

Zeitschrift: Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Herausgeber: Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel
Band: 25 (1896-1897)

Artikel: Sur l'utilisation rationnelle des forces motrices hydrauliques
Autor: Ritter, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-88399>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 25.02.2026

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

Séance du 8 avril 1897

SUR L'UTILISATION RATIONNELLE
DES
FORCES MOTRICES HYDRAULIQUES

PAR G. RITTER, INGÉNIEUR

L'exposé que je me permets de vous faire vous démontrera une fois de plus combien le progrès dans le domaine matériel est lent à se produire, et combien il faut d'ouvriers et de pionniers persévérants pour faire avancer d'un cran l'engrenage ou la roue qui, mieux que celle de la fortune, représente le bien-être général.

Rien de plus captivant ne s'offre à l'étude de l'homme que cette giration perpétuelle de l'eau, passant partiellement des immenses mers ou récepteurs, qui couvrent les trois quarts du globe terrestre, dans l'atmosphère de 50 à 60 kilomètres d'épaisseur, pour y accomplir, sous forme de vapeur d'abord, de considérables et souvent mystérieuses fonctions et transformations météorologiques avant de retomber en pluie sur la surface de la terre. C'est là un des plus vastes champs dans lesquels s'exercent les chercheurs et les savants pour tirer parti d'une des plus admirables richesses de la nature, mise si prodiga-

lement à notre disposition par une Providence, Energie maîtresse et suprême, qui guide et régit tout, dans l'immense Univers dont notre Terre n'est qu'un infiniment petit.

La chaleur, comme force physique active, et l'eau, comme élément chimique matériel, ont été, dans les époques anciennes de formation de notre planète, les grands travailleurs qui actionnèrent la masse chaotique primitive et lui firent subir, une fois en mouvement, ces considérables transformations dont quelques kilomètres de croûte, dix au plus, sur treize mille environ, quoique si peu connus et si peu explorés encore, hâtons-nous de le dire, ont cependant été la cause des labeurs de tant de chercheurs des temps passés et présents.

La chaleur engendrée par la matière cosmique primitive en voie de concentration fut certainement le facteur variable qui produisit les associations variables elles-mêmes des atomes primitifs de cette matière première; de là la formation d'un si grand nombre de corps différents.

L'eau fut, avec l'atmosphère, un des derniers résidus ou peut-être l'avant-dernier de ce grand travail d'association, de dissociation et de manipulation des matières primitives qui ont fourni aux âges géologiques les éléments solides de la première croûte terrestre dite des massifs azoïques.

Dans une communication faite sur la phase Jovienne, puis sur l'époque quaternaire¹, je me suis suffisamment étendu sur le rôle terrestre et atmosphérique de l'eau, pour qu'il soit encore nécessaire d'y revenir ici. J'a-

¹ Voir Bulletin, t. XVIII, p. 134, et t. XIX, p. 17.

borde donc sans autres préliminaires l'examen de cette richesse perpétuelle qui se nomme la force motrice hydraulique, force commode que l'homme peut appeler à son aide pour le seconder dans les innombrables travaux de tout genre auxquels il se livre pour augmenter son bien-être.

L'énergie calorifique actionnant la surface des mers tropicales correspond annuellement à environ dix mètres d'épaisseur d'eau qui se traduisent en vapeur; celle-ci alimentant par les pluies les cours d'eau terrestres, on peut se faire une idée de l'inépuisable provision de force motrice qui résulte de cet état de choses.

Un litre d'eau tombant verticalement de 150 mètres de hauteur, moyenne admissible pour les condenseurs montagneux, représente 2 chevaux-seconde; il en faut donc 86 400 pour 2HP jours. On peut donc dire approximativement que la circonférence de la Terre, multipliée par la largeur de la zone tropicale, multipliée par le poids des dix mètres d'eau, divisée par les secondes soit $\frac{40\,000\,000 \times 5\,000\,000 \times 10\,000}{365 \times 86\,400} \times 2$, repré-

sente le nombre de chevaux années de l'évaporation des mers tropicales, soit donc 130 000 000 000 environ de chevaux années, c'est-à-dire de force permanente.

Chaque habitant de la Terre aurait donc à sa disposition plus de 100 chevaux de force permanente s'il savait les extraire des eaux sauvages qui, des montagnes et terres émergées, descendent à la mer, au lieu d'en obtenir le si maigre et misérable parti qu'il en tire maintenant.

En passant, remarquons que les 130 milliards de chevaux représentent comme houille en chevaux-

vapeur 130 000 000 tonnes par heure, c'est-à-dire cent fois ce que les entrailles de la Terre nous fournissent actuellement en épuisant rapidement les gisements de cette précieuse matière.

Cette constatation peut hardiment nous tranquilliser sur la disparition certaine des combustibles minéraux, car avec quelques-uns seulement des milliards de chevaux ci-dessus employés à décomposer l'eau, on aura vite suppléé au manque de charbon, en introduisant comme combustible dans l'industrie et l'économie future l'hydrogène, combustible plus riche en puissance calorifique et d'un emploi qui sera bien vite rendu facile et agréable.

Voilà quelques idées suggestives qui vous démontreront certainement qu'il y a encore du travail pour les techniciens chercheurs et les ingénieurs, dans le triple problème de la mise en valeur des forces hydrauliques, de leur transmission partout sans exception sur la Terre habitée, enfin de leur emploi pour les besoins toujours croissants de l'humanité.

Ce ne sera assurément pas un travail facile que d'arriver à un état de perfection si avancé que l'homme puisse un jour, grâce à un réseau électrique de parallèles et méridiens distributeurs de force sur toute la Terre, s'écrier : J'extrais des forces hydrauliques tout ce qu'il est possible de leur demander et je les emploie et réparties en tous lieux comme je l'entends !

Si, sous le rapport de notre avenir économique et industriel, la mine constamment renouvelée des forces motrices hydrauliques existant dans les cours d'eau, à laquelle on pourrait joindre celle également fort considérable et permanente des marées, si ces

richesses disponibles engendrent dans notre esprit, en faveur de nos après-venant, un sentiment à la fois de sécurité, de satisfaction et de contentement, il en est tout autrement sous le rapport de l'habileté et de notre savoir-faire pour en tirer parti.

L'insuffisance des praticiens, l'indifférence des peuples et de leurs gouvernements, les efforts ordinairement gigantesques qu'il faut produire pour sortir des langes de l'ignorance et du parti-pris, pour ne pas dire souvent de la méchanceté, ou de causes inavouables, le moindre progrès à réaliser jette une ombre sur la perspective réjouissante que, dans cet ordre de choses, nous offre la nature.

Pionnier dans le vaste champ de l'utilisation des eaux motrices et alimentaires, j'ose assurément émettre de semblables appréciations, après les multiples expériences qu'il m'a été donné de faire dans ce domaine, et à l'appui desquelles je me permets de citer :

1^o L'utilisation de la Sarine à Fribourg, où ma prétention de barrer une rivière torrentielle à grande pente, débitant parfois 1200 mètres cubes par seconde (six fois le volume de la Reuse pendant ses débordements), fut accueillie par divers techniciens comme une impossibilité dangereuse et qu'il fallait entourer de garanties rendant l'entreprise des plus coûteuses, et difficile à organiser. La partie technique une fois réussie, l'entreprise dut, malgré ce succès indiscutable, sombrer sous les coups de l'administration forestière, lui déniaut le droit de tirer parti à temps du bois de ses forêts payées en écus sonnants et sur l'exploitation desquelles toute l'entreprise était fondée. Ce fut un véritable guet-apens administratif !

2^o L'utilisation du Rhône à Genève, forces motrices que j'ai sauvées en dépit de nombreux ingénieurs genevois qui voulaient les sacrifier aux Vaudois, réclamant avec raison l'abaissement des eaux du lac et croyant, à quelques exceptions près, que les deux choses étaient incompatibles.

3^o Faut-il enfin rappeler ici les luttes presque épiques soutenues à Neuchâtel à propos des eaux alimentaires et motrices de la Reuse, qu'il s'agissait d'utiliser tant pour Neuchâtel que pour les Montagnes ? Les membres anciens de notre Société, qui ont assisté à ces tournois, qui y ont même pris part en constituant parfois nos réunions en un véritable tribunal scientifique, savent mieux que personne combien il faut de persévérance et d'âpres luttes pour faire sortir lentement et péniblement une idée, si bienfaisante et si avantageuse soit-elle, des langes qui l'étouffent, et arriver à la faire germer et fructifier pour le plus grand bien des populations auxquelles on la propose.

Mais laissons là ces leçons du passé et abordons le sujet que je me propose de soumettre à votre examen. Dans la lutte que je soutiens à propos des systèmes que je vais exposer, il est utile que l'on sache par quelques exemples que la question du succès immédiat m'est absolument indifférente, car de par la logique des choses, je suis certain qu'un avenir rapproché me donnera raison.

CHAPITRE I

Historique de la question.

Trois choses, comme de nos jours, furent nécessaires à l'homme des premiers âges : la nourriture, un gîte pour s'abriter et se reposer, enfin des outils pour cultiver le sol et se livrer à la chasse.

De ce triple besoin naquirent les trois premières applications des forces motrices hydrauliques : le moulin, la scierie, la soufflerie.

Les Samsons anciens reconnurent bien vite que leurs meules à moudre le blé à bras pouvaient être mises en mouvement par un arbre muni de palettes contre lesquelles venaient battre les eaux courantes d'un ruisseau. Les charpentiers en vinrent non moins rapidement à utiliser les mêmes roues pour actionner de la façon la plus simple l'antique scie à refendre, mue jusqu'alors à bras d'hommes.

Moulins et scies furent pendant des siècles des jumeaux inséparables installés dans nos régions partout où il existait des terres cultivées voisines de forêts, traversées par une eau courante.

Pour fabriquer les socs de charrue, ferrer les voitures et les mulets, enfin fabriquer des armes, il fallait du fer, et pour réduire le minerai avec le charbon, un feu de forge violent était nécessaire. De là l'invention de la soufflerie, mauvais boyau vertical en madrier, baignant par son pied dans un bassin récepteur au travers duquel tombait l'eau du ruisseau (fig. 1).

L'air entraît et s'échappait par une tuyère communiquant avec le boyau élargi et entretenait le feu.

Le ronflement de ces hydro-souffleurs avait fait donner le nom de trompe à ces engins bruyants.

Voilà ce que l'homme tirait autrefois des propriétés motrices des cours d'eau, et pendant une longue suite de siècles cela suffit à son ambition comme à ses besoins.

Vers la fin du moyen âge, des roues hydrauliques fixes ou flottantes (fig. 2) servent à de multiples usages : des pompes actionnées par des roues dites « samaritaines », élèvent les eaux d'alimentation, ou celles-ci actionnent ensuite soit des chaînes à godets, soit des pompes à longues tiges pour l'épuisement de l'eau souterraine dans les mines, etc. Des moteurs à chapelets, soit chaînes armées de godets (fig. 3), sont employées à divers usages.

Le progrès se fait, mais combien lentement ! On imagina des roues à cuves à réaction (fig. 3), en empruntant aux Chinois leur roue à pots, etc., etc. (fig. 4). Louis XIV fait installer à Marly, par un homme de génie, simple charpentier de son métier, les célèbres pompes en bois de Marly, élevant l'eau à 500 pieds de hauteur et qui furent pendant presque un siècle la merveille des merveilles en hydraulique¹. En 1796, Montgolfier installe le premier béliet hydraulique, à l'instar d'une machine basée sur les mêmes principes du mouvement de l'eau suspendu brusquement, imaginée précédemment par Whitehurst, à Oulton en Angleterre (fig. 5).

¹ Le baron Deville, de Liège, chargé du projet, fut secondé par le charpentier Suaem Rennequin. Ce projet comprenait 14 roues de 12 mètres de diamètre, actionnant 221 pompes étagées sur le flanc du coteau en trois séries de 64, 79 et 78 pompes.

La première moitié de notre siècle voit l'installation des premières roues horizontales ou turbines, et de nouvelles roues verticales perfectionnées.

Aujourd'hui enfin, le nombre et le genre des moteurs hydrauliques sont légion. Roues à palettes en plein fleuve, dernières reliques du savoir-faire de nos pères (fig. 2), rendant 10 ou 15 % d'effet utile de la force employée. Mêmes roues armées d'un coursier droit et mal ajusté, rendant 30 à 35 % de la force sollicitée à les faire mouvoir (fig. 4). La Samaritaine de Paris, en 1852, et celle de Genève, en 1869, fonctionnaient encore avec des roues de ce genre (fig. 1). Roues à aubes dites en dessous (fig. 6), premier perfectionnement sérieux, rendant 45 à 55 %. A Serrières, plusieurs roues semblables fonctionnaient encore il y a 25 à 30 ans.

Roues semblables (fig. 7), dues au célèbre ingénieur-hydraulicien Poncelet, construites avec des aubes courbes et coursiers circulaires mieux ajustés, arrivant à rendre de 60 à 65 %, lorsque la courbure des aubes était bien tracée et le coursier soigneusement construit.

Enfin, roues de côté rendant de 60 à 70 % (fig. 8).

Les roues en-dessus n'offrent pas une moindre variété.

L'art de nos pères nous avait transmis ces petites roues de martinet à grande vitesse (fig. 9), actionnant un outil, obéissant sans doute au dicton : « Il faut battre le fer pendant qu'il est chaud. »

Pour obtenir la vitesse, un chenal fortement incliné, d'une longueur souvent triple et quadruple du diamètre de la roue, amenait l'eau à grande vitesse sur les palettes droites de celle-ci et la faisait tourner

avec une vitesse vertigineuse, faisant la joie et l'orgueil du constructeur et de l'usinier.

Ce fut sous ce rapport le bel âge où, en fait de rendement en force, on prenait, selon un autre dicton, des vessies pour des lanternes, mais le but étant rempli, quoi de mieux ! Combien de roues de ce genre sont encore visibles dans le Jura et les Alpes ! A Villiers, au Val-de-Ruz, à l'ancienne usine Tapis, les amateurs d'antiquités de ce genre peuvent encore voir un de ces remarquables engins, destiné à disparaître cette année même, pour faire place à une turbine qui rendra certainement cinq à six fois la force de la roue à tapettes qu'elle remplacera.

A ces engins tapageurs succédèrent des roues d'un plus grand diamètre, les coursiers générateurs en même temps de vitesse et de vacarme furent tenus, malgré leur musique bruyante, pour des mangeurs de force, vrais parasites absolument désastreux.

On reconnut finalement, après force calculs et expériences, que l'eau devait autant que possible entrer lentement dans une roue, y travailler avec le moins d'agitation possible et enfin en sortir avec la plus petite vitesse possible. De là ces majestueuses roues lentes en-dessus ou de côté, recevant l'eau tombant mollement dans leurs aubes, transportant celle-ci nonchalamment en leur point de déversement, où, sans vitesse notable d'entraînement, elle retombe dans le bief d'aval. Ces roues, bien calculées, avec des aubes tracées selon des épures irréprochables, tenant compte de la vitesse d'arrivée de l'eau, de la vitesse d'entraînement de la roue, enfin de la pesanteur du liquide, c'est-à-dire que tous ces facteurs étant combinés de manière à éviter l'agitation de

l'eau et produire pour son échappement une vitesse de sortie presque nulle, ces roues rendent 80 % de la force motrice de la chute d'eau (voir fig. 10 et fig. 11).

Puis vinrent les turbines ou roues à axe vertical.

Les premières furent les roues à cuiller du Dauphiné, de la Bretagne et de l'Algérie, où les Maures en furent sans doute les inventeurs, comme les Chinois le furent pour les antiques roues à pots.

Euler le premier a imaginé, en 1754, la turbine à couronne mobile, dont les aubes reçoivent l'eau d'une couronne fixe, à aubes également (fig. 12). Borda en donna la théorie en 1767. Mais ce n'est que depuis une cinquantaine d'années, que les ingénieurs Fourneyron et Fontaine perfectionnèrent et rendirent usuels ces engins. La turbine Fontaine (fig. 13) est une turbine comme celle d'Euler, dont l'eau motrice, guidée par des injecteurs mobiles, descend de haut en bas dans la couronne mobile, tandis que dans la turbine Fourneyron (fig. 14), l'eau s'échappe latéralement par des aubes qui se développent horizontalement.

Girard et Callon ont imaginé de dénoyer les couronnes mobiles, et construisirent des turbines dites hydro-pneumatiques, en faisant mouvoir cette couronne dans un caisson rempli d'air injecté au moyen d'une pompe (fig. 15).

Jonval et Köcklin imaginèrent de leur côté, dans le même but, de remonter les turbines pour les dénoyer et de les armer, au-dessous, d'un tube aspirateur. L'aspiration par le tube de Jonval fut reconnue praticable sans perte de rendement, ce qui permit de placer les turbines au niveau même des ateliers auxquels elles livraient la force (fig. 16).

Girard perfectionna encore les turbines par la libre déviation dans les aubes de la veine liquide motrice, au moyen de l'introduction de l'air dans chaque aube de la couronne mobile par des orifices latéraux (fig. 17).

Enfin on remplaça la couronne fixe directrice par un segment d'injecteurs seulement, et cela non seulement pour les turbines, mais aussi pour les roues (fig. 18).

Vinrent ensuite les turbines Hercule centripètes (fig. 19, 20 et 21), avec aubes hélicoïdales utilisant la réaction de l'eau à la fois horizontalement et verticalement, puis les roues Pelton du même genre. Ces turbines sont dites centripètes, parce que la couronne directrice est extérieure à la roue motrice.

Finalement, on arma les moteurs de régulateurs presque parfaits, réglant leur nombre de tours à un ou deux pour cent près.

Sous le rapport des moteurs hydrauliques, les ingénieurs ont certainement imaginé des perfectionnements qui mettent la construction de ces engins à la hauteur de la science moderne, tant sous le rapport d'un rendement fort satisfaisant que sous celui des exigences nécessitées pour utiliser des chutes faibles en hauteur mais à volumes d'eau formidables, ou de hautes chutes atteignant parfois quelques centaines de mètres avec volumes d'eau réduits.

Finalement, on introduisit encore les moteurs à domicile, soit petites turbines rotatives, soit moteurs à pistons (fig. 22).

Je ne puis terminer cet historique rapide sans rendre ici particulièrement hommage aux constructeurs suisses : les Escher-Wyss, de Zurich, Rieter, de Winterthour, Roy, de Vevey, les Fesch-Picard (au-

jourd'hui Picard & Pictet), de Genève qui, dans tous les concours, remportèrent toujours les premières récompenses sous le rapport des engins moteurs et furent les dignes successeurs des illustres ingénieurs précédemment cités.

Nous sommes donc parfaitement à la hauteur du nécessaire et même du désirable sous le rapport de l'excellence des engins moteurs; en est-il de même pour l'utilisation rationnelle des cours d'eau? Loin de là, et c'est ici que commence l'examen de la question qui m'a engagé à faire cette communication.

CHAPITRE II

Emploi rationnel des eaux motrices.

Pour tirer parti d'une matière quelconque ayant une valeur commerciale ou industrielle, la science économique exige qu'on lui trouve ou cherche un emploi total, sans en rien perdre.

De là deux cas possibles.

1^{er} cas. — La matière est produite régulièrement, comme celle d'un puits à pétrole, par exemple, fournissant tant de litres de cette substance à la minute, dont l'emploi est si considérable que la demande ne fait jamais défaut au point d'arrêter l'extraction; tout est utilisé sans arrêt sensible.

Des entrepôts régulateurs établissent l'harmonie entre la production continue et la consommation irrégulière selon la saison, mais suffisante pour tout absorber.

2^{me} cas. — La matière est disponible irrégulièrement, comme un produit agricole, le vin, par exemple,

qui se met en cave aux vendanges; puis, suivant la demande et l'emploi, on vide celle-ci, où l'on conserve le vin dans des tonneaux jusqu'à utilisation complète.

Que penseriez-vous, Messieurs, de l'industriel en pétrole qui dirait: « Moi, je veux bien vendre mon pétrole, mais plutôt que d'en faire des réserves, je préfère laisser couler la matière en pure perte dans des puits perdus évacuateurs! ». Que diriez-vous du vigneron qui, ne pouvant vendre son vin totalement au pressoir déjà, le laisserait couler au ruisseau plutôt que de le mettre en cave pour le débiter dans la suite suivant les demandes?

Eh bien! en fait d'utilisation des cours d'eau, nous appliquons presque partout, sous de fallacieux prétextes techniques ou autres, la jolie théorie de l'industriel à puits perdus pour son pétrole, ou du vigneron avec son vin au ruisseau. Vous allez en juger!

Lorsqu'on prétend opérer différemment et faire des réserves d'eau, on est stupéfait des obstacles sans nombre de toute nature que l'on rencontre. A Fribourg, j'avais imaginé de puissants appareils de curage pour l'évacuation des dépôts comblant le lac régulateur formé par le barrage de la Sarine et assurant la conservation de celui-ci, pour mettre en main de l'entreprise la possibilité d'écuser une partie de l'eau pendant les heures de faible emploi et de doubler ou tripler la force pendant les heures de fort emploi.

Mais au lieu de curer le lac de temps à autre, on a laissé envahir les engins de curage par les dépôts limoneux, et la Sarine, pendant les basses eaux, ne peut plus donner aujourd'hui que ce qu'elle débite

normalement, le lac comblé faute de ce curage ne peut permettre aucun éclusage. La rivière y a repris ses droits.

A Genève, pour l'utilisation du Rhône, les experts appelés par les adversaires de cette utilisation que je proposais, en faisant servir le lac comme accumulateur, déclarèrent « que l'on ne pouvait traiter le Léman en l'éclusant *comme un simple étang de meunier* » et que le Rhône ne pouvait donc donner que 1737 chevaux de force au lieu de 6000 annoncés par l'ingénieur Ritter avec son système. »

Aujourd'hui que l'entreprise a été exécutée, on écluse le lac à volonté et l'on tire bel et bien les 6000 chevaux du Rhône prévus, soit 4000 de plus que ne l'affirmaient les experts.

Sur l'Orbe, étant concessionnaire d'une chute de 100 mètres, je fis, sur la demande de la Commune de Ballaigues, pour le palier supérieur, un projet d'utilisation rationnelle de cette rivière au moyen d'une grande retenue qui, avec le projet de régularisation du lac de Joux, eût permis de tirer de cette rivière toute la force qu'elle comporte, en la rendant élastique en même temps. C'est cette étude qui servira de base à ma thèse et que je prends la liberté de vous soumettre à l'appui de celle-ci.

Pour agir d'une manière frappante et parlante aux yeux en même temps qu'à l'esprit, j'avais représenté par des graphiques la perte subie par la discordance entre la force régulière d'un cours d'eau pendant les vingt-quatre heures de son débit journalier et celle de son emploi actuel comme le pratiquent les techniciens de nos jours, bien moins habiles en cela que les meuniers du moyen-âge avec leurs étangs

accumulateurs des eaux de ruisseau (voir fig. 22 et 23).

J'ai admis dans le premier schéma que je vous présente une force de 5000 chevaux de 24 heures, pouvant donner $5000 \times 24 = 120\,000$ HP heures; voilà la force de la rivière, sans m'occuper des facteurs.

Voyons maintenant l'emploi probable de cette force, en la représentant en heures-chevaux au moyen de deux axes, l'un pour la force, le second pour les heures.

Pour Lausanne, j'avais admis :

$\frac{1}{5}$, soit 1000 HP utilisés jour et nuit, pour faire une part très large à l'emploi de force permanente par quelques abonnés, ce qui n'est certes pas le cas.

$\frac{1}{5}$ était compté pour les tramways, soit 1000 HP.

$\frac{1}{5}$ pour l'éclairage de la ville, soit encore 1000 HP.

Enfin $\frac{2}{5}$, soit 2000 HP pour les industries moyennes et pour l'industrie ouvrière où l'on a besoin de force pendant le jour seulement, soit donc douze heures avec interruption d'une heure à midi, pour la majeure partie des ateliers.

Pour les tramways, j'ai supposé qu'ils commencent leur marche à 4 heures du matin, prennent et conservent leur amplitude maximum de 7 heures du matin à 7 heures du soir, puis décroissent et cessent de fonctionner à 10 heures du soir. On pourrait admettre le premier départ une ou deux heures plus tard le matin et en revanche les faire fonctionner plus tard pendant le même temps, — le résultat comme HP-heures nécessaires serait le même.

Pour l'éclairage électrique, j'ai pris la courbe schématique d'usure d'énergie éclairante bien connue, qui se répète à peu près partout de la même façon,

soit accroissement considérable de 5 à 6 heures le soir, intensité maximum de 7 à 9 heures, puis décroissance rapide jusqu'à 11 heures, enfin nouvelle décroissance jusqu'à 4 heures du soir le lendemain.

Pour l'industrie journalière, commencement à 7 heures du matin, interruption des trois quarts, de midi à 1 heure, et fonctionnement général et régulier de 1 heure à 7 heures du soir, arrêt complet la nuit.

En accumulant les surfaces représentant les HP-heures ou heures-chevaux, on obtient le second graphique, dont les carrés blancs représentent la force perdue, soit :

48 000 HP-H.

Les carrés rouges d'utilisation de la force donnent :

72 000 HP-H.

Cela représente donc, comme perte de la force disponible fournie par la rivière, $\frac{48\,000}{120\,000} = \frac{2}{5}$ ou $\frac{48\,000}{72\,000} = \frac{2}{3}$ de la force utilisée.

Une force permanente de 3 000 chevaux peut donc, grâce à l'éclusage, satisfaire à une demande de 5 000 chevaux.

Un cours d'eau donnant une force permanente journalière ne peut donc fournir aux besoins industriels et édilitaires ordinaires d'une ville comme Lausanne que les $\frac{3}{5}$ de sa force, les $\frac{2}{5}$ restants sont perdus fatalement si l'on n'en tire parti autrement.

Pour la force de 5 000 chevaux, prise comme exemple, cela représente par jour 48 000 HP-H, soit, traduit en combustible, une perte de cinq à dix wagons de houille par jour; en argent, de 1 500 fr. à 3 000 fr.; annuellement de 500 000 fr. à 1 000 000 de francs,

suivant que l'on admet pour le cheval 1 ou 2 kilog. de combustible par cheval et par heure.

Le système sans éclusage donnait en résumé :

N° 1. Palier du lac de Joux	6 000 HP
N° 2. Palier de Ballaigues	3 500 »
N° 3. Palier de Montcherand	5 000 »
Total de la force distribuable. . .	14 500 HP

Avec éclusage, on obtenait les $\frac{2}{3}$ en sus, soit :

N° 1. Pour le palier du lac.	10 000 HP
N° 2. Pour celui de Ballaigues	5 832 »
N° 3. Pour celui de Montcherand . . .	8 333 »
Soit un total de	24 165 HP

à distribuer selon les besoins, c'est-à-dire une augmentation du nombre de chevaux de 66 %, gain de 10 000 HP en chiffres ronds, que l'on pouvait distribuer à des preneurs répartis, comme je l'ai supposé, en quatre catégories, au lieu de perdre les $\frac{2}{3}$ des 14 500 chevaux réguliers de 24 heures, soit une perte de 1 $\frac{1}{2}$ million à 3 millions annuellement, traduite en charbon.

On pouvait faire l'objection que l'usine du Day, qui travaille électrolytiquement, et qui est située entre le palier des lacs et celui de Ballaigues, exigerait un écoulement constant qui réduirait de moitié les 6 000 HP à obtenir du palier du lac et que le volume d'eau correspondant à la moitié de la force seulement pourrait être soumis à l'éclusage, c'est-à-dire employé comme l'exige la consommation.

En admettant cette réserve :

Le palier du lac donnerait	8 000 HP
au lieu de 10 000.	
Celui de Ballaigues	5 832 »
Celui de Montcherand	8 333 »
Total	<u>22 165 HP</u>

soit 52 % d'augmentation sur les 14 500 chevaux réguliers, mais inutilisables pour les $\frac{2}{5}$.

Pour rendre possible sur l'Orbe l'exécution d'un projet permettant l'emploi rationnel et total des eaux, le lac de Joux ne pouvait seul satisfaire à l'accumulation, car la distance du lac au palier de Ballaigues étant de 11 870 mètres, il faudrait comme temps, en admettant pour la vitesse moyenne de l'eau un mètre par seconde, $\frac{11\,870}{3\,600} = 3\frac{1}{3}$ heures environ.

Il faudrait donc pour ce palier un emploi de la force commençant $3\frac{1}{3}$ heures après l'emploi de la force du palier supérieur du lac, sujétion impossible à admettre.

Pour le palier de Montcherand, distant de 16 228 mètres du lac, il faudrait pouvoir employer la force $\frac{16\,228}{3\,600} = 4\frac{1}{2}$ heures environ après l'emploi de celle du lac.

Cela nécessitait donc l'exécution d'une régularisation intermédiaire au moyen d'un grand barrage; c'est ce que j'avais projeté pour le palier de Ballaigues.

Les fig. 26, 27, 28 représentent le projet de cette œuvre d'art.

Avec le lac formé par le barrage de Ballaigues, qui n'eût jamais couru le risque d'être comblé par des

charriages comme ceux de la sauvage Sarine, les eaux de l'Orbe sortant toujours presque limpides du bassin souterrain qui reçoit par des entonnoirs l'eau constamment claire du lac de Joux (voir fig. 29), le palier moyen devenait absolument indépendant de celui du lac.

Le palier de Montcherand, très voisin de celui de Ballaigues, pouvait être desservi quelques minutes après celui-ci et l'on pouvait ainsi combiner toute cette utilisation de rivière d'une manière mathématiquement parfaite et certaine, valant au cœur du canton de Vaud 24 000 chevaux de force à faire rayonner et travailler dans toutes les directions selon les besoins.

Malgré des démonstrations aussi péremptoires et irréfutables de l'augmentation de richesse hydraulique à réaliser, malgré le patronage de l'ingénieur cantonal vaudois, M. Gonin, malgré les voyages de celui-ci avec M. le Directeur des Travaux publics du canton de Vaud pour visiter le grand barrage du Furens, à Saint-Etienne, et s'assurer par des exemples de la possibilité d'exécution de l'œuvre, le méritoire et hardi projet de l'Orbe devait échouer devant l'opposition de gens qui ne se rendaient pas compte du désastre économique indirect futur qu'ils préparaient ainsi à leur pays.

Laissons là cet exemple et voyons ce qui se passe chez nous.

La Reuse pouvait, dans les Gorges, devenir la riche mine similaire de celle que j'ai vainement tenté de réaliser sur l'Orbe; mes efforts, malheureusement, ont eu le même insuccès.

En 1875, lorsque la Société des eaux préparait les voies pour nous alimenter d'eau du lac au moyen

des forces de la Reuse, je proposai la dérivation radicale et complète de cette rivière jusqu'à Pierrabot pour répartir sur tout le Vignoble les 10 000 chevaux de force que l'on aurait pu en tirer, tout en restituant aux usiniers de Boudry leur force motrice avec des moteurs à hautes chutes.

Le grand canal dérivateur eût pu recevoir partout sur son parcours et au fur et à mesure des besoins, des rélargissements, ou être mis en communication avec des bassins accumulateurs annexes semblables à celui que j'avais proposé, en 1865, d'installer au verger des Cadolles pour l'utilisation rationnelle et complète des eaux du Seyon. De Trois-Rods à Neuchâtel on dotait sur place même tout le coteau du Vignoble d'une force disponible et répartie suivant les besoins d'au moins 10 000 à 18 000 HP, soit quatre fois plus que l'on n'en tire de la Reuse avec tous les projets actuels réunis.

Il serait superflu de rappeler ici l'ardente et parfois amusante polémique qui a suivi l'apparition de ce projet vaste et rationnel.

L'opposition des usiniers de Boudry devant être, me dit-on en haut lieu, irréductible, je modifiai mon projet en 1882, mais l'Etat crut devoir écarter tous les demandeurs en concession des forces de la Reuse, parmi lesquels je figurais, pour accorder les concessions de la Reuse exclusivement aux communes qui en feraient la demande.

La Chaux-de-Fonds fut la première localité qui profita de ces forces pour élever les eaux de sources diverses ayant, avec celles qui alimentent Neuchâtel, fait l'objet de recherches et d'études hydrologiques auxquelles je me livrais alors depuis longtemps et

que je proposai d'utiliser pour l'alimentation des deux localités.

Le grand succès de mon projet d'élévation d'eau à 500 mètres, pour l'alimentation de La Chaux-de-Fonds, fut la première démonstration pratique et imposante de la valeur des forces de la Reuse et les concessions des autres paliers furent promptement sollicitées, pour transformer la force en lumière ou la transporter et fournir dans les localités mêmes devenues propriétaires de ces forces.

Aujourd'hui, la Reuse est divisée dans les Gorges en quatre paliers, savoir :

1^o Un palier de 16 mètres, alimentant en lumière et force le Val-de-Travers et jouissant à l'étiage ordinaire de 3 mètres cubes que donne la Reuse (chiffre sur lequel on s'est généralement basé pour ne pas adopter celui des sécheresses extraordinaires, qui descend à moins de deux mètres); on y obtient ainsi une force de 500 chevaux environ à l'étiage ordinaire et 350 en grande sécheresse.

2^o Le palier des pompes de La Chaux-de-Fonds, qui utilise 52 mètres de chute. Cette usine hydraulique étant occupée par un travail permanent, emploiera avec le temps la force complète et permanente de sa chute. Cette usine peut produire avec 2 mètres d'eau motrice en étiage extraordinaire, 1 000 chevaux nets environ, soit 175 000 kilogrammètres, et remonter à 500 mètres avec 80 % de rendement des pompes, 120 litres par seconde, soit 17 200 litres d'eau d'alimentation par minute.

L'avenir de la localité est donc assuré comme alimentation d'eau pour une assez longue période en

ce qui concerne la force élévatoire; l'eau seule fera défaut d'ici à une quinzaine d'années, mais celle de la Raisse, récemment acquise par l'Etat, pourvoira aux besoins futurs sous ce rapport comme pour un grand nombre d'autres localités neuchâteloises.

3^o Le palier moyen de la rivière qui est concédé aux trois communes de La Chaux-de-Fonds pour 44 %
de Neuchâtel » 30 »
du Locle » 26 »

La chute est de 90 mètres; la force
avec 3 mètres d'eau est de . . . 2 700 chevaux
et avec 2 mètres d'eau, de . . . 1 800 »

4^o Le palier inférieur appartenant à Neuchâtel, de 60 mètres de chute, donne :

avec 3 mètres d'eau. 1 800 chevaux
et avec 2 mètres. 1 200 »
fournissant force et lumière à Neuchâtel.

Une commission communale fut nommée à Neuchâtel pour examiner les projets d'utilisation de la force motrice des paliers 3 et 4. Ces projets, destinés à utiliser des forces à applications variables, comme celles que j'ai exposées dans les schéma concernant l'Orbe, étaient comme toujours composés d'une simple prise d'eau suivie du canal souterrain de dérivation avec chute et usine à l'extrémité aval.

Je fis dans le sein de cette commission des propositions de modifications aux projets présentés, déclarant que l'on pouvait armer les dérivations de réservoirs régulateurs, permettant de tirer parti de la force perdue lorsque la demande et l'emploi de celle-ci chômeraient. En résumé je proposai :

A. De créer un réservoir immédiatement en aval de l'usine des eaux de La Chaux-de-Fonds, pour le palier commun de 90 mètres de chute. On perdait de ce chef comme hauteur de chute l'épaisseur de la nappe accumulée, soit 1^m,75 environ, mais on gagnait 45 % de force utilisable pendant les moments de forte demande, soit des coups de collier du système.

B. Pour le palier inférieur je proposai de créer un barrage entre les parois du rocher dont les strates coupent transversalement la Reuse, en amont de l'emplacement de l'usine projetée à Combe-Garrot et, au moyen de ce barrage de 30 mètres environ de hauteur, créer un bassin de 900 mètres de longueur pour y accumuler une réserve d'eau à disposition du dit palier inférieur. Ici encore on augmentait la force à distribuer de 45 % en donnant de l'amplitude au volume d'eau disponible pendant les moments de grande demande de force.

Les canaux de dérivation construits en souterrain eussent parfaitement pu être armés de parois étanches sur tout leur pourtour, et pendant l'éclusage se remplir comme une conduite forcée, communiquant avec le réservoir d'accumulation.

Malheureusement mes propositions, tout en ayant eu l'honneur d'une prise en considération, n'aboutirent point à un remaniement fondamental des projets qui eût permis de faire encore mieux, savoir :

C. De transformer complètement le vallon de Champ-du-Moulin en un petit lac de 1 600 mètres de longueur, 200 mètres de largeur et 10 de profondeur, avec barrage fermant le bassin, et installé sur le banc néocomien transversal existant à l'amont du rapide ou chute de la Verrière, à l'endroit nommé Cuchemanteau.

On obtenait ainsi, non plus seulement une accumulation pour amplifier la force chaque jour au moment de la forte demande, mais une réserve pour parer aux périodes annuelles des sécheresses.

Lorsque la Reuse descend à 2 ou 3 mètres par seconde, on aurait eu accumulés $1\,600 \times 200 \times 10 = 3\,200\,000\text{m}^3$ d'eau, soit pendant 100 jours à 4 heures par jour $\frac{3\,200\,000}{100 \times 4 \times 3\,600} = \frac{3\,200\,000}{1\,440\,000} = 2\,200$ litres, c'est-à-dire une force supplémentaire double pendant les heures d'éclairage et pendant ces 100 jours, ou de 50 % pendant 200 jours.

Ce grand bassin ou lac du Champ-du-Moulin avec celui aval indiqué ci-dessus, § B, réglant les eaux du palier inférieur de 60 mètres, eussent doté nos forces motrices des deux paliers, de deux excédants de force disponible pendant la sécheresse, d'abord celui journalier de 40 % environ, puis le saisonnal de 50 % pendant le même temps, soit ensemble de 90 %.

Donc pour les deux paliers réunis environ 3 000 chevaux de force en plus pour les moments de fort emploi, voilà le joli résultat auquel nous avons renoncé avec le système moderne d'utilisation des cours d'eau employé chez nous, c'est-à-dire celui de simples dérivations sans accumulateurs.

L'objection que l'on pouvait faire que les usiniers inférieurs se seraient opposés à cet éclusage des eaux n'avait pas de valeur, car pourvu que pendant leurs heures de travail on leur fournît l'eau nécessaire à leurs moteurs, ils eussent été satisfaits, et ces heures correspondant à celles des localités desservies par la force du palier, il y avait concordance déjà pour la majeure partie; enfin l'accumulateur principal C du

Champ-du-Moulin valait à ces usiniers un excédant de force considérable pendant les sécheresses, ce qui n'eût pas manqué de leur être agréable. Au reste, nous verrons plus loin le moyen facile d'obvier à cet inconvénient.

Pour le palier de 90 mètres, tout ce que j'ai pu obtenir, c'est l'abaissement du canal de dérivation de 1^m,75 pour permettre plus tard la construction du bassin accumulateur dont je parle au § A; c'est déjà quelque chose d'important, j'en conviens, puisque cela permettra de mettre à la disposition du palier de 90 mètres environ 87 000 mètres cubes d'eau accumulée à disposition, soit environ un mètre cube d'eau par seconde en plus pendant 24 heures ou deux mètres cubes-seconde pendant 12 heures.

L'accumulation ou bassin § B pourra encore être créé au besoin plus tard par Neuchâtel pour augmenter la puissance de son palier des Clées. Mais le lac de Champ-du-Moulin, qui eût coûté moins que les travaux actuels sur son parcours, ne pourra plus être créé qu'à grands frais et en remaniant considérablement les projets exécutés.

Faut-il ajouter que ces divers petits lacs eussent été autrement agréables pour les touristes et les visiteurs que les Gorges de la Reuse privées de leurs eaux par les aqueducs capteurs, sur presque tout leur parcours, fait qui se produira souvent en temps de sécheresse et vaudra aux ingénieurs qui ont imaginé les projets pas mal de malédictions de la part des amateurs de la belle nature.

Ainsi donc, perte de force et perte d'agréments pittoresques, voilà pour la Reuse. Passons maintenant au Doubs.

Ici, les choses, j'ose l'espérer, prendront une autre tournure, mais quel travail d'Hercule pour y arriver ! Heureusement que l'augmentation de la richesse hydraulique à conquérir sera, comme compensation, à la hauteur des obstacles à vaincre.

Pour le canton de Neuchâtel, la hauteur franchie par le Doubs est de 754, altitude du lac des Brenets, moins 607, altitude du bassin de Biaufond, soit une chute de 147 mètres.

Le volume d'eau que le Doubs fournit en étiage sur le parcours en amont est, par les basses eaux, de 1 200 litres par seconde ; la force nette correspondante est donc de 1 764 chevaux environ.

Avec le projet que je propose de réaliser peu à peu, on arriverait à doter le Doubs neuchâtelois d'un volume d'eau régulier plus que quadruple, soit d'environ 5 mètres cubes, correspondant à une force régulière de 7 500 chevaux de 24 heures ou, avec accumulateur, de 12 500 chevaux.

Gain : 700 pour 100.

Les opérations techniques à réaliser pour arriver à ce résultat superbe sont :

- a) la régularisation des lacs de St-Point et de Remoray, situés entre la source du Doubs et Pontarlier ;
- b) l'obturation des orifices souterrains d'échappement de l'eau du lac des Brenets ;
- c) l'utilisation par barrages et lacs successifs de la chute du Doubs ;
- d) enfin, la restitution de l'eau aux usines d'aval, sous forme d'écoulement permanent et régulier.

Passons rapidement en revue ces divers projets.

I. Régularisation des lacs de St-Point et de Remoray.

Des jaugeages faits pendant trois années et jour par jour sous les ordres de M. Parandier, ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées, ont démontré que le volume total s'écoulant du lac de St-Point correspond à un écoulement permanent de 5 mètres cubes par seconde. En outre, on peut démontrer que l'amplitude de variation de niveau pour obtenir cet écoulement est compatible avec une immersion très modérée des prairies bordant le lac.

D'autre part, appelé l'année dernière à examiner un projet d'alimentation d'eau pour Pontarlier, imaginé par M. Magnin, alors conseiller municipal de cette ville, projet par lequel on aurait prolongé le lac de St-Point jusqu'à la Cluse pour prendre en cet endroit l'eau d'alimentation, j'ai démontré qu'il fallait capter l'eau dans les couches profondes plutôt qu'à la Cluse, si on préférait ce système d'alimentation à d'autres. J'indiquai encore qu'il était même préférable de prolonger le lac jusqu'à la Cluse pour y créer une chute pouvant donner 1 000 chevaux de force à Pontarlier, et avec éclusage 1 500 à 1 700 chevaux. Du coup, on réalisait, en l'amplifiant heureusement, le système de régularisation du Doubs, proposé par M. Parandier, tout en fournissant de l'eau potable et de la force motrice en abondance à la ville de Pontarlier.

L'eau profonde du lac de St-Point fut reconnue potable et excellente par les chimistes et experts nommés par la ville, et le projet que nous proposâmes, M. Magnin et moi, serait aujourd'hui certainement exécuté si nous avions trouvé à Pontarlier le

concours efficace des autorités. Cela viendra certainement avec le temps, et les auteurs du projet espèrent fermement le réaliser dans un avenir plus ou moins prochain.

Cette partie du projet général d'utilisation du Doubs intéressant plus spécialement nos voisins, je n'aborde pas ici la question des chiffres et calculs à l'appui; je dirai cependant que c'est grâce aux observations personnelles de M. Parandier et des observations pluviométriques de la surface alimentaire du lac de St-Point que j'ai pu, par analogie, déterminer pour la commission des forces motrices de la Reuse, à Neuchâtel, le volume moyen des eaux de la Reuse, volume que j'ai trouvé être de 6 mètres environ par seconde pour les années de moyenne chute d'eau.

II. Obturation des orifices souterrains d'échappement de l'eau du lac des Brenets.

Dans une communication faite le 10 juin 1891 à notre Société (voir Bulletin, Tome XX) je me suis suffisamment étendu sur ce sujet pour qu'il soit inutile d'y revenir ici. Toutefois, je répète que le Saut-du-Doubs, au lieu d'avoir 27 mètres, en aura après l'obturation une quarantaine, et que cette chute, plus haute de 13 mètres, fonctionnerait à volonté les dimanches et jours de fête comme aussi chaque jour à des heures déterminées, quel que soit l'état de sécheresse de la rivière.

Le site si pittoresque de cette contrée gagnerait donc à l'exécution du projet et assurerait aux touristes en toute saison le spectacle de la belle cascade qui y attire tant de monde.

III. Utilisation de la force du Doubs par barrages et création de lacs successifs. (Voir fig. 30.)

Ici encore, ma communication de 1891 donne, avec la planche qui l'accompagne, l'emplacement des sept usines que comporterait l'utilisation des forces hydrauliques du Doubs sur le parcours neuchâtelois, en y ajoutant les chutes du Refrain, en aval de Biaufond, situées sur le Doubs franco-bernois. Chaque usine, au lieu d'être armée d'un long canal dérivateur des eaux et d'une conduite motrice, ne comporterait qu'un grand barrage avec lac accumulateur à l'amont. La conduite motrice se résume en un petit tronçon de simple prise d'eau au lac créé par le barrage; dans celui-ci, l'usine puise toute l'eau qui lui est nécessaire pour les travaux variables auxquels elle doit satisfaire, et restitue au bief de l'usine inférieure cette eau par quantités variables également, mais sans inconvénients pour celle-ci.

En hautes eaux, un trop-plein permet le passage des eaux au travers du barrage; pendant les basses eaux, lorsque l'usine chôme, son barrage retient toutes les eaux qui lui arrivent d'amont jusqu'à remplissage de son lac à niveau du trop-plein.

Ainsi, pendant les périodes de sécheresse, pas une goutte d'eau motrice ne sera perdue et l'usine aura à sa disposition, pendant les heures de grand besoin de force, un volume triple ou quadruple d'eau motrice, selon ses besoins.

Grâce au lac accumulateur, dont chaque usine est ainsi dotée, celle-ci jouit d'une indépendance absolue quant à ses voisins d'amont et d'aval; elle peut fonc-

tionner aussi irrégulièrement qu'elle le veut, employer la force en quantité triple et quadruple, pendant quelques heures, puis brusquement diminuer l'emploi de celle-ci et même chômer quelques heures, tout cela sans cependant perdre un seul litre de son eau motrice.

Ce sera, je le répète, l'idéal en fait d'utilisation des forces d'une rivière, surtout d'une rivière à grande dépression de volume d'eau comme le Doubs, qui n'a pas, par les temps de sécheresse secs et chauds, des glaciers alimentaires pour suppléer au manque d'eau atmosphérique.

En supposant donc 5 mètres d'eau comme volume régulier, la force ainsi utilisable pour les 147 mètres de chute sur territoire neuchâtelois sera de $\frac{147 \times 5\,000}{75}$
= 9800 chevaux bruts ou, avec la perte dans les moteurs, 7500 chevaux environ.

Appliquant à cette force l'accumulation et supposant l'emploi de la force réparti comme je l'avais prévu pour l'Orbe à Lausanne, soit :

$\frac{1}{5}$ à l'industrie permanente travaillant jour et nuit;
 $\frac{2}{5}$ à l'industrie ordinaire, travaillant 11 à 12 heures par jour;

$\frac{1}{5}$ à l'éclairage électrique des villes et villages;

$\frac{1}{5}$ à des entreprises de chemins de fer ou traction de tramways,

on arrivera à faire produire au Doubs, en chevaux,

$7\,500 + \frac{2}{3} (7\,500) = 12\,500$ chevaux parfaitement do-

ciles, se prêtant à tous les imprévus et exigences si capricieux de l'édilité et de l'industrie.

12 500 HP au lieu des 1 764 chevaux dont une bonne partie est encore indomptée dans les rochers du Saut-du-Doubs et dont l'autre est assurément, en l'état des choses, une force difficile à mettre en œuvre et en tout cas fort incommode à employer.

IV. Restitution de l'eau aux usiniers d'aval sous forme d'écoulement permanent et régulier.

M. Palaz, dans un récent rapport sur l'utilisation des forces de la Reuse pour la Chaux-de-Fonds, était d'avis, pour remplacer la régularisation hydraulique que j'avais proposée, d'emprunter à l'usine élévatoire des eaux de La Chaux-de-Fonds la force supplémentaire accidentellement nécessaire à l'usine électrique, puis en multipliant les pompes puisards (conduites ascensionnelles, je le présume aussi) de la dite usine, de remonter l'eau des sources accumulées avec la force que l'usine électrique restituerait à l'usine élévatoire des eaux.

Cela conduirait à une dépense considérable et serait d'une complication qui amènerait des perturbations telles dans le fonctionnement des usines, qu'après études définitives on en reviendra bien vite au réservoir accumulateur proposé, pour la possibilité d'exécution duquel on a heureusement ménagé 1^m,75 de hauteur disponible pour la future nappe d'eau accumulatrice. Les frais annuels de personnel supplémentaire qu'il faudrait pour opérer avec le système Palaz, capitalisés, dépasseraient à eux seuls le coût du réservoir accumulateur, sans parler des quelques centaines de mille francs d'engins supplémentaires

et d'installations qu'il faudrait pour transformer les usines et pour marcher convenablement.

Au reste, un avenir prochain, vu l'insuffisance probable de la force, mettra forcément la Commune de La Chaux-de-Fonds dans la nécessité de faire un choix, et j'espère que l'exemple du Doubs arrivera à temps pour lui servir de terme de comparaison entre les deux systèmes proposés.

S'il ne s'agissait que d'une variation fixe chaque jour, le système Palaz serait à la rigueur admissible, mais les emplois et refus de force seront continuels et si variables d'intensité qu'il sera fort incommode pour une usine de secours, dont la destination est fixe et régulière, comme celle des eaux, de se prêter à des interruptions partielles et perpétuelles. Le dimanche, la force inutilisée sera entièrement perdue. Je pense qu'une accumulation électrique à La Chaux-de-Fonds et au Locle serait même encore préférable au système proposé par M. Palaz.

Il me reste à montrer comment d'un cours d'eau éclusé on repasse à un cours d'eau régulier pour n'avoir pas à s'occuper des réclamations des usiniers d'aval.

Il faut pour cela un dernier bassin que je supposerai annexe à une usine travaillant régulièrement 24 heures par jour, par exemple une usine électrolytique. Prenons le cas le plus défavorable.

Le bassin supérieur de l'usine A amène brusquement dans le bassin B de l'usine inférieure un volume de 1 200 litres par seconde, comme au Doubs. Ce seront $86\,400 \times 1\,200 = 103\,600$ mètres cubes d'eau à loger puis à écouler régulièrement.

Le bassin B ayant 1 000 mètres de longueur et 103 mètres de largeur moyenne, par exemple, nous aurons une crue subite d'un mètre dans le bassin.

Une chute de 4 mètres deviendra 5 mètres et la vitesse de l'eau de $k\sqrt{2g \times 4}$ deviendra $k\sqrt{2g \times 5}$, donc dans les rapports de $\sqrt{4}$ à $\sqrt{5}$, c'est-à-dire de 2 à 2,25.

Le volume d'eau débité, soit la section de la conduite motrice multipliée par la vitesse, sera donc augmenté de $\frac{1}{8}$ environ. Cette variation de $\frac{1}{8}$ serait à coup sûr déjà fort tolérable pour les usiniers inférieurs, d'autant plus que l'accroissement de vitesse se répartira sur 12 à 15 heures au moins et ne se produira pas brusquement comme je l'ai supposé. S'agissant d'arriver à la régularité parfaite, on munira l'injecteur de la turbine de 40 orifices, par exemple, que l'on ouvrira au grand complet lorsque la chute sera réduite à 4 mètres et dont on ouvrira seulement 35 orifices lorsque la chute sera de 5 mètres; pour le premier cas, le volume écoulé sera proportionnel à $40 \times 2 = 80$, et pour le second cas $35 \times 2,25 = 78,75$, donc une quantité à peu près égale à la précédente.

Le moteur sera donc muni d'un appareil automatique faisant varier le nombre des orifices de l'injecteur de 35 à 40, suivant que la chute varie de 5 à 4 mètres. On aura donc 35, 36, 37, 38, 39, 40 orifices de l'injecteur

du moteur ouverts,

pour des crues de . . . 1,00, 0,80, 0,60, 0,40, 0,20, 0^m

soit des chutes de . . . 5, 4,80, 4,60, 4,40, 4,20, 4^m

La seule condition pour réaliser le problème avec le Doubs neuchâtelois est donc d'installer à la Rasse

l'usine travaillant jour et nuit, soit 24 heures par jour, ou de l'installer en aval du Refrain si cette chute fait partie du système général de l'utilisation de cette rivière.

Inutile, je le pense, de dire que l'on pourrait se contenter d'un bassin régulateur de l'écoulement des eaux sans usine, bassin dont les orifices d'écoulement seraient réglés par des flotteurs obturateurs, dont le travail d'obturation serait en rapport inverse avec l'intensité des crues dues à l'usine supérieure utilisant l'eau irrégulièrement.

Et que l'on ne se figure pas qu'il soit nécessaire d'un réservoir bien immense pour ce dernier cas. En effet :

Nous avons vu dans le schéma d'emploi de force, en supposant que sa distribution se fasse comme je l'ai prévu pour Lausanne avec l'Orbe, que l'accumulation de l'eau doit se faire de 10 ou 11 heures du soir à 4 ou 5 heures du matin.

Or, pendant les 7 heures que cela représente pour le Doubs en basses eaux, le volume d'eau à emmagasiner sera :

$7^h \times 3\,600^s \times 1\,200 \text{ litres} = 30\,240\,000 \text{ litres},$
soit 30 000 mètres cubes en chiffres ronds. Et comme le bassin devra fournir environ $\frac{1}{4}$ du volume à la demande permanente des industriels qui travailleront 24 heures par jour, plus à l'éclairage public de nuit, on aura à déduire de ce chiffre de 30 000^{m³} le quart environ.

Un bassin de 25 000 mètres cubes suffira donc largement pour remplir le but.

En supposant un remplissage de 2 mètres, il faudra un bassin de 12 500 mètres carrés d'étendue, ce qui représente $1\frac{1}{4}$ hectare.

Or la moitié du cours du Doubs présente un profil en long aussi bien qu'en travers permettant de réaliser une semblable accumulation d'eau, avec certitude de ne donner lieu à aucune infiltration naturelle.

Je me permettrai, pour ne pas étendre outre mesure cette communication, de traiter dans une autre circonstance cette question de l'étanchéité des réservoirs accumulateurs des eaux.

C'est donc par des combinaisons de ce genre qu'il sera possible de donner à toutes les usines du Doubs une indépendance absolue les unes des autres et de tirer de la rivière absolument toute la force qu'elle pourra donner, en rendant celle-ci distribuable à volonté, suivant les besoins.

Un semblable système sera également employé sur l'importante concession de la Loue, dont j'ai eu l'honneur de vous entretenir en 1891, lorsque la force de 6500 HP réguliers deviendra insuffisante. Le gouvernement français accordera sans doute l'autorisation de créer un réservoir régulateur, à condition que l'eau soit restituée aux usiniers, avec écoulement constant.

Forces de la Noiraigue, du Seyon, de Lignièrès.

Pour compléter le canevas des moyens rationnels d'utilisation des forces motrices du canton de Neuchâtel, ce serait le cas de vous entretenir de l'utilisation des forces souterraines de la Noiraigue et des eaux du marais de Lignièrès, projets qui pourront distribuer 1000 chevaux le premier et 300 chevaux le second. Mais la longueur de cette communication m'oblige à renvoyer cet examen à plus tard. Il en est

de même pour le Seyon, qui peut être très avantageusement utilisé et fournir une force distribuable moyenne de plus de 500 chevaux.

Au reste, l'opportunité d'un examen de ces projets d'utilisation de nos forces motrices secondaires se fera mieux sentir, lorsque les concessions y relatives seront accordées et que les moyens d'opérer pourront être livrés au public sans inconvénient pour les demandeurs en concession.

CONCLUSIONS

Je termine cette étude par les conclusions suivantes :

Les forces de la Reuse sont utilisées selon un système étudié et recommandé par la généralité des ingénieurs qui ont été appelés à s'en occuper.

On y procède sans accumulateurs hydrauliques. Un avenir rapproché démontrera l'insuffisance et le mode d'emploi désastreux que l'on fait des belles forces que ce cours d'eau représente, faute de n'avoir pas su ou d'avoir négligé de leur donner l'élasticité et la faculté d'expansion qu'il était cependant si facile de leur attribuer, vu la configuration orographique favorable des Gorges de la Reuse.

D'autre part, les forces du Doubs seront, si mes projets arrivent à réalisation, mises en valeur par des systèmes accumulateurs, c'est-à-dire une vraie succession de lacs semblables à celui des Brenets, formés par 8 barrages établis, comme suit (voir fig. 30) :

un premier à l'aval du Saut-du-Doubs, de 40 m.
de hauteur;

un deuxième à la Roche, de 15 m.;

un troisième en amont du Chatelard, de 15 m.;

un quatrième en aval de Moron, de 30 m.;

un cinquième au Moulin-Brûlé (Grand-Combe-des-Bois), de 30 m.;

un sixième à la Rasse, de 10 m.;

les 6 lacs représentant 140 mètres sur 147 mètres de chute et 15 kilomètres de développement sur territoire franco-neuchâtelais.

Puis en aval on rehausserait quelque peu celui du Refrain, utilisant le bief ou lac de Biaufond, les deux lacs représentant 55 mètres de chute et 7 kilomètres de longueur sur territoire franco-bernois.

Enfin, à l'aval de la chute du Refrain, on établirait un dernier réservoir, au lieu dit Moulin-de-la-Mort, qui restituerait à la rivière et aux usines d'aval une eau s'écoulant régulièrement d'une aube à l'autre.

Les barrages seraient exécutés de manière à pouvoir supporter des surélévations permettant d'opérer la régularisation ou éclusage avec le volume normal à obtenir, grâce aux lacs de St-Point et Remoray.

Par ce moyen, le Doubs pourra :

1^o rendre utilement toute sa force à l'industrie des localités desservies, sans perte aucune;

2^o les usines seront toutes indépendantes les unes des autres;

3^o les Gorges du Doubs gagneront enfin énormément en beauté et en pittoresque par l'augmentation du volume d'eau de la rivière, au lieu de sa mise à sec, réduisant en même temps sa précieuse force.

Le moment sera alors venu de juger entre les deux modes d'emploi des forces motrices :

- a) de celles de la Reuse, sans régularisation ni lacs, et
- b) de celles du Doubs, avec régularisation et lacs.

Espérons que nous pourrons tous assister à cette intéressante comparaison.



UTILISATION RATIONNELLE
DES
FORCES MOTRICES HYDRAULIQUES
PAR
G. RITTER, INGÉNIEUR

