HYDRAULIQUE

La similitude dynamique et ses applications à l'hydraulique industrielle

Par A. FOCH, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Dans cet article, l'auteur, après avoir exposé d'une façon générale, les principes de la similitude dynamique, indique les principales applications de la théorie à l'hydraulique industrielle : pertes de charges dans les tuyaux et les coudes, formes des lignes de courant, pertes par vagues et remous. Il termine par des indications sur la similitude des mouvements dans une machine et son modèle.

I

Il y a longtemps que les hydrauliciens ont senti le besoin d'étudier, sur des modèles à échelle réduite, le rendement des installations qui devront être réalisées en grand. Pour ne prendre que l'exemple le plus connu, la théorie des turbines semblables, si magistralement développée par M. Rateau, il y a trente ans, permet de choisir, entre tous les types possibles, le modèle le mieux adapté à des conditions locales déterminées, ou, pour parler plus exactement, de prévoir, d'après les essais faits sur une roue à échelle réduite, le rendement qu'offrirait la même roue établie pour une chute déterminée.

Or, d'innombrables questions se posent, dont la solution mathématique complète paraît devoir rester longtemps encore inconnue. L'étude expérimentale s'impose donc. Mais les facteurs qui peuvent influencer sur la solution finale sont, en général, très nombreux ; dans le cas cité plus haut des turbines à rendement maximum, il serait nécessaire d'étudier l'action de la hauteur de chute, du nombre de tours à la minute, du débit, de la forme, etc... Mais les théories de la similitude permettent souvent de réduire le nombre de ces facteurs : dans l'exemple précédent, on sait qu'il suffit de connaître, pour une roue déterminée, les valeurs du rendement en fonction du nombre de tours n_s à la minute, lorsque la turbine absorbe $1 \text{ m}^3/\text{sec.}$ sous un mètre de chute, pour en déduire le rendement de toute turbine géométriquement semblable absorbant $Q \text{ m}^3 : \text{sec.}$ sous $H \text{ m.}$ de chute et tournant à un nombre de tours n tel que

$$n_s = \frac{n \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

Grâce à la théorie, on a donc pu avoir une connaissance plus complète avec un nombre d'expériences bien plus restreint.

L'objet de cette étude est d'indiquer, d'une façon générale, et sur quelques exemples qui me paraissent assez typiques, les principes de la similitude mécanique (1). Ces principes sont, d'ailleurs, tous bien connus ; mais, peut-être, n'est-il pas inutile de rassembler en quelques pages, ceux qui ont trait à la similitude hydraulique. La méthode que je suivrai est due, dans son principe, à Lord Rayleigh (2) ; d'autres existent (3), qui sont d'une apparence un peu plus générale. Personnellement, je les ai trouvées moins commodes, surtout parce que moins machinales.

II

Je rappelle ce que l'on est convenu d'appeler les dimensions d'une grandeur. Pour des raisons de commodité, il a été nécessaire d'établir entre les diverses grandeurs : longueur, masse,

temps, force, quantité de chaleur, etc., des relations ; on a choisi certaines grandeurs comme fondamentales. De ces grandeurs fondamentales, les principes de la physique, les théorèmes rationnels et les lois expérimentales ont permis de déduire des unités dérivées. Par exemple, on prend comme unité d'aire le carré construit sur l'unité de longueur ; comme unité de vitesse, la vitesse du mobile parcourant l'unité de longueur dans l'unité de temps. Le choix des unités fondamentales est d'ailleurs entièrement arbitraire : ce peuvent être la longueur, la masse et le temps, ou la longueur, la force et le temps, ou tout autre groupement. A l'heure actuelle, on s'accorde généralement à adopter le premier groupe : longueur, masse et temps.

Ce groupe une fois choisi, les unités dérivées sont déterminées ; par suite, le nombre qui mesure une vitesse changera avec les unités fondamentales ; par exemple, ce nombre, étant 60 si l'on prend comme unités fondamentales le kilomètre et l'heure, devient 500 si les unités fondamentales sont le pied et la seconde. Mais il est évident que les phénomènes eux-mêmes sont indépendants des appareils qui servent à les mesurer ; la chute d'un corps en un lieu déterminé reste la même, que les déplacements soient mesurés avec le mètre des Archives ou le pied britannique. De façon précise, soit une grandeur quelconque (une force vive par exemple). Les définitions permettent de voir que si l'unité de longueur devient a fois plus petite, l'unité de masse b fois plus petite, l'unité de temps c fois plus petite, le nombre mesurant la grandeur deviendra

$$a^2 b^2 c^3$$

fois plus grand. Dans le cas de la force vive, on aurait :

$$\alpha = 2, \quad \beta = 1, \quad \gamma = -2$$

On dit que les dimensions de la grandeur considérée sont :

$$L^2 M^2 T^{-2}$$

Comme toute expression mathématique d'une loi physique ne peut se traduire que par une égalité entre éléments de même nature, comme on ne peut ajouter entre elles une force et une énergie, une température et une vitesse, il faut nécessairement que les divers termes de la relation soient des termes de même nature, influencés par suite de la même façon par un changement d'unités. En d'autres termes, les divers termes doivent avoir mêmes dimensions. Par exemple, les divers termes de l'équation de Bernoulli

$$z + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2g} = \text{cte}$$

ont même dimension L , puisque les dimensions de chacun des facteurs sont respectivement

$$\begin{aligned} [z] &= 1 \\ [p] &= L^{-1} M T^{-2} \\ [\rho] &= L^{-3} M T^{-2} \\ [v] &= L T^{-1} \\ [g] &= L T^{-2} \end{aligned}$$

(1) On consultera utilement le *Dictionnaire of applied Physics*, de Glazebrook.

(2) *Phil. Mag.*, 1899 (48), p. 321.

(3) Voir par exemple Helmholtz, *Wissenschaftliche Abhandlungen* tome I, p. 158.

III

Or — et c'est là le point important — ce principe de l'*homogénéité*, dans le sens étymologique du mot, peut servir non seulement pour contrôler l'exactitude d'un calcul, mais encore pour obtenir des renseignements *a priori* sur la forme à donner aux expressions expérimentales. Dans l'analyse préliminaire d'un problème déterminé, il fournit souvent un secours précieux pour indiquer la voie dans laquelle il convient de s'engager. L'exemple classique que je rappelle parce qu'il permet de préciser la méthode suivie et surtout la nature profonde de la *similitude dynamique*, est celui de la durée des petites oscillations d'un pendule simple. L'expérience montre que cette durée est indépendante de l'angle d'écart ; par suite les seuls facteurs qui peuvent intervenir sont la masse du pendule m , la longueur l de ce pendule, l'intensité de la pesanteur g , la forme de la boule, le système de suspension. Les deux derniers facteurs paraissent difficiles à formuler par un paramètre (1). Commençons par les négliger, ou plus exactement supposons-les constants dans une série d'expériences.

Nous écrivons que la période θ est fonction de m , l et g .

$$\theta = f(m, l, g)$$

A priori, la fonction f est inconnue ; supposons-la développée en série de puissances de l , m et g .

$$\theta = \Sigma A l^x m^y g^z$$

Chaque terme doit avoir les dimensions d'un temps, en vertu du principe déjà rappelé. Donc, le terme général ayant comme dimensions

$$L^x M^y (LT^{-2})^z$$

on doit avoir :

$$\begin{aligned} x &= 0 \\ x + y &= 0 \\ -2z &= 1 \end{aligned}$$

Donc :

$$\theta = \Sigma A m^0 l^2 g^{-\frac{1}{2}} = \sqrt{\frac{l}{g}} \times B$$

B étant une constante.

L'étude préliminaire nous permet donc de voir qu'une seule expérience sera nécessaire pour déterminer la valeur de B, alors que l'étude purement expérimentale eût exigé la variation successive de l , m et g . La simplification est évidente.

Allons plus loin ; cherchons le temps mis par le pendule pour aller de sa position d'équilibre à une position faisant un angle α avec la verticale ; nous avons à écrire comme plus haut que

$$t = f(l, m, g, \alpha)$$

Le terme général s'écrivant $C l^x m^y g^z \alpha^e$, un calcul analogue au précédent permet de voir que le terme doit s'écrire (un angle étant sans dimensions)

$$C l^{\frac{1}{2}} g^{-\frac{1}{2}} \alpha^e$$

Donc :

$$t = \sqrt{\frac{l}{g}} \times \Sigma C \alpha^e = \sqrt{\frac{l}{g}} f(\alpha)$$

Cette équation montre que l'angle α est déterminé par la valeur du terme $t \sqrt{\frac{g}{l}}$

Photographions, sur des plaques de même grandeur, deux

pendules de longueurs l_1 et l_2 , en des points où la gravité vaut g_1 et g_2 , à des époques t_1 et t_2 telles que :

$$t_1 \sqrt{\frac{g_1}{l_1}} = t_2 \sqrt{\frac{g_2}{l_2}}$$

Les deux séries de photographies ainsi obtenues seront identiques. Quand on peut réaliser des systèmes en mouvement passant par les mêmes états géométriques pour les mêmes valeurs d'un groupe sans dimensions (ici $t \sqrt{\frac{g}{l}}$), on dit que ces systèmes sont dynamiquement semblables (Hyman Lévy).

IV

Cela étant, passons aux principaux problèmes de l'hydraulique industrielle que l'on peut aborder par la méthode des dimensions. Toutes les considérations qui vont suivre reposent sur la considération de l'équation générale.

$$g \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\rho}{\rho} \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right]$$

qui, jointe aux deux équations analogues et à l'équation d'incompressibilité

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

permettrait de calculer p , u , v , w , si on connaissait la densité ρ et la viscosité η du fluide, ainsi que les conditions aux limites. Il s'agit là d'une « permission » théorique ; les mathématiques sont, à l'heure actuelle, totalement incapables de donner à l'ingénieur le moyen de tracer *a priori* l'injecteur d'une roue Pelton ou le tube d'aspiration d'une turbine Francis. L'expérience doit forcément intervenir ; nous allons voir comment des considérations d'homogénéité permettent de restreindre le champ où les investigations semblent *a priori* devoir s'étendre.

1) PERTE DE CHARGE DANS LES TUYAUX.

J'ai indiqué l'application de la méthode de Rayleigh à la perte de charge dans les tuyaux lisses dans la *Houille Blanche* (n° de septembre-octobre 1922). Pour être plus général, prenons le cas d'un tuyau rugueux et définissons la rugosité comme le rapport de la hauteur moyenne des rugosités e au diamètre moyen du tuyau.

Cherchons la perte de charge en mètres d'eau par mètre de longueur du tuyau.

Nous écrirons cette perte (sans dimensions) :

$$\tau = \frac{w^2}{2g} f(w, \nu, \rho, d, e)$$

w , vitesse moyenne de l'eau dans le tuyau. (dimensions LT^{-1})
 ν , coefficient de viscosité absolue (— $ML^{-1}T^{-1}$)
 ρ , densité de l'eau (— ML^{-3})
 d , diamètre du tuyau (— L)

Nous exprimons ainsi la perte de charge en pour cent de la charge équivalente à la vitesse moyenne d'entrée.

Le terme général du développement en série de τ est :

$$\frac{w^2}{2g} A w^x \nu^y \rho^z d^e e^f$$

Il doit avoir comme dimensions 0 ; donc :

$$0 = L \times (LT^{-1})^x (ML^{-1}T^{-1})^y (ML^{-3})^z L^e L^f$$

Donc :

$$\begin{aligned} x + y &= 0 & y &= x & z &= -x \\ 2 + x - y - 3z + e + f &= 1 & z &= -1 + x - e \\ x + z &= 0 \end{aligned}$$

(1) Il s'agit d'une difficulté relative. On sait, en effet comment la considération des moments d'inertie résout complètement la question.

Par suite le terme général est de la forme :

$$\frac{w^2}{2gd} \Lambda \left(\frac{wd}{\nu} \right)^x \left(\frac{e}{d} \right)^z$$

ce qui montre que la perte de charge est de la forme :

$$\tau = \frac{w^2}{2g} + \frac{1}{d} f \left[\frac{wd}{\nu}, \frac{e}{d} \right]$$

ν étant la viscosité dynamique $\frac{\eta}{\rho}$

Ombeck a donné pour expression de $f \left[\frac{wd}{\nu}, \frac{e}{d} \right]$ une expression de la forme

$$f = \frac{A + B \frac{e}{d} \frac{wd}{\nu}}{\sqrt{\frac{wd}{\nu}}}$$

A et B étant deux constantes ; je n'insiste pas sur les valeurs numériques, en raison de la difficulté de définir avec précision la rugosité $\frac{e}{d}$; je me borne simplement à indiquer la voie où doit s'engager — et où s'est effectivement engagée — toute recherche rationnelle.

J'ai signalé dans l'article déjà cité la splendide concordance avec la théorie précédente des résultats expérimentaux obtenus sur des fluides aussi différents que l'eau, l'air et la vapeur. Je me borne à indiquer que, pour les pertes de charge dans les tuyaux cylindriques, la similitude dynamique d'un tuyau et de son modèle comporte la réalisation simultanée de l'égalité des quantités :

$$\frac{wd}{\nu} \quad \text{et} \quad \frac{e}{d}$$

Ces conditions réalisées, il en résultera que la perte de charge relative $\frac{\Delta h}{w^2}$ sera la même. Dans les tuyaux où la rugosité est

négligeable, il suffit de conserver la même valeur pour $\frac{wd}{\nu}$

2° PERTES DE CHARGE DANS LES COUDES.

Le raisonnement précédent est valable sans aucune modification. Soient donc deux coudes *semblables géométriquement* ; prenons la perte de charge ΔH (en mètres d'eau) entre deux points du coude et entre les deux points correspondants du modèle, nous trouvons que si l est une dimension caractéristique du coude (par exemple le diamètre du premier tuyau), la perte de charge s'écrit :

$$\Delta H = \frac{w^2}{2g} f \left[\frac{wl}{\nu}, \frac{e}{d} \right]$$

w étant la vitesse moyenne dans une section du coude. Si le coude peut être considéré comme lisse, on a :

$$\Delta H = \frac{w^2}{2g} F \left(\frac{wl}{\nu} \right)$$

L'étude des pertes de charge dans les coudes comporterait donc :

1) Une étude relative aux coudes lisses, tels qu'on les peut, par exemple, réaliser en ciment ;

2) Une étude de l'influence des rugosités (dues aux clouures, aux joints mal faits, etc.)

Cette étude doit être faite spécialement pour chaque forme de coude ; pour une forme déterminée, elle peut être faite sur

un modèle unique, à condition de pouvoir réaliser une gamme suffisamment étendue de vitesses (1).

3° FORME DES LIGNES DE COURANT.

Pour en terminer avec les phénomènes où intervient la viscosité supposons différents corps tous géométriquement semblables. Dans un de ces corps caractérisé par une dimension particulière l s'écoule un fluide ; nous admettrons réalisé le mouvement permanent. La vitesse v en un point P du fluide fixé par rapport au corps peut, d'une façon générale, s'écrire :

$$v = f_1(w, \nu, l)$$

en appelant w la vitesse moyenne d'écoulement, ν et ρ la viscosité cinématique et la densité du fluide.

Soit, d'autre part, τ , la pente de la ligne de courant passant par P ; nous écrivons que

$$\tau = f_2(w, \nu, l)$$

v a pour dimensions LT^{-1} , τ est de dimensions nulles, la méthode précédente montre que

$$v = w F_1 \left(\frac{wl}{\nu} \right)$$

$$\tau = F_2 \left(\frac{wl}{\nu} \right)$$

La première équation montre que la vitesse v (en un point P) dépend uniquement de la position de ce point, de la vitesse moyenne et de $\frac{wl}{\nu}$; la pente dépend uniquement de la position du point et de $\frac{wl}{\nu}$. Si donc, on dispose de deux corps semblables, et si $\frac{wl}{\nu}$ est le même pour ces deux corps :

1) Les lignes de courant seront semblables (au sens géométrique) ;

2) Pour chacun de ces corps, si on peut faire varier la vitesse et la viscosité en maintenant constant $\frac{wl}{\nu}$, la vitesse de chacun des points sera proportionnelle à la vitesse moyenne.

De cela, une importante conséquence est à déduire. Certains des constructeurs de roues Pelton ont adopté pour tous leurs injecteurs, le même tracé ; d'autres constructeurs, au contraire, prétendent adapter leurs tracés à chaque cas particulier. Or, la théorie précédente établit que l'on ne peut, de façon stricte, conserver le même tracé que si $\frac{wl}{\nu}$ est constant. Supposons d'abord la température de l'eau constante ; deux injecteurs, géométriquement semblables, ont des débits proportionnels aux carrés des dimensions homologues et aux vitesses.

$$\frac{q}{wl^2} = \frac{Q}{WL^2}$$

Mais on doit avoir, d'après ce qui précède :

$$wl = WL$$

Donc :

$$qw = QW$$

Remplaçons w par sa valeur $K \sqrt{2gh}$, on a, toutes réductions faites :

$$q \sqrt{h} = Q \sqrt{H} \quad \text{ou} \quad \frac{qh}{\sqrt{h}} = \frac{QH}{\sqrt{H}}$$

(1) On sait que les constructeurs admettent pour K une valeur de l'ordre de 1 quand il s'agit d'un coude brusque, une valeur de l'ordre de $\frac{1}{100}$ pour les coudes progressifs.

En d'autres termes, le tracé d'un injecteur ne serait valable sous une chute donnée que pour une puissance déterminée, laquelle puissance croîtrait comme la racine carrée de la chute.

Cela justifierait la pratique des derniers constructeurs.

Mais nous avons là une voie où il ne faut avancer que prudemment. On peut d'abord remarquer que le même raisonnement vaut pour les aujets et, à ma connaissance, aucun constructeur ne trace les modèles de ses aujets suivant de tels principes.

De plus, pour être rigoureux, on devrait faire intervenir la variation de viscosité de l'eau avec la température. Cette variation est relativement importante : de l'hiver à l'été, la viscosité diminue de plus de 50 %. A vouloir être strict, on doit donc conclure que le même injecteur ne peut convenir également en temps de neige et au mois d'août. Toutefois, comme l'expérience montre que les bonnes roues Pelton ont des rendements assez constants quelle que soit l'époque de l'année, nous sommes amenés à penser que l'influence du $\frac{wl}{v}$ sur la forme des lignes de courant n'est pas très grande. Est-elle négligeable ? Cela est une autre question : Je citerai l'exemple d'une fourniture de Pelton, pour très haute chutes relativement puissantes, où a été obtenu un rendement de près de 5 % supérieur aux rendements ordinaires. Ce rendement, obtenu par toutes les turbines de la fourniture, n'a plus été retrouvé depuis. Ne faudrait-il pas chercher la raison de ce fait dans la convenance particulière des tracés du constructeur aux grandes puissances ? Il ne s'agit évidemment là que d'une suggestion. Néanmoins, l'intérêt serait grand d'une étude systématique du tracé des injecteurs d'une part et des aujets de l'autre. A l'heure où l'on « gratte » des 0,1 % sur le rendement des appareils électriques, où l'exploitant paie 2 % de plus pour que le rendement d'un transformateur passe de 0,975 à 0,98, il ne serait peut-être pas inutile de savoir comment rattraper 5 à 6 % sur les machines hydrauliques.

V

Dans les pages qui précèdent, nous avons considéré l'influence de la viscosité sur les mouvements des liquides. Nous allons maintenant considérer un cas très fréquent dans la pratique : celui de l'énergie perdue en vagues et remous dans les liquides dont on peut négliger la viscosité. Ce cas se rencontre dans les tubes d'aspiration au débouché dans le canal de fuite, dans certains rupteurs de charge faisant écouler l'eau sous pression d'un réservoir dans un canal à l'air libre, etc. Le phénomène peut s'analyser de la façon suivante : l'eau arrive avec une certaine énergie cinétique dans une masse d'eau considérable offrant un niveau à l'air libre. D'où naissance dans cette masse d'eau de vagues, de remous, de chocs ne s'amortissant qu'à la longue. Pour établir les équations du phénomène, on peut donc, en première approximation négliger la viscosité et se borner à l'énergie dépensée, à créer les mouvements de surface.

Les équations générales de l'hydrodynamique prennent la forme :

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = 0$$

avec deux équations analogues. Ecrivant $p = h \rho g$, il vient trois équations du type

$$g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = 0$$

et l'équation de continuité.

On voit que la hauteur d'eau au-dessous d'un point donné dépend en particulier de l'accélération de la pesanteur ; on se rend compte aisément de la raison de ce fait : quand une vague

prend naissance quelque part, le niveau s'élève jusqu'à ce que l'énergie soit passée sous forme potentielle, la hauteur atteinte est d'autant plus grande que l'intensité de la pesanteur est plus faible. Si, alors, nous considérons, par exemple, un tube d'aspiration et son modèle, nous aurons à écrire que l'énergie perdue dans l'un des deux sera fonction, d'abord d'une longueur l caractérisant l'échelle (par exemple le diamètre du col à l'entrée), en second lieu de la vitesse en une région (par exemple la vitesse moyenne w en ce col), et enfin de l'intensité de la pesanteur g . On peut toujours rapporter cette énergie à l'unité de débit et indiquer la hauteur de chute équivalente h . On pourra même chercher le rapport de cette dernière à l'énergie $\frac{w^2}{2g}$ apportée dans le tube par l'unité de débit. En somme, sans restreindre en rien la généralité de l'expression, on peut écrire :

$$h = \frac{w^2}{2g} f(w, l, g)$$

Le terme général du développement de $f(w, l, g)$ est sans dimensions.

Ce terme étant écrit :

$$A w^x l^y g^z$$

On doit avoir :

$$1 = (LT^{-1})^x L^y (LT^{-2})^z$$

soit :

$$0 = x + y + z$$

$$0 = x + 2z$$

ou :

$$z = -\frac{x}{2}$$

$$y = -\frac{x}{2}$$

Le terme général étant $A \left(\frac{w^2}{lg} \right)^{\frac{x}{2}}$, on voit que la hauteur de chute perdue peut s'écrire :

$$h = \frac{w^2}{2g} f\left(\frac{w^2}{lg}\right)$$

Ce qui peut s'interpréter ainsi : le rapport de l'énergie perdue à l'énergie transportée par le tube est fonction uniquement du rapport $\frac{w^2}{lg}$; en d'autres termes, les rendements d'un tube et de son modèle sont les mêmes quand les vitesses sont dans le rapport des racines carrées des dimensions homologues (Règle de Froude).

Par conséquent, soit un tube d'aspiration ayant au col d'entrée un diamètre de 2 mètres et débitant 25 m³ : sec ; le modèle au $\frac{1}{20^e}$ n'aura que 10 centimètres de diamètre au col d'entrée ; d'autre part, la vitesse devra y être réduite dans le rapport de 1 à $\sqrt{20}$; le débit dans le modèle sera donc $\frac{1}{20^2} \times \frac{1}{\sqrt{20}}$ fois plus petit que le débit réel : il suffira de 1,33 l : sec. pour reproduire, AUX FROTEMENTS PRÈS, les phénomènes produits dans le tube réel.

Autre exemple. — Soit un lac fermé par un barrage-réservoir. Pour diverses raisons, il est impossible d'établir une conduite forcée à partir du barrage et l'on doit envoyer dans un canal d'amenée l'eau sortant du lac, à raison de 10 m³ : sec., sous une chute de 30 mètres. L'idéal serait évidemment d'utiliser cette puissance dans une turbine, mais nous admettons que la construction d'une usine au pied du barrage dépasse les possibilités financières du moment. Il faut donc détruire sur place une puissance de 4.000 C. V. L'idée qui se présente tout naturellement est

N° d'ordre	COURS D'EAU	NOMS DES USINES	PROPRIÉTAIRES LOCATAIRES ou EXPLOITANTS	PUISSANCE NORMALE EN KW DES USINES			RÉGIME A — Autorisation. C — Concession et date de réglementation.
				en service	en cons- truction	en projet	
1	2	3	4	5	6	7	8
BASSIN DE L'ISÈRE (suite)							
280	Le Torrent de Mont-	Montsappey supér....	Société Rochette frères.....	900			A — 7 mars 1918.
281	d°	Montsappey inférieur	Société Grange et C ^{ie}	1.060			A — 17 janvier 1917.
282	d°	La Roche.....	Société Rochette Frères.....	1.000			A — 16 sept. 1907.
283	Arc.....	Argentine.....	Société des Fonderies et Aciéries électriques.....		900		A — 23 décemb.1918
285	Isère.....	Pont-Royal.....				11.000	
287	d°	Coise.....				12.900	
288	Cernon.....	Chapareillan.....	Sté des Forces Motrices du Haut- Grésivaudan.....	250			A — 16 décemb.1899
289	Isère.....	Les Mollettes.....				8.000	
290	La Bréda.....	Fond-de-France.....	Société Générale de Force et Lu- mière.....	3.500			A — 9 août 1912.
291	d°	Grande Valloire.....	Société des Papeteries Bergès....	1.800			A — 22 février 1915.
292	d°	La Ferrière Riondet.	Société des Usines Frédet.....	1.000			A — 9 août 1912.
293	d°	Riondet-Pinsot.....	Société des Forges et Hauts-Four- neaux d'Allevard.....	1.500			
294	Le Veyton.....	Usine de Veyton.....	d°	250			A — 4 octobre 1918.
295	La Bréda.....	Pinsot-Allevard.....	d°	2.500			A — 19 avril 1918.
296	d°	Allevard (Usine du Parc de la Gorge..)	d°	700			A — 8 janvier 1884.
298	Le Bens.....	Pont du Bens.....	Leborge Frères.....	250			A — Ss le rég. garde.
299	Le Bens.....	Arvillard.....	Société des Forces Motrices du Haut-Grésivaudan.....		2.200		A — 30 avril 1918.
300	Bréda.....	Détrier.....	Escarfail et C ^{ie}	250			A — 6 mai 1871.
301	d°	Pontcharra.....	Société des Forces Motrices du Haut-Grésivaudan.....	1.100			A — 16 déc. 1899.
302	Isère.....	La Bussière.....				6.000	
303	d°	Saint-Vincent.....				6.000	
304	d°	La Terrasse.....				6.000	
305	Le Ruisseau de Theys	Tencin.....	Sté Hydro-électrique de Tencin..	1.500			A — 21 décem. 1915.
306	Le Ruisseau Le Fro- ges.....	Froges.....	Société Electro-métallurgique française.....	300			A — 27 sept. 1890.
307	Isère.....	Crolles.....				5.000	
308	Le Ruis. de Brignoux	Haut-Laval.....	Société des Papeteries Bergès....	1.000			A — 20 janvier 1872.
309	d°	Laval.....	d°	450			A — 1 ^{er} juillet 1918.
310	d°	Brignoux.....	Société des Usines Frédet.....	1.000			A — 20 janvier 1872.
311	Ruisseau de Lancey.	Lancey.....	Société des Papeteries Bergès....	2.700			A — 6 septemb.1882
312	Isère.....	Versoul.....				5.000	
313	Doménon.....	Les eaux de Revel....	Société Hydro-électrique du Do- ménon (H. Dodo et C ^{ie}).....	700			A — 5 sept. 1910.
314	Isère.....	Meylan.....				5.000	
315	La Séveraisse.....	Saint-Firmin.....	Société d'Eclairage électrique du Haut-Drac.....	350			Usine non autorisée.
316	Le Drac.....	Pont du Loup.....	L'Etat (Ch. de fer de la Mure à Gap)		3.000		Loi du 9 mars 1911.
317	La Bonne.....	Bonne supérieure....	Société des F. M. Bonne et Drac..			3.100	
318	Canal de Beaumont..	Beaumont.....	Société de Fure et Morge et de Vizille.....	1.500			A — 9 janvier 1911.
319	La Roisonne.....	Pt-Haut.....	Société Générale des F. M. et éclairage de la ville de Grenoble	3.000			A — 11 sept. 1906.
320	La Bonne.....	Bonne moyenne.....	Société Electro-Métallurgique So- vignet-Joya (Sté le Bon Drac).		5.700		Ins. en cours, autori- prov. du 30 mars 1920.
321	d°	Cognet.....	d°		8.500		Inst. en cours.
322	La Bonne.....	Bonne inférieure....	Société des F. M. Bonne et Drac..			8.500	
323	Le Drac.....	Cognet.....	d°			33.000	
324	Doron.....	Pont de Brion.....	Société des F. M. de l'Ebron.....			1.300	
325	Le Drac.....	Perrallier.....	Société Hydro-électro de la Cas- cade du Perrallier.....		600		A — 5 mars 1909.
326	d°	Avignonnet.....	Société Générale de Force et Lu- mière.....	3.700			A — 23 nov. 1917.
327	Romanche.....	Champ.....	Société Hydro-électrique de Fure et Morge et de Vizille.....	1.600			A — 16 février 1900.
327 b.	Porian.....	Villard d'Arène.....	Société l'Energie industrielle....			2.300	Instruction en cours.
328	La Gua.....	La Grave.....				3.000	
329	Romanche.....	Parizet.....				2.400	
330	d°	Frénet.....				7.200	
331	Romanche.....	Pt-St-Guillaume....				3.000	
332	Vénéon.....	Les Etages.....				10.000	
						3.600	

N° d'ordre	COURS D'EAU	NOMS DES USINES	PROPRIÉTAIRES LOCATAIRES ou EXPLOITANTS	PUISSANCE NORMALE EN KW DES USINES			RÉGIME A — Autorisation. C — Concession et date de réglementation.
				en service	en cons- truction	en projet	
1	2	3	4	5	6	7	8
BASSIN DE L'ISÈRE (suite)							
333	Ruisseau du Diable et Vénéon.....	Saint-Christophe .....	.....			6.000	
334	Vénéon.....	Les Ougiers.....	.....			12.000	
335	Sarennes	Sarennes .....	.....			5.000	
336	Eau d'Olle	Grande-Maison .....	.....			1.000	
337	d°	La Rivière d'Alle- mont.....	Société hydro-électrique de l'Eau d'Olle.....	5.500			A — 19 mai 1919.
338	d°	Le Vernet d'Allemon .....	.....	12.000			A — 10 août 1919.
339	d°	La Fonderie d'Alle- mont.....	Société l'Energie industrielle....		1.100		Instruction en cours.
341	Le Bâton	Le Bâton	Société des Etablissements Keller Leleux et C ^{ie}		3.500		A — 22 décemb. 1916
342	Romanche.....	Livet	d°	10.000			A — 13 sept. 1891.
343	d°	Les Vernes.....	d°	3.500			Pas d'autoris. La prise est commune avec l'usine de Livet
344	d°	Les Roberts.....	Compagnie Industrielle d'acéty- lène et d'électro-chimie....	6.500			A — 12 août 1912.
345	d°	Rioupéroux.....	Société des Usines de Rioupéroux	13.000			A — 18 juin 1917.
346	d°	Les Clavaux.....	Compagnie Universelle d'acéty- lène et d'électro-chimie....	3.500			A — 10 déc. 1903.
347	d°	Pierre-Eybesse.....	Société d'Electro-chimie et d'Elec- tro-métallurgie.....	2.900			A — 24 sept. 1891.
348	Romanche.....	Gavet.....	Société Générale de Force et Lu- mière.....	6.400			A 2 — février 1901.
349	d°	Séchillienne	Compagnie Force des Carbures de calcium	1.000			A — 5 déc. 1902.
350	d°	Noyerchut.....	Société d'Electro-chimie F. Pey- ron et C ^{ie} (Sté des Produits chimiques et colorants français.	2.500			Pas d'autorisation. La prise est commune av. l'usine de Sé- chillienne.
351	Le Ruis. de Laffrey.	Loulla.....	Société Hydro-électrique de Fure et Morge et de Vizille.....	350			A — 18 janvier 1906.
352	d°	Jouchy.....	d°	6.000			A — 18 janvier 1906.
353	Romanche.....	Le Choulon.....	Peyron et C ^{ie}	300			Usine très ancienne. Droits d'albergem. remontant à 1666.
354	d°	Vizille.....	.....			8.500	
355	d°	L'Hôpital.....	.....			900	
356	C ¹ de la Romanche...	Pont-de-Champ	Sté des Cartonneries de l'Isère..	250			A — 20 janv. 1860.
357	Romanche.....	d°	.....			1.850	
358	Le Drac	Pont-de-Claix.....	Société Hydro-électrique Drac- Romanche		7.500		A — 25 sept. 1918.
359	C ¹ de la Romanche..	d°	Société des Papeteries de Pont- de-Claix.....	300			A — 21 mars 1850 et 26 mars 1855.
360	Le Furons.....	Engins.....	Société d'Energie électrique de Grenoble-Voiron.....	800			A — 21 août 1897.
361	d°	Les Côtes.....	d°	250			A — 15 octobre 1901
362	Vence.....	L'Infarnet.....	Société Boullat, Valet et C ^{ie}			1.100	
365	Isère.....	Saint-Egrève.....	.....			5.000	
366	d°	Voreppe.....	.....			5.000	
367	La Fure	Rives-chutes distinct	Blanchet Frères et Kléber.....	250			Usines très anciennes
368	Isère.....	Saint-Quentin.....	.....			5.000	
369	d°	Saint-Gervais.....	.....			5.000	
370	d°	La Sône .....	.....			25.000	
371	La Bourne.....	Goule-Noire.....	Société Hydro-électrique de la Haute-Bourne.....	2.600			A — 6 août 1913.
372	d°	Bournillon	Société des Forces Motrices du Vercors.....	7.600			A — 29 janv. 1912.
373	C ¹ de la Borne.....	L'Ecançière.....	Mertz (Société des Forces Motri- ces du Vercors).....	900			Décision du Ministre de l'agriculture du 15 mai 1911.
374	Isère.....	Pizançon	Société des Forces Motrices du Vercors.....		19.000		C — 12 janv. 1921.
375	d°	Romans aval.....	.....			15.000	
376	d°	Basse-Isère	Société d'Energie électrique de la Basse-Isère		19.000		C — 25 octob. 1911.

N° d'ordre	COURS D'EAU	NOMS DES USINES	PROPRIÉTAIRES LOCATAIRES ou EXPLOITANTS	PUISSANCE NORMALE EN KW DES USINES			RÉGIME A — Autorisation. G — Concession et date de réglementation.
				en service	en cons- truction	en projet	
1	2	3	4	5	6	7	8
385	Rhône	Etoile.....	.....			60.000	
388	d°	Logis-Neuf.....	.....			40.000	
389	d°	Montélimar.....	.....			60.000	

BASSIN DE L'ARDÈCHE

391	Le Borne.....	Planchamp.....	.....			4.150	
392	Chassézac et Altier...	Pied de Borne	Société des grands travaux de Marseille			12.440	
393	Chassézac.....	Chambonas.....	.....			8.400	
394	Ardèche	St-Martin d'Ardèche	.....			12.000	

BASSIN DE LA DURANCE

395	Rhône	Montdragon.....	.....			100.000	
396	d°	Sorgues .....	.....			23.000	
401	Clarée	Névache.....	.....			1.600	
402	d°	Plampinet.....	.....			1.100	
403	d°	Val des Prés .....	.....			1.200	
404	Durance	Fontenil.....	Planche.....		2.300	2.900	Usine non autorisée.
405	Guisanne.....	Guisanne.....	.....			2.900	
406	Durance	Ste-Catherine.....	Société de la Schappe	600		1.900	A — 13 juin 1916.
407	Cerveyrette	Cervièrès .....	.....			2.700	
408	d°	Pont Baldy.....	.....			3.100	
409	Cerveyrette	Pont de Cervièrès...	Guittou, Bertholus et C ^{ie}	500		1.900	A — 3 sept. 1894.
410	Durance	Prellès.....	.....			1.900	
411	Torrent de St-Pierre.	Saint-Pierre.....	.....			1.500	
412	Torrent de Celce- Nièrè	Celce-Nièrè.....	.....			4.000	
413	Torr. d'Aile-Froide.	Les Claux.....	.....			1.800	
414	Torrent du Gyr.....	Le Gyr.....	.....			1.700	
415	Torrent de l'Onde ..	Béassac.....	.....			2.000	
416	d°	La Pissotte .....	.....			18.400	
417	Durance et Gironde..	L'Argentière.....	Société Electro-métallurgique française, à Froges (Isère).....	600		1.600	A — 24 octob. 1911.
418	Fournel.....	Fournel.....	.....			2.200	
419	d°	Hydro-électrique du Fournel.....	Société du Quartz fondu	600		4.300	A — 25 août 1910.
420	La Biaisè	Roche-de-Rame.....	Goudet (Le Nitrogène Giros et Loucheur	2.200		4.500	A — 17 mai 1909.
421	d°	Fressinières .....	.....			1.200	
422	Durance	La Roche-de-Rame..	.....			4.800	
423	d°	Réotier.....	.....			2.800	
424	Le Guil.....	Abriès.....	.....			11.000	(1)
425	d°	Château-Queyras...	.....			4.100	
426	Aigue-Blanche.....	Aigue-Blanche.....	.....			2.800	
427	Le Guil.....	Maison-du-Roi.....	.....			6.000	(1)
428	Cristillan	Cristillan .....	.....			8.800	
429	Le Chagne.....	Guillestre .....	.....			600	A — 26 juin 1914.
430	Le Guil.....	Montdauphin .....	.....			7.500	A — 10 mai 1906.
431	Durance	Embrun.....	.....			7.800	
432	Le Torrent de Réallon	Savines.....	Pavie (La Cotonnière du Sud-Est. Les Héritiers de Pavie	600		9.500	
433	Durance	Savi nes.....	Société d'éclairage du Parpaillon.	220		6.200	
434	Le Parpaillon	La Condamine .....	.....				
435	Ubaye	Haute-Ubaye.....	.....				
436	d°	Moyenne-Ubaye .....	.....				
437	d°	Basse-Ubaye.....	.....				

(1) Non compris la puissance due aux débits supplémentaires provenant d'accumulation.

N° d'ordre	COURS D'EAU	NOMS DES USINES	PROPRIÉTAIRES LOCATAIRES ou EXPLOITANTS	PUISSANCE NORMALE EN KW DES USINES			RÉGIME A — Autorisation, C — Concession et date de réglementation.
				en service	en cons- truction	en projet	
1	2	3	4	5	6	7	8

BASSIN DE LA DURANCE (suite)

438	Durance.....	Serre-Ponçon.....	.....			26.000	
439	d°	Ourbans.....	.....			29.000	(1)
440	d°	Ventavon.....	Société des Forces Motrices de la Haute-Durance.....	18.100			A — Inst. en cours (aut. prov. du 9 sep 1916.
441	d°	Sisteron.....	Société des F. M. de la Durance, 12, rue Roquépine, Paris.....		18.100		C — 1 sept. 1919.
442	Le Buech.....	Serres.....	Mizgier (Gauthier).....	450			C — 4 juillet 1899.
443	Durance.....	Château-Arnoux.....	Compagnie des Produits chimiques d'Alais et de la Camargue.			7.300	
444	Durance.....	Lurs.....	.....			22.000	(1)
445	d°	La Brillanne Ville-neuve.....	Société de l'Energie électrique du Littoral méditerranéen, 3, rue Moncey, Paris.....	9.500			6 août 1917.
446	d°	Usine de Langue.....	d°	1.300			
447	d°	Société Tulle.....	.....		15.000		(1).
451	Verdon.....	Allos.....	.....			19.000	(1).
452	Le Chadoulin.....	Allos-Encombrette.....	.....			3.300	
453	Verdon.....	Colmars.....	.....			3.500	(1).
454	d°	Thorame Haute.....	.....			3.300	(1).
455	d°	Saint-André.....	.....			6.500	(1).
456	d°	Castillon.....	.....			4.800	(1).
457	d°	Castellane (chute supérieure).....	Société des Forces Motrices du Verdon.....			10.600	
458	d°	Castellane (ch. infér.).....	d°				
459	d°	Caréjuan.....	.....			7.100	(1).
460	d°	Galets de Moustiers.....	.....			16.600	
461	d°	Quinson.....	.....			10.600	(1).
462	d°	Gréoulx.....	.....			9.700	
463	d°	Saint-Paul.....	.....			8.100	
464	Durance.....	Mirabeau.....	Energie électrique du Littoral méditerranéen.....			24.000	
465	Durance.....	Meyrargues.....	.....			29.500	
466	d°	Saint-Christophe.....	.....			22.500	
467	d°	Mallemort.....	.....			20.000	
468	d°	Orgon.....	.....			18.400	
469	d°	Cabannes.....	.....			15.600	
470	Rhône.....	Montfin.....	.....			31.000	
475	Canal du Verdon.....	Aix (St-Eutrope).....	Société nouvelle du canal du Verdon (E. E. du Littoral méditerranéen).....	800			Usine établie par la Sté du Canal du Verdon en vertu de son cahier des ch ^{es} .

BASSIN DE L'ARGENS

478	L'Argens.....	Entraygues.....	Energie électrique du Littoral méditerranéen.....	950			Usine non autorisée.
-----	---------------	-----------------	---	-----	--	--	----------------------

BASSIN DE LA SIAGNE

480	La Siagne.....	Saint-Césaire.....	Energie électrique du Littoral méditerranéen.....	5.400			A — 26 mai 1903.
-----	----------------	--------------------	---	-------	--	--	------------------

(1) Non compris la puissance due aux débits supplémentaires provenant d'accumulation.

8

Echelle

1 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 K.

LEGENDE

● Usines existantes	○ Usines en construction
⊙ Usines pour lesquelles une demande de concession a été prise en considération par l'Administration et dont l'instruction se poursuit.	⊖ Usines figurant sur les plans d'aménagement
--- Limite des régions.	— Limite de navigabilité.
	— Limite de flottabilité.

N° d'ordre	COURS D'EAU	NOMS DES USINES	PROPRIÉTAIRES LOCATAIRES ou EXPLOITANTS	PUISSANCE NORMALE EN KW DES USINES			RÉGIME A — Autorisation. C — Concession et date de réglementation.
				en service	en cons- truction	en projet	
1	2	3	4	5	6	7	8

BASSIN DU LOUP

181	Le Loup.....	Pataras	Energie électrique du Littoral méditerranéen, 5, av. du Coq, Paris	1.500			A — 19 juillet 1900.
-----	--------------	---------------	--	-------	--	--	----------------------

BASSIN DU VAR

182	Le Coulomb.....	Chute app.....	.....			1.800	
183	d°	Breux.....	.....			3.700	
184	Var.....	La Vescla.....	.....			17.500	
185	La Tinée.....	Saint-Etienne.....	.....			16.400	(1).
186	d°	La Cérizole.....	.....			3.500	(1).
187	d°	La Sorbière.....	.....			14.600	(1).
188	d°	La Bancairon.....	.....			21.400	
189	d°	La Courbaisse.....	.....			11.200	
190	d°	Balma-Négra.....	Société des Produits aromatiques chimiques et médicinaux, 13, r. Ballue, Paris.....	700			A — 11 nov. 1910.
191	Le Var	La Mesola	Energie électr. du Littoral médi- terranéen, 5, av. du Coq, Paris. d°	1.200			A — 17 août 1896.
192	d°	Plan-du-Var	d°	2.500			A — 15 sept. 1898.
193	La Vesubie.....	St-Jean-la-Rivière ..	Société des produits aromatiques, chimiques et médicinaux, rue Ballue, 13, Paris.....		2.200		A — 13 déc. 1918.
194	L'Estéron	L'Estéron .....	.....			4.000	
195	Le Var	La Baronne.....	.....			12.500	
196	d°	Pont-du-Var.....	.....			7.000	

BASSIN DE LA ROYA

198	La Roya.....	Fonton.....	Energie électr. du Littoral médi- terranéen, 5, av. du Coq, Paris. d°	4.000			A — 11 nov. 1911.
499	d°	Roya moyenne.....	d°			6.200	
500	d°	Basse Roya	Société Hydro-électr. du Sud-Est			4.000	

(1) Non compris la puissance due aux débits supplémentaires perdue aux

RÉGION DU CENTRE

N° d'ordre	COURS D'EAU	NOMS DES USINES	PROPRIÉTAIRES LOCATAIRES ou EXPLOITANTS	PUISSANCE NORMALE EN KW DES USINES			RÉGIME A — Autorisation. C — Concession et date de réglementation.
				en service	en cons- truction	en projet	
1	2	3	4	5	6	7	8

BASSIN DU LOT

501	Lot	Bagnole .....	.....			800	
502	d°	Sainte-Hélène .....	.....			2.800	
503	Coulagne	Lachamp .....	.....			2.500	
504	Coulagne et Crueize..	St-Léger-de-Peyre...	.....			4.300	
505	Coulagne	Marvejols .....	.....			1.600	
508	Lot et Coulagne	Ajustons .....	.....			6.600	
509	Lot	Pomayrols .....	.....			8.000	
510	d°	Romiguière .....	.....			3.200	
511	d°	Saint-Côme .....	.....			11.800	
512	Porralde-de-Bonne- val	Bonneval .....	.....			2.400	
513	Lot	Neyrac .....	.....			15.000	
514	d°	Prévinquièrè .....	.....			3.000	
519	Truyère	Malzieu	Société des Aciéries et Forges de Firminy		1.250		
520	Truyère	St-Léger du Malzieu	.....			3.100	
523	Bès	Froysinous .....	.....			1.800	
524	Bès	Moulin-du-Vergne...	Société des Aciéries et Forges de Firminy	6.500			A — 17 avril 1916.
525	Truyère	Pradal .....	.....			16.800	
526	d°	Cour .....	.....			6.700	
527	d°	Treboul .....	.....			13.400	
528	d°	Sarran .....	.....			15.400	
529	d°	Brommat	Société des Forces Motrices de la Truyère		35.000 (1)		A — 11 avril 1919, 21 septembre 1919.
530	Truyère	Couesques (Banhars).	.....			16.000	
531	d°	Entraygues .....	.....			2.000	
535	Lot	Capdenac	Société Vieille Montagne	300			A — 18 nov. 1898.
538	d°	Albas	Société française pour la fabrica- tion du magnésium	250			Existence légale.
539	d°	Meymès	MM. Perrié et C ^{ie}	200			d°
540	d°	Puy-l'Evêque	M. Pignères	200			d°

BASSIN DE LA DORDOGNE

542	Emissaire du Lac de Guéry	Usine du Lac de Guéry .....	.....			500	
543	Dordogne	La Corpissade	Société du Lac de Guéry	200			A — 17 juillet 1897.
544	d°	La Bourboule	Société l'Energie industrielle	200			A — 21 juin 1902.
545	d°	Saint-Sauves amont.	Force Motrice de la Haute-Dor- dogne			200	
546	d°	Saint-Sauves aval..	Société l'Energie industrielle			900	
547	Chavanon .....	.....	.....		5.500		
548	d° .....	.....	.....			5.500	
548 b.	Dognon	Usine du Dognon ..	Anciens Etablissm. Megemond.			1.200	
549	Dordogne .....	.....	.....			10.000	
550	Rhue	Rhue amont .....	.....		11.000		
552	d°	Rhue aval .....	.....			10.000	
553	Diège	La Bessette	Société des Forces Motrices de la Diège	350			A — 1 ^{er} août 1906.
554	d°	Usine de la Diège ..	Société des Hauts Fourneaux et Fonderies de Pont-à-Mousson..		7.600		Non encore concédée
555	Dordogne	Vernéjoux .....	.....			28.000	
556	Triouzoune	Neuvic	MM. Rampand	350			A — 30 janvier 1884.
557	d°	Vent-Pas .....	.....			4.460	
558	Sumène	Grange .....	.....			3.500	
559	d°	Furlange .....	.....			4.100	

(1) Avec aménagement pour 20 mètres carrés on envisage un aménagement double et peut-être quadruple.

N° d'ordre	COURS D'EAU	NOMS DES USINES	PROPRIÉTAIRES LOCATAIRES ou EXPLOITANTS	PUISSANCE NORMALE EN KW DES USINES			RÉGIME A — Autorisation. C — Concession et date de réglementation.
				en service	en cons- truction	en projet	
1	2	3	4	5	6	7	8

BASSIN DE LA DORDOGNE (suite)

560	Auze.....	Charafrage.....				3.650	
561	Luzège.....	Moustier du Venta- dour.....				2.000	
562	d°	Usine du Vianon.....				680	
563	d°	Usine Luzège-Vianon.....				5.100	
565	Dordogne.....	Chambon.....				55.000	
566	d°	Argentat I.....				20.000	
567	d°	Argentat II.....				3.900	
568	Doustre.....	Port-Saint-Jean.....				5.310	
570	Maronne.....	Bourbouze.....				6.050	
571	d°	La Broquerie.....				9.150	
572	Dordogne.....	Vergnolle.....				1.800	
573	d°	Privezac.....				7.500	
575	d°	Domarès.....				10.000	
578	Cère.....	Laval de Cère.....	Société des Acieries et Forges de Firminy.....		25.000		A — 6 juin 1916.
579	d°	Thezel.....				1.900	
580	Dordogne.....	Betaille.....				12.000	
581	d°	Montvalent.....				7.000	
582	d°	Lacave.....				9.000	
583	d°	Pinsac.....				7.500	
584	d°	St-Julien-de-Lampon.....				6.500	
585	d°	Lorme.....				10.000	
591	Vézère.....	Virole.....				5.000	
592	d°	Pont-des-Iles.....				5.000	
593	d°	Uzerche.....				3.500	
594	d°	Estiavaux.....				7.500	
595	d°	Piard.....	M. Keliersonn.....		1.200		
596	d°	Pouch.....	M. Chaix.....		250		A — 11 juillet 1919.
597	d°	Le Saillant.....	Propriétaire M. Chaux. Locataire et exploitant : C ^{ie} d'électricité de Limoges.....	2.250			A — 29 mars 1899.
598	d°	Saillant complément.				5.300	
600	Corrèze.....	Bar.....	Manufacture d'Armes de Tulle...	3.750			
605	Dordogne.....	Limeuil.....				5.000	
606	d°	Mauzac.....	Energie électrique du Sud-Ouest.		5.500		Non encore concédée.
607	d°	Lalinde.....				5.500	
608	d°	Tuilrière.....	Energie électrique du Sud-Ouest.	13.000			A — 13 janv. 1906 et 7 décembre 1910.
613	Iziè.....	Chalard.....				1.000	
614	d°	Jumilhac.....				1.300	
618	Auvézère.....	Savignac-Lédrier.....				2.500	
620	Dronne.....	Saint-Saud.....				1.000	

BASSIN DE LA LOIRE SUPÉRIEURE

625	Loire.....	Issarlès.....				13.200	
627	d°	Vielprat.....				8.400	
628	Ruiss. de la Beaune.	Cascade de Beaune.....				590	
629	Loire.....	Chadon.....				19.800	
630	d°	Charentus.....	Energie électrique des Cévennes.	700			A — 21 mai 1917.
631	d°	Coubon.....				15.400	
632	d°	Brives-Charensac.....		300			A — en 1894.
634	d°	La Voûte-sur-Loire.....				470	
637	Le Lignon du Velay.	Château de Lignon...	Compagnie électrique de la Loire et du Centre.....	1.500			A — 28 sept. 1904.
638	d°	Pont-de-Lignon.....	d°	200			A — 28 février 1895.
639	Loire.....	Beauzac.....				7.500	
643	L'Ance du Nord.....	Usine de l'Ance du Nord.....	Compagnie électrique de la Loire et du Centre.....	5.000			A — 26 sept. 1914.
644	Loire.....	Saint-Victor.....		500			A —
645	Lignon du Forez.....	Saint-Martin.....	Société des Forces Motrices du Lignon de la Loire.....	700			A — 21 oct. 1913.
646	Lignon du Forez.....	Veaux.....	d°	500			A — 24 avr. 1912.
648	d°	St-Georges-en-Couzan.....				5.000	
651	Loire.....	La Vourdinat.....	Compagnie électrique de la Loire et du Centre.....	700			A — 20 mai 1910.
652	d°	Papeteries de Villerest	M. Rabourdin.....	200			

N° d'ordre	COURS D'EAU	NOMS DES USINES	PROPRIÉTAIRES LOCATAIRES ou EXPLOITANTS	PUISSANCE NORMALE EN KW DES USINES			RÉGIME A — Autorisation. G — Concession et date de réglementation.
				en service	en cons- truction	en projet	
1	2	3	4	5	6	7	8
BASSIN DE L'ALLIER							
655	Allier, Ance du Sud..	Monistrol.....	Compagnie électrique de la Loire et du Centre		8.500		A — 2 juillet 1918, (Allier) et 10 déc. 1917 (Ance).
658	Bave.....	Brousselargues.....				890	
659	Allagnon.....	Lempdes.....	Omnium régional d'électricité...	350			A — 25 juillet 1904 7 février 1908.
661	Couze-Pavin	Saint-Floret.....				5.600	
663	Couze-Chambon.....	Les Granges.....	Société l'Energie industrielle....	200			A — 7 janv. 1899.
664	d°	Marols.....				590	
665	d°	Saint-Nectaire.....				1.600	
666	d°	Grandeyrolles.....				2.000	
668	La Dore.....	Olliergues.....	Société des Tissages d'Auvergne.	350			Non encore autorisée.
669	d°	Sauviat	Société des Forces Motr. d'Au- vergne.....	1.100			A — 17 sept. 1902), (Dore), 20 mars 1905.
671	Sioule	Les Fades.....	Société Hydro-électrique d'Au- vergne.....	3.750			(Miodex) Non encore autorisée.
672	d°	La Garachone.....	d°	3.250			A — 30 sept. 1919.
673	d°	Queuille	d°	3.250			A — 30 sept. 1902.
674	d°	Saint-Quintin				4.500	

BASSIN DU CHER

676	Cher.....	Lignerolles.....				1.800	
677	d°	Feillet-Argenty.....	Compagnie électrique de la Loire et du Centre	5.500			A — 29 janv. 1907.
	a.....	De Boutet.....					
	b.....	Préjeux.....					
	c.....	Chantemerle					
678	d.....	Germots.....	8 usines d'une puissance de 250 KW chacune environ			2.000	
	e.....	Les Poiriers					
	f.....	Les Chabres.....					
	g.....	Maison brûlée					
	h.....	Treirtey					

BASSIN DE LA VIENNE

680	Creuse	Confolent.....	M. Salandrouze	600			C — 12 janvier 1921
682	d°	Chantegrelle.....	Houillères d'Ahun	500			A — 30 octob. 1901.
683	d°	Bonnaud	Société électrique de Guéret.....	100			A — 6 novemb. 1901.
684	d°	Eguzon.....	Société		15.000		Non encore concédée.
685	d°	La Roche Bat l'Aigüe	Centre électrique.....	400			A — 8 juin 1907.
686	Vienne.....	Eymoutiers	Tramways de la Haute-Vienne...	1.750			A — 25 janvier 1912.
688	d°	Farebout.....	Papeteries du Limousin.....	200			Existence très anc.
690	Thaurion.....	Chatain.....				2.300	
691	d°	Roche-Thalamie.....				3.500	
692	d°	Saint-Marc.....				3.200	
694	Vienne.....	Le Palais	Société Hydro-électrique et Mé- tallurgique du Palais.....	700			A — 22 sept. 1906.
695	d°	L'Isle Jourdain.....	Société des Forces Motrices de la Vienne.....		3.600		Non encore concédée.
696	d°	Chardes	d°			2.500	
697	d°	Bonnetel-Matours...	d°	500			A — 31 janvier 1918.
699	d°	Maisons-Rouges	Papeteries de la Haye-Descartes.		2.000		C — 10 avril 1919.
Total pour le bassin de la Vienne.....							

BASSIN DE LA CHARENTE

700	La Charente.....	Bourg-Charente	H. Charrel.....	250			
-----	------------------	---------------------	-----------------	-----	--	--	--

de faire déboucher le jet dans une chambre d'eau où l'énergie se dégradera en vagues. Un modèle au $\frac{1}{25^e}$ représentera :

1) Une chute de 1 m. 20 ;

2) Un débit de $\frac{1}{5 \times 625} \times 10 \text{ m}^3 : \text{sec.} = 3 \text{ l. : sec. environ.}$

Sa réalisation est donc extrêmement simple.

Pour en terminer avec cet ordre d'applications, j'indiquerai que c'est d'après la règle précédente qu'ont été établis les modèles utilisés pour les renforceurs de chutes décrits dans la *Houille Blanche*, n° de mars-avril 1923; et qu'il n'y aurait aucune difficulté à retrouver par une voie analogue la notion de nombre de tours spécifiques. Mais il m'a paru qu'il y avait plutôt lieu d'insister sur les applications moins classiques.

VI

Reste enfin à traiter un point de la plus haute importance au point de vue des applications :

Comment déduire des mouvements d'un modèle, les mouvements de l'appareil final ? En d'autres termes : on donne deux systèmes déformables géométriquement semblables à l'origine des temps et on demande quelles relations doivent exister entre les forces appliquées aux diverses parties des deux systèmes, entre les masses des parties correspondantes, etc., pour que la forme du système S au temps t , soit la même que celle du système S' au temps t' , lorsque l'on a :

$$\frac{t}{t'} = Cte$$

J'indique sur un cas particulier, schématisant ce qui se produit dans certains déchargeurs, la méthode employée ; elle est d'ailleurs générale.

Soit un cylindre fermé par un piston de masse m : un ressort R repousse le piston vers la droite ; une pression p refoule le piston

vers la gauche. Soit x une variable représentant le déplacement du piston vers la gauche ; nous supposons que p est fonction de x .

L'équation générale du mouvement du piston est, en appelant k la constante du ressort :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx - pS = 0$$

Cela montre que x dépend du temps t , de l'élasticité k du ressort, de la pression p , de la masse m , d'une grandeur l , représentant à l'échelle d'exécution, une dimension caractéristique (dans l'équation actuelle, l intervient par le facteur $S = Cl^2$).

Ecrivant donc :

$$x = f(m, t, k, p, l)$$

et développant en série, on obtient pour le terme général :

$$A m^\alpha t^\beta k^\gamma p^\delta l^\varepsilon$$

Donc :

$$\begin{aligned} [x] &= M^\alpha T^\beta (MT^{-2})^\gamma (L^{-1} MT^{-2})^\delta L^\varepsilon \\ 1 &= \alpha - \beta & \varepsilon &= 1 + \delta \\ 0 &= \alpha + \gamma + \delta & \alpha &= -\gamma - \delta \\ 0 &= \beta - 2\gamma - 2\delta & \beta &= 2\gamma + 2\delta \end{aligned}$$

Et le terme général devient :

$$At \left[\frac{t^2 k}{m} \right]^\gamma \left[\frac{t^2 pl}{m} \right]^\delta$$

En d'autres termes, on a :

$$\frac{x}{l} = f \left[\frac{m}{kt^2}, \frac{m}{plt^2} \right]$$

Le déplacement relatif $\frac{x}{l}$ sera donc le même quand on aura entre le système et son modèle les relations :

$$\begin{aligned} \frac{m}{kt^2} &= \frac{M}{KT^2} \\ \frac{m}{plt^2} &= \frac{M}{PLT^2} \end{aligned}$$

Ou encore :

$$\begin{aligned} \frac{m}{kt^2} &= \frac{M}{KT^2} \\ \frac{pl}{k} &= \frac{PL}{K} \end{aligned}$$

Supposons que l'on ait :

$$\begin{aligned} \frac{l}{L} &= \frac{1}{\alpha} \left(\text{modèle à l'échelle } \frac{1}{\alpha} \right) \\ \frac{p}{P} &= \frac{1}{\beta} \left(\text{pression réduite dans le rapport de } 1 \text{ à } \beta \right) \end{aligned}$$

et que l'appareil et son modèle soient de même matière $\left(\frac{m}{M} = \frac{1}{\alpha^3} \right)$ on aura :

$$\frac{k}{K} = \frac{1}{\alpha^2}$$

et

$$\begin{aligned} \frac{t^2}{T^2} &= \frac{m}{M} \times \frac{K}{k} = \frac{\beta}{\alpha^2} \\ \frac{t}{T} &= \frac{1}{\alpha} \sqrt{\beta} \end{aligned}$$

Prenant pour fixer les idées $\alpha = \beta = 10$, on voit que la similitude dynamique exige :

1) Que l'élasticité des ressorts du modèle soit 100 fois plus faible que l'élasticité des ressorts réels.

2) Que les temps du modèle soient comptés à une échelle 10 fois plus petite que les temps de l'appareil réel : les mouvements du modèle sont donc plus rapides.

VII

J'ai essayé, dans l'article précédent, d'exposer les principes de la similitude dynamique, principes indispensables à connaître pour qui veut réduire le nombre des essais, c'est-à-dire en définitive le coût des résultats. La méthode suivie consiste en somme à effectuer une analyse préliminaire des différents facteurs d'action, à déterminer ceux que l'on peut écarter *a priori*. On pourra parfois hésiter dans cette voie ; il semblera difficile de dénier de prime abord un caractère d'importance à tel ou tel élément, ou, au contraire, d'introduire un facteur dissimulé, mais la difficulté est au fond identique à celle qui se pose lors de la mise en équations d'un problème technique quelconque. Le sens des réalités doit alors intervenir et l'expérience surtout doit juger en dernier ressort.