

# LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques  
et de leurs applications

La Houille noire a fait l'Industrie moderne ;  
la Houille blanche la transformera.

3<sup>e</sup> Année. — Février 1904. — N<sup>o</sup> 2.

## APPAREIL HYDRAULIQUE DE LA FRANCE

Le but de cette Revue étant de mettre sous les yeux de ses lecteurs tous les documents susceptibles de les intéresser, soit par les renseignements pratiques, soit par les idées générales qu'ils peuvent contenir, nous croyons y répondre en reproduisant l'étude suivante qui passe assez inaperçue au milieu de la quantité considérable d'articles formant le *Dictionnaire des Arts et Manufactures*, de Laboulaye, d'où elle est tirée.

On y trouvera une originale évaluation de nos forces hydrauliques et une conception gigantesque de leur aménagement intégral, qui montreront que si le plan de l'auteur ne peut être exécuté dans toute son ampleur, une partie, tout au moins, peut être appliquée à certaines de nos rivières.

Un ingénieur distingué, qui n'a eu que le tort de vouloir faire trop grand, Thomé de Gamond, a publié une étude curieuse sur l'ensemble de la question des eaux en France dont nous reproduisons, ici, un résumé dû à M. Larrue.

L'ensemble des eaux vives, courantes ou stagnantes, existant à la surface ou dans les différentes couches de notre sol national, constitue l'appareil hydraulique de la France.

Le mécanisme de cet appareil se manifeste dans trois fonctions successives et distinctes qui sont :

- 1<sup>o</sup> Evaporation des eaux océaniques ;
- 2<sup>o</sup> Leur distribution en pluies liquides à la surface des continents ;
- 3<sup>o</sup> La restitution des eaux à l'Océan par un appareil d'émissaires divers, ruisseaux et rivières.

Il n'est pas au pouvoir de l'homme d'influer sur les deux premiers éléments de la grande loi de la circulation hydraulique indiquée ci-dessus, mais quant au troisième élément, c'est-à-dire quand l'eau fluviale est descendue sur terre, l'homme devient maître de l'utiliser et de l'administrer à son profit.

Il nous appartient donc de modifier le troisième terme de la loi de la circulation hydraulique, c'est-à-dire le régime naturel d'écoulement, par la restitution des eaux à la mer.

Ce régime d'écoulement qui constitue notre appareil hydraulique est resté, à peu d'exceptions près, à l'état naturel, c'est-à-dire à l'état sauvage.

L'exemple des bienfaits produits par l'utilisation des eaux courantes ne nous manque pas : témoin les travaux exécutés en Espagne, en Hollande, en Angleterre, en Allemagne et, sur notre propre sol, dans les Vosges, le Limousin et les vallées du Midi de la France (1).

L'instabilité est l'inconvénient principal de notre régime actuel des eaux. Cette instabilité doit être attribuée à l'irrégularité de notre appareil hydraulique, jusqu'ici insoumis à la discipline de la Science.

Il s'agirait de substituer au régime variable et instable de nos cours d'eau, un régime fixe et régulier. Le désordre provient uniquement de l'irrégularité naturelle dans le profil du

*plan incliné sur lequel s'effectue l'écoulement de notre appareil hydraulique vers l'Océan.*

La cause perturbatrice étant définie, le remède consisterait à modifier les conditions d'inclinaison des eaux vers la mer.

Il suffirait, pour cela, de supprimer le profil naturel de nos cours d'eau, en lui substituant une série de plans d'eau réguliers et successivement subordonnés. Ce serait, en d'autres termes, la transformation du plan incliné de nos rivières en un escalier hydraulique.

La conséquence de ce système serait le maintien du régime du plein dans les rivières où, dans l'état actuel, l'eau tantôt manque et tantôt surabonde. Ce régime du plein ne serait pas celui des crues, mais un plan d'eau constant, réglé d'après l'appréciation exacte des ressources alimentaires disponibles.

Ce régime du plein serait maintenu à l'aide de deux conditions :

1<sup>o</sup> La régularisation normale des *déversoirs des barrages* et des *voies émissaires* de toute nature disposés pour la retenue et la distribution des eaux, en ne laissant descendre inutilement à la mer qu'une portion du liquide la plus restreinte ;

2<sup>o</sup> Par l'établissement de spacieux et multiples *réservoirs* créés dans l'amont du système, pour emmagasiner une partie des eaux fluviales surabondantes, en vue de les utiliser dans la saison sèche.

Ces réservoirs, véritables lacs artificiels, contiendraient, sur des largeurs de plusieurs kilomètres, des couches d'eau vive de 20 à 40 mètres d'épaisseur, suivant les formes des vallées abruptes qui auraient été choisies pour créer nos lacs artificiels.

Les cours d'eau de France, depuis leur origine jusqu'à la mer, seraient subdivisés en une multitude de biefs régulièrement étagés et maintenus par des barrages.

Le régime d'écoulement des rivières étant ainsi réparti dans des bassins à niveau constant, il deviendrait alors facile de régulariser les différents services hydrauliques par un départ judicieux du liquide pour ses diverses utilisations : *l'arrosage des terres, la force motrice des chutes d'eau, la navigation, etc.*

Les conséquences de cette réforme seraient aussi importantes que nombreuses : Les *vitesse*s seraient presque supprimées dans le lit des rivières, pour être plus utilement localisées dans les chutes des barrages où elles produiraient d'immenses forces hydrauliques.

La suppression des vitesses mettrait fin à la dégradation des rivages et aux encombrements des rivières dites à *fond mobile*, dont le lit deviendrait stable. Il n'y aurait plus de transport de pierres, de cailloux, de gravier, de sable, etc.

En outre, l'établissement rationnel de réservoirs et de déversoirs, destinés à loger les eaux des grandes crues, amènerait la suppression des *inondations*.

L'étendue linéaire de tous les cours d'eau de la France s'élève à 131 435 kilomètres et leur pente moyenne est de 1<sup>m</sup>52 par kilomètre.

Les pentes moyennes dans chacun des grands bassins fluviaux sont très différentes entre elles. Elles varient, en effet, de 0<sup>m</sup>95 à 2<sup>m</sup>28. Ces différences sont proportionnelles aux altitudes des faîtes où les fleuves prennent leurs sources.

(1) Il est curieux que cet article datant seulement de 1891, l'auteur n'ait pas signalé l'utilisation des chutes d'eau des Alpes, déjà commencée à cette époque.  
N. D. L. R.

La hauteur moyenne de pluie annuelle tombée sur la surface de la France, est d'environ  $0^m75$ .

Cette hauteur varie dans une certaine mesure, d'un bassin à l'autre, sous l'influence des vents locaux dominants. D'après nos calculs, la quantité d'eau tombée en France pendant une année, dépasse 400 milliards de mètres cubes.

Le volume d'eau évacué en moyenne à la mer par nos fleuves grands et petits est, d'après les mêmes calculs, de 180 milliards par année.

D'après ces données, on peut admettre que la moitié environ de la pluie tombée sur le sol est restituée directement à l'Océan par les voies fluviales.

L'autre moitié s'élève successivement dans l'atmosphère par voie d'évaporations successives.

Nous n'avons à nous préoccuper que du volume d'eau débité directement à la mer, le seul dont il soit en notre pouvoir d'administrer le cours.

Le volume total des eaux annuellement débitées à la mer (180 millions de m.c.) correspondrait à raison de 10.000 m.c. par hectare, à l'arrosage de 18 millions d'hectares, si ce volume pouvait être intégralement employé à l'irrigation.

De même, ce volume appliqué à la mise en œuvre des forces motrices alimenterait simultanément 19 000 usines (du type par nous choisi de 10 chevaux-vapeur), soit une puissance de 190 000 chevaux-vapeur. Cette production de forces, renouvelée seulement 60 fois sur des chutes successives avec la même eau, avant d'arriver à la mer, représenterait l'équivalent de la puissance énorme de 12 millions de chevaux-vapeur.

Si nous énonçons, ici, *les limites extrêmes* qu'il serait possible d'atteindre dans l'application des ressources offertes par notre appareil hydraulique, soit par l'irrigation, soit par la création de force motrice, c'est uniquement en vue de donner la mesure de sa puissance.

*Irrigations.* — La France possède 25 millions d'hectares de terres arables. Elle n'a que 5 millions d'hectares de prairies naturelles. C'est une proportion de 1 hectare de pré pour 5 hectares de cultures.

Or, nous pourrions créer sur nos 25 millions de terres arables, à l'aide de la masse disponible, une surface de prairies arrosées de 10 millions d'hectares, et nous conserverions en terres arables une surface réduite à 15 millions d'hectares.

Cette surface en terres arables, réduite à 15 millions d'hectares (au lieu de 25), produirait au moyen de l'augmentation des engrais, due à la présence d'un bétail plus nombreux, une récolte supérieure à celle que nous cueillons aujourd'hui.

La France possède aujourd'hui 200 000 hectares de terres disposées pour recevoir l'irrigation. Mais il existe une telle irrégularité dans beaucoup d'appareils de distribution, que l'on peut réduire la superficie régulièrement arrosée, au chiffre de 100 000 hectares au plus pour la France.

Or, dans beaucoup de contrées, on estime que l'irrigation judicieuse, quadruple et même parfois décuple les produits du sol.

En tenant compte du revenu actuel des terres et de l'augmentation assurée aux récoltes par une irrigation régulière, on peut avancer que, sur 10 millions d'hectares, on obtiendrait en France une plus-value de 1 milliard 700 millions en revenu brut annuel, et 1 milliard 200 millions en produit net.

Et, prenant pour base le vingtième seulement de la plus-value de 1 milliard 700 millions de revenu brut, on obtiendrait par la perception de l'impôt foncier, un excédent annuel de 85 millions.

*Forces motrices.* — La création d'une masse énorme de nouvelles forces motrices sur les cours d'eau permettrait aux industries manufacturières de se répandre à la surface du territoire français dans les meilleures conditions d'économie.

La conquête d'un ensemble de forces hydrauliques, s'élevant à 12 millions de chevaux-vapeur, réaliserait pour l'industrie nationale (eu égard au coût de la force motrice d'un che-

val-vapeur obtenu au moyen du charbon), un bénéfice annuel de plus de 600 millions de francs.

Une autre conséquence de la transformation, projetée de notre appareil hydraulique, serait la grande révolution économique dans l'appropriation du sol, facile à réaliser dans toute la France, *au profit des travailleurs de l'Industrie occupés dans des établissements plus dispersés dans les campagnes.*

*Navigation.* — La construction des chemins de fer a trop détourné, depuis vingt-cinq ans, l'attention publique et celle du gouvernement, de l'amélioration des voies navigables réclamée par l'industrie et le commerce.

Dans notre plan d'ensemble, tous les biefs des cours d'eau étant maintenus au niveau plein, sont dans des conditions de navigabilité, depuis leur source jusqu'à la mer. Il y a à tenir compte du tirant d'eau à établir en vue de faire pénétrer les navires de mer, ou au moins les bateaux de grande dimension, dans les diverses régions du territoire.

*Inondations.* — Le fléau actuel des inondations ne saurait être attribué qu'à l'imprévoyance de l'homme.

Le problème des inondations ne peut être résolu que par l'adoption d'un plan d'ensemble pour l'aménagement des eaux courantes, en vue de leur utilisation.

L'examen de la question des inondations se trouvera, en grande partie, résolu, en la combinant avec l'agissement des fonctions utilitaires de l'appareil, telles que l'irrigation, les forces motrices, la navigation, etc. La question des inondations se réduira à cette simple solution : Quand les crues mettent beaucoup d'eau dans l'appareil, appliquer un système de réservoirs ou de déversoirs, capables d'emmagasiner ou d'émettre ces crues dans la proportion de leur afflux.

Nous avons cru utile de reproduire ce résumé général des principes, mais ils ne sont plus discutés aujourd'hui; aussi conseillerons-nous aux jeunes ingénieurs de ne s'en inspirer que pour étudier un projet déterminé et formuler, d'une manière précise, les travaux qui peuvent assurer l'enrichissement d'une contrée. C'est même, qu'on nous permette de le dire, une précaution à prendre, de ne pas trop s'arrêter à des synthèses trop générales et peu précises, sans s'occuper de solutions déterminées et complètes. La véritable méthode scientifique consiste à s'attacher à des problèmes solubles, et en les résolvant complètement, à s'élever de proche en proche à d'autres de plus en plus complexes. C'est ainsi qu'on parvient à de bien autres résultats qu'à ceux auxquels une contemplation un peu vague d'une question par trop étendue, peut conduire.

---

### Sur un appareil enregistreur permettant de mesurer à travers une paroi solide, supportant des pressions relativement élevées, des différences de pression aussi faibles que l'on veut. — Note de M. MESNAGER, à l'Académie des Sciences (11 Janvier 1904) (1).

« Cet appareil a été construit en vue d'enregistrer les différences de pression produites sur des ajutages placés à l'intérieur de conduites contenant de l'eau en mouvement ; la sensibilité devant être telle que les différences inférieures à  $1^m$  d'eau puissent apparaître.

« Les ajutages utilisés sont ceux qui sont couramment employés pour la mesure de la vitesse de l'eau. L'un d'eux, dirigé en sens inverse du mouvement de celle-ci, communique avec une capacité cylindrique A, le second, présentant une ouverture tangente à la direction des filets liquides, communique avec une deuxième capacité B également cylindrique et de même diamètre. Ils produisent à l'intérieur de ces capacités

(1) Il est à regretter que le mémoire ne contienne pas de figure.

des pressions différant entre elles, lorsque l'eau est en mouvement ; mais la différence de ces pressions n'est que quelques millièmes de celle qui règne dans la conduite.

« Les capacités A et B, en communication à leur partie inférieure, contiennent du mercure, que les différences de pression font passer de l'une dans l'autre. L'une d'elles, A, est fixe, et est réunie à l'autre, à la partie inférieure, par un tube métallique rectiligne de 8<sup>m</sup>/<sub>m</sub> de diamètre à paroi mince et assez long pour éprouver des flexions de 1 c/m sous des efforts de quelques grammes seulement.

« A sa partie supérieure, cette capacité est rattachée au deuxième ajutage par un tube identique à celui dont nous venons de parler, parallèle et libre sur la même longueur. Cette capacité B est suspendue à sa partie supérieure à un ressort, et se trouve en équilibre sous la réaction de ce ressort et la charge de mercure et d'eau qu'elle contient.

« Quand les pressions sur les ajutages viennent à varier, la charge de mercure contenue dans la capacité B varie, et la différence de poids peut-être aussi considérable que l'on veut pour une différence de pression donnée, puisqu'on est maître du diamètre de cette capacité ; on est donc maître de l'allongement que pourra prendre le ressort sous l'influence de cette différence de pression. L'inscription est faite au moyen d'un enregistreur Richard actionné par la capacité B.

« Ce dispositif a l'avantage de ne contenir aucun presse-étoupe, ni autre appareil analogue pouvant introduire des frottements variables, de nature à donner des indications irrégulières suivant leur état d'entretien ».

## MÉTHODE DIFFÉRENTIELLE DE JAUGEAGE (1)

### CONSIDÉRATIONS THÉORIQUES

Je n'ai pas à faire remarquer ici l'importance que présente la mesure des débits ; on l'a suffisamment redit sur tous les tons. J'arrive donc immédiatement à l'exposé de la méthode que j'ai expérimentée.

**Principe de la méthode.** — D'une façon générale, cette méthode a pour but de mesurer graphiquement un débit, quelles que soient la forme et la nature de la canalisation ou de l'orifice dans lesquels il a lieu, et s'applique avec la même précision à tous les débits, depuis moins d'un litre par seconde jusqu'à plusieurs mètres cubes.

Elle emploie une formule de jaugeage simple, rigoureusement exacte au point de vue théorique, indépendante de la hauteur de chute, et dont la caractéristique principale est de n'employer aucun coefficient empirique. La précision de cette méthode ne dépend donc que de l'exactitude apportée dans l'évaluation des grandeurs géométriques composant cette formule.

Son principe a été indiqué par M. CROLARD, ingénieur à Annecy, dans une note à la « Commission des Essais de Turbines » (2). Il consiste à calculer le débit d'un canal, d'une conduite ou d'un orifice quelconque par l'opération suivante : A l'entrée de la chambre de mise en charge des turbines, on installe en travers du canal d'amenée un barrage

volant constitué de telle sorte qu'on puisse faire passer toute l'eau prise par la turbine à essayer, par un orifice muni d'une vanne pouvant se fermer très rapidement. Quand le régime de marche normale est bien établi, on ferme brusquement la vanne et l'on mesure l'abaissement du plan d'eau pendant un temps donné. On peut alors, connaissant la section en plan de la chambre, mesurer le volume de la tranche d'eau débitée.

Ce procédé de jaugeage est parfait en principe, mais son application souffre des difficultés qui introduisent des chances d'erreur notables dans les résultats. D'abord, la fermeture de la vanne ne peut pas être instantanée, en sorte que, entre le commencement et la fin de la fermeture, le plan d'eau dans le réservoir servant à l'expérience baisse d'une quantité qui ne correspond pas au débit du régime normal. Ensuite, il est nécessaire que les parois du bassin sur lequel on opère soient bien verticales, sans quoi, le calcul du volume de la tranche débitée devient très compliqué. En troisième lieu, il est difficile de noter *sans incertitude* les instants précis où le niveau passe devant les repères qu'on s'est fixé. Enfin, la mesure de la hauteur d'abaissement de ce niveau, qui est ici un facteur sur lequel la moindre erreur introduit une grande incertitude dans le résultat, est difficile à effectuer avec précision. On remarquera encore que dans le cas des petites chutes, l'abaissement du plan d'eau ne pouvant pas être considéré comme une fonction linéaire du temps, le débit calculé de cette façon n'est plus qu'approximatif.

C'est pour éliminer les difficultés inhérentes à ce mode opératoire que nous avons recours au procédé suivant :

Il consiste alors à calculer le débit d'une canalisation uniquement au moyen de la courbe des vitesses d'un abaissement momentané du niveau de régime normal dans une chambre d'eau quelconque située sur le parcours de cette canalisation.

Le régime permanent ayant été établi, si à un moment donné on interrompt toute arrivée d'eau dans cette chambre, le volume qu'elle continue à débiter dans un temps infiniment court est égal au produit de la section, au niveau considéré à ce moment, par la hauteur infiniment petite dont ce niveau a baissé. (On verra plus loin par quel artifice on tourne la difficulté de la fermeture non instantanée de la vanne). Si à l'aide d'un flotteur on inscrit les variations de niveau sur un cylindre tournant avec une vitesse uniforme, on obtient une courbe dont la tangente en un point quelconque donne la vitesse d'abaissement. On dispose les choses pour que cette tangente puisse toujours être tracée à celui des points de la courbe qui correspond d'une manière précise au niveau du régime permanent. A ce niveau on peut mesurer exactement la section de la chambre d'eau quelle que soit la forme des parois, pourvu toutefois qu'elle ne soit pas par trop irrégulière ; le produit de cette section par la valeur de la tangente donne l'expression du débit.

L'application de la méthode ne comporte donc pour tout appareil de mesure qu'un enregistreur de niveaux d'eau. Cet appareil introduit, il est vrai, son coefficient propre dans la mesure, mais sans compliquer la méthode précédente ; il en élimine au contraire, toutes les chances d'erreur.

(1) Je tiens à remercier ici M. E.-F. CÔTE, mon professeur d'Hydraulique Appliquée à l'École Centrale Lyonnaise, des conseils qu'il m'a fournis dans l'étude de cette méthode, et d'avoir bien voulu la présenter à la Commission des Essais de Turbines hydrauliques.

(2) Note à moi communiquée par M. CÔTE, au moment où je construisais mon appareil servant à l'application de la méthode telle que je l'avais conçue.