vie, le lacis des voies de communication a été plus fourni.

Ces exemples sommaires suffisent pour rendre perceptible aux moins attentifs l'existence d'un certain nombre de causes dont les effets, plus ou moins convergents selon les lieux, les époques et les terrains, s'accusent dans la répartition de la vie dans le relief montagneux.

Quant on essaye de résumer dans une vue synthétique chiffrée ces divers effets, on arrive à constater que l'on peut, en général, considérer un tel relief de la zone tempérée comme divisé en quatre étages égaux définis comme suit :

De l'altitude 0 m. à l'altitude 750 m. est la région des cultures variées, le fond des grandes vallées. Dans cette zone, la population a son maximum de densité et la viabilité est à son maximum de développement.

De 750 à 1500 m. est la région des prés et des bois ; les voies carrossables y deviennent rares et médiocres et le mulet est le grand agent des transports.

De 1500 m. à 2250, est la région de l'alp ; la viabilité y devient de plus en plus rudimentaire, en bien des endroits le mulet lui-même passe avec peine et le portage à dos d'homme devient un facteur appréciable pour les transports.

De 2250 à 3000 m. et au-dessus, le rocher nu et la glace deviennent prédominants, la vie se manifeste comme fort peu intense.

La latitude, l'exposition, la situation à proximité plus ou moins grande des trajectoires des grands mouvements de l'atmosphère, font naturellement plus ou moins osciller les séparations de ces régions de part et d'autre de ces limites. Cependant, ceux qui ont longtemps parcouru les Alpes, reconnaîtront que ce tableau est fidèle dans sa généralité. Il suffit, au surplus, de consulter les cartes pour récolter en abondance des exemples vérifiant ces vues.

Or, dans l'état actuel de l'industrie, il semble qu'il n'y ait pas lieu de rechercher normalement la réalisation de conduites rachetant des différences de niveau de plus de 750 m. Avec une pareille conduite, en effet, l'habitant du bord de la mer (à l'altitude 0, *a fortiori* l'habitant du fond d'une

grande vallée) peut capter l'eau qui coule au bas de la région des prés bois. Profitant ainsi d'un débit notable dû à la collection de mille artères, il pourra faire prospérer une industrie usinière installée entre les mailles d'un réseau bien fourni de voies de communications commodes. Celui qui, au contraire, habite 750 m. plus haut pourra capter un moindre débit au sommet des bois (altitude 1500 m.) et usiner chez lui une énergie qu'il répandra au loin, mais pour être plus spécialement consommée à un niveau peu différent de celui de l'usine génératrice.

La région qui s'étend par 1500 m. d'altitude n'est pas une région industrielle par elle-même. Les voies de communication y sont médiocres et rares, l'habitation y est rude, les usines ne s'y emplaceront que dans des cas très particuliers, comme ceux que caractérise une exploitation de mine ou de carrière, ou la nécessité de capter un lac, ou l'émissaire d'un glacier qu'on ne pourrait pas utiliser autrement; et, encore dans ces cas, les conduites n'auront probablement pas à racheter des différences de niveau de plus de 750 m. L'occasion de mettre en œuvre des chutes plus hautes sera donc tout à fait exceptionnelle.

Il ne semble pas, non plus, qu'en général il y ait intérêt à chercher à desservir une usine d'un fond de grande vallée par une colonne d'eau plus haute, car on aurait toujours à compter ensuite avec les frais de transport de l'énergie électrique de l'altitude 0 m. à l'altitude 750 m., comme avec toutes les pertes dues à des transformations plus multiples et à un réseau d'un plus grand développement.

Pour toutes ces raisons, nous fixons à 750 m. la hauteur maxima de la chute d'eau industrielle.

3°. Essai d'une classification des hauteurs de chute.

Cela étant admis, remarquons que si Q désigne le poids (ou le volume, le poids spécifique de l'eau étant 1) de l'eau qui franchit le seuil de la chute en 1 seconde et H la hauteur totale d'où elle tombe, le travail QH que cette masse pourra restituer, à son arrivée au pied de la chute, sera la mesure de la *puissance de la chute*, si on le suppose consommé dans la seconde qui suit son arrivée en bas.

Nous pourrions alors toujours exprimer cette puissance sous une forme telle que : $QH = K^2$ (3) par laquelle il devient évident que, si K est constant, Q et H sont liés ensemble par une loi hyperbolique d'où il résulte que plus H est grand, plus Q doit être petit et inversement; que, par suite, pour une même valeur K^2 de la puissance de la chute, il y a une infinité de hauteurs et de débits qui se conjuguent deux à deux.

Si K, et par suite K^2 , est variable l'équation (3) représente une surface susceptible d'une définition topographique par une série de courbes parallèles au plan du papier. La projection en bonne place sur le papier des hyperboles équilatères qui constituent les courbes de niveau, donnera un diagramme tel que celui qui est figuré ci-après.

Si, par exemple, nous donnons à K les valeurs suivantes :
 K = 1 10 100 250 500 750
 les valeurs de K^2 concomitantes sont :
 $K^2 = 1$ 100 10 000 62 500 250 000 562 500

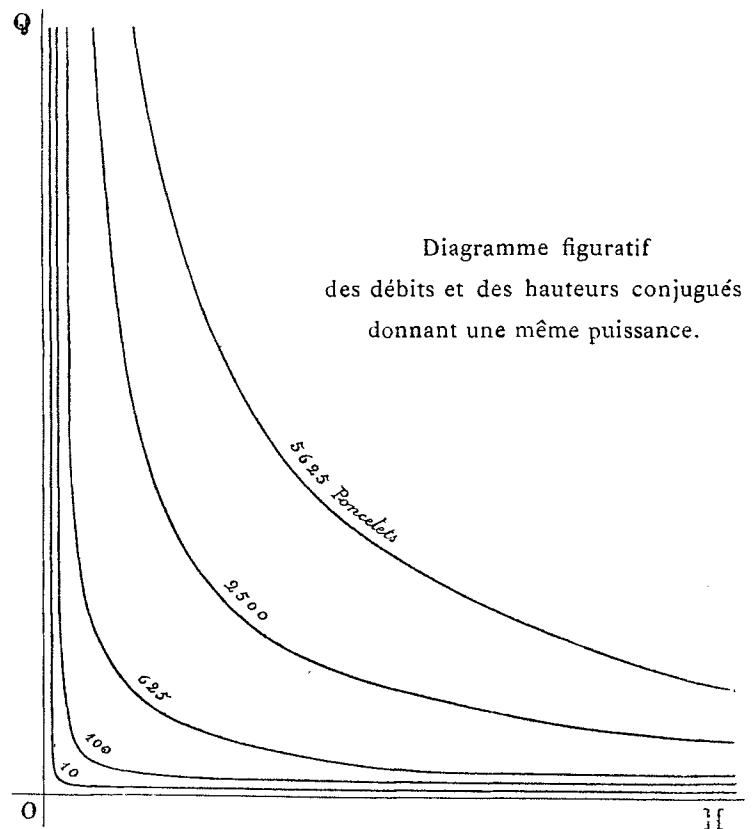
et ces nombres représentent, en kilogrammètres par seconde, et par suite en poncelets (le poncelet = 100 kgm. : sec), diverses valeurs de la puissance de chute.

On peut alors dresser le tableau suivant qui gradue, en langage ordinaire, l'appréciation qu'on peut, au point de vue mécanique, porter sur les valeurs relatives de ces puissances entre elles, par interprétation du diagramme

TABLEAU I

K	K^2 en			QUALIFICATIONS
	Kilogrammètres : sec.	Poncelets	Chevaux vapeur	
1	1	0,01	0,013	(1) faibles puissances.
10	100	1	1,33	petites puissances.
100	10 000	100	133	moyennes puissances.
250	62 500	625	833	grandes puissances.
500	250 000	2 500	3 333	très grandes puissances.
750	562 500	5 625	7 500	

Cette classification semble s'accorder d'une manière satisfaisante avec les tendances actuelles du langage usuel, ce que nous considérons comme un point très important.



L'équation (3) et le diagramme nous montrent de plus que ces puissances sont celles qu'on réaliserait en faisant

(1) Il est à peine besoin de faire remarquer qu'une aussi faible puissance hydraulique n'est pas industrielle; mais, entre la limite inférieure qu'elle marque et le degré immédiatement supérieur, s'emplacement toutes les fractions de cheval qu'on peut rencontrer dans les installations domestiques; c'est pour cela que nous maintenons cette puissance de 1 kilogrammètre par seconde comme origine de notre échelle.

tomber d'une hauteur mesurée par un certain nombre de mètres une masse d'eau mesurée par le même nombre de litres (ou de kilogrammes), circonstance qui se traduit algébriquement par les identités :

$$Q \times Q = H \times H = K^2, \text{ d'où } H = K \quad (4)$$

Il en résulte que la première colonne de notre tableau peut, à notre volonté, représenter des mètres de hauteur de chute ou des litres.

Si ce sont des mètres nous sommes tout naturellement amenés à dénommer, par correspondance avec notre tableau I.

TABEAU II

Très faibles hauteurs, celles qui son comprises entre	0m et	4m
Faibles	1m et	10m
Petites	10m et	100m
Moyennes	100m et	250m
Grandes	250m et	500m
Très grandes	500m et	750m

et même au-delà de 750 m. pour englober les cas exceptionnels de l'avenir.

Cette classification dérive ainsi d'une interprétation positive de la valeur des puissances, elle s'accorde bien avec les conditions naturelles auxquelles nous avons fait appel pour déterminer la hauteur limite supérieure des chutes industrielles ; sur la hauteur de 750 m. peut s'échelonner toute la gamme des hauteurs usuelles et les tendances du langage actuel semblent satisfaites ainsi que celles de la raison.

4°. Autre manière de concevoir les éléments caractéristiques.
Puissance spécifique, débit spécifique

Dans le cabinet on peut, sans trop de peine, se livrer au rapprochement et à l'évaluation des racines carrées des nombres de poncelets par lesquels se mesurent les puissances des chutes, afin de les interpoler dans notre diagramme ou dans notre tableau. Mais si, comme l'ingénieur et l'industriel en ont besoin, il faut se livrer à ces comparaisons hors du cabinet, ou concréter ces données pour les traduire à des non initiés, les difficultés qu'elles avaient permis d'écartier renaissent sous une autre forme.

La conception simultanée d'un débit et d'une hauteur, traduits par un même nombre représentant des unités d'espèces différentes, n'est pas, en effet, acceptée sans effort par l'esprit. Nous pensons être parvenu, de la manière suivante, à rendre claire et d'un usage facile la graduation des puissances concomitante avec celle des hauteurs.

Appelons *puissance spécifique* d'une chute, le nombre P de poncelets engendrés par la chute de 1 kilogramme d'eau, nous dirons alors que la puissance spécifique est comprise pour les :

TABEAU III

	Poncelet	Poncelet
Très basses chutes.....	entre 0,	et 0,01
Faibles	entre 0,01	et 0,1
Petites	entre 0,1	et 1,
Moyennes	entre 1,	et 2,5
Hautes	entre 2,5	et 5,
Très hautes	entre 5,	et 7,5

Si nous rapprochons les chiffres de cette liste des valeurs des hauteurs que nous avons inscrites dans le tableau II précédent, il nous apparaît qu'on passe des hauteurs aux puissances spécifiques en divisant par 100 le nombre qui exprime les mètres de la hauteur de chute et réciproquement.

Remarquons aussi que la *puissance absolue* K^2 de la chute est également égale au produit QP du débit par la puissance spécifique. Mais QP représente des poncelets, K^2 des kilogrammètres par seconde, pour que la comparaison de ces nombres ait un sens il faut exprimer les deux termes en fonction des mêmes unités, par exemple des poncelets, il faut alors diviser par 100 le nombre des kgm : sec. et le résultat de la comparaison donne :

$$QP = \frac{K^2}{100} \quad (5)$$

Comme, d'après la remarque précédente, $P = \frac{H}{100}$, cette expression est identique à l'expression (3).

Cette propriété pourrait aussi s'énoncer comme suit : *la puissance spécifique d'une chute est le nombre de kilogrammètre marqué par le nombre des mètres de la hauteur de chute.* C'est bien à cet énoncé qu'on fait implicitement appel quand on classe les chutes par leur hauteur seule.

La puissance spécifique n'est donc pas, à proprement parler, un élément nouveau caractéristique de la chute, mais une manière particulière d'envisager la hauteur.

La classification des chutes par le moyen de leur puissance spécifique est aussi identique à celle que nous avons déjà adoptée.

C'est alors le débit seul qui permettra de différencier entre elles les chutes de même hauteur ou de même puissance spécifique ; mais, au sujet de ce paramètre, nous retombons dans des difficultés de même ordre que celles qui nous ont arrêté dans l'évaluation de la hauteur de chute. Qu'est-ce qu'un grand ou un petit débit ?

Tout d'abord remarquons qu'à l'inverse de la hauteur, qui est sensiblement invariable pour une chute déterminée, le débit est nettement variable avec deux éléments distincts dont il n'est pas possible de faire abstraction : la saison et la largeur de la prise d'eau.

Pour simplifier les explications nous supposerons que la largeur de la prise est la largeur même du cours d'eau capté. Si elle n'en était qu'une partie aliquote nos conclusions n'en subsisteraient pas moins du reste, toutes proportions gardées bien entendu.

Nous sommes ainsi amené à comparer la valeur absolue du débit à la largeur du cours d'eau et, par conséquent, à envisager ce que peut être le débit par mètre de largeur du dit cours d'eau (1). Nous appellerons ce débit : *débit spécifique de la chute.*

Mais, suivant que nos mesures auront été faites en hiver, au printemps ou en été, notre débit aura une valeur ou une

(1) Le capitaine d'artillerie Boileau, dans son *Traité de la mesure des eaux courantes* (Paris, Mallet-Bachelier, 1854), a établi que, pour les besoins de la pratique, il est parfaitement légitime d'admettre en toute circonstance, la proportionnalité du débit à la largeur du cours d'eau quelle que soit cette largeur et la forme du profil transversal.

autre. Laquelle choisir ? Evidemment celle qui correspond aux plus basses eaux, parce que si l'abondance ne peut pas nuire le défaut ne peut être suppléé.

Quelle valeur inscrirons-nous alors dans notre échelle des débits spécifiques ?

Reportons-nous aux égalités (4). Elle nous donnent, comme nous l'avons déjà remarqué, aussi bien $Q = K$ qu'elles nous ont donné $H = K$, de sorte que, par une conclusion analogue à celle que nous en avons déduite pour les hauteurs, nous admettrons qu'on désigne les débits spécifiques sous le nom de :

TABLEAU IV

Faibles, quand ils oscillent entre	1 litre	et	10 litres	par seconde.
Petits,	—	—	10	— 400 —
Moyens	—	—	100	— 250 —
Gros	—	—	250	— 500 —
Très gros	—	—	500	— 750 —

Dans ces conditions, une rivière qui aurait 100 m. de large et qui, aux basses eaux, débiterait 750 litres par mètre de largeur, ce qui est un gros débit spécifique, donnerait 75m^3 pour son ensemble. C'est à peu près le volume que débite un fleuve, le Rhône, à sa sortie du lac de Genève aux plus basses eaux et sur une largeur un peu plus grande que 100 m. C'est le débit de l'Isère à ses basses eaux à Grenoble. Dans les mêmes conditions, la Seine à Paris a donné 48m^3 (Arago a dit à la Chambre des députés : 100m^3 à son grand bras devant le Palais de Justice) (1).

Nous voyons alors le *débit spécifique* q , jouer un rôle analogue à celui que nous avons reconnu à la puissance

spécifique, de telle sorte que, le débit spécifique explique l'influence du débit réel comme la puissance spécifique explique l'influence de la hauteur dans la composition de la valeur complexe qu'est la puissance totale de la chute.

Les identités suivantes où L est la largeur de la chute :

$$Q = qL \quad (6)$$

$$QP = qLP = Q \frac{H}{100} = qL \frac{H}{100} = \frac{K^2}{100} \quad (7)$$

traduisent les conclusions en langage algébrique.

Mais pour que cette unité spéciale, le débit spécifique, nous rende tous les services que nous sommes en droit d'en exiger, il faut que nous puissions apprécier sa variation à toute époque et principalement sa variation entre les maigres et les crues.

En effet, un cours d'eau peut se trouver être de petit débit spécifique pendant une saison, et de très gros débit spécifique pendant une autre. C'est là une variation de grande importance pour la pratique.

Les âges passés ne nous ont donné que peu de renseignements sur les variations du cours d'eau, et, à l'heure actuelle, on ne sait que bien peu de choses des lois qui président à leurs crues et à leurs décrues. Force sera donc, à l'avenir, de procéder dans chaque cas particulier à des mesures patientes et longtemps continuées pour avoir des renseignements sur cet objet qui est d'importance évidente. Ce n'est pas là une des moindres difficultés de l'hydraulique naturelle. Ces mesures devront aboutir à l'évaluation du rapport des divers débits, à diverses époques, à la valeur de l'un d'eux pris comme unité, celui des plus basses eaux par exemple. Nous appellerons ce rapport *coefficient de crue*. Pour les cas actuellement connus, il se présente avec

(1) D'après le cours élémentaire de mécanique de M. Delaunay, un débit, de 10m^3 à 12m^3 par seconde, caractérise une rivière qui devient navigable si le débit se hausse à 30m^3 ou 40m^3 , au-dessus de 100m^3 on a un fleuve.

La classification méthodique des cours d'eau est une œuvre fort malaisée attendu que les paramètres qui peuvent permettre de les différencier les uns d'avec les autres sont mutuellement variables suivant des lois complexes à peine pressenties.

La propriété d'être flottables et navigables, qui semble appeler une réponse précise, est au demeurant incertaine ainsi que nous allons le montrer.

Pour qu'un cours d'eau soit flottable il faut qu'il offre 0 m. 20 de mouillage, au moins, et le moindre bateau, pour peu qu'on le charge, en exige 0 m. 35 pour naviguer. Or, la profondeur n'est pas tout, la largeur intervient aussi et la pente du lit, dont résulte la vitesse.

Dans ces conditions que devient la classification de M. Delaunay qui a tout au moins, le mérite de la simplicité des termes ?

Il est d'observation courante qu'un fleuve ou une rivière a, dans nos contrées, environ 200 m. de large dans la partie moyenne de son cours. C'est en vue du franchissement de tels cours d'eau que tous les pays dont l'organisation militaire est rationnelle ont des équipages de pont de corps d'armée ou d'armée. La longueur qu'un tel équipage permet de ponter est de 230 m. en moyenne. Admettons 200 m.

Si un cours d'eau de cette largeur, de profil rectangulaire, avait une pente de $\frac{1}{1000}$ (Le Rhône depuis son confluent avec la Saône jusqu'à sa rencontre avec l'Isère, n'a guère qu'une pente moitié moins forte) et débitait les 100m^3 de M. Delaunay, son débit spécifique serait $\frac{100 \cdot 000}{200} = 500$ litres, gros débit d'après notre classement.

En appliquant, *par analogie*, à ce cas, les formules d'écoulement

dans les canaux on trouverait que la hauteur de la masse d'eau qu'il roule est voisine de 0 m. 30, ce qui le classerait entre les cours d'eau flottables et ceux qui sont navigables.

Le débit seul n'est donc pas suffisant pour définir un cours d'eau.

Nombre de grands fleuves sont dans des cas analogues et il a fallu pour les rendre navigables, aménager leurs lits de façon spéciale. L'Oder, l'Em, le Weser en donnent des exemples et, chez nous, le Rhône, dont la navigabilité est assurée à Lyon avec un mouillage minimum de 3 m. grâce aux endiguements de la Mulatière, et dont la navigabilité en aval de Lyon fait actuellement l'objet de travaux spéciaux, digues submersibles, épis, etc. La propriété d'être flottable ou navigable est donc pour un cours d'eau relative et contingente aux aménagements artificiels dont il est l'objet.

Les petits fleuves ont aux environs de 100 m. de largeur et on voit qu'avec les 100m^3 de M. Delaunay leur mouillage s'établirait vers 0 m. 60, au minimum, ils sont naturellement navigables.

Les rivières moyennes, celles qui sont franchissables avec une seule division d'équipage de pont, ont environ 60 m. de largeur; si avec cet écartement de rives elles ne roulent que 30m^3 à 40m^3 d'eau, leur débit spécifique est encore gros (500 à 666 litres) et leur mouillage apparaît de 0 m. 30 à 0 m. 50. Le critérium de M. Delaunay leur convient parfaitement.

Les rivières qui n'ont guère plus de 30 m. de large, et qui ne laissent passer que 12m^3 d'eau ont un débit spécifique encore gros, d'après notre échelle, 400 litres, mais leur mouillage de 0 m. 20 les classe nettement dans la catégorie des cours d'eau flottables.

Sans prolonger davantage les rapprochements, on se rendra compte qu'en somme, le critérium de M. Delaunay n'est simple qu'en apparence et qu'il demande à être interprété à cause de la complexité des faits. Nous espérons que nos définitions aideront à cette interprétation.

les valeurs les plus diverses : 4 pour la Somme, 310 pour le Rhône à son embouchure dans le lac de Genève, 24 pour le lac de Genève, à Genève, 1400 pour la Loire, à Roanne, 1700 pour l'Ardèche à son confluent dans le Rhône, etc. Les torrents sont caractérisés par les grandes valeurs du coefficient de crue.

5° Conséquences.

De cet exposé, il résulte qu'en pratique les éléments : débit, hauteur de chute, puissance, doivent être rapportés à des unités spécifiques bien définies pour pouvoir, en langage ordinaire, présenter un sens concret.

Il en résulte aussi qu'en adjoignant le coefficient de crue aux mesures de la chute faites dans les unités particulières on définit les circonstances extrêmes de l'existence de cette chute, de façon à en compléter le signalement de la manière la plus pratique.

Il semble, dès lors, possible de comparer *a priori*, les différentes propriétés des chutes exprimées en mots du langage usuel, qu'on fait ainsi peser dans le discours d'un poids précis et défini. L'usage et la raison voient ainsi leurs exigences conciliés.

C'est là un résultat dont l'importance pratique nous semble réelle, par la clarté qu'il permet de mettre désormais dans les études et par la manière dont il peut rendre fructueux les rapprochements entre les propriétés des différentes chutes.

Si, par exemple, un grand lac équatorial se déverse par une arête de 3 kilomètres de long et débite 30 000 m³ par seconde avec 50 m. de chute, nous dirons que nous avons là une *basse chute, à petite puissance spécifique, à très gros débit spécifique*, donnant la puissance absolue considérable de 15 000 000 poncelets.

Si, de plus, son coefficient de crue est de 24, comme il semble être pour le Léman, nous voyons que lorsque les eaux deviennent abondantes, sa puissance peut atteindre une valeur très considérable (1)

En regard de ce lac, supposons une cascade de 800 m. de chute, de 0 m. 50 de large, avec un débit de 100 litres. Son débit spécifique serait petit ($\frac{100}{0,5} = 200$ litres) sa hauteur, donc sa puissance spécifique, très grande (8 poncelets). Sa puissance absolue, en se reportant au tableau I, sera considérée comme grande, mais sans excès (2).

(1) La rapidité des crues et des décrues, très importante en pratique, est étrangère à notre thèse, encore qu'elle s'y rattache ici. Elle fera l'objet d'autres études. Elle est, comme chacun sait, directement influencée par la superficie du lac, par sa forme plus ou moins épanouie, par la nature du sol de ses rives, leur état de dénudation ou de gazonnement et de boisement, les vents régnants, la fréquence et l'abondance des pluies, etc., etc. Plus le cours d'eau est resserré, plus toutes choses égales d'ailleurs, crues et décrues sont brusques.

(2) A supposer qu'une verticale de 800 m. existe quelque part dans la nature, ce qui doit être rare, il est bien présumable qu'une masse d'eau de faible importance comme celle-ci, arriverait presque entièrement à l'état pulvérulent en bas de la chute. En effet, les vents d'ouragan soulèvent des embruns en rasant la surface de la mer, leur vitesse n'est que de 45 m. à 50 m. par seconde. Cette valeur de la vitesse est acquise par une chute de 100 m. Elle atteindrait 125 m.

Mais si cette chute provient d'un torrent dont le coefficient de crue soit 1700, comme celui de l'Ardèche, on est tout de suite renseigné sur la violence extrême des effets qu'elle peut produire.

Cette manière d'évaluer les diverses propriétés de la chute, met donc bien en évidence la valeur relative de chacun des facteurs de la puissance, et permet de préciser le langage usuel par lequel on les caractérise. C'est le résultat que nous avons en vue en abordant cette étude.

Commandant AUDEBRAND,

Ancien élève de l'École Polytechnique,
Ingénieur.

Sur la Fabrication synthétique de l'Alcool en partant du carbure de calcium

L'utilisation industrielle de l'alcool à l'éclairage, au chauffage et principalement à la production de la force motrice, entre dans une voie qui semble devoir être féconde en résultats pratiques. Et pour peu que cette utilisation se généralise, les producteurs actuels d'alcool n'auront pas les moyens de faire face aux exigences de la consommation. On poussera l'agriculture à satisfaire aux besoins de cette nouvelle industrie, mais on peut se demander si notre sol sera assez riche pour alimenter toutes les fabriques d'alcool qu'un avenir, peut-être prochain, nécessitera.

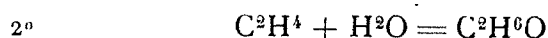
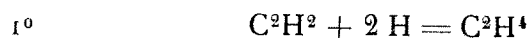
Il nous paraît donc d'actualité de rappeler ici un procédé de fabrication artificielle de l'alcool qui mettrait en œuvre d'autres ressources dont notre pays est également si riche et qui même paraissent inépuisables : nous voulons parler des forces motrices hydrauliques. On peut en effet faire de l'alcool de toutes pièces, en partant du carbure de calcium ; opérer sa synthèse en empruntant, par voie chimique, au charbon et à l'eau tous ses éléments constitutifs. Ce procédé auquel on n'a pu songer que depuis la fabrication industrielle du carbure de calcium, intéresse donc grandement l'industrie, appelée à vivre de la Houille blanche.

Le principe de la préparation synthétique de l'alcool est le suivant :

L'acétylène C²H² est susceptible de s'hydrogéner en se transformant en éthylène C²H⁴.

D'autre part, l'éthylène, en se combinant aux éléments de l'eau, donne l'alcool éthylique C²H⁶O.

Il y aura donc, pour opérer cette synthèse, deux réactions à produire, représentées par les équations suivantes :



pour 800 m. On voit, sans insister, quelle facilité l'air a de pénétrer une masse d'eau quelque peu gracile. Nous nous sommes donc placés dans un cas que la nature n'offrira pas spontanément, mais rien n'empêche de racheter 800 m. de différence de niveau par une conduite forcée, et alors les conditions de notre exemple deviennent réelles.