

L'Hydraulique au fil de l'eau et des ans à travers les XVII^e et XVIII^e siècles (*)

Claude Thirriot

Institut National Polytechnique de Toulouse, Institut de Mécanique des Fluides, France

A la mémoire de mon ami

Jean Chevalier, Vice-Président de l'A.I.R.H., Initiateur de ce divertissement

Indications sur les citations

Pour essayer de mettre en relief la modernité de la pensée des auteurs des XVII^e et XVIII^e siècles, nous avons inclus de nombreux emprunts dans notre texte.

La forme choisie de la conversation peut amener un risque de confusion. En général, pour indiquer la citation, nous avons utilisé des guillemets en position supérieure " ". Et, comme il est habituel pour signifier l'intervention dans une conversation, nous avons placé des guillemets à niveau < >, étant bien entendu que l'orateur supposé n'a pas donné son imprimatur à ce que nous lui avons fait déclarer et qui peut être même en contradiction avec ce que fut et reste sa pensée profonde.

Avertissement

Dresser un panorama de l'Hydraulique aux XVII^e et XVIII^e siècles, est une tâche bien difficile pour quelqu'un qui ne s'est jamais mêlé d'histoire des sciences, surtout devant un auditoire d'hydrauliciens et de mécaniciens cultivés, familiers des grands noms de la Science des Fluides.

Au milieu de la richesse des idées et de l'abondance des faits, que choisir pour un exposé de durée limitée qui veuille éviter un académisme froid et ennuyeux parce que fondé sur une expérience trop pauvre et une réflexion trop courte.

Quelques mois, déjà fort occupés par les tâches universitaires, sont bien insuffisants pour parvenir à une synthèse de la connaissance de ce monde à la fois intellectuel, à peine dégagé du corset scholastique, et technique, qui allie le tour de main du compagnon à la technologie industrielle naissante.

Le choix fait d'un style badin peut paraître à certains une esquivé de l'épreuve imposée, prétentieux et parfois abscons. En fait, il n'est que le reflet d'une découverte émerveillée d'hommes époustouflants de génie et de passion scientifique, aux personnalités attachantes, mais à peine entrevues, et pour la plupart fortement enracinés dans la réalité quotidienne de leur temps, dans une Europe dont ils ignoraient les frontières.

(*) Cet article est déjà paru dans *Hydraulics and hydraulic research : a historical review*, édité par Günther Garbrecht aux éditions Balkema. Il a été présenté à l'occasion du cinquantième anniversaire de l'AIRH à Berlin en 1985.



Je viens de faire un rêve étrange et fascinant. J'assistais à une dispute philosophique et scientifique d'une assemblée d'outre tombe de doctes mathématiciens et de savants ingénieurs préoccupés de fluide et d'eau. Il y avait là des hommes illustres à la gloire perenne sur les bancs de gymnases et dans l'aula des universités comme MM. Newton, Bernoulli, Euler, des auteurs célèbres ou influents en leur temps mais un peu oubliés par l'histoire, des personnages falots ou discrets et dans l'ombre une dame, la marquise exquise de Chastelet qui lisait en français dans la pensée latine de Newton.

< Messieurs, disait Jean le Rond d'Alembert, nous sommes réunis au milieu de nos loisirs désormais éternels pour faire valoir tout ce que nous avons su apporter au monde de l'Hydraulique et de l'Hydrodynamique pendant cette période issue du renouveau de la Renaissance (1600) jusqu'à l'aube du siècle de la Révolution industrielle (1800), charnière entre Léonard de Vinci et Helmholtz > < Encore repris par son rêve encyclopédique >, marmonne Daniel Bernoulli qui n'a pas complètement pardonné à Jean le Rond la controverse statistique de l'inoculation de la petite vérole.

Mais d'Alembert continue < Messieurs, héritiers des principes de liberté et de démocratie de 1789, chacun de nous pourra s'exprimer avec une totale indépendance de pensée sans crainte du jugement de ses pairs ou de l'histoire mais pour une meilleure harmonie de l'entretien, je vous propose de suivre autant que faire se peut la trilogie de point de vue : l'hydraulique de l'effort, l'hydraulique du transport et l'hydraulique du confort. >

Ici, Isaac Newton hoche la tête d'un air dubitatif : < Mister d'Alembert, ne croyez-vous pas qu'il serait meilleur de nous entretenir d'abord des problèmes scientifiques fondamentaux avant d'en considérer les usages pragmatiques ? >

ENCYCLOPÉDIE, OU DICTIONNAIRE RAISONNÉ DES SCIENCES, DES ARTS ET DES MÉTIERS, PAR UNE SOCIÉTÉ DE GENS DE LETTRES.

Mis en ordre & publié par M. DIDEROT, de l'Académie Royale des Sciences & des Belles-Lettres de Prusse; &, quasi à la PARTIE MATHÉMATIQUE, par M. D'ALEMBERT, de l'Académie Royale des Sciences de Paris, de celle de Prusse, & de la Société Royale de Londres.

*Tantum series juncturaque pollet,
Tantum de medio sumptis accedit honoris! HORAT.*

TOME PREMIER.



A PARIS,

Curs { BRIASSON, rue Saint-Jacques, à la Science.
DAVID l'aîné, rue Saint-Jacques, à la Plume d'or.
LE BRETON, imprimeur ordinaire du Roy, rue de la Harpe.
DURAND, rue-Saint-Jacques, à Saint Landry, & au Griffon.

M. DCC. LI.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROY.

L'Abbé Castelli vient à la rescousse de d'Alembert < Nous touchons-là à l'ubiquité de la science, la science plaisir de la connaissance, validation de la nature humaine et la science instrument de maîtrise de la nature, subsistance de l'homme >. < Eh oui, " essence et existence " murmure M. Pascal, l'esprit perdu dans l'en-deça. >

< " En effet, reprend M. d'Alembert, qu'est-ce qu'une science sinon un système de règles ou de faits relatifs à un certain objet et comment peut-on donner l'idée de ce système à quelqu'un qui serait absolument ignorant de ce que le système renferme. Quand on dit de l'Arithmétique que c'est la Science des propriétés des nombres, la fait-on mieux connaître à celui qui ne l'a pas qu'on ne ferait connaître la pierre philosophale en disant que c'est le secret de faire de l'or " ?

" La définition d'une science ne consiste proprement que dans l'exposition détaillée des choses dont cette Science s'occupe comme la définition d'un corps est la description détaillée de ce corps même et il nous semble d'après ce principe que ce qu'on appelle définition de chaque science serait mieux placé à la fin qu'au commencement du livre qui en traite, ce serait alors le résultat extrêmement réduit de toutes les notions qu'on aurait acquises. D'ailleurs, que contiennent ces définitions pour la plupart sinon des expressions vagues et abstraites dont la notion est souvent plus difficile à fixer que celle de la Science même — tels sont les mots science, nombre et propriétés dans la définition déjà citée de l'arithmétique. La plupart des définitions ? Un abus tantôt volontaire, tantôt forcé des termes généraux " >

Jovial, M. Franklin intervient : < Certes la diatribe est leste contre les héritiers des scholastiques mais, nous autres, hommes du nouveau monde épris de liberté certes mais autant d'efficacité, nous suivrions assez bien le propos de M. d'Alembert en tempérant sa sévérité. Eh bien, Messieurs, suivons donc la voie de l'induction en examinant le point de vue de l'hydraulique de l'effort sous le triple aspect des moulins à vent, des moulins à eau et de l'explication scientifique de l'effort dans le mouvement.

N'est-ce pas l'objectif de l'Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers ? >

< " Certes, dit Jean le Rond d'Alembert, le premier pas que nous ayons à faire dans cette recherche est d'examiner la généalogie et la filiation de nos connaissances ". Or, les moulins à vent existent depuis la plus haute antiquité mais nous ne connaissons pas le nom des premiers inventeurs. > < Hé, hé, murmure quelqu'un légèrement sarcastique, va-t-il nous dire que les moulins à vent sont comme lui né de père inconnu. > Tout à sa pensée, d'Alembert poursuit : < Hammourabi, roi de Babylone, avait imaginé le projet d'irriguer la plaine de Mésopotamie grâce à l'énergie fantasque mais gratuite fournie par Eole. Mais les moulins n'apparurent que bien tardivement au Moyen Age en Europe au retour des Croisés de Palestine. Mais, dès 1350, ces machines servaient en Hollande pour assécher les polders accouplées à des vis d'Archimède ou des roues à godets. >

< A notre époque, c'est-à-dire pendant les deux siècles qui nous occupent, dit le citoyen Lagrange ci-devant Comte, les moulins à vent se sont fortement développés comme énergie de substitution pour échapper aux taxes exorbitantes ou royalties de l'OPEP (Ordre des Propriétaires d'Engins à Pilon) vieille confrérie des Seigneurs qui, disposant des droits féodaux sur les rivières, faisaient payer cher le tour de meule pourtant assuré gratuitement par la houille toute blanche frappée de fleur de lys. >

Les documents de l'époque attestent picturalement la roture de la mouture à vent. Au sommet de la colline et de la

hiérarchie, le château féodal, en contrebas en position de sujétion mais cependant altière, l'église et, à mi-pente, le moulin, témoignage de l'énergie du Tiers Etat qui brasse le vent (ou virevolte au gré d'Eole).

Mais très vite le meunier suit l'exemple du Seigneur. En 1756, un paysan payait plus pour la mouture de son blé qu'il ne versait d'impôt au roi. Quant aux prolétaires, leur pain leur coûtait six fois le montant de leurs impôts.

Silhouette mafflue du moulin à pivot, grément gracile de la tête tournante du moulin à tour ou à pile, font chanter ou gémir le vent sur les collines ou landes de toute l'Europe.

Et même, mariage de l'aube et de la voile : les architectes navals montent des moulins sur les navires pour assurer à l'équipage au long cours la fraîche farine. Sollicitude ou prudence par exemple de Jean-François de Galaup, Comte de Lapérouse, qui partant le 1^{er} août 1785 avec les deux frégates, La Boussole et l'Astrolabe avait fait installer sur la dunette de celles-ci un moulin à vent.

Et lorsque d'Entrecasteaux part de Brest à la recherche de l'expédition Lapérouse avec les frégates aux noms suggestifs, La Recherche et l'Espérance, ces deux vaisseaux sont équipés de moulin à vent à l'arrière.

< Well, dit Mister MacLaurin, les mathématiciens se sont occupés très vite de la meilleure manière d'aérer les ailes c'est-à-dire de la forme et de l'inclinaison la plus avantageuse à leur donner.

Qui parle encore de ce bon M. Parent qui, le premier, traita de cette question. Il admettait que l'effort du vent est proportionnel au carré du sinus de l'angle d'incidence i et donc que l'effort moteur proportionnel à $\cos i \sin^2 i$ était maximal pour $\operatorname{tg} i = \sqrt{2}$ soit $i = 54^{\circ}44'$. >

< Mais, dit M. Daniel Bernoulli, ceci certes est bien vrai lorsque l'aile est au repos. Et j'ai montré que cet angle d'incidence croissait ou que son complément l'angle avec le plan du mouvement diminuait lorsque la vitesse de l'aile augmentait. >

Et en série, Mister MacLaurin, s'empresse d'ajouter : < Vous comprenez pourquoi, Messieurs, j'ai proposé de diminuer l'inclinaison des divers éléments transversaux d'une même aile à mesure qu'ils sont plus éloignés de l'axe de rotation. >

< Et moi aussi, j'ai été subjugué par le charme des blanches ailes virevoltant comme des mouettes, dit le sérieux Léonard Euler. Une récréation poétique au milieu des équations différentielles qui me permit de montrer que l'effet sur l'aile plane est proportionnel à sa surface, au cube de la vitesse du vent et au cube du sinus de l'angle d'incidence.

En faisant varier l'inclinaison des éléments transversaux, j'ai bien retrouvé le résultat de Mister Mac-Laurin pour le plus grand effet. Mais dois-je avouer en toute simplicité que je n'ai pu parvenir à une expression finie de cet effet. >

< Puis-je ajouter un mot > dit Gaspard Gustave de Coriolis. < Il m'est avis que ce garçon était bien jeune en 1799 mais aux âmes bien nées, la valeur n'attend pas le nombre des années, écoutons donc ce qu'a à nous dire notre benjamin. >

< Dans mon ouvrage sur le Calcul de l'effet des machines, j'ai fait l'étude de l'équation différentielle de l'expression du maximum de l'effet de l'aile en reliant vitesse du vent v , vitesse angulaire ω de l'aile, distance x de l'élément à l'axe et incidence j tel que

$$\cos j = \frac{3 \omega x}{2 V} + \sqrt{2 + \left(\frac{3 \omega x}{2 V} \right)^2} . >$$

< Certes, cela est fort intéressant mais reste théorique et

moins instructif que les belles expériences réalisées par mon jeune compatriote Smeaton, dit Sir Isaac Newton, et relatées dans son mémoire " De la construction et des effets des moulins à vent " qui fait partie des Recherches expérimentales sur l'eau et sur le vent tel que traduit dans votre langue par M. Girard.

M. Smeaton a construit une sorte de modèle réduit de moulin à vent : c'est un moulinet à quatre ailes fixé à un bras horizontal implanté sur un cylindre vertical mobile autour de son axe. Emporté dans ce mouvement, le moulinet choquait l'air avec une vitesse qui représentait celle du vent contre les ailes d'un moulin ordinaire. Mister Smeaton utilise aussi le principe du mouvement relatif que j'exposais près d'un siècle avant et qui avait été utilisé depuis avec succès par bien des expérimentateurs.

De sa longue série d'expériences, M. Smeaton déduit d'utiles conclusions pratiques, par exemple que lorsque les ailes sont chargées de manière à donner le maximum d'effet, la vitesse de l'extrémité est de 2,7 fois celle du vent. >

< Ah oui, dit M. Coulomb, ingénieur, très intéressé, ce serait 2,5 fois d'après mes observations sur les moulins des Flandres et que j'ai relatées dans les Mémoires de l'Académie des Sciences en 1781 sous le titre " Observations sur l'effet des moulins à vent ". Et j'ai même pu calculer l'effet économique de ces moulins dont la construction s'est avérée près du maximum de perfection : un tel moulin peut en une heure moudre un volume de blé compté en litres de

$$0,03 sV^3$$

où s est la surface entoilée. V la vitesse du vent avec bien entendu s en mètres carrés et V en mètre par seconde puisque la Convention a eu la généreuse initiative d'offrir au monde de la science et des ingénieurs le système métrique simple, cohérent et unificateur. >

< Mais puisque Sir Newton a rappelé le fameux principe du mouvement relatif, après avoir parlé du vent qui meut les machines, ne pourrait-on parler des machines soufflantes qui font le vent. > Qui parle ? C'est Herr Woltman, Directeur des Travaux Publics Hydrauliques de la République de Hambourg. < I write my technical reports in English for instance " *Theory and description of a ventilator* " but now I will try to speak French. J'ai proposé la construction d'un ventilateur constitué par une roue munie de plaques planes dont j'ai calculé l'angle optimal de 38° . La poussée est perpendiculaire à la plaque et l'air se déplace aussi perpendiculairement. > < Est-ce bien exact, chuchote le citoyen Lagrange ? > < Patience, nous discuterons de ce phénomène dans un moment, glisse M. d'Alembert. >

< Et j'ai proposé l'application de ma machine soufflante pour la ventilation des cales des navires. J'ai même réalisé des observations. " But for measuring exactly the velocity of the air an anemometer is required, the hydrometrical wing. With a diameter of three inches whose description is in the transaction of the Hambro Society for improvements of arts and manufacture ". >

Merci, Herr Woltman, avec la présentation de votre roue, vous nous fournissez une excellente transition vers le moulin à eau dont votre anémomètre d'ailleurs est un modèle réduit particulier.

< Take care, dit Mister Smeaton, car je sais pour les avoir pratiqués dès 1759 que les essais à échelle réduite des roues à eau sont très délicats, il faut, en particulier, tenir compte avec précision des efforts de frottements solides dont M. Coulomb ici présent est un éminent spécialiste, pour obtenir de manière irréfragable le rendement hydraulique. En

effet, vous n'êtes pas sans savoir que les effets de frottement parasite sont en raison double de la dimension ou encore en raison des surfaces alors que " la quantité d'action au travail ou force mouvante " comme l'appelle M. Euler, va être en raison du volume de la machine. > < Ah s'exclame l'abbé Bossut, je comprends pourquoi mes expériences exécutées avec une petite roue à augets et dont je fais relation dans mon Hydrodynamique (pp. 1040 à 1051) n'ont pas eu le succès escompté ; en effet, je ne tenais aucun compte des résistances passives. >

< Messieurs, dit d'Alembert, que notre polylogue ne soit pas trop dispersé si nous voulons qu'il soit fructueux. Je proposerai qu'avant toute discussion, M. Belidor dont tout le monde a admiré le talent d'illustrateur et de pédagogue dans son Architecture Hydraulique fasse un discours liminaire sur les pompes et turbines. >

Le jeune Navier ronchonne dans son coin : < Bien sûr, les dessins de Belidor ont bercé les rêves d'avenir de mon enfance, bien sûr la lecture de ses bandes dessinées m'a souvent consolé des petites déceptions d'adolescent, bien sûr, j'ai mis ensuite toute mon ardeur et mon enthousiasme pour assurer une réédition de l'Architecture Hydraulique mais tout de même M. Belidor, malgré tout son panache, est-il bien le pédagogue qualifié car " quelques lecteurs, d'après la réputation que conservent les ouvrages de Belidor surtout chez les étrangers verront peut-être avec surprise le nombre et la gravité des inexactitudes signalées dans le texte de ce volume. Quelques-unes de ces imperfections avaient néanmoins été déjà reconnues. "

ARCHITECTURE HYDRAULIQUE,

O U

L'ART DE CONDUIRE, D'ELEVER, ET DE MENAGER LES EAUX

POUR LES DIFFERENS BESOINS DE LA VIE
PREMIERE PARTIE,

TOME PREMIER.

Par M. BELIDOR, *Commisnaire Provincial d'Artillerie, Professeur Royal des Mathématiques, aux Ecoles du même Corps ; Membre des Académies Royales des Sciences d'Angleterre & de Prusse, Correspondant de celle de Paris.*



A PARIS, RUE S. JACQUES,

Chez CHARLES-ANTOINE JOMBART, Libraire de l'Artillerie
& du Génie, à l'Image Notre-Dame.

M. DCC. XXXVII.

AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROY.

Le premier volume de Belidor est rempli de fautes de théorie disait Bossut dans une note manuscrite.

J'ai entendu M. Carnot affirmer publiquement que Belidor s'est trompé très souvent.

D'autres personnes, fatiguées des erreurs, de la prolixité et du peu d'ordre qu'on observe dans son ouvrage auraient peut-être désiré que la rédaction de l'auteur eût été complètement abandonnée ". >

< Qu'importe ces peccadilles, il est tellement beau > soupire la Marquise de Chastelet < Shocking, said Sir Newton, who is ? > < Le livre de Belidor bien sûr avec ses dessins précis et précieux, ses machines sans cambouis, ses figurines d'ouvriers en habit du dimanche. >

< Madame la Marquise, dit Belidor en s'inclinant et souriant, Messieurs les Savants, " je ne doute point que mes machines ne rencontrent des censeurs qui conviendront peut-être qu'elles sont assez heureusement imaginées mais qui objecteront que tout ce qui porte sur le papier un caractère d'évidence ne réussit pas toujours dans l'exécution. " Et puis, on n'est pas toujours prophète en son pays. Par exemple, en 1739, dans le tome second de mon Architecture Hydraulique, je proposai une machine à colonne d'eau en donnant tous les détails de la construction. Une machine fut réalisée par Hoell, dix ans plus tard, selon mes plans, aux mines de Schemnitz en Hongrie. On en établit quelques-unes en Allemagne et on les appela machines de Hoell. Bien sûr, la construction est délicate, l'entretien exige soigneux et il fallut attendre le projet de M. Reichenbach, un mécanicien de génie, pour les salines de Bavière, qui entraîna la réalisation de onze machines à colonne dans le dessein hardi de prendre les eaux salées immédiatement à la sortie des sources et de les mener à travers un pays montagneux jusqu'à 27 lieues de distance dans une contrée où l'on aurait abondamment le bois nécessaire à leur traitement : une des machines, celle d'Illsang, éleva d'un seul jet les eaux à une hauteur verticale de 356 m ⁽¹⁾.

Mais je me laisse emporter par une coquetterie d'auteur. Revenons à la classification pédagogique de nos machines hydrauliques du XVII^e et XVIII^e siècles. Nous distinguerons d'une part les roues hydrauliques, d'autre part les machines alternatives à colonne d'eau (comme celles de Hoell) et les béliers hydrauliques.

Les roues sont verticales dans le Nord de l'Europe, horizontales dans le Midi. Doit-on y voir le reflet de l'adage méridional " Pour vivre heureux, vivons couché ? " Plus besoin de renvoi de mouvement, le même arbre vertical porte roue et meule.

La roue verticale à palettes, à cuillers, à godets est familière sur nos petits cours d'eau. Le renvoi de mouvement vers la meule et l'outil fait intervenir les jolis noms de la lanterne aux dix-huit fuseaux entraînée par le rouet à luchons (ou dents).

La roue verticale à aubes fonctionne avec la poussée d'un courant d'eau sur les palettes. Ce courant d'eau peut être canalisé et dirigé sur les aubes par un coursier que l'on dessine courbe pour augmenter l'effet, comme le suggère Smeaton. Mais il peut être aussi tout simplement l'écoulement de la rivière comme cela se passe sur les moulins-bateaux. Le citoyen Favre, ingénieur du pays de Provence, a étudié en détail le fonctionnement des moulins à nef. Dans son " *Essai sur la construction des roues hydrauliques* " en 1788, il propose de faire plonger complètement les aubes car

⁽¹⁾ D'après D'Aubuisson, *Traité d'Hydraulique*.

dans les fleuves profonds la plus grande vitesse du courant est en dessous de la surface. >

< Exact > disent ensemble Herr Woltman et le Directeur Eytelwein qui a beaucoup étudié la hauteur et le courant des fleuves.

< Ah, où sont ces bruyantes théories de moulins à neufs parfois accrochés les uns aux autres et même desservis par un pont dans le Paris de notre jeunesse ? Et docilement les moulins suivaient les caprices de niveau des fleuves en crue sachant mieux capter l'énergie de la fougueuse nature par la souplesse écologique que par la geôle maçonnée du coursier fringant à l'ordinaire, mais noyé par les hautes eaux. Le dernier moulin à nef a disparu de la Seine en 1840 ; il avait un étage et deux paires de meules ⁽²⁾. >

Après un soupir nostalgique, Belidor continue : < Il me reste à décrire une autre espèce de moulin dont je crois qu'aucun auteur n'a parlé étant nouvelle et peu connue ; elle se réduit à faire en sorte d'assujettir le flux et le reflux de la mer pour faire tourner des roues toujours dans le même sens ce qui s'exécute d'une manière fort ingénieuse ; l'on en attribue la première invention à un nommé Perse, Maître-Charpentier de Dunkerque, qui mérite assurément beaucoup d'éloge n'y ayant point de gloire plus digne d'un bon citoyen que celle de produire quelque invention utile à la société. >

Le citoyen Lagrange est rêveur, il imagine des cordons de moulins à nef ou de roues à labyrinthe à double effet barrant l'entrée d'une rivière comme la Rance ou, projet encore plus grandiose, une digue immense construite sur les plans ingénieux de l'Abbé Bossut qui profiterait de l'amplification de la marée dans la baie Saint-Michel, une digue accolée sur les îles Chausey.

< Passons maintenant aux moulins à roue horizontale ou axe vertical, continue Belidor.

Il y a d'abord la roue mue par le choc d'une veine isolée dans les moulins à trompe ou à canelle, l'eau lancée par une trompe à sept à huit mètres par seconde agit presque uniquement par le choc sur les aubes ou cuillers. Le rendement est d'environ 1/3 pour la roue horizontale alors qu'il n'est que de 1/4 pour la roue verticale.

Mais les réalisations les plus importantes concernent les moulins à cuve placés sur les rivières où l'on a beaucoup d'eau et peu de chute. Pour illustrer mon propos, si vous le permettez, Madame, Messieurs, je choisirai l'exemple que j'ai présenté dans mon Architecture Hydraulique, des Moulins du Bazacle à Toulouse. < Ah Toulouse ! aux toits roses puis indigo sous la caresse du soleil couchant, la Garonne qui frissonne sous le frôlement des mouettes lointaines > murmure M. Pitot, qui fut successeur de Paul Riquet à la direction du Canal du Languedoc.

Ces moulins du Bazacle acquièrent leurs lettres de célébrité par les voyages de Panurge que Rabelais raconte dans son Pantagruel en 1534 " Cherchant doncques par ledit pays si viendes aucunes trouveries, entendismes un bruit strident et divers comme si fussent femmes lavant la buée ou traquets de moulins de Bazacle-lez-Thoulouse. "

" De tous les moulins à eau qui ont été imaginés jusqu'ici, je crois qu'il n'y en a pas de plus ingénieux et de plus simples que ceux qui ont été exécutés au Bazacle de Toulouse comme on va en juger.

Il y a au moulin du Bazacle vingt cinq meules de front qui vont incessamment et qui entretiennent de farine la ville et les environs. "

L'eau, retenue derrière la vanne, entre avec précipitation dans le coursier et ne trouvant point pour sortir un passage

aussi grand que celui par lequel elle est entrée gonfle et s'introduit avec plus de force dans le tonneau en formant un tourbillon et contraint de tourner avec elle une roue horizontale. L'eau, après avoir fait plusieurs tours et frappé les aubes de la roue, sort par le fond du tonneau et s'écoule du côté aval où on aménage une pente. Voilà une idée géniale de la manœuvre de ces sortes de moulins. Ici, il n'y a ni rouet, ni lanterne, ce qui rend les réparations moins fréquentes. Pour faire la roue, on prend un tronçon d'un gros arbre et on y taille les aubes que l'on incline sur son épaisseur en les faisant un peu courbes.

Pour donner à cette roue toute la perfection dont elle me paraît susceptible, il y aurait plusieurs recherches curieuses à faire. La courbure des aubes devrait suivre celle de la développée d'un cercle et que l'obliquité qu'elles ont de haut en bas devrait faire avec l'arbre qui leur sert d'essieu un angle de 55° puisque ces aubes sont dans le même cas que les ailes d'un moulin. "

" Je dirai seulement que l'eau qui pousse la roue la fait agir avec une force composée de l'action de sa pesanteur et de la direction circulaire que le tonneau lui donne "

< Mais, dit Euler, si vous me pardonnez une figure prospective, c'est la préfiguration de la roue à réaction de Kaplan. >

< Hum, grommelle Navier, l'explication n'est pas très satisfaisante, indépendamment de ce que l'angle de 55° est loin de convenir aux ailes d'un moulin à vent, l'eau n'agit point sur ces sortes de roues comme le vent sur les ailes d'un moulin. >

Mais, Chevalier de Borda, la disposition très remarquable des roues du moulin du Bazacle n'est-elle pas celle que vous aviez en vue lorsqu'en 1767 vous présentâtes à l'Académie des Sciences la théorie d'une espèce particulière de roues horizontales à palettes courbes ?

Merci, Chevalier, d'avoir ainsi confirmé ma description de 1747 mais continuons...

< Et si l'on parlait un peu des machines à réaction ? > dit malicieusement le jeune Navier.

< Ah la turbine de Von Segner que je connais bien dit M. Euler. Quelle personnalité attachante et diverse ! — Docteur de l'Université d'Iéna où il apprit entre autres la philosophie et les mathématiques, il revient dans sa Hongrie natale pour exercer la médecine. Pas longtemps, puisqu'après un court passage à l'Université d'Iéna, il va enseigner en 1735 à la nouvelle Université de Göttingen les mathématiques, la physique et encore la médecine. Monsieur Segner, à l'érudition de l'universitaire, joint l'intuition de l'inventeur. En 1747, il réunit dans un recueil ses programmes dont deux présentent la roue hydraulique fonctionnant sur le principe de la réaction. Et il n'en reste pas aux idées théoriques mais va jusqu'à la réalisation d'une turbine dans une entreprise industrielle telle sa " Nouvelle machine hydraulique " adaptée à un moulin à huile de Nörten dont il fait la description en 1753. >

Modeste, gêné de tant d'éloges de la part du célèbre mathématicien, Von Segner rétorque < C'est bien grâce à vous, M. Euler, que mes idées ont été connues puisqu'en 1750, vous avez pris la peine de présenter à l'Académie de Berlin vos " Recherches sur l'effet d'une machine hydraulique proposé par M. Segner à Göttingen " suivi d'un second traité sur " L'application de la machine hydraulique de M. Segner à toutes sortes d'ouvrages et ses avantages sur les autres machines hydrauliques dont on se sert ordinairement " . >

< C'est vrai, dit Belidor, que votre premier exposé, M. Euler, insiste sur les avantages de l'utilisation de surfaces

(2) D'après D'Aubuisson, *Traité d'Hydraulique*.

courbes dans l'espace pour la construction de turbines. Vos dessins font aussi apparaître un noyau conique. Mais on voit à quelques endroits sur la Garonne des moulins qui sont d'une construction assez singulière. La roue est une espèce de tambour ayant la figure d'un cône renversé et qui tourne dans une cuve de maçonnerie faite exprès. Les aubes sont appliquées obliquement sur la surface du tambour où elles forment des portions de spirale. Ces aubes ainsi disposées obligent la roue à tourner avec une extrême vitesse et, par conséquent, la meule qui répond à son essieu et pour cela il ne faut qu'un filet d'eau (Architecture Hydraulique § 668). >

< Si au lieu d'emboîter ce mobile dans un emplacement à peu près de la même forme, on eût entouré ses aubes d'une enveloppe conique concentrique à la surface du noyau, on aurait eu une excellente turbine à couloir et la meilleure des danaïdes... dit M. Navier et qui aurait été cousine des roues de Messieurs Segner et Euler. >

< Puisqu'on refait l'histoire, dit M. Navier, les anecdotes languedociennes rapportées par ce bon M. Belidor ne doivent pas faire oublier tout ce que les machines à réaction doivent à la famille Bernoulli. A Daniel d'abord, qui a démontré directement l'égalité entre l'action et la réaction pour le cas d'un jet qui sort d'un vase (Hydrodynamica, pp. 279 et 303). Mais aussi à Johans Bernoulli, son frère " Je ferai mention ici maintenant d'une espèce particulière de roue à force centrifuge, nommée machine pitotienne par M. J. Bernoulli parce qu'il la conçut formée par le tube de Pitot lié à un axe vertical et mû circulairement. " >

< Bon, dit le sage M. Newton, nous n'allons pas entamer des procès d'antériorité. Nous savons bien que chacun de nous, quoique soient ses mérites, est un nain sur les épaules d'un géant constitué par l'expérience de tous ceux qui l'ont précédé ou entouré. L'essentiel est que, grâce à toutes ces idées neuves ou améliorées, ait apparu un développement industriel qui va faire la richesse des nations... et la ruine de l'âme murmure gravement le janséniste M. Pascal. >

< Y a-t-il encore quelque chose à ajouter concernant les machines à eau ? C'est un sujet intarissable, s'exclame le pétulant Belidor. Eh bien, disons un mot de l'épuisement des fouilles. C'est tout de même surprenant que disposant déjà de pompes aspirantes et foulantes performantes, on utilise encore de notre temps en cette fin de XVIII^e siècle, norias et chapelets. >

< Oui, dit le jeune Navier, une noria employée à des épuisements auprès de Paris menée par deux chevaux élève en un heure 70 m³ d'eau à 3,60 m de hauteur. Ce serait donc par cheval 125 m³ à 1 m >. M. Euler calcule mentalement la quantité d'action au travail qu'il appelle force mouvante, cela donnerait par cheval environ 350 watts comme diraient nos arrière-petits-fils.

" La noria est utilisée dans le midi de l'Europe, elle sert à l'arrosement de tous les grands jardins aux environs de Toulouse où elle est mue par un manège ".

< Mais, dit Belidor, la noria utilise un attirail plus complexe et offre plus de résistance que le chapelet avec ses patenotres ou grains de cuir fixés sur une chaîne tendue par la lanterne et happée par le hérisson supérieur. >

< C'est vrai, dit Perronet, le chapelet est un instrument magnifique. Sur un même endroit des fondations du pont d'Orléans, j'ai eu jusqu'à 22 chapelets en action simultanément pour épuiser l'eau des fouilles jour et nuit. Comme on emploie 4 à 8 hommes à la fois sur un chapelet relevé de deux heures en deux heures à raison de trois relais par jour, cela représente pour le pont jusqu'à 528 emplois très écologiques propres à satisfaire les exigences de l'Alliance Naturiste de Progrès par l'Exercice (ANPE). >

< Personnellement, remarque avec humour Belidor, je préfère faire faire l'effort physique au fluide, même s'il s'agit d'un effort violent comme ma machine à colonne d'eau dont j'ai déjà parlé et industrialisée en Allemagne sous l'impulsion de Hoell et Reichenbach. >

< Mais, votre machine, M. Belidor, n'est-elle pas l'ancêtre, ôh pardon, le grand frère du béliet hydraulique que j'affectionne beaucoup >. C'est M. Eytelwein qui parle, un des plus savants et des plus habiles hydrauliciens allemands et peut-être du monde, fameux par son Traité sur la Mécanique des Solides et sur l'Hydraulique et membre de l'Académie Royale des Sciences de Berlin.

< Ah, pardon, dit Montgolfier, j'ai déposé en 1797 un brevet d'invention à ce sujet et pour prouver la faisabilité de mon système, j'ai moi-même établi un béliet dans mon habitation à Paris et je tiens à votre disposition les comptes rendus d'expérience. >

Hauteur		Volume d'eau en min		Coefficient d'efficacité
Chute <i>H</i>	Élévation <i>H₁</i>	Dépendé <i>Q</i>	Élevé <i>q</i>	$\frac{qH_1}{QH}$
2,60 m	16,06 m	68 l	6,25 l	0,57

< Sorry, Mister Montgolfier, dit M. Newton, mais nous autres, Anglais, avons la faiblesse de penser que l'invention du béliet hydraulique revient à Mister Whitehurs qui a donné, en 1775, dans les Transactions Philosophiques la description d'une machine qui diffère seulement du béliet hydraulique en ce que la soupape d'écoulement est remplacée par un robinet. >

< Ah, mais la différence est essentielle, reprend M. Eytelwein, car elle décide de toute l'automatisme du fonctionnement de l'appareil. Et je sais ce dont je parle puisque j'ai fait construire deux béliets à Berlin sur lesquels je fis 1 123 expériences, oui, je dis bien 1 123 expériences qui m'ont conduit à des Observations sur les effets et l'application avantageuse du béliet hydraulique que je résumerai de façon lapidaire dans la formule du coefficient d'efficacité :

$$\frac{qH_1}{QH} = \sqrt{2} \left(1 - \frac{2}{10} \sqrt{\frac{H_1}{H}} \right) . >$$

< A propos de ces machines à écoulement transitoire, puis-je dire un mot de l'invention du citoyen Trouville que j'ai eu à instruire lorsque j'étais président du Bureau de Consultations des Arts et Métiers créé par la loi du 12 septembre 1791. > Et le citoyen Lagrange de continuer < Il s'agit d'un " Nouvel art d'élever les eaux en tel volume à telle hauteur et à telle distance que ce soit sans pompe, piston, balancier, rouage ni mécanique. > < Mais alors, c'est la machine miracle. > < Non, dit Lagrange, " l'air est le seul intermédiaire par lequel l'eau qui sert de moteur agit sur celle qu'on élève " > < Oui, je sais, dit le jeune Navier, j'ai été tellement intrigué par votre rapport, citoyen Lagrange, parce qu'il décrit l'appareil sans présenter de schéma, que j'ai fait un petit dessin explicatif de tout ce système de réservoir et d'aspirateurs superposés > < Oui, mais le système et le fonctionnement sont si compliqués qu'il y a de quoi y perdre la tête > dit le ci-devant Lavoisier qui, dans ses loisirs célestes, semble manier l'humour noir.

< Avoir proposé d'accorder une aide de 15 000 livres pour faire un essai en grand de la machine hydraulique du citoyen Trouville me paraît vraiment révolutionnaire en ce temps pourtant conventionnel > < Oh, ce ne sera pas la première fois ni la dernière que des subsides seront accordés pour promouvoir des recherches scientifiques ou techniques ou architecturale à haut risque d'insuccès, dit flegmatique, M. d'Alembert. Et comment croyez-vous que nous avons réalisé de concert avec Monsieur l'Abbé Bossut et le Marquis de Condorcet nos recherches expérimentales sur la résistance des fluides ? Avec les installations de l'Ecole Royale Militaire de Paris et les deniers du gouvernement royal. Oui, plus que par le passé, en ce siècle de lumières, les monarques éclairés et leurs gouvernements à Berlin, Pétersbourg, Turin, Londres et Paris ont favorisé l'activité des savants et considéré la recherche scientifique et surtout expérimentale comme élément essentiel et nécessaire du développement économique. Et les savants ne se sont plus complus dans la délectation spéculative dans leur tour d'ivoire > < C'est vrai, dit le ci-devant Lavoisier, ainsi lorsque j'étais Député Suppléant à l'Assemblée Nationale et Commissaire de la Trésorerie, bien que Membre de l'Académie des Sciences, en 1791, je remis au Conseil de l'Imposition un ouvrage collectif intitulé : De la richesse territoriale du Royaume de France, où nous attirions l'attention sur une foule de double et triple emplois jetant les autres sur la paille humide du chômage et où nous suggérions d'effectuer la comptabilité économique avec le concept de la valeur ajoutée. Et voyez en Allemagne, le rôle économique décisif joué par nos collègues Woltman, Segner et Eytwein en particulier. >

< Or donc, si nous sommes tous convaincus du rôle social et économique de la recherche scientifique, revenons aux aspects fondamentaux de la relation entre les fluides et les parois solides au repos ou en mouvement, circonstances que nous venons de rencontrer constamment dans nos propos sur les moulins à vent et à eau. Et certes tous nous sommes redevables à Sir Isaac Newton d'avoir tracé des chemins de lumière dans la luxuriante forêt encore obscure des principes de la nature. >

Ah, ce M. Newton ! Permettez-moi d'en faire son éloge dit un noble vieillard en se levant. C'est M. De Fontenelle, chuchote-t-on, le Secrétaire Perpétuel de l'Académie qui va allègrement sur ses cent ans. Il a déjà prononcé devant cette docte Assemblée l'éloge de nombreux personnages fameux. M. De Fontenelle, toussant à peine pour s'éclaircir la voie, commence :

< " En 1687, M. Newton se résolut enfin à se dévoiler et à révéler ce qu'il était. Les Principes Mathématiques de la Philosophie naturelle parurent. Comme ce livre est écrit très savamment (et en latin), que les paroles y sont fort épargnées, qu'assez souvent les conséquences y naissent rapidement des principes et qu'on est obligé à suppléer de soi-même tout l'entredeux, il fallait que le Public eût le loisir de l'entendre. Les grands géomètres n'y parvinrent qu'en l'étudiant avec soin, les médiocres ne s'y embarquèrent qu'excités par le témoignage des grands mais enfin, quand le Livre fut suffisamment connu, tous ces suffrages qu'il avait gagnés si lentement éclatèrent de toutes parts et ne formèrent qu'un cri d'admiration. Tout le monde fut frappé de l'esprit original qui brille dans l'ouvrage de cet esprit créateur qui dans toute l'étendue du siècle le plus heureux ne tombe guère en partage qu'à trois ou quatre hommes pris dans toute l'étendue des pays savants ". >

< " Deux théories principales dominent dans les Principes Mathématiques : celle des forces centrales et celle de la résistance des milieux au mouvement, toutes deux

presqu'entièrement neuves et traitées selon la sublime Géométrie de l'Auteur. On ne peut plus toucher ni à l'une ni à l'autre de ces théories ". >

< " La seconde des grandes théories sur laquelle roule le Livre des Principes est celle de la résistance des milieux au mouvement qui doit entrer dans les principaux phénomènes de la nature tels que le mouvement des corps célestes, la lumière, le son. >

M. Newton établit à son ordinaire sur une très profonde géométrie ce qui doit résulter de cette résistance selon toutes les causes qu'elle peut avoir, la densité du milieu, la vitesse du corps mû, la grandeur de sa surface et il arrive enfin à des conclusions qui détruisent les Tourbillons de Descartes ". >

< Mais comment M. Newton qui écrit latin fut-il connu du grand public, scientifique en France ? Bien sûr, bon nombre d'esprits éclairés pratiquent le latin mais la pensée de M. Newton fut popularisée par la traduction de la Marquise De Chastelet. >

" Cette traduction que les plus savants hommes de France devaient faire et que les autres doivent étudier, une femme l'a entreprise et achevée à l'étonnement et à la gloire de son pays " (et à la satisfaction de toutes les féministes de tous les temps). " Gabrielle Emilie de Breteuil, Marquise de Chastelet, est l'auteur de cette traduction devenue nécessaire à tous ceux qui voudront acquérir ces profondes connaissances dont le monde est redevable au grand Newton. >

On a ainsi vu deux prodiges : l'un que Newton ait fait cet ouvrage, l'autre qu'une dame l'ait traduit et l'ait éclairci ". >

< Oui mais " la traduction est parfois libre et la Marquise soupçonnée d'avoir faiblement entendu son original et d'avoir usé de la ressource ordinaire en pareil cas c'est de rendre les mots quand on ne peut rendre les choses ". Et la théorie des fluides n'est esquissée par la Marquise car déjà traitée par Daniel Bernoulli et Jean d'Alembert. >

PHILOSOPHIÆ NATURALIS PRINCIPIA MATHEMATICA.

AUCTORE

ISAACO NEWTONO, EQ. AURATO.

*Perpetuis Commentariis illustrata, communi studio
PP. THOMÆ LE SEUR & FRANCISCI JACQUIER
Ex Gallicanâ Minimorum Familiâ,
Mathesos Professorum.*

TOMUS SECUNDUS.



GENEVÆ,

Typis BARRILLOT & FILII Bibliop. & Typogr.

M D C C X L.

< Mais non, la marquise n'a pas trahi ma pensée, dit M. Newton, avec un bon sourire. Je suis le seul fautif d'avoir voulu dire beaucoup de choses en peu de mots et rien que par des mots ou presque, sans utiliser le raccourci si clair et lapidaire des formules comme le fait le jeune Léonard Euler par exemple. Ah ! que n'ai-je connu dès l'enfance cette manière synthétique d'exprimer la connaissance ! Ecouter, par exemple comment j'exprime la loi de la résistance des fluides au mouvement.

'' Ainsi, un corps qui se meut avec une grande vitesse dans le même fluide éprouve une résistance en raison doublée de sa vitesse à peu près. Car si les forces par lesquelles les particules éloignées agissent mutuellement les unes sur les autres étaient augmentées en raison doublée de la vitesse la résistance serait dans la même raison doublée exactement (Cinquième section corollaire deux) ou encore dans la septième section j'énonce la proposition XXXIII et le théorème XXVII suivants :

Proposition XXXVIII. Théorème XXVII

Les mêmes choses étant posées, je dis que les parties les plus grandes des systèmes éprouvent une résistance en raison composée, de la raison doublée de leurs vitesses, de la raison doublée de leurs diamètres, & de la raison de la densité des parties du système.

Car la résistance vient en partie des forces centripètes ou centrifuges par lesquelles les particules des systèmes agissent les unes sur les autres, & en partie des rencontres & des réflexions des particules, & des parties les plus grandes. Les résistances du premier genre sont entr'elles comme les forces motrices entières qui les produisent, c'est-à-dire, comme les forces accélératrices entières, & les quantités de matière dans les parties correspondantes ; ou, ce qui revient au même par l'hypothèse, comme les carrés des vitesses directement, & les distances des particules correspondantes inversement, & comme les quantités de matière dans les particules correspondantes directement : c'est pourquoi, les distances des particules d'un système étant aux distances correspondantes des particules de l'autre système, comme le diamètre d'une particule, ou d'une partie dans le premier système au diamètre d'une particule ou d'une partie dans l'autre système, & que les quantités de matière sont comme les densités des parties, & les cubes des diamètres, les résistances sont l'une à l'autre comme les carrés des vitesses, les carrés des diamètres, & les densités des particules des systèmes, *C.Q.F.D.*

Les résistances du second genre sont comme les nombres des réflexions correspondantes, & les forces conjointement. Mais les nombres des réflexions sont entr'eux comme les vitesses des particules correspondantes directement, & inversement comme les espaces entre ces réflexions. Les forces des réflexions sont comme les vitesses, les grandeurs, & les densités des parties correspondantes conjointement, c'est-à-dire, comme les vitesses, les cubes des diamètres & les densités des parties. Et en composant toutes ces raisons, les résistances des parties correspondantes sont entr'elles conjointement comme les carrés des vitesses, les carrés des diamètres & les densités des parties, *C.Q.F.D.* ''

Et maintenant comparez avec l'expression lapidaire :

$$F = C_f \rho \frac{V^2}{2} S.$$

< Mais, Sir, vous écrivez cette expression comme résumant votre pensée et vos travaux sur la résistance des fluides alors que les jeunes générations parlent de la formule de Newton :

$$dF = -\eta \frac{dV}{dy} dS$$

(avec y compté sur la direction perpendiculaire à V et η la viscosité du fluide et ils en ont même déduit des familles de fluides newtoniens et de fluides non newtoniens). >

< Oui, je sais, pour absorber mes loisirs éternels j'ai même jeté un coup d'œil sur ces développements. Peut-être, mes successeurs se sont-ils fondés sur ce que j'écrivais dans les principes : *Resistentiam quae oritur ex defectu lubricitatis partium fluidi, caeteris paribus proportionalem esse velocitati qua partes fluidi separantur ab invicem* (De motu circulari fluidorum Livre II Section IX, p. 374). La lubricité en tout bien tout honneur est en somme ce que vous appelez la fluidité ou l'inverse de la viscosité du fluide. >

< Sir Newton, pouvons-nous revenir à l'expression de la résistance des fluides, demande Jean d'Alembert. Vous avez aussi affirmé le principe du mouvement relatif qu'après vous tous les mécaniciens de l'Europe ont appliqué fructueusement dans leur expérience : Smeaton, Woltman, l'Abbé Bossut, le Marquis de Condorcet, bien d'autres et moi-même. Et les générations futures vous sont reconnaissantes des progrès qui en suivirent dans l'expérimentation en soufflerie ou en bassin des carènes.

Votre expression de la résistance des fluides est bien valable en mouvement relatif mais reconnaissez, Sir Isaac, qu'un brin de polémique est possible sur le coefficient de frottement C_f . >

< Bien volontiers, mon jeune ami, dont je reconnais le génie puisqu'à vingt sept ans à peine en 1743 vous avez déjà publié un traité de dynamique qui fait l'envie de vos aînés prestigieux. Par exemple, ce cher Bernoulli, qui connaît à Pétersbourg la renommée de votre traité. Mais sans l'avoir lu, il met en doute a priori la possibilité pour un jeune homme de vingt ans de se faire une vue d'ensemble du domaine tout entier de la mécanique et de l'hydrodynamique et à plus forte raison de faire avancer son étude. >

Jean d'Alembert saute sur l'ouverture ainsi offerte par l'illustre Newton pour préciser sa pensée :

< Un des plus grands avantages qu'on tire de votre théorie c'est de pouvoir démontrer que la fameuse loi de Mécanique appelée la conservation des forces vives a lieu dans le mouvement des fluides comme dans celui des corps solides.

'' Ce principe reconnu aujourd'hui pour vrai par tous les Mécaniciens est celui dont M. Daniel Bernoulli a déduit des lois du mouvement des fluides dans son Hydrodynamique. Dès l'année 1727, le même auteur avait donné un essai de sa nouvelle théorie : c'est le sujet d'un très beau Mémoire imprimé dans le Tome II de l'Académie de Pétersbourg. M. Daniel Bernoulli n'apporte dans son Mémoire d'autres preuves de la conservation des forces vives dans les fluides sinon qu'on doit regarder un fluide comme un amas de petits corpuscules élastiques qui se pressent les uns les autres et que la conservation des forces vives a lieu de l'aveu de tout le monde dans le choc d'un système de corps de cette espèce. Il me semble qu'une pareille preuve ne doit pas être regardée comme d'une grande force : aussi, l'Auteur paraît-il ne l'avoir donnée que comme une induction et ne l'a même rappelée en aucune manière dans son grand ouvrage sur les fluides qui n'a vu le jour que plusieurs années après. Au reste, quoique M. Daniel Bernoulli n'ait pas démontré le Principe général qui sert de fondement à son ouvrage, on

Enfin, M. l'Abbé Bossut a cherché à nouveau à décider la



question par des expériences faites avec beaucoup de soin et de scrupules. Elles lui ont donné à peu près pour la hauteur de la colonne qui mesure la force du choc direct d'une veine d'eau le double de la hauteur due à la vitesse ce qui s'accorde avec le résultat de M. Bernoulli quoiqu'on ne puisse disconvenir de l'insuffisance de cette solution par la manière vague dont l'Auteur considère et calcule l'effet de la percussion d'une veine de fluide contre un plan. >

< Citoyen Lagrange, n'allons pas rouvrir la polémique. C'est un effet du génie de Daniel Bernoulli d'avoir eu l'intuition de donner un résultat juste nonobstant un raisonnement bancal. Ce que nous retenons de votre Mémoire que j'ai sous les yeux c'est que l'explication réside dans la variation de vitesse en direction pour créer cette force centrifuge qui, pour vous, est la cause première de la distribution de pression sur la plaque et donc de la poussée hydrodynamique > résume M. Franklin dont l'esprit clair et pratique cherche la synthèse.

< Ces variations de vitesse, explique M. Navier mais cette fois d'un point à un autre, sont aussi l'explication de la résistance des fluides surtout lorsqu'ils sont affligés d'une lubricité déficiente comme le dirait Sir Isaac. >

< Donc, dit Léonard Euler, tout est dans la répartition des vitesses, et dans l'espace pour la résistance des fluides, et dans le temps pour la percussion. Eh bien, dans une petite pièce latine *Principa motus fluectorum*, j'ai élucidé cette question toute nouvelle de variation de vitesse dans les fluides et plus généralement de la cinématique des milieux continus en considérant la déformation de minuscules volumes initialement parallélépipédiques. Ensuite, dans mon mémoire sur les Principes généraux du mouvement des fluides, présenté à l'Académie de Berlin en 1755, je suis venu heureusement à bout des équations de l'hydrodynamique qui sont "la condition bien remarquable fournie par la considération de la continuité du fluide"

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

où q est la densité archaïque du fluide, et l'ensemble des équations du mouvement

$$P - \frac{1}{q} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}$$

INQUISITIO PHYSICA IN CAUSAM FLUXUS AC REFLUXUS MARIS.

A. D. D. EULER, *Mathematicarum Professore, à Societate
Academiae Imperialis Sancti-Petersburgensis.*

*Cur nunc declivi nudentur littora Pontis;
Adversus tunc nunc Maris unda fretis;
Dum vestro monitu naturam consulo rerum:
Quam procul à Terris abdita causa latet!
In Solem Lunamque feror. Si plauditis auso;
Sidera sublimi vertice summa petam.*

et ceci pour un fluide compressible ou non, homogène ou non. >

< Alors, continue Léonard Euler, "s'il ne nous est pas permis de pénétrer à une connaissance complète sur le mouvement des fluides, ce n'est pas à la mécanique et à l'insuffisance des principes connus du mouvement qu'il faut en attribuer la cause mais l'Analyse même nous abandonne ici. S'il reste des difficultés, ce n'est pas du côté du mécanisme mais uniquement du côté de l'analytique". >

< C'est vrai, renchérit Lagrange, "par cette découverte d'Euler, toute la Mécanique des Fluides fut réduite à un seul point d'Analyse et si les équations qui la renferment étaient intégrables on pourrait, dans tous les cas, déterminer complètement les circonstances du mouvement et de l'action d'un fluide mû par des forces quelconques; malheureusement, elles sont si rebelles qu'on n'a pu jusqu'à présent en venir à bout que dans des cas très limités". >

D'Alembert semble s'être rembruni. En effet, suite à la mise au concours en 1750 par l'Académie de Berlin d'un prix sur la théorie de la résistance des fluides, Jean le Rond avait en toute hâte publié en 1752 chez David à Paris son "Essai d'une nouvelle théorie de la résistance des fluides" dans lequel "il s'élève du moins pour les mouvements plans jusqu'aux équations du mouvement des fluides, mais son analyse est longue et difficile comme le remarque un peu taquin Euler, en toute simplicité < "Quelques sublimes que soient les recherches sur les fluides dont nous sommes redevables à MM. Bernoulli, Clairaut et d'Alembert, elles découlent si naturellement de nos deux formules générales qu'on ne saurait assez admirer cet accord de leurs profondes méditations avec la simplicité des principes dont j'ai tiré mes deux équations et auxquelles j'ai été conduit immédiatement par les premiers axiomes de la Mécanique". >

Tout de même un peu marri, d'Alembert contre-attaque sur le plan de l'épistémologie < Comme l'a remarqué le citoyen Lagrange un système d'équations sans possibilité de solution n'est qu'un plaisir délectable de l'esprit. Bien sûr, l'on pourrait utiliser la machine à calcul automatique imaginée par M. Blaise Pascal pour obtenir une résolution approchée des équations de M. Euler. Je ne dis pas que cela ne se fera pas dans quelques décennies ou dans quelques siècles. Chacun sait que je crois trop au progrès scientifique et technique pour méconnaître les miracles futurs du calcul numérique. Mais actuellement encore "c'est souvent le désir de pouvoir faire usage du calcul qui détermine dans le choix des principes au lieu qu'ils devraient examiner d'abord les principes en eux-mêmes sans songer d'avance à les plier de force au calcul. La Géométrie qui ne doit qu'obéir à la physique quand elle se réunit avec elle, lui commande quelquefois. S'il arrive que la question qu'on veut examiner soit trop compliquée pour que tous les éléments puissent entrer dans la comparaison analytique qu'on veut en faire, on sépare les plus commodes, on leur substitue d'autres moins gênants mais aussi moins réels et l'on est étonné de n'arriver malgré un travail pénible qu'à un résultat contredit par la nature comme si après l'avoir déguisée, tronquée ou altérée, une combinaison purement mécanique pouvait nous la rendre". >

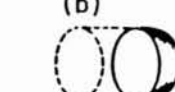
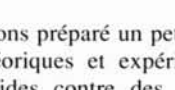
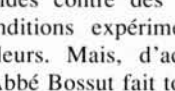
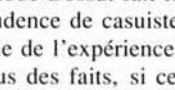
Les points de vue de MM. Euler et d'Alembert sur la théorie et le réel ne sont pas inconciliables, dit M. Descartes bien silencieux jusqu'ici à cause du malheur de ses tourbillons "car je me rendis compte en ce qui concerne les expériences qu'elles étaient d'autant plus utiles qu'on était avancé en connaissance".

< Cela tombe bien, dirent d'un commun accord le Chevalier de Borda, l'Abbé Bossut et le Colonel Dubuat, nous

RESISTANCE DES FLUIDES

NEWTON - BORDA - DUBUAT - BEAUFOY - XX^e Siècle

$$F = \rho^c \frac{V^2}{2} S$$

	1) C = 1				
	2) C = 0.5	C = 0.55	C = 0.50	C = 0.38	0.5 - 0.6
	2) C = 1	C = 1.38		(b) C = 0.88	1.33
	2) C = 0.5	C = 0.55		(b) C = 0.33	0.34
	2) C = 2			L/a=1, C=1.03	L/a=1, C=0.91
	2) C = 0.5				3 0.85
	2) C = 1		C = 1.43		7 0.99
	2) C = 1		C > 1.43		
			L/a=0, C=1.43	L/a=10, C=1.14	L/a=0, C=1.10
	2) C = 1	L/a=1, C=1.17	L/a=1, C=1.17	L/a=17, C=1.16	
				L/a=34, C=1.31	

avons préparé un petit tableau qui montre quelques résultats théoriques et expérimentaux concernant la résistance des fluides contre des corps immergés sans insister sur les conditions expérimentales que nous avons décrites par ailleurs. Mais, d'accord avec Condorcet et d'Alembert, l'Abbé Bossut fait tout de même délicatement preuve d'une prudence de casuiste < " L'art d'interroger la nature par la voie de l'expérience est très délicat. En vain, rassemblez-vous des faits, si ces faits n'ont entre eux aucune liaison ; s'ils se présentent tous sous une forme équivoque ; si lorsqu'ils sont produits par différentes causes, vous êtes dans l'impuissance d'assigner et de séparer, avec une certaine précision, les effets particuliers de chacune de ces causes... N'attendez rien du praticien borné et dépourvu de principes ; conduit par une routine aveugle, il vous montrera souvent, hors de nécessité et peut-être sans s'en apercevoir, le même fait sous différentes faces ; ou il assemblera au hasard plusieurs faits dont il ne saura pas expliquer les différences. Il n'existe pas de science sans raisonnement, ou ce qui est la même chose, sans théorie ". > ⁽⁴⁾

< Que voilà bien une pierre sacrée en mon jardin ! jubile en lui-même Léonard Euler. >

< Voyons, M. Newton, expliquez-nous comment vous aviez établi vos résultats sur la résistance des fluides. >

Eh bien, vous savez que dans une première théorie je supposais que le fluide était composé " d'un amas de corpuscules élastiques tendant à se repousser mutuellement

et disposés librement à distances égales ". Les particules sont donc très éloignées, la densité est faible et quand le corps solide se déplace dans le fluide, les corpuscules poussés par le solide se déplacent librement sans communiquer leur mouvement aux corpuscules voisins sur lesquels elles n'agissent qu'en vertu de leur attraction élastique. Alors j'obtenais pour le coefficient de résistance ou de traînée d'un globe $C_f = 1$ > . M. d'Alembert se penche à l'oreille de son voisin : < " Cette première partie de la théorie de M. Newton et celle de M. Bernoulli qui n'en est à proprement parler que le commentaire, sont plutôt une recherche de pure curiosité qu'elles ne sont applicables à la nature. Aussi, l'illustre philosophe anglais n'a pas cru devoir s'en tenir là " > . Effectivement, M. Newton continue : < Puis profitant des travaux et des écrits de Huyghens (1669), j'élaborais une deuxième théorie où cette fois les corpuscules se touchaient et je m'accuse bien repent d'avoir alors assimilé la résistance à la percussion d'une veine fluide sur une plaque circulaire et j'arrive ainsi pour le globe à $C_f = 0,5$, valeur moitié de la précédente > . < Ma foi, c'est beaucoup mieux > dit le Chevalier de Borda en jetant un coup d'œil sur le tableau qui permet la comparaison. < Personnellement, continue Borda, j'ai commencé à étudier la résistance de l'air en faisant tourner un petit manège à l'aide d'un poids qui descendait. Je faisais d'abord tourner le système à vide pour déterminer sa résistance propre, puis j'attachais à l'extrémité d'un rayon du volant des surfaces planes de différentes formes, comme je l'exposais dans les Mémoires de l'Académie des Sciences en 1763 (p. 358). Puis, quelques temps plus tard, je fis la même chose dans l'eau, toujours avec un manège dans un bassin circulaire de 3,6 m de diamètre environ. Là je me suis attaché à trouver les coefficients de

⁽⁴⁾ D'Alembert, Condorcet, Bossut, *Nouvelles expériences sur la résistance des fluides*.

résistance d'une sphère d'abord, que je coupais en deux ensuite. Si la demi-sphère présente au fluide sa partie convexe, rien de changé dans les résultats par rapport à la sphère entière. Ainsi j'en conclus " qu'à ces petites vitesses la partie antérieure des corps est la seule qui ait de la résistance. Par contre, en retournant la demi-sphère, j'obtins un coefficient $C_f = 1,25$ approximativement, alors que la théorie de M. Newton ne prévoit qu'une valeur 1 pour le coefficient C_f pour la demi-sphère offrant sa section de grand cercle >.

Un Monsieur placé à côté du Colonel Dubuat, intervient alors. C'est M. Poncelet :

< Mais pourquoi Chevalier de Borda, derrière la poupe de vos corps en mouvement dans le fluide, n'avez-vous pas observé comme je l'ai fait moi-même ⁽⁵⁾ " un mouvement des molécules qui se ferait par tourbillons : on en aurait deux tournant dans des sens opposés. Mais ce qui est remarquable, c'est qu'immédiatement derrière les deux tourbillons adjacents à la base postérieure, on en a deux autres et qui se meuvent en sens contraire : on dirait que les filets fluides qui formaient les deux premiers se sont comme déroulés pour s'enrouler d'une manière inverse. Derrière ce second couple de tourbillons, il y en a un troisième, un quatrième, etc. et à mouvements toujours alternatifs.

A mesure qu'ils s'éloignent du prisme, ils s'étendent en largeur et ils finissent par se perdre, comme en lambeaux dans la grande masse fluide. C'est d'une telle manière que le mouvement se perd dans les fluides " >.

Le citoyen Lagrange est admiratif car il vient de lire, pour se distraire de ses loisirs sans fin, les mémoires de Von Karman et ne voit-il pas qu'il retrouve dans les observations du Général Poncelet les fameuses allées de tourbillons.

< Puisque nous parlons de l'avenir passé, enchaîne le Chevalier Dubuat, Messieurs, n'avez-vous pas été comme moi intrigués par les variations déconcertantes du coefficient de traînée lorsque varient, ou bien la gamme de vitesse, ou bien la dimension de l'obstacle ou du flotteur ? Par exemple, notre éminent collègue l'Abbé Mariotte, en plaçant des plaques carrées face au courant dans la Seine, s'était rendu compte que la force résistance ne croissait pas exactement comme la surface, mais plutôt moins vite. D'autre part, concernant l'effet de la grandeur de la vitesse, dans le Chapitre IV de mon ouvrage " Principe d'Hydraulique ", j'examine en détail les " variations dans l'intensité de la résistance des fluides et principalement de l'air depuis les mouvements lents jusqu'aux plus rapides ", " ce qui rend la pression un peu plus forte à proportion à mesure que la vitesse diminue. Cet effet, dû en partie à la viscosité de l'eau, est aussi relatif à ce que la déviation commence plus près de la surface choquée... et le fluide entraîné augmente un peu dans les oscillations très lentes. Quand au contraire, la vitesse générale est très considérable, comme les non-pressions augmentent davantage, il s'ensuit que les résistances totales augmentent aussi en plus grand rapport que le carré des vitesses ". Les expériences que j'ai réalisées sur des globes dans l'air et celles de M. Robins, sur des balles sortant d'un canon à plus de 200 pieds par seconde, montrent que C_f peut aller jusqu'à 1. Je ne vois pas encore les choses clairement, mais j'ai l'intime conviction qu'en regroupant la vitesse V , la taille D du corps et la viscosité ν , on doit pouvoir trouver un paramètre significatif quel que soit le fluide et arriver à des résultats synthétiques plus généraux >.

< Messieurs, dit d'Alembert, si nous ne voulons pas trop

prolonger cet entretien, il est grand temps de passer au deuxième argument, l'hydraulique du transport, en examinant si vous le voulez bien, la trilogie bateaux, canaux, tuyaux. Des bateaux, il en a déjà été implicitement question avec l'étude de la résistance des corps en mouvement dans un fluide indéfini. Mais MM. Bossut et Condorcet, peuvent parler avec force détails des expériences que nous fîmes, de Juillet à Septembre 1775, " sur une grande pièce d'eau située dans l'enceinte de l'Ecole Militaire avec le concours des mathématiciens MM. Legendre et Monge, attachés à cette Ecole " > ⁽⁶⁾.

< Mais nous aussi, en Nouvelle Angleterre, ou plutôt aux Etats nouvellement Unis d'Amérique, nous nous sommes préoccupés de cette question ⁽¹⁾ " en modèle réduit sur un canal avec un bateau de six pouces sur deux pouces et demi de largeur, pour étudier l'incidence de la hauteur du plan d'eau " dit M. Franklin > ⁽⁷⁾.

< Et moi aussi, dit M. Paul Riquet, j'ai utilisé un modèle réduit dans mon jardin, pour examiner le fonctionnement des écluses lorsque j'ai lancé la construction du Canal du Languedoc >.

Mais pourquoi ne pas faire confiance au calcul, pour prévoir les efforts du fluide sur un bateau, demande M. Euler >, comme j'ai proposé de le faire dans ma théorie complète de la construction et de la manœuvre des vaisseaux en 1776. < Mais cela a été tenté par Sir Isaac Newton, tout d'abord, qui, par exemple pour les surfaces courbes ⁽¹⁾ " après avoir établi que la résistance pour les surfaces planes était proportionnelle au carré du sinus de l'incidence du fluide, admettait qu'il en était ainsi pour les éléments différentiels des surfaces courbes considérées comme un assemblage de plans infiniment petits. Pendant un siècle, tous les mathématiciens ont adopté cette base de calcul ", mais j'ai montré, dit Borda, par plusieurs expériences, soit dans l'eau, soit dans l'air que " ⁽⁸⁾ les résistances conclues du calcul sont beaucoup trop faibles pour les surfaces planes et notablement trop fortes pour les surfaces courbes " >.

< C'est bien dommage, murmure Pitot, car c'est le principe que j'ai utilisé aussi en 1731 dans mon ouvrage sur " la Théorie de la Manœuvre des Vaisseaux, réduite en pratique ou les principes et les règles pour naviguer le plus avantageusement qu'il est possible ". En effet, j'avais alors admis que " nous pouvons :

1. Considérer les voiles comme des surfaces planes,
2. Réduire les déterminations particulières de plusieurs voiles à une seule détermination moyenne qui partage également les efforts ou impressions du vent, faits de part et d'autre sur les différentes voiles.

Ceci, conséquence d'une surface courbe pouvant toujours être considérée comme composée d'une infinité de petites surfaces droites ou plans élémentaires " >.

< Eh bien non, M. Pitot, il faudra vous rendre à la raison, on ne peut pas faire la superposition pure et simple d'effets élémentaires, reprend Bossut, sans tenir compte de leurs actions mutuelles. Par exemple, nous avons ajouté à un parallélépipède rectangle " une suite de proues et de poupes dont la coupe était un triangle isocèle et dont l'angle antérieur était de plus en plus aigüe ". Que croyez-vous qu'il se soit passé dans notre bassin ? On allonge le corps flottant, la surface en contact entre le solide et l'eau augmente, eh bien la résistance diminue et paradoxalement l'effet est

⁽⁶⁾ Dugas, *op. cit.* p. 300.

⁽⁷⁾ Œuvres complètes de Franklin, t. II, p. 237.

⁽⁸⁾ D'Aubuisson, *op. cit.* p. 313.

⁽⁵⁾ D'Aubuisson, *op. cit.* p. 294.

beaucoup plus bénéfique pour l'inclinaison de la proue que pour celle de la poupe, comme le montrent nos deux petits tableaux de résultats expérimentaux, alors que le calcul suivant la méthode de M. Newton réversible, laisserait augurer des mêmes résultats pour poupe et proue.

< " En voyant la supériorité des proues sur les poupes et sachant en outre que les premières diminuent d'autant plus la résistance qu'elles sont plus aiguës, il semble que si l'on avait à mouvoir dans l'eau, un corps ayant une extrémité obtuse et une qui le serait moins, ce serait cette dernière qu'il conviendrait de mettre en avant, cependant l'expérience apprend que c'est tout le contraire. Et ce fait, Chappmann, célèbre ingénieur suédois, l'avait comme démontré depuis longtemps par plusieurs expériences rapportées dans son Traité de la Construction des Vaisseaux.

Au reste, la nature a fourni des exemples à ce sujet, dans la forme qu'elle a donnée aux poissons, ils sont plus gros vers la tête que vers la queue " > ⁽⁹⁾.

< Ah la nature et la tradition séculaire, sont bien aussi nos maîtres à penser pour la conduite des vaisseaux, dit M. Pitot de l'Académie Royale des Sciences. Tourville, Jean Bart, Duquesne, Dugaytrouin, en savaient plus sur la manœuvre des vaisseaux que le plus habile mathématicien. " Le Père Pardies est le premier qui ait entrepris d'en donner quelques notions. Elles se trouvent à la suite d'un traité du Mouvement Local et des Forces Mouvantes, qu'il fit imprimer en 1671, mais ses tentatives ne furent pas heureuses. Il est rare, même dans les sciences exactes, que ceux qui défrichent fassent autre chose que de préparer la voie à ceux qui les suivent ".

" M. le Chevalier Renaud, plus habile dans la pratique de la navigation, vint ensuite et publia un traité plus étendu de la Théorie de la Manœuvre en 1689 ".

" Deux ou trois ans après, le Père Hotte, fit imprimer à Lyon, un autre petit ouvrage sur cette matière dans un Recueil de Traité de Mathématiques, mais comme vraisemblablement il suivit le Père Pardies et M. le Chevalier Renaud, il donna dans les mêmes faux principes. "

Vous-même " M. Bernoulli, l'un des plus grands géomètres de ce siècle, prites alors parti en faveur de M. le Chevalier Renaud. Mais, quelques années après, on vous vît vous ranger du côté de M. Huyghens " et en 1674 vous publiez " une Nouvelle Théorie de la Manœuvre fondée sur des principes incontestables, mais autant elle est propre à contenter les géomètres, autant elle l'est peu à satisfaire le commun des marins ".

Pour ma part, j'ai beaucoup travaillé sur le mouvement d'un vaisseau et les principes de la manœuvre, cherchant à déterminer les meilleures conditions de positions de la voile et de trouver l'angle de dérive >.

< Ah, Cher M. Pitot, avec votre ouvrage sur la théorie de la Manœuvre des Vaisseaux, dit le citoyen Lagrange, j'ai découvert en vous des aspects méconnus et insolites. Bien sûr, tout le monde vous connaît comme l'inventeur du tube recourbé qui sert à mesurer les vitesses. Certains, les méridionaux surtout, savent que vous avez été aussi le successeur de Paul Riquet à la direction du Canal du Languedoc, mais j'ai été séduit par la grande jeunesse de votre texte sur la navigation à voile, la modernité de votre style alerte, les chapitres courts et incisifs, très variés (puisque vous traitez même de l'hydrodynamique de la rame) et l'élégance des généralisations (qui sont parfois téméraires) avec la superposition de l'application des formules de la percussion pour obtenir la force mouvante résultante sur un

grand voilier toutes ailes déployées puisqu'il faut, en réalité, bien tenir compte des sillages et des interactions >.

Citoyen Lagrange, vous venez de dire que M. Pitot a été mon successeur à Toulouse et vous nous fournissez ainsi une excellente transition pour parler des canaux, dit l'intendant des finances Paul Riquet. Bien sûr, à propos de canaux, je ne veux point oublier les magnifiques travaux réalisés pour l'irrigation ou la distribution d'eau, tels les magnifiques ouvrages réalisés en Provence et au Portugal.

< M. Riquet, à propos de votre œuvre, permettez-moi de répéter ce que je disais à la séance des Etats de Bretagne, le 22 décembre 1784 (c'est M. Rosnyvinen de Pire, le fils, membre de l'ordre de la noblesse qui parle). " Le fameux Canal du Languedoc, exécuté sous le règne de Louis XIV, est en l'aveu des écrivains les plus éclairés, un de ces monuments qui entraîne son siècle à l'immortalité.

Ce canal porte le bonheur, suite de l'abondance et des richesses dans les pays qu'il parcourt.

Qu'il me soit permis, Messieurs, de fixer un moment votre attention sur les obstacles qu'il a fallu vaincre pour communiquer au port de Sète, couper la montagne qui sépare de l'étang de Thau :

à Béziers, 7 écluses accolées pour franchir 60 pieds,

le canal passe sous la montagne de Malpas et dérobe sous lui l'écoulement d'un marais,

passé en aqueduc sur une rivière ou passe sous un autre aqueduc,

à son point de partage à Naurouze, il se trouve alimenté des eaux du bassin de Saint-Ferréol.

Louis XVI a adopté un plan plus vaste : c'est la jonction par l'intérieur de toutes les mers et la communication des quatre extrémités du Royaume faisant tout correspondre à Paris à la Loire.

Tous les Souverains, tous les Gouvernements connus, ont adopté le même rythme de navigation intérieure.

L'empereur s'occupe de faciliter la navigation sur les fleuves qui arrosent ses états. Les efforts qu'il fait pour la liberté de l'Escaut vous sont connus.

Le Roi de Suède a fait recreuser le canal d'Orebro.

Le Roi du Danemark a fait faire un canal qui joint la Mer du Nord à la Mer Baltique.

Le Roi de Prusse réunit ses rivières principales. La Pologne fait communiquer la Mer Baltique à la Mer Noire.

L'Italie cherche à dessécher les Marais Pontins.

L'Ecosse, à l'exemple de la France, fait ses canaux particuliers, les grands possesseurs les font à leurs frais, en demeurent propriétaires et exemptent leurs vassaux de tous droits.

L'Angleterre travaille à enrichir la Tamise par de nouvelles communications. L'Irlande, malgré ses secousses politiques, vient de faire vérifier l'heureuse situation de ses rivières qui lui permettent de réunir le nord au sud, le levant au couchant.

La Nouvelle Angleterre, à peine libre, s'occupe des mêmes travaux " >.

Merci d'associer mon jeune pays à l'essor industriel de la vieille Europe, dit Robert Fulton, cet éminent ingénieur américain fort apprécié du Directoire, Exécutif de la République Française. Mais c'est vrai que le plus considérable de ces ouvrages de navigation est peut-être le canal du Languedoc ; " je dis le plus considérable, non seulement à cause de sa longueur et de son importance, mais à cause des belles et grandes dimensions qu'on a suivies dans son établissement. C'est en effet, d'après ce modèle, qu'on a construit tous les canaux exécutés jusqu'à ce jour. Il a servi à démontrer l'utilité des sas d'écluses, réservoirs aqueducs, canaux

⁽⁹⁾ D'Aubuisson, *op. cit.* p. 315.

souterrains, etc..., et à faire adopter le système qui a été suivi. Ce canal, qui ouvre une communication entre la Méditerranée et la baie de Biscaye, a 192 miles de long, il commence par un réservoir de 4 000 pas de circonférence (le bassin de Saint-Ferréol) et contient 104 sas d'écluses de 8 pieds de chute chacun. Il fut commencé en 1666 et fini en trois ans de temps environ sous Louis XIV par François Riquet "... < Non pardon, par Pierre Paul Riquet, rectifie le fermier général des gabelles toulousain >. < " La dépense monta à plus de 13 millions de livres. Lorsque ce grand ouvrage fut fini, on alloua les droits de passage à Riquet, comme une récompense de son mérite et pour lui faciliter les moyens d'y faire les entretiens nécessaires " >.

< Eh oui, murmure Pierre Paul de Bonrepos-Riquet à son voisin, ce n'a pas été du tout une mauvaise affaire pour moi qui n'entendait ni grec, ni latin et qui était peu instruit en mathématiques, comme je l'avouais à M. De Colbert, dans ma lettre historique du 15 novembre 1662, mais j'étais un brasseur d'affaires et un entrepreneur ; j'ai créé un port de mer, Sète, j'ai fourni la proposition la plus hardie pour donner des eaux à Versailles à partir de la Loire et j'ai concouru pour les travaux d'adduction des eaux à l'Ourcq à Paris. " Vous vous étonnez qu'un homme de gabelle se même de nivelage " mais c'est que l'essentiel en cette affaire, est d'alimenter le canal par le haut, les eaux parvenant par gravité de la Montagne Noire jusqu'au point de partage, le seuil de Naurouze.

Bien sûr, après, j'ai été tout de même obligé d'ajouter de ma poche deux millions de livres aux deniers royaux pour achever la construction.

C'est vrai que le coût total dépassa largement les 13 millions annoncés par l'ingénieur Fulton. Le devis initial était de 8 millions et l'on arriva à 17 millions de livres à l'achèvement du canal, dont l'acquis la propriété par concession royale pour 300 000 livres plus 100 000 livres pour le monopole de l'exploitation future ; or, ma comptabilité montre des revenus annuels, certes fort fluctuants, mais avoisinant 300 000 livres en moyenne.

Est-ce le caractère aléatoire de l'entreprise et des revenus qui a donné l'idée du Jeu du Canal Royal dédié à son Eminence le Cardinal Archevêque de Narbonne, un jeu de dés cousin du jeu de l'oie et consistant à sauter d'écluse en écluse. Comme vous le voyez, après les critiques, les médisances, les envies, dans notre midi, tout finit par le jeu et la plaisanterie >.

< " Mais la défense de l'argent de l'Etat n'est pas une plaisanterie, rétorque sévère, M. De Chezy, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées de France. J'ai eu à m'occuper, avec M. Coulomb, Capitaine du Corps Royal du Génie des opérations relatives à la navigation intérieure de Bretagne, dont ont délibéré les 29 et 30 janvier 1783 les Etats au vu de nos rapports en limitant le plus possible des travaux pour assurer, néanmoins, en tous temps, quatre pieds de hauteur d'eau dans le lit de la rivière " ou du canal >.

< Oui renchérit l'Abbé Bossut, " il faut donner aux canaux le plus de largeur et de profondeur possible, mais sans se jeter dans des dépenses superflues. En effet, un canal est un objet d'utilité et non un instrument d'ostentation " >.

Oui, et ces grands canaux avec ces magnifiques écluses entraînent une bien grande dépense d'eau, dit Robert Fulton, cet éminent ingénieur américain. Et en l'an VII, j'ai publié à Paris, chez Dupain-Truel, Libraire, une traduction de mes recherches sur les moyens de perfectionner les canaux de navigation et sur les nombreux avantages de petits canaux. Le citoyen Barras, Président du Directoire Exécutif, m'a d'ailleurs délivré un " brevet d'invention " le 29 Pluviose,

l'an 6, de la République Française une et indivisible, pour jouir dudit brevet pendant 15 ans dans toute l'étendue de la république ".

Je propose une description détaillée de machines à la faveur desquelles on établirait les communications navigables à travers les pays les plus montueux sans le secours de sas d'écluses et des ponts-aqueducs. Pour y suppléer, on propose d'espacer convenablement les biez du Canal et de les unir par des plans inclinés d'une pente douce et réglée, garnis de bandes de fer sur lesquels on ferait marcher des bateaux de deux tonneaux. Pour passer d'un biez à l'autre, chaque bateau devrait être porté sur deux roues d'environ 6 pieds de diamètre et tiré par un cheval, de la naviguer jusqu'au ressaut suivant. Ce plan de canal était certainement un bon milieu entre la navigation et le roulage ". Mais les frais que nécessiteraient les chevaux monteraient par an, à la somme de 7 000 livres sterling pour un transport journalier de 400 tonneaux. Je m'ingéniais donc à me passer de tout l'attirail des chevaux, en imaginant d'utiliser une roue mue par les eaux du biez supérieur, puis en utilisant comme moteur un volume d'eau qu'on ferait descendre le long d'un plan incliné (mais " lord Statiope m'apprit que je m'étais rencontré dans cette idée avec M. Edmond Leich, qui l'avait proposé depuis 16 ans "). Finalement, j'optai pour un poids descendant verticalement >.

< En somme, c'est une sorte d'ascenseur pour bateau, remarque M. Riquet, et dans le fond l'idée du plan incliné n'est pas très loin de celle de la pente d'eau et du coin d'eau qu'on pourra utiliser plus tard en grand sur mon canal du Languedoc à Montech par exemple >.

< A propos de navigation dans les canaux, j'aurai aimé parler des nouvelles expériences sur la résistance des fluides réalisées avec MM. d'Alembert et Condorcet pour juger de l'influence de la largeur et de la profondeur du canal étroit >.

< C'est vrai, les expériences de l'Abbé Bossut sont très instructives, confirme le Chevalier Dubuat, et après les avoir analysées, j'ai trouvé qu'ici " encore la résistance croissait comme le carré des vitesses, qu'elle ne dépendait ni de la forme du canal ni de celle du corps flottant, mais seulement du rapport entre leurs sections " (il s'agit évidemment de la section immergée pour le corps flottant) et j'ai proposé des formules de correction >.

< Permettez que je fasse une brève escapade hors de vos siècles, Messieurs, dit M. D'Aubuisson, pour vous parler de mesures que je fis sur des barques dans le canal du Languedoc avant 1840. L'une d'elles " chargée de 108 tonneaux, tirée par deux chevaux a parcouru 3 676 m en 1 h 15", c'est 0,8168 m par seconde un dynamomètre marquait au milieu de petites oscillations 120 kg ".

En appliquant la formule du Chevalier de Borda, j'arrivai à 229 kg " ainsi le résultat du calcul est presque double de celui de l'expérience " >.

< Voilà une observation qui confirme la qualité de mon canal, économe en dépense d'énergie animale, comme tout bon méridional, remarque Paul Riquet >.

< Mais dans l'hydraulique du transport, les canaux ne servent pas uniquement à acheminer des bateaux, ils servent aussi à transporter le fluide. Tout le monde ici est bien au courant des écoulements d'eau dans les canaux, mais qui est plus qualifié que M. Dubuat pour en parler ? demande d'Alembert >.

M. Chezy ne dit rien, mais attend l'occasion de décrocher d'un trait vif une formule acérée

$$(V = C \sqrt{R_H J}).$$

< A l'été 1780, j'entrepris une série de 23 expériences sur le

mouvement uniforme de l'eau dans un canal factice, construit de madriers, placé dans les fossés d'un ouvrage de fortification alimentés par les eaux de l'Escaut. M. De Prony, en combinant les résultats de nos expériences, a entrepris de déterminer une relation telle que :

$$H - \frac{v^2}{2g} = a \frac{cL}{s} (v^2 + bv)$$

où H est la différence de hauteur entre réservoirs amont et aval, v la vitesse moyenne, s la section mouillée, c le périmètre mouillé.

"Quelques années après, M. Eytelwein en suivant la marche de M. De Prony, mais en étendant ses observations sur 91 canaux et rivières, a trouvé :

$$a = 0,00036554 \quad \text{et} \quad b = 0,06638'$$

Quel luxe de chiffres pour des expressions bien imprécises ! pense le bon M. Franklin.

< La partie de la formule proportionnelle à la vitesse est due à la viscosité de l'eau. " Lorsque l'eau passe sur la surface d'un corps, elle mouille cette surface, c'est-à-dire elle en pénètre les pores et elle y est retenue, tant par cet engagement des molécules que par un effet de l'attraction moléculaire. La partie ou mince couche de la masse fluide qui est immédiatement en contact avec l'enduit, glissant et frottant sur lui, engrène ses molécules avec les siennes, elle y adhère et sa vitesse en est retardée. Par suite de l'adhérence des molécules fluides entre elles, ce retard, tout en diminuant graduellement, se communique de proche en proche aux couches adjacentes jusqu'aux filets les plus éloignés. La masse prend, en conséquence, une vitesse moyenne moindre que celle qui aurait lieu sans l'action des parois et sans la viscosité du fluide " > ⁽¹⁰⁾.

< Des conclusions similaires découlent de nos expériences sur les petits tuyaux " l'eau se meut d'autant moins vite qu'elle approche davantage d'être au terme de la congélation, et qu'au contraire elle coule beaucoup plus vite à mesure qu'elle s'en éloigne. L'eau salée coule moins vite que l'eau douce à la même température. L'esprit de vin coule sensiblement moins vite que l'eau à cause de sa viscosité ou de sa plus grande adhérence aux parois. Mais le mercure coule plus vite que l'eau ".

Comme nous avons fait des expériences avec des tuyaux sous l'eau, ou débouchant en l'air, et que nous avons trouvé la même dépense pour la même charge, " on tire la preuve que la pression n'influe point sur la résistance de l'eau qui coule dans un lit " >.

< Mais continue le Chevalier, nous ne sommes pas le premier à se préoccuper d'écoulement dans les tuyaux. " En 1732, M. Couplet donna, dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, des recherches qu'il avait faites lui-même sur les conduites d'eau de Versailles. La plupart des tuyaux qu'il employa étaient trop défectueux pour qu'on puisse compter sur leurs résultats. De son aveu, il n'y avait presque point de ventouses aux angles supérieurs. On sait, néanmoins, que cette précaution est indispensable pour prévenir la stagnation de l'air qui s'y cantonne ". Par contre " il eût été superflu de répéter les expériences déjà faites par M. l'Abbé Bossut, à l'exactitude et à la précision desquelles on ne peut rien ajouter ". Il faudrait aussi signaler l'expérience de l'Abbé Mariotte, mentionnée dans son traité du Mouvement des Eaux, 3^e Partie, 2^e discours. Et c'est aussi M. De Prony, qui

a proposé la formule de synthèse représentant le mieux l'ensemble des expériences :

$$H - \frac{V^2}{2g} = a \frac{cL}{s} (v^2 + bv)$$

avec

$$a = 0,00003485 \quad \text{et} \quad b = 0,0498$$

expression très semblable à celle rencontrée pour les canaux >.

< Eh bien, Messieurs, après l'hydraulique de l'effort et l'hydraulique du transport, voyons maintenant l'hydraulique du confort, pour laquelle je verrai triples maîtres-mots : sécurité, salubrité, satiété > annonce d'Alembert, et il continue :

< Sécurité tout d'abord, dans la maîtrise des rivières, salubrité ensuite avec l'hygiène des gens et des villes, par une alimentation en eau abondante et de qualité, satiété enfin par la multiplication des rendements des cultures suite à une irrigation bienfaisante >.

Ma foi, la domestication des cours d'eau n'est pas très loin de l'hydraulique du transport, remarque avec philosophie Paul Riquet. Ai-je été assez critiqué pour avoir bâti mon canal plutôt que de creuser endiguer, détourner des rivières, comme l'ont proposé, en Bretagne, MM. Chezy et Coulomb ? On a dit par exemple " que la rivière de Lers estoit un canal que la Nature avait fait, mais cette rivière est dans le milieu et dans l'endroit le plus bas d'une prairie, laquelle, pour peu qu'il fasse de pluie, est ordinairement inondée ". Mais n'ai-je pas fait déboucher mon canal dans la Garonne, me souvenant des lettres patentes du Roy, notifiées le 15 mars 1661, par lesquelles Sa Majesté accorde et octroie la permission d'établir à perpétuité sur la Garrone six basteaux de poste " pour aller tous les dimanches et jadis de la ville de Thoulouse en celle de Bordeaux, et ce en trois jours, conduits et gouvernés par un bon pilote et six rameurs " >.

< Mais que deviennent ces rameurs au moment des grandes crues, demande dubitatif il signor Torricelli. " L'Abbé Benoist Castelli, de qui j'ay ecte disciple, a le premier inventé cette doctrine de la mesure et l'usage des rivières et des eaux courantes et l'a doctement traitée " >.

< C'est bien vrai, renchérit Paul Riquet, j'ai lu admiratif le " Traité de la mesure des eaux courantes " du savant abbé, traduit par M. Saporta et imprimé à Castres près de Toulouse par Barcouda en 1664. L'Abbé a beaucoup réfléchi au gonflement dû à la pluie. Prenons par exemple son " Corrolaire troisième. Pendant que la rivière est basse, elle se trouve assez lente et partant le peu d'eau qui y entre va lentement et passe avec peu de vitesse et par conséquent occupe beaucoup de mesure (entendez de section mouillée), mais lorsque la rivière est déjà grosse, la nouvelle eau qui arrive la rendant encore plus vite est cause que la grande quantité d'eau qui furnie a moins de mesure et ne fait pas si grande hauteur ".

Affirmation confirmée dans le corrolaire 10 " Après rencontre de deux rivières, la mesure n'est pas la somme des deux mesures des rivières avant confluent à cause de l'augmentation des vitesses ".

Et tout à votre vérité scientifique bon Père Castelli, vous perdez l'indulgence évangélique quand vous parlez des évaluations des apports au Tibre faites par l'architecte Fontana et son neveu, en vue d'éviter à Rome des inondations terribles comme celle de 1598.

Bien sûr, l'eau entrée dans le Tibre n'a pas la même mesure que dans les canaux où Fontana l'a observée : " Là

(10) D'Aubuisson, *op. cit.* p. 126.

DELLA MISVRA DELL' ACQVE CORRENTI

DI D. BENEDETTO CASTELLI

Abbate di S. Benedetto Aloysio, e Matematico

DI PAPA VRBANO VIII^e

Professore nello Studio di Roma.

In questa terza edizione accresciuta del Secondo libro, e di molte curiose Scritture non più stampate.

ALL' ILL^{mo} E REV.^{mo} SIGNOR

ABBATE VRBANO
SACCHETTI.



In BOLOGNA, per gli HH. del Dozza. M. DC. LX.

Com licenza de Superiori.

THEORIE DES FLEUVES,

AVEC L'ART DE BÂTIR DANS LEURS EAUX
ET DE PRÉVENIR LEURS RAVAGES.

*Par Jean-Maye SILBERSCHLAG, Pasteur de Magdebourg,
& Membre de l'Académie Royale des Sciences de Berlin.*

Ouvrage traduit de l'Allemand. Par M. d'Au... Officier réformé.



A PARIS,

Chez CHARLES-ANTOINE JOMBERT, Libraire du Roi pour l'Artillerie
& le Génie, à l'Image Notre-Dame, rue Dauphine.

M. DCC. LXIX.

Avec Approbation & Privilège du Roi.

où lorsque Fontana ramasse les canes et les paulmes des mesures de ces fosses et rivières en un blot, il fait la même faute que feroit celui qui blotterait ensemble diverses monnoyes de différentes valeurs et de différentes pais mais qui seraient appelées d'un même nom... Et c'est pour cela que la façon ordinaire de mesurer les eaux courantes estant vague et indéterminée, me semble justement estre suspecte d'erreur puisqu'il faut que la mesure soit une, égale et déterminée >.

< Ah, Cher Abbé, que de vérités hydrologiques avons-nous en commun qui estompent nos différents théologiques, dit l'éminent Pasteur Silberschlag. Comme vous, la charité chrétienne m'a incité à m'occuper de la protection des personnes et des biens contre la fureur des eaux. Après avoir étudié la théologie, les mathématiques et la physique, j'enseignai les sciences naturelles au monastère de Bergen à Magdebourg et au Collège Royal de Berlin. En 1754, un petit événement donna une nouvelle orientation à ma vie. "A cette époque, le baron De Hohenthal proposa une question mise au concours pour laquelle il fallait rédiger un traité succinct. J'écrivis donc ce traité et mon écrit eut la chance de gagner ce prix en 1756. Ce petit ouvrage fut à l'époque traduit en français" sous le titre *Théorie des Fleuves* >. < Oui, dit le Baron De Hohenthal, "rien n'est plus important pour un pays arrosé de rivières que l'art de prévenir les ravages qu'elles font dans leurs débordements et de savoir bâtir dans les eaux les divers ouvrages que l'utilité publique ou particulière demande qu'on y construise. A quelle perte n'est pas exposé le possesseur d'un fonds situé sur un fleuve qui ronge journellement ses bords ? Une seule

plaine qui ne contient certainement pas vingt mille arpents a perdu depuis trois ans par les inondations la valeur de plus d'une tonne d'or" >.

Le docte pasteur reprend la parole < "Les savants ont longtemps cherché pourquoi il arrive presque toujours que quand les eaux commencent à baisser après les crues, elles passent sous les digues et vont à travers terre, noyer les terrains des environs... Chaque rivière est un grand lac qui s'étend sous la terre au loin, et dont la partie découverte que nous appellerons rivière n'est que le canal qui lui sert d'écoulement" >.

< Ah vous avez bien raison Monsieur le Pasteur, (bien que vous ne reconnaissiez point l'autorité de notre Saint-Père de Rome), dit le Père François de la Compagnie de Jésus et je décris comme vous moult choses merveilleuses dans mon livre paru en 1653 sur "la Science des Eaux qui explique en quatre parties leur formation, communication, mouvements et mélanges avec les arts de conduire les eaux et mesurer la grandeur, tant des eaux que des terres". Par exemple, à propos des sources "je tiens de Bacon, Chancelier d'Angleterre en son Histoire Naturelle où il écrit qu'en Ecosse, les pierres tirées des perrières situées sur le bord de la mer, ressentent le lieu de leur naissance, se trouvent humides et suent deux fois le jour et dans les marées hautes et dessèchent autant de fois aux marées basses". Ceci peut paraître magique, mais bien des choses naturelles sont merveilleuses, par exemple des cavités souterraines "sans elles toute communication cesserait et par conséquent toute production, et la nature qui ne peut souffrir l'oisiveté resterait sans agir. Je les réduis à deux sortes : les unes sont

comme tuyaux pour donner passage tant aux fumées de vapeurs et d'exhalaisons qui montent, qu'aux eaux formées qui descendent ; les autres sont comme matrices et servent de boutiques à cette grande ouvrière la nature, pour y travailler sur divers ouvrages. Quand telle eau descend en bas ou coule par quelque pente au travers des pores, c'est petit à petit, goutte à goutte et de plus elle a quelque résistance à passer par des pores si petits... " Si on tire plus d'eau d'un puits que les lieux voisins ne lui en donnent, on l'épuisera. Les puits dans les villes pleines de maisons difficilement peuvent être exempts des communications avec les eaux des lieux communs voisins. Épuisant un puits, on fait baisser les autres qui ont communication avec lui et ont commun le niveau de l'eau ". >

< C'est le coup du Père François, dit goguenard d'Alembert, mais revenons à la théorie des fleuves dont nous parlait le Pasteur Silberschlag. Vous avez été un précurseur de l'hydrologie physique en mesurant avec l'ingénieux système de Pitot, la distribution des vitesses avec la profondeur dans une rivière >. < Oui, j'ai aussi initié l'observation des niveaux des cours d'eau avec la mise en place des échelles fluviales pour faciliter la tâche des bateliers >. < C'est vrai, dit Eytelwein, nous devons beaucoup au Pasteur Silberschlag, et j'ai grâce à lui, intitulé un de mes ouvrages paru en 1798 : " De l'utilité des échelles de hauteur d'eau " et j'ai ensuite diffusé les tables indicatrices chaque jour de l'année. Ces tables sont donc un utile complément du Dictionnaire Hydrographique de Dielbreim, qui comme moi, était un enfant de Francfort >.

< A propos de Dictionnaire, puis-je rappeler qu'en 1787, M. Moithey, Ingénieur Géographe du Roy et Professeur de Mathématiques, a publié un dictionnaire hydrographique de la France, très intéressant et fort détaillé > dit M. d'Alembert, avant de faire glisser la conversation sur l'hydraulique urbaine toute jeune.

< Comment toute jeune ? Grecs et Romains avaient développé un confort hydraulique que leur envieraient beaucoup de citadins du XVIII^e Siècle >. < Oui, bien sûr, mais c'était une hydraulique qualitative et pragmatique, efficace certes, mais sans lois physiques clairement énoncées — ou du moins parvenues jusqu'à nous — alors que beaucoup parmi nous se sont préoccupés de proposer des formules de quantité, rectifie il signor Torricelli, et mon maître l'Abbé Castelli dans sa Dépendance Dixième sur la justice de la distribution d'eau aux fontaines montre que le débit ne varie pas seulement en fonction de la section, mais " que les eaux qui sortent de trous égaux sont en raison sous-double de leurs sublimités ou de leurs hauteurs ; le savant Rafael Magiotti a été le premier qui a recherché et découvert par expérience la vérité de ce corollaire et l'a confirmé par un heureux succès ", comme je l'ai indiqué dans mon Traité du Mouvements des Eaux >. < Il ne suffit pas de connaître les lois de l'écoulement, encore faut-il avoir assez d'eau à faire couler pour satisfaire les populations toujours plus nombreuses des grandes villes, dit Antoine de Chezy. Ainsi, moi, j'ai eu à m'occuper avec M. Perronet des projets d'élévation d'eau de Seine ou de dérivation des rivières voisines de Paris. Vous ne pouvez savoir la somme de difficultés rencontrées dans la réalisation de tels projets. Et pourtant, il s'agit d'une question vitale pour les populations, mais cachée par les privilèges des grands, des puissants, ou des malins.

Par exemple, savez-vous qu'en 1553, à Paris, il n'était distribué que 300 m³ d'eau par jour, dans une ville de 260 000 habitants >. < Oh, les pauvres gens, dit l'Abbé Bossut, cela fait à peine un litre par personne >. < Le bon roi Henri IV s'évertua à supprimer les concessions qui

branchaient sur les conduites publiques les tuyaux de desserte particulière et privilégiée, poursuit Chezy.

< En 1666, nouvelle révocation de toutes les concessions par quoi le scandale arrive, car alors que le peuple manque d'eau aux fontaines publiques, " plusieurs particuliers en abondent par des jets jaillissants et pour le plaisir ". La dépense est alors de 500 à 700 m³ par jour >. < Mais comment vivre, avec si peu d'eau et une si grande population ? demande Sir Isaac Newton >. < Allons dit flegmatique M. Franklin, n'oubliez Sir, que Paris est bâtie autour de son fleuve qui a même la bonne idée de traîner en méandres. C'est la corvée d'eau vers la rivière, comme au village >. < Eh oui, l'eau de la Seine, elle est là, en abondance et son élévation par des machines, dès 1669, améliore la situation... temporairement, puisqu'au début du siècle des lumières, il n'y a encore que 1 800 m³ offerts par jour aux 500 000 habitants de Paris. A partir de 1762, un homme de talent et de cœur, M. De Parcieux, défend devant l'Académie, un mémoire sur les moyens de conduire à Paris une partie de l'eau des rivières de l'Yvette et de la Bièvre. Le cher homme voit là un grand bien pour sa capitale car " une pareille quantité d'eau qui serait décuple de celle dont on jouit présentement serait avantageuse, tant pour l'usage ordinaire des habitants que pour la salubrité de l'air qui devient malsain dans certains quartiers trop resserrés et peuplés faute de la propreté que l'eau coulante dans les rues et celle qui serait distribuée dans les maisons pourraient y procurer ". L'intention est pure et généreuse, mais la concurrence d'idées et d'intérêt est nombreuse. N'est-ce pas M. Lavoisier, vous qui avez eu à discuter et comparer les projets de dérivation de De Parcieux et d'élévation par pompes à feu du Chevalier d'Auxiron >. < Oui, M. De Chezy et je me souviens de mon plaidoyer en mon âme et conscience devant l'Académie des Sciences en 1771, où je choisis la solution écologique déjà plus économique et qui épargnait aux parisiens les lourdes fumées des machines à charbon >. < Mais reprend M. De Chezy la polémique s'enflamme à nouveau avec les pompes à feu toutes modernes que les Frères Perier ramènent des ateliers anglais de M. Watt.

Ediles, population, toute l'opinion est ballotée pendant vingt sept ans sur le choix hydraulique et enfin sur une opération de conquête de marché bien menée, on choisit l'eau Perier qui reçoit lettres patentes du Parlement en 1777. Mais, très vite, l'action hydraulique glisse vers l'action boursière et dégringole dans le vaudeville avec la dispute en justice où s'affrontent Mirabeau le père dont l'élocution annonce bien le fils et Beaumarchais moins à l'aise en porteur d'eau qu'en Figaro. Tout cela pour aboutir à la royale nationalisation de la ferme hydraulique Perier après 1785. Voilà donc un petit bout d'histoire d'eau où les hydrauliciens furent mal mêlés aux financiers et aux politiques >.

< Même tribulation arriva au Portugal avec l'alimentation en eau de la ville de Lisbonne, dit l'ingénieur général Manuel da Maia. Vers 1740, avec ses 80 000 habitants, la capitale ne disposait que de 560 m³ (sept litres par habitant et par jour, heureusement qu'il y avait le Tage comme la Seine à Paris). C'était une vraie pénurie qui provoquait l'insalubrité de la ville et les invasions épidémiques. Après bien d'autres ingénieurs, je proposais d'utiliser comme les Romains, la Source des Aguas Livres de la Vallée de Carenque et de construire pour cela un aqueduc. Ce qui fut décidé par l'ordonnance du 12 mai 1731 du Roi Don Joao V. Mais le faste de l'ouvrage allongea beaucoup le délai d'exécution et la première eau ne franchit l'aqueduc qu'en 1748 avec un débit potentiel inconstant chutant de 25 000 m³ journaliers à 1 300 m³ en période de sécheresse.

Mais c'était un bel et bon ouvrage qui essuya vaillamment le tremblement de terre qui ravagea Lisbonne en 1755. Mais pour vous réconforter, Cher M. Chezy, sachez que mon rapport venait après un siècle de palabres, chicanes et tractations entre le Palais Royal, le Sénat de la Ville et les entrepreneurs nationaux ou étrangers, avisés ou naïfs, et qu'on alla même jusqu'à la levée d'un impôt nouveau en prévision des travaux de l'aqueduc >.

< Mais M. Chezy, M. Da Maia nous avons tout à fait le devoir de nous intéresser à la salubrité de nos villes et à la santé de nos concitoyens car les hydrauliciens peuvent beaucoup suivant ces objectifs, déclare M. Woltman, le Directeur des Travaux Publics Hydrauliques dans la République de Hambourg ⁽¹⁾. "Maintenant, voici ce qui peut être fait pour conserver l'état d'un air frais et salubre :

— premièrement, une propreté spécifique des maisons, rues, églises et places de marché,

— deuxièmement, il est recommandé de tenir fermées portes et fenêtres situées sur la façade sud et d'ouvrir celles du côté opposé à l'ombre pour profiter de la brise septentrionale,

— troisièmement, une influence générale avantageuse peut être obtenue par une pluie artificielle chaque matin, depuis le réservoir supérieur de chaque maison jusqu'à la rue,

— quatrièmement, les villes sujettes fréquemment à la fièvre jaune, devraient élargir les rues, déplacer les murs d'enceinte, drainer l'eau stagnante et desservir la ville par canaux et aqueducs en eau courante en abondance "

Ensuite, je suggère de changer d'air, suivant la saison, comme les poissons changent d'eau suivant la température. Par exemple, en été, aller à la montagne, loin de l'air chaud étouffant et inerte des villes écrasées de soleil >.

< Ah que voilà un sage conseil Herr Woltman et que devraient bien suivre, de temps en temps, ces hommes de la salubrité publique, discrets et efficaces, qui assurent, parfois au péril de leur vie, la vidange de ces réservoirs méphitiques où l'aisance n'est que fausse pour les vidangeurs >. C'est M. Parmentier qui parle, qui avec MM. Laborie et Cadet le jeune, tous trois Membres du Collège de Pharmacie, nommés Commissaires, ont en 1778 donné leurs "Observations sur les fosses d'aisance et moyens de prévenir les inconvénients de leur vidange". "L'importance de ce travail a déterminé le Gouvernement à en ordonner l'impression et la distribution". < Il s'agit bien sûr, là, d'une mécanique des fluides bien particulière. "Nous avons fait respirer des oiseaux dans cette vapeur et sur le champ ils tombaient morts. Un chat, qui eut le malheur de se rencontrer sous notre main, subit la même expérience et eut le même sort ". Pourtant "il existe sous la dénomination du Ventilateur, une compagnie dont l'entreprise est de priver la vidange des fosses de l'infection qu'elle répand lorsqu'elle est faite à la manière des vidangeurs. Le ventilateur maîtrisant la vapeur des fosses l'empêche de se répandre et la force d'aller se perdre dans le vague de l'atmosphère ". Mais on peut encore améliorer l'opération par le feu qui occupe la place de l'entonnoir du ventilateur et brûle la vapeur méphitique. " Nous avons fait respirer des oiseaux et des chats au-dessus des tuyaux qui conduisaient cette vapeur en dehors, et non seulement ils n'y ont plus respiré la mort ni l'asphyxie, mais ils n'ont paru même affectés d'une sensation incommode " >.

< Voilà un bel exemple de collaboration de la mécanique et de la chimie, dit M. Lavoisier et aussi une excellente occasion d'utiliser votre ventilateur à roue, M. Woltman, certainement plus efficace que les ventilateurs à trois soufflets, décrits par M. Parmentier >.

< Mais si la santé passe par la salubrité dans les villes, elle est tout d'abord fondée sur une alimentation saine et copieuse et donc sur l'efficacité de notre agriculture trop sujette encore aux caprices de la météorologie. Une sécheresse arrive, le prix du grain monte et la mortalité augmente dans nos hôpitaux. Mais tout peut changer avec l'arrosage des cultures >. < Cela fait belle lurette qu'on s'en occupe dans notre midi, s'exclame, avec un accent de thym et d'ail, Favre "Ingénieur au Pays de Provence". Philippe le Bel pensait-il à nous, en 1302, quand il créa la Maîtrise des Eaux et Forêts qui s'occupa surtout des chasses et des arbres. Même chose avec les fonctionnaires du Corps des Ponts et Chaussées, constitué en 1599, qui parlèrent plutôt canaux de navigation que canaux d'irrigation. Mais dès avant, un ingénieur du Pays de Provence, comme moi, Adam de Craponne, se cramponne à l'idée de faire ruisseler les eaux de la Durance dans la Crau. Et il en parle aux Consuls d'Arles, en 1561, après avoir réalisé un canalet en 1556, qui permit d'alimenter Salon. Cette idée le ruine, et en 1571, il abandonne œuvre et droits concédés par le Roi Henri II >. < Pauvre Adam de Craponne, son échec le tue ou presque en 1576, dit Riquet, mais rendons-lui l'hommage posthume d'avoir réalisé en quelque sorte un modèle réduit, car son expérience m'a bien servi dans l'établissement du Projet du Canal du Languedoc >.

< Mais ensuite, il pousse des canaux partout : d'abord l'héritier de Craponne, le fameux canal de la branche d'Arles avec ses 42 km de long et ses 4 m de large, puis les canaux des Alpilles, le Canal de Preynes, celui de Gap, et toujours le projet du Canal de Marseille. Le 10 Fructidor de l'An III (12 août 1795), une solution révolutionnaire est proposée par les Citoyens de Gap au Directoire, le transfert de bassin des eaux du Drac, affluent de l'Isère vers Gap et le bassin de la Durance, mais il faudra près d'un siècle et bien des avatars.

Ah, il faudrait de longues veillées d'hiver pour raconter les longues histoires picaresques de ces canaux provençaux. De l'hydraulique certes, mais surtout de la géométrie (du nivellement) et de l'arithmétique du partage des eaux... et des frais. C'est la lutte entre le moulin et le jardinier qui doit se plier aux horaires flexibles des procès inflexibles : du jeudi six heures au vendredi douze heures pour les arrosants d'Eyrargues, du vendredi douze heures au dimanche même heure pour ceux de Chateaufort, du samedi douze heures au dimanche minuit pour les melons du Béal de Senas. Et aux moulins à farine, à huile et à foulons, la part du lion >.

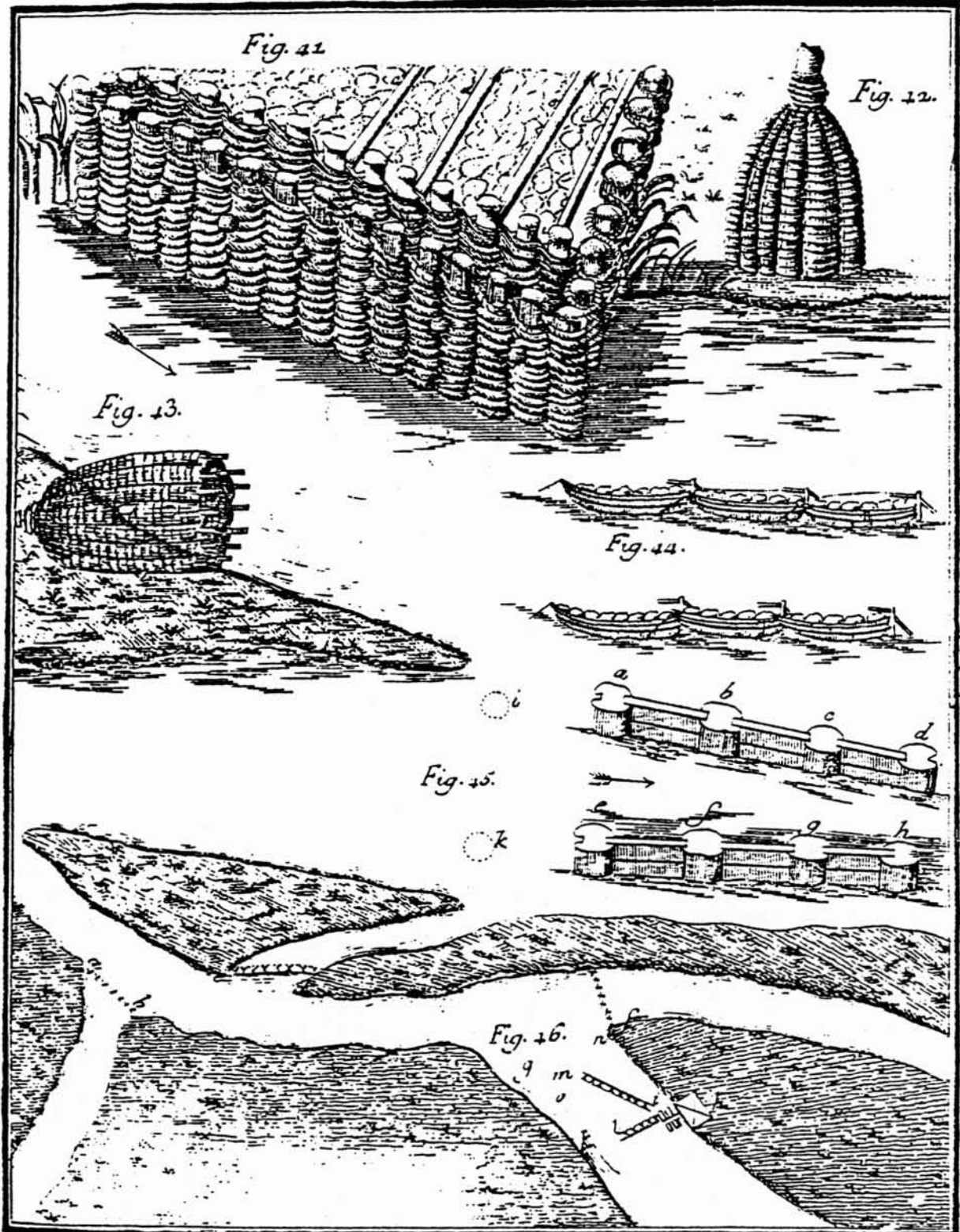
< Ah, ces droits à l'eau, dit le Marquis de Pombal, chez nous, au Portugal, ils ont été exacerbés avec l'arrivée des cultures révolutionnaires indiennes ramenées par les caravelles de Christophe Colomb ou de ses successeurs. Le maïs prodigue remplace le blé parcimonieux, mais il a grand soif en été, d'où l'éclosion d'aqueducs, canaux, rigoles. En effet, le maïs et le millet ont par rapport au blé, le goût paradoxal d'aimer ensemble l'été et l'eau. Et ainsi, sur les 650 000 ha irrigués pendant nos deux siècles, 500 000 ont été colonisés par le millet ou maïs et une autre portion par la pomme de terre, appréciée seulement par le bétail et boudée par la population, malgré la disette. Ah !, le bon peuple n'a pas le goût de l'exotisme culinaire, soupire le Marquis de Pombal >.

< Mais il faut savoir le tenter à la façon de Machiavel, dit le brave pharmacien Parmentier, trop homme de terre pour méconnaître l'esprit de tradition populaire. Par exemple, moi j'ai fait planter des patates, et la nuit j'ai fait semblant de les faire garder par des soldats, tournant le dos aux voleurs occasionnels qui venaient les déterrer >.

< Mais l'homme ne vit pas seulement de pain et d'eau. En

Theorie des Fleuves

Planche VII.



plus, il lui faut le rêve et le divertissement. Aquam et circenses. Et notre époque a fait couler la prodigalité en fêtes et jeux d'eaux. Fontaines de Rome, bassins en cascade de Petrovoretz, grandes eaux de Versailles, avez-vous été la consolation pour le bon et pauvre peuple qui devait traîner son seau depuis la rivière ou vivre dans l'insalubrité des cloaques urbains ? Et toi, bon et pauvre peuple, as-tu été assez sensible à la trajectoire parabolique des gouttes d'eau de Torricelli qui sont comme "des petites boules pesantes attachées les unes aux autres", aux expériences et discours de l'Abbé Mariotte sur les règles pour les jets d'eau, au corollaire seizième de l'Abbé Castelli à propos des jets d'eau qui "sont déliés à l'issu du tuyau et puis en montant ils se font plus gros, ainsi qu'on le voit et la raison en est manifeste d'autant qu'au commencement leur mouvement est assez vite mais après il se ralentit peu à peu".

Ton esprit s'est-il délié avec le filet émergeant ? Ton âme s'est-elle épanouie avec le jet à son apogée ? >. < Ah ça, Citoyen Lagrange, vous croyez-vous à la Tribune de l'Assemblée Nationale ou au Club des Girondins ? >. < Mais il a raison, dit Daniel Bernoulli. L'hydrodynamique dialectique n'a-t-elle pas montré que les grandes masses d'eau prolétariennes au sortir des géôles des bassins sous l'effet de groupes de pression, aspiraient à monter au même niveau égalitaire, quel que soit le pays et la couleur du liquide, en vertu du grand principe universel des forces vives démocratiques. >

< Messieurs, la lassitude vous gagne, remarque avec douceur la Marquise de Chastelet >. < Mais non, tout va très bien, Mme la Marquise, tout va très bien, mais nous devons conclure, dit péremptoire Jean le Rond d'Alembert.

Dans ce divertissement hydraulique, nous pouvons essayer de suivre l'exemple pédagogique du Grand Galilée qui enseigne par le Dialogue, permettant l'affrontement des points de vue parfois, leur maturation par l'infusion des idées souvent.

Chacun a sa personnalité, et pourtant il doit tellement aux autres dans sa création intellectuelle. Certains ont été fort discrets dans ce dialogue, pour laisser parler les autres ; cependant, nous savons que nous leur devons beaucoup. N'est-ce pas M. Pascal ⁽¹⁾, "qu'on doit regarder comme un prodige de sagacité et de pénétration, auteur d'un traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de l'air qui nous a ouvert une science nouvelle, génie universel et sublime dont les talents ne pourraient être trop regrettés par la Philosophie, si la Religion n'en avait pas profité".

"A l'égard de la métaphysique, il paraît que Newton ne l'avait pas entièrement négligée. Il était trop grand philosophe pour ne pas sentir qu'elle est la base de nos connaissances" ⁽¹¹⁾.

"Newton, à qui la route avait été préparée par Huyghens, donna à la Philosophie une forme qu'elle semble devoir conserver. Ce grand génie, vit qu'il était temps de bannir de la Physique la conjecture et les hypothèses vagues et que cette science devait être uniquement soumise aux expériences de la géométrie. Il enseigna tout ensemble et à distinguer les causes de leurs mouvements et à les calculer avec exactitude, qu'on n'aurait pu exiger que du travail de plusieurs siècles".

Quelle différence avec M. Descartes, comme le souligne M. de Fontenelle ⁽¹²⁾.

"Les deux grands Hommes qui se trouvent dans une si grande opposition (à propos des tourbillons), ont eu de

grands rapports. Tous deux ont été des génies du premier ordre, nés pour dominer sur les autres Esprits et pour fonder des Empires. Tous deux, Géomètres excellents, ont vu la nécessité de transporter la Géométrie dans la Physique. Tous deux ont fondé leur physique sur une Géométrie qu'ils ne tenaient presque que de leurs propres lumières. Mais l'un prenant un vol hardi, a voulu se placer à la source de tout, se rendre maître des premiers principes par quelques idées claires et fondamentales pour n'avoir plus qu'à descendre aux phénomènes de la Nature, comme à des conséquences nécessaires. L'autre, plus timide ou plus modeste, a commencé sa marche par s'appuyer sur les phénomènes pour remonter aux principes inconnus résolu de les admettre, quels que les put donner l'enchaînement des conséquences. L'un part de ce qu'il entend nettement pour trouver la cause de ce qu'il voit. L'autre part de ce qu'il voit pour en trouver la cause, soit claire, soit obscure. Les principes évidents de l'un ne le conduisent pas toujours aux phénomènes tels qu'ils sont. Les phénomènes ne conduisent pas toujours l'autre à des principes assez évidents. Les bornes qui, dans ces deux routes contraires ont pu arrêter deux hommes de cette espèce, ce ne sont pas les bornes de leur Esprit mais celles de l'Esprit humain".

Grâce à M. Descartes et M. Newton, on change de monde, de celui de la connaissance scholastique et subjective à celui de la science moderne et objective.

"L'esprit d'hypothèse et de conjecture pouvait être autrefois fort utile, parce qu'alors il s'agissait encore moins de bien penser que d'apprendre à penser par soi-même. Mais les temps sont changés. L'esprit de système est dans la physique ce que la métaphysique est dans la Géométrie. S'il est quelquefois nécessaire pour nous mettre dans le chemin de la vérité, il est presque toujours incapable de nous y conduire par lui-même. Eclairé par l'observation de la nature, il peut entrevoir les causes des phénomènes, mais c'est au calcul à assurer pour ainsi dire l'existence de ces causes en déterminant les effets qu'elles peuvent produire et en comparant ces effets avec ceux que l'expérience nous découvre" ⁽¹³⁾.

Et à ce propos, les générations qui nous suivront et qui disposeront de moyens de calcul insoupçonnés, rendront grâce à Léonard Euler de nous avoir fourni l'arme absolue des équations différentielles des mouvements des fluides.

Ainsi donc, à partir de maintenant, l'hydrodynamique qui est "la physique, est donc uniquement bornée aux observations et aux calculs".

Le principal mérite du physicien serait, à proprement parler, d'avoir l'esprit de système et de n'en faire jamais. Cet esprit de système de l'expérience ou méthodologie expérimentale, Galilée ⁽¹⁴⁾ le précurseur, le développa jusqu'au paradoxe puisqu'il proposa la preuve des expériences sans les faire. Témoin, l'histoire du bateau et du mouvement relatif. Truculent et persuasif, Salviati, l'homme de confiance créé par Galilée ⁽¹⁵⁾ dans ses Dialogues, fait de la prestidigitation. Un bateau à l'arrêt ou en mouvement uniforme, un seau percé qui perd son eau goutte à goutte, voilà des arguments hydrauliques imaginaires suffisants pour prouver le principe de l'inertie. "Même sans expérience, je suis sûr que l'effet s'ensuit comme je vous le dis, parce qu'il est nécessaire qu'il en soit ainsi". O le magnifique talent socratique de ce génie révolutionnaire qui choisit la pudeur de l'humour pour enseigner ses découvertes révolutionnaires

⁽¹¹⁾ D'Alembert, *Préambule à l'Encyclopédie*.

⁽¹²⁾ Fontenelle, *Eloge de M. Newton*.

⁽¹³⁾ D'Alembert, *Préambule à l'Encyclopédie*.

⁽¹⁴⁾ Galilée, *Dialogo II*.

⁽¹⁵⁾ Galilée, *l'Essayeur 1623*.

et apprendre aux hommes à lire dans la Nature. Lui l'essayeur qui dit que " la philosophie est écrite dans ce très grand livre qui se tient constamment devant les yeux (je veux dire l'univers) mais elle ne peut se saisir si tout d'abord on ne saisit point de la langue et si on ignore les caractères dans lesquels elle est écrite. Cette philosophie est écrite en langue mathématique sans laquelle on ne fait qu'errer dans un labyrinthe obscur ".

Philosophiae naturalis principia mathematica ! O merveilleuse solidarité scientifique dans le temps, dans l'espace ! Newton aurait-il pu être ce qu'il est sans Galilée ? Et Bernoulli sans Newton ? Et Euler sans Bernoulli ?

Avec nos deux siècles, l'Hydraulique a parcouru l'Europe en tous sens, Descartes est à Amsterdam, Bernoulli et Euler à Saint Pétersbourg, Newton est reçu à l'Académie Royale de Paris, Bernoulli concourt de nombreuses fois pour un prix à l'Académie des Sciences de Paris, les Mémoires de Lagrange sont reçues par les Académies de Berlin et de Turin, le Pasteur Silberschlag vient visiter les canaux français, l'ingénieur Fulton est comme Conseiller Technique auprès du Directoire, Franklin voyage et écrit dans toute l'Europe. Mobilité des hommes et mobilité des idées qui s'affûtent et se reculent, s'affinent et se peaufinent, s'imprègnent et se déteignent par le verbe, l'épître et le livre. Qui dira assez l'effet de transhumance scientifique dû aux dévouements des traducteurs et à l'esprit d'initiative et de risque des imprimeurs. Ainsi, Messieurs, grâce à eux, ces Siècles de Lumière sont aussi ceux de la communication qui, de votre génie et de votre travail a pu transmettre l'héritage aux jeunes générations d'Hydrauliciens >.

En un clin d'œil, perruques poudrées et souliers dorés disparurent. La lumière drue et crue avait réapparu. Le rêve s'était évaporé.

Après-Propos

Je remercie la Marquise de Chastelet, Messieurs les Abbés Mariotte, Castelli, Bossut, MM. d'Alembert, d'Aubuisson, Bernoulli, Du Buat, Fontenelle, Lagrange, Newton et bien d'autres esprits supérieurs d'avoir aimablement abandonné leurs droits d'auteurs.

Ma fréquentation des hydrauliciens du passé a été grandement facilitée par la courtoisie des Services de la Bibliothèque Nationale de France, des Archives de l'Académie des Sciences de Paris, du Fonds Ancien d'Electricité de France, de la Bibliothèque Municipale de Toulouse, du Centre de Documentation Pédagogique Régional de la Haute-Garonne, de la Bibliothèque de l'Université Paul Sabatier de Sciences et Médecine.

Dois-je dire aussi que cette découverte de l'histoire hydraulique est passée par la découverte tonique du dévouement simple et efficace des personnalités telles que le Chanoine Louyat, Président de l'Académie des Sciences et Belles Lettres de Toulouse et le Professeur Costabel du Centre Alexandre Koyré d'Histoire des Sciences.

Nombreux sont ceux qui m'ont communiqué informations et suggestions parmi lesquels :

- le Professeur Jean Nougare, Président de l'Institut National Polytechnique de Toulouse,
- le Professeur Garbrecht de l'Université de Brunswick,
- M. Pierre Cazenave, Directeur de l'Équipement Electro-mécanique à la Compagnie Nationale du Rhône,
- M. Clément, Directeur Général du Canal de Provence,
- M. Haffenus, Directeur à la Sogreah,

— le Laboratoire National d'Hydraulique du Portugal et Empresa Publica de Aguas Livres de Lisbonne,

— Mlle Cardot, Responsable du Service Histoire de l'Electricité à E.D.F.,

— Mme Gachon, Conservateur en Chef de la Bibliothèque U.P.S. et Mme Marinot,

— M. Peligry, Conservateur en Chef de la Bibliothèque Municipale de Toulouse,

— M. Jean Bouloc, Directeur à la Société Géohydraulique,

— M. le Professeur Boulaine de l'Ecole du Génie Rural,

— M. Alquier, Professeur à l'E.N.S.E.E.I.H.T.,

— M. Chassaing, Professeur à l'E.N.S.E.E.I.H.T.,

— M. Galy-Fajou, Professeur d'Allemand, et ses étudiants pour la traduction aimable et précise de quelques textes historiques.

L'illustration et la préparation matérielle de la conférence a bénéficié du concours de :

— M. Brunato, le photographe de l'Institut de Mécanique des Fluides, dont le dévouement fut inlassable et pourtant mis à rude épreuve,

— M. Lemozy, grand voyageur,

— M. Maneglier, de l'Agence Seine-Normandie,

— Monique et Solange Tap,

— M. Habaiëb,

— M. Daniel Lemarchand,

— Mme M. H. Puech et Mme M. L. Tison pour la rude tâche de la dactylographie et de la mise en page,

— MM. Bernard, Cans et Valentian, pour l'édition du rapport,

et l'ami oublié qui m'apporta son aide cordiale au bon moment.

Enfin, je veux encore rendre hommage à mon ami Jean Chevalier, Vice-Président de l'A.I.R.H., dont l'enthousiasme, la gentillesse et le dévouement firent que je ne sus pas refuser le risque de cette gageure historique et qui m'a ainsi incité à flâner à travers la pensée de nos Maîtres des hydrauliques de jadis et naguère.

Bibliographie

ALEMBERT J. d', 1774. — *Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides*. A Paris chez David l'Aîné Libraire, rue Saint Jacques à la Plume d'Or.

ALEMBERT, CONDORCET, BOSSUT abbé d', 1777. — *Nouvelles expériences sur la résistance des fluides*. A Paris, rue Dauphine, Chez Claude-Antoine Jombert, Fils Aîné, Libraire du Roi pour le Génie et l'Artillerie.

DIDEROT, d'ALEMBERT, 1751. — *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des Sciences des Arts et des Métiers par une Société de gens de lettres*. A Paris, Chez Briasson, rue Saint Jacques à la Science, Imprimé à Paris, rue Dauphine chez Jombert, Libraire du Roi pour l'Artillerie et le Génie à l'Image Notre Dame, David l'Aîné rue Saint Jacques à la Plume d'Or, Le Breton Imprimeur ordinaire du Roy, rue de la Harpe, Durant rue Saint Jacques à Saint Landry du Griffon.

AUBUISSON DE VOISINS, J. d', 1840. — *Traité d'Hydraulique à l'usage des Ingénieurs*. Paris chez Pitois Levrault et Cie, rue de la Harpe, n° 81.

BELIDOR, 1737. — *Architecture hydraulique ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie*. A Paris, rue Saint Jacques,

- Chez Charles-Antoine Jombert, Libraire de l'Artillerie et du Génie à l'Image Notre Dame avec approbation et privilège du Roy.
- BELIDOR, 1760. — *Dictionnaire portatif de l'Ingénieur*. A Paris, chez Charles-Antoine Jombert, Imprimeur, Libraire du Roi pour l'Artillerie et le Génie, rue Dauphine à l'Image Notre Dame.
- BERNOULLI D., 1725. — *Discours sur la manière la plus parfaite de conserver sur mer l'égalité du mouvement des clepsidres ou sabliers*. Paris chez Jombert.
- BERNOULLI D., 1738. — *Hydrodynamica*. Typis Hoh Henr Deckeri, Typographie Basiliensis.
- BERNOULLI D., 1740. — *Traité sur le flux et le reflux de la mer adressé à Messieurs de l'Académie Royale des Sciences pour concourir au Prix de 1740*.
- BOSSUT Abbé, 1764. — *Recherche sur la construction la plus avantageuse des digues*. Ouvrage qui remporte le Prix de l'Académie Royale des Sciences Inscriptions et Belles Lettres de Toulouse pour l'année 1762, Imprimé à Paris, rue Dauphine chez Jombert Libraire du Roi pour l'Artillerie et le Génie à l'Image Notre-Dame.
- BOSSUT Abbé, 1786. — *Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique*. A Paris de l'Imprimerie Royale.
- CARNTON R., 1982. — *L'aventure de l'encyclopédie*. Perrin, Paris.
- CARRA DE VAUX Baron, 1907. — *Philosophes et penseurs : Newton*. Paris : Bloud et Cie.
- CASTELLI D.B., 1660. — *Della misura dell'acqua corrente*. Bologna per gli H. H. del Dozza con licenza de Superiori.
- COSTABEL P., 1984. — *Correspondance particulière sur Newton*.
- CHASTELET Marquise du, 1759. — *Principes mathématiques de la philosophie naturelle par feu Mme la Marquise du Chastelet*. Tome I à Paris Dessaint et Saillard, Lambert Imprimeur Libraire, MDCCLIX.
- DAMAYA M., 1731. — *Considerações sobre o projecto da conduçao das aguas chamadas livres ao bairro alto e explanações sobre as mesmas considerações offerecidas ao Sr. D. Joao S.*
- DELATTRE, 1957. — *L'utilisation de la force de l'eau à travers les âges*. Discours de réception à l'Académie de Lyon.
- DUBOIS L., 1931. — *L'ingénieur hydraulicien au XVIII^e siècle. Un précurseur Belidor*. Notes sur l'Architecture Hydraulique de Bernard Forest de Belidor, Ingénieur français (1693-1761), Editions la Concorde, Lausanne.
- DUBUAT C., 1786. — *Principes d'hydraulique vérifiés par un grand nombre d'expériences faites par ordre du Gouvernement*. A Paris de l'Imprimerie de Monsieur.
- DUGAS R., 1950. — *Histoire de la Mécanique*. Bibliothèque Scientifique Philosophie et Histoire, Neuchâtel Edition du Griffon, Paris Edition Dunod.
- DOS SANTOS E., 1962. — *Manuel da Maia e o Aqueduto das Aguas Livres*. Revista Municipal n° 94, Lisbonne.
- EULER L., 1740. — *Inquisitio physica in causam fluxus ac-refluxus maris*. Mémoire présenté pour le prix proposé par l'Académie des Sciences de Paris.
- EULER L., 1776. — *Théorie complète de la construction et de la manœuvre de vaisseaux mise à la portée de ceux qui s'appliquent à la navigation*. Nouvelle édition (revue par Keralin) Paris C.A. Jombert, 268 pages et pl.
- EULER L., 1787. — *Lettres de M. Euler à une princesse d'Allemagne sur différentes questions de physique et de philosophie avec des additions par MM. les Marquis de Condorcet et de La Croix*. A Paris chez Rotez, Libraire quai des Augustins à la descente du Pont Neuf.
- FABRE, 1797. — *An V. Essais sur la théorie des torrents et des rivières*. A Paris chez Bidault, Libraire, rue Hautefeuille, n° 10 au coin de la rue Serpente.
- FAVRE Ingénieur du Pays de Provence, 1788. — *Essai sur la construction des roues hydrauliques*.
- FONTENELLE, 1731. — *Eloge des Académiciens de l'Académie Royale des Sciences morts depuis l'an 1699*.
- FRANÇOIS Père J., 1653. — *La Science des Eaux qui explique en quatre parties leur formation, communication, mouvement et mélanges avec les arts de conduire les eaux et mesurer la grandeur tant des Eaux que des Terres*. A Rennes chez Pierre Hallaudays, Imprimeur et Libraire, rue Saint Germain à la Bible d'Or.
- FRANKLIN, 1773. — *Œuvres de M. Franklin, Docteur ès loix traduites de l'Anglois sur la quatrième édition par M. Barbeu Dubourg*. A Paris chez Quillau l'Ainé, Libraire rue Christine au Magasin Littéraire, Esprit Libraire de Mgr le Duc de Chartres au Palais Royal et l'Auteur rue de la Bucherie aux Ecoles de Médecine.
- FRISI, Révérend Père, 1774. — *Traité des rivières et des torrents, augmenté du traité des Canaux navigables*. Traduit de l'italien A Paris de l'Imprimerie Royale.
- FULTON R., 1799. — *An VII. Recherches sur les moyens de perfectionner les canaux de navigation et sur les nombreux avantages de petits canaux*. Ouvrage traduit de l'anglais A Paris chez Dupain-Triel, Libraire, Cloître Notre Dame n° 1 et chez tous les marchands de nouveautés.
- GUGLIELMINI D., 1697. — *Della nature de fiumi*. Trattato fisico matematico in Bologna per gl'redi d'Antonio Pifarri con lic de sup. A spese di Lodonico Maria Ruinetti Libraro al Mercurio.
- GARBRECHT G., 1985. — *Correspondance particulière accompagnée de documents sur Brahms, Eytelwein, Silberschlag, Woltmann, Leibniz*.
- LA GRANGE J.L., 1784-1785. — *Sur la percussion des fluides*. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences de Turin, Tome I.
- LAGRANGE J.L., 1791 et Bureau de Consultation des Arts et Métiers. — *Rapport fait sur la machine hydraulique du citoyen Trouville, Nouvel art d'élever les eaux en tel volume à telle hauteur et à telle distance, que ce soit sans pompe, piston, balancier, rouage ni mécanique*.
- LINGUET S., 1769. — *Canaux navigables ou développement des avantages qui résulteraient de l'exécution de plusieurs projets en ce genre pour la Picardie, l'Artois, la Bourgogne, la Champagne, la Bretagne et toute la France en Général*. A Amsterdam et Paris, chez L. Cellot, 1769, in-12, 476 pp., 1 pl. h.-t.
- MARIOTTE Abbé, 1740. — *Œuvres de M. Mariotte de l'Académie Royale des Sciences comprenant tous les traités de cet auteur, tant ceux qui avaient déjà parus séparément que ceux qui n'avaient pas encore été publiés*. Imprimées sur les exemplaires les plus exacts et les plus complets, revues et corrigées de nouveau. Nouvelle édition, Tome premier — A la Haye chez Jean Neaulme.
- NAVIER, 1819. — *Belidor Architecture Hydraulique*. Nouvelle édition avec des notes de l'Editeur, Paris.
- NAVIER, 1838. — *Résumé des leçons données à l'Ecole des Ponts et Chaussées sur l'Application de la Mécanique à l'établissement des constructions et des machines*. Deuxième partie Leçons sur le mouvement et la résistance

- des fluides, la conduite et la distribution des eaux, Paris chez Carilian-Goeury, Libraire des Corps Royaux des Ponts et Chaussées et des Mines, Quai des Augustins, n° 41.
- NEWTON I., 1740. — *Philosophie naturalis principia mathematica*. Editeur Barrillot et fils, Genève.
- ORSATELLI J., 1979. — *Les moulins*. Ed. Jeanne Lafitte, Marseille.
- PASCAL B., 1698. — *Traité de l'équilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air*. A Paris chez Guillaume Desprez, Imprimeur du Roy rue Saint Jacques, à Saint Prosper et aux trois Vertus vis-à-vis la porte du cloître des Mathurines.
- PERRONET, 1776. — *Mémoire lu à la rentrée publique de l'Académie Royale des Sciences, le 15 novembre 1775 sur les moyens de conduire à Paris une partie de l'Eau des rivières de l'Yvette et de la Bièvre*. A Paris de l'Imprimerie Royale.
- PITOT, 1731. — *La théorie de la Manœuvre des Vaisseaux, réduite en pratique ou les principes et les règles pour naviguer le plus avantageusement qu'il est possible*. A Paris, rue Saint Jacques, chez Claude Jombert au coin de la rue des Mathurins à l'Image Notre Dame.
- ROUSE H. & INCE S., 1963. — *History of Hydraulics*. New York : Dover Publications Inc., 269 pp.
- SILBERSCHLAG J.I., 1769. — *Théorie des fleuves avec l'art de bâtir dans leurs eaux et de prévenir leur ravages*. Ouvrage traduit de l'Allemand par M. d'Au, A Paris chez Charles Antoine, Jombert, Libraire du Roi pour l'Artillerie et le Génie de l'Image Notre Dame, rue Dauphine.
- SMEATON J., 1810. — *Recherches expérimentales sur l'eau et le vent, considérées comme forces motrices*. Paris : Courier.
- TRUESDELL, 1954. — *Introduction de l'éditeur aux œuvres complètes d'Euler*. Opéra Omnia.
- VELERNOD M.E., 1773. — *Problème diminuer des deux tiers la dépense de l'eau dans les machines mues par son choc proposé et résolu*. A Lyon de l'Imprimerie de M.G. Chavance à l'entrée de la rue Saint Dominique du Côté de la Place Louis le Grand.
- T.D.C., 1985. — *Diderot et l'encyclopédie*. Textes et documents pour la classe n° 369, 23 janvier, CNDP, B.P. 107 05-75224 Paris Cedex 05.
- WOLTMAN, 1805. — *Theory and description of a ventilator*. Printed for Fr. Perthes Hamburg.
- Anonyme, 1785. — *Précis des opérations relatives à la navigation intérieure de Bretagne contenant la délibération des Etats de 29 et 30 janvier 1783*. Le rapport de Messieurs les Commissaires, les Mémoires et rapport de M. de Coulomb, Capitaine au Corps Royal du Génie, Conseil de la Commission et de M. de Chezy, Inspecteur Général des Ponts et Chaussées de France, les Mémoires, Plans et devis des Ingénieurs pour la perfection de la Navigation de Rennes à Redon, la jonction de la Villaine à la Loire par la Mayenne et de la Villaine à la Loire par les rivières de l'Isle et du Linon ou les Rivières du Meu et du Garun, Imprimé par Ordre des Etats à Rennes, Chez Nicolas Paul Vatar, Imprimeur de Nosseigneurs les Etats de Bretagne, MDCCLXXXV.
- Trois siècles d'Hydrologie scientifique*. Une contribution à la Décennie hydrologique internationale, UNESCO, WHO OMM IAHS, Paris 9-12 septembre 1974.
- Historical development of hydrological activities in the world*. UNESCO SC 74/CONF 804/COL 2 Paris, 150 pages, 1974.
- Contribution à l'histoire des irrigations et de la maîtrise de l'eau en agriculture*, 1980.
- Eau et aménagements en Languedoc-Roussillon*. Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie, 103^e Année, Troisième Série, Tome 14, Fascicule 2-3, avril-septembre 1980.
- Session spéciale sur l'histoire des irrigations, du drainage et du contrôle des crues*. XI^e Congrès de la Commission Internationale des Irrigations et du Drainage, Grenoble, 1981.

L'Universalité de la mécanique des fluides en hommage à Louis Vadot

A partir d'une journée organisée le 25 novembre 1993
par l'Ecole Nationale Supérieure d'Hydraulique et de Mécanique de Grenoble

Avec le patronage de l'Union Régionale des Ingénieurs et Scientifiques de France-Dauphiné-Savoie et du Rotary Club Grenoble-Belledonne



Ce petit bourgeois, coiffé d'un bonnet bizarre, est un bon père de famille qui réunit tous les soirs ses nombreux enfants pour la lecture de la Bible et la prière en commun. C'est aussi le mathématicien le plus célèbre d'Europe. Les souverains de Russie et de Prusse se le disputent, car il est la gloire des Académies des sciences de Saint-Pétersbourg et de Berlin. Son œil droit est fermé depuis une congestion cérébrale que lui valut un travail excessif.

La fécondité prodigieuse du cerveau de EULER est peut-être ce qui a le plus frappé ses contemporains. Il fit progresser toutes les branches des mathématiques, mais ne s'en tint pas à la théorie pure, appliquant son génie à l'astronomie, à l'optique (où, contre l'autorité de NEWTON, il soutint la nature vibratoire de la lumière), à la résistance des matériaux, sans oublier l'hydraulique : il établit les équations générales du mouvement des fluides parfaits, étudia l'équilibre et le mouvement des navires (en préconisant des expériences sur « modèles en petit »), etc... Un de ses mémoires contient un projet de turbine à réaction qui, réalisé récemment à titre rétrospectif, dépasse le rendement de 70 %...

SOMMAIRE

Matinée :

Président de séance : *Georges LESPINARD*, Ancien Président de l'INPG

Accueil des participants

Introduction : *Paul PERROUD*

Louis VADOT : *Gilles COMBES*

I - Réflexions sur l'histoire de la Mécanique des Fluides.
Louis VADOT

II - Ondes de Gravité ⁽¹⁾
Jean-Pierre GERMAIN

⁽¹⁾ M. Jean-Pierre GERMAIN n'a pas été en mesure de présenter sa communication le 25 novembre pour raison de santé. Au pied levé, M. Gabriel CHABERT D'HIERES du Laboratoire d'études des Marées (CNRS Grenoble) l'a remplacé en présentant l'état des connaissances actuelles sur la dynamique de la mer et les recherches en cours dans son laboratoire. Brillante conférence qui ne sera toutefois pas reproduite.

III - La turbulence dans l'environnement et en aéronautique.

Marcel LESIEUR

IV - La Magnétohydrodynamique ou ces fluides qui conduisent l'électricité.

René MOREAU

Après-midi :

Président de séance : *Michel VISCONTI*, Directeur du CERG.

V - La Mécanique des Fluides et les études sur maquettes au service des procédés industriels. *Max MILHE.*

VI - La Mécanique des Fluides à l'ordre de la vie ou Louis VADOT dans mon rétroviseur, *Pierre MARION.*

VII - De l'Hydroélectricité à la Mécanique des Fluides « tous azimuts ». Evolution des activités de la Mécanique des Fluides-Hydraulique Française. *Maurice BOUVARD.*

Conclusions. *Yves FAUTRELLE.*



Les BERNOLLI sont une famille de mathématiciens et physiciens Suisses de Bâle. Les plus célèbres sont :
Jacques (1654-1705)
Jean (1667-1748) frère de Jacques
Daniel (1700-1782) fils de Jean, l'un des fondateurs de l'Hydrodynamique.

INTRODUCTION

L'idée nous est venue (à Gilles COMBES et moi-même) de rendre un hommage à notre ami Louis VADOT à l'occasion de son prochain 80^e anniversaire. Nous avons pensé que Louis VADOT, dont toute la carrière d'ingénieur s'est déroulée au contact des réalités, réalisant lui-même ses projets sans l'aide d'une équipe nombreuse (souvent seul, parfois aidé d'un ou plusieurs techniciens) et/ou de moyens de calculs puissants (il n'avait que sa règle à calcul) qu'il apporte de nos jours l'Informatique, était un bon exemple d'ingénieur-inventeur mettant en application les lois fondamentales de la Physique qu'il a parfaitement assimilées. Les grands noms de la Dynamique des Fluides (EULER et BERNOULLI en particulier) lui sont familiers car, les ayant replacés dans le contexte de leur époque, il a pu suivre l'enchaînement de la pensée scientifique avec ses détours et ses chemins de traverse, parce que la connaissance n'avance pas tout droit au grand jour, guidée par le seul raisonnement. Il y a quelquefois des choses inattendues qui se révèlent et qui échappent à l'intuition. L'histoire des Sciences est riche de faits où l'intuition et le hasard ont joué un rôle important ; on ne saurait donc trop recommander son enseignement dans les écoles d'ingénieurs... L'étude des problèmes abstraits serait ainsi plus attrayante car elle serait illustrée par la vie des hommes qui ont apporté leur pierre à l'édifice de la connaissance.

Ainsi, à partir de l'idée initiale, nous sommes aujourd'hui rassemblés dans l'amphithéâtre CRAYA de l'ENSHMG pour la « Journée sur l'Universalité de la Mécanique des Fluides ». Pour en arriver là, le hasard : rencontre du professeur René MOREAU qui nous a fait connaître l'action « Entreprendre » animée par Yves GAGNE. Ceci nous introduisait directement à l'Ecole d'Hydraulique, chaleureusement accueillis par Yves FAUTRELLE, son directeur. Chère Ecole ! D'une simple célébration on est arrivé à un véritable jubilé... Deux élèves de 1^{ère} année (maintenant en 2^e année) Mlles Katell GUIZIEN et Anne KIEFFER ont bien voulu continuer à travailler avec nous au lancement de cette manifestation. Leur mémoire de fin d'année scolaire rassemble beaucoup d'éléments : les grands noms de la Mécanique des Fluides (une cinquantaine) avec un court résumé de leurs œuvres pour chacun d'eux, le curriculum vitae complet de Louis VADOT et les

grandes lignes de l'organisation de cette journée. Par la suite, c'est Mme Odile LANTZ, chargée des Relations Extérieures et de la Communication à l'Ecole, qui a repris les affaires en mains.

Nous avons choisi de présenter sept exposés sur des sujets très différents, pour bien montrer le caractère universel de la Mécanique des Fluides, qui baigne toutes nos techniques (et que l'on retrouve même dans les étoiles du ciel). A Grenoble, nous avons trouvé d'éminents conférenciers. N'y-a-t'il pas parmi eux un jeune académicien récemment élu à l'Académie des Sciences ?

L'ensemble des communications fait l'objet d'un recueil de 100 pages environ, distribué aujourd'hui sous forme provisoire. C'est la matière d'une édition ultérieure de qualité...

On ne pouvait pas tout dire dans les conférences, c'est pourquoi nous avons complété les enseignements oraux par une exposition de « posters » sur des sujets non traités*.

Une douzaine de panneaux avec de belles photos sont ainsi exposés dans le hall de l'Amphithéâtre CRAYA.

L'ensemble, conférences et posters, est donc là pour TE montrer que « Mécaflu » est vraiment universelle...

Paul PERROUD H53

Ancien chef du laboratoire

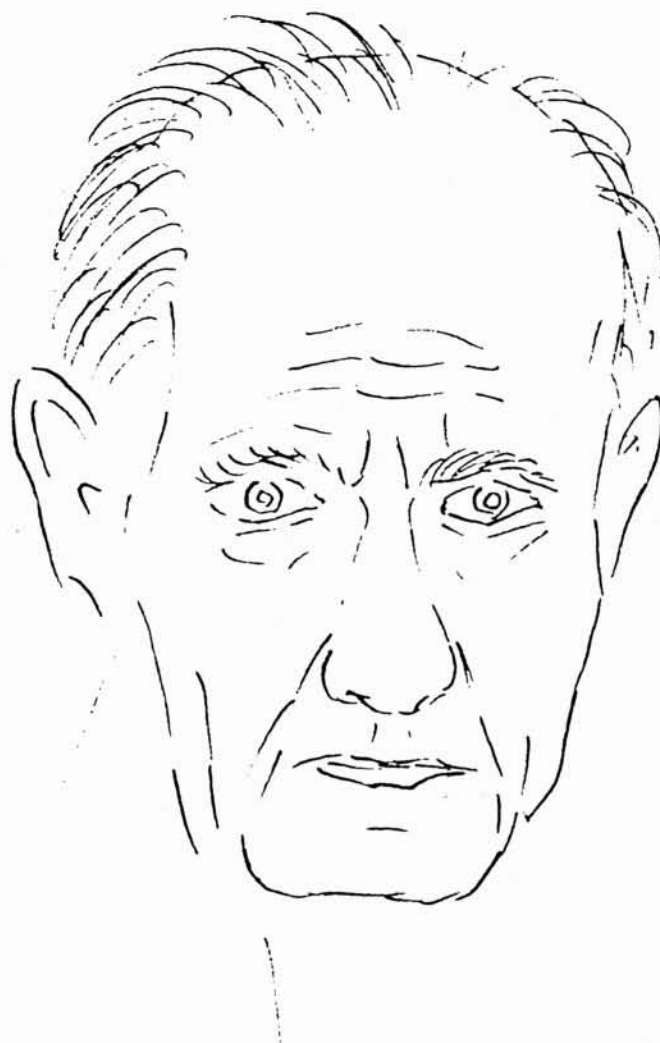
d'Applications Spéciales

de la Physique au CEA, Grenoble.

6, chemin de Beauséjour, 38240 Meylan

Remerciements : Nous sommes reconnaissants à l'Union Régionale des Ingénieurs et Scientifiques de France-Dauphiné-Savoie, et au Rotary Club Grenoble-Belledonne, d'avoir bien voulu patroner cette journée.

(*) Liste : Louis VADOT : Dessins ; CERG : Simulation hydraulique sur modèles réduits ; ONERA Modane : Maquette de l'avion spatial « Hermès » en soufflerie supersonique ; CNES Toulouse : Fusées spatiales ; CEMAGREF : Simulation hydraulique d'avalanches de poudre ; ANENA : Les avalanches ; CEA Grenoble : Dynamique des avalanches, Eoliennes DARRIEUS, Ballons captifs, Thermohydraulique dans les réacteurs nucléaires, Echangeurs de chaleur, Ecoulements diphasiques.



Louis VADOT, par lui-même
1993

né le 28 mars 1914 à Beaucourt (Haut-Rhin)

LOUIS VADOT

Pour commencer cette journée, nous présenterons brièvement un exemple de vie consacré à de nombreuses applications de la Mécanique des Fluides, c'est-à-dire la carrière et les œuvres de Louis VADOT.

Il y avait une fois ... une famille franc-comtoise de mécaniciens, professeur de sciences ou constructeurs de locomobiles (et de moulins à eau). C'est avec un fort atavisme de mécanique que naquit en 1914 Louis VADOT. Il était le fils d'un des tous premiers ingénieurs de l'Institut Electrotechnique de Grenoble (IEG), Promotion 1904, Léon VADOT. Louis VADOT entre naturellement à l'Ecole d'Ingénieurs Mécaniciens de Nancy, d'où il sort brillant major de sa promotion.



Institut électrotechnique de Grenoble. Quelques-uns de la promotion 1905. 2^e rang debout g. à d. Le 2^e est Léon VADOT, père de Louis VADOT. 1^{er} rang assis g. à d. Le 3^e est Maurice GARIEL, futur PDG des ateliers Neyret Bellier Picard et Piquetet.

Avant de quitter Nancy, il prépare une thèse d'ingénieur-docteur sur les aspirateurs de turbines et commence ainsi à montrer son penchant pour l'Hydraulique.

Après un court passage à la société Hydrotechnique de France (étude sur modèle réduit de l'estuaire de l'Oued Sebou au Maroc) il est, en 1939 mobilisé dans une unité... mécanisée évidemment. Après quelques péripéties (à l'époque elles ne manquaient pas), il entre en 1940 chez NBPP (NEYRET-BELIER PICCARD-PICTET), premier nom de NEYRPIC, qui l'utilise dans son laboratoire de recherches hydrauliques. Ce laboratoire était alors dirigé par Pierre DANIEL, dont la fougue inventive et le non respect des traditions usinières tranchaient avec la rigueur des « gadzards » qui constituaient le gros du bataillon des mécaniciens de NBPP.

Le laboratoire utilise VADOT successivement dans la correction d'Oued, dans le calcul des pales de turbines KAPLAN, dans la recherche de procédés pour capter l'énergie des vagues ou l'énergie des marées. Il marquera ce dernier sujet en préconisant pour les turbines de l'usine marémotrice de la Rance des aspirateurs rectilignes ; ce fut une des idées qui conduisit à la conception des fameux

« groupes bulbes ». Entre temps, son ancrage à Grenoble s'était fortifié par son mariage avec une jeune ingénieur, une Grenobloise Anne-Marie JAMON, qui, à 20 ans était sortie de la promotion 1943 d'IEG ! Deux enfants : Eric et Elisabeth.

Après une retraite forcée pour raisons de santé, VADOT revient à la mécanique des fluides en étudiant des éoliennes pour la production d'énergie électrique et des éoliennes pour le pompage. Il introduit les pales en plastique armé de fibres de verre. Son équipe réalise par exemple une machine bipale de 32 m de diamètre, 1 000 kW, qu'EDF essaie avec succès dans le Cotentin. Mais ce succès survient au moment où EDF décide de concentrer ses efforts sur l'énergie nucléaire et aucune suite n'est donnée. VADOT, fait alors ce simple commentaire : « Le vent a tourné ».

Au début des années 60, Pierre DANIEL se faisait soigner à Lyon par un cardiologue réputé, le Docteur MARION. Au cours de ses consultations et des conversations qui suivirent, Pierre MARION sentit que des contacts avec des mécaniciens des fluides pouvaient apporter une aide dans ses recherches pour l'évolution de la chirurgie cardiaque. Il vient à Grenoble, on lui présente Louis VADOT : une collaboration commence entre le mécanicien des fluides et le chirurgien. Celui-ci lui ouvre toutes grandes les portes de sa clinique et du laboratoire de chirurgie expérimentale. Il sort de cette collaboration de nouveaux matériels pour la circulation extra-corporelle : pompe à sang, oxygénateur, échangeur, appareil de dialyse, etc...

Sentant tout l'intérêt qu'il y avait à renforcer les échanges entre physiciens et médecins et pris par le sujet, VADOT approfondit ses études et fait un doctorat de biologie humaine. Avec l'appui du professeur MARION, il publie successivement trois ouvrages : l'un sur l'hypothermie (« de la physique à la physiopathologie post-opératoire ») un autre sur la mécanique du cœur et les artères, un troisième, à caractère nettement pédagogique, sur la physiologie de la circulation. Il sera d'ailleurs, amené à faire, pendant plusieurs années, un cours de physiologie à la faculté de médecine de Grenoble.

A peu près à la même époque, le Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique devenu SOGREAH, introduit M. VADOT dans l'étude des pollutions atmosphériques. Il met au point un procédé de simulation par voie hydraulique de divers phénomènes, tels par exemple : la diffusion de panaches de fumée dans une atmosphère stratifiée par inversion. Cette méthode analogique eau-air des modèles réduits s'avérera fructueuse et MILHE, qui fut pendant longtemps le collaborateur de VADOT a développé ses applications. Il est l'auteur d'une communication sur ce sujet dans le présent colloque.

Cette incursion dans l'atmosphère favorisera d'autres contacts et d'autres interventions de Louis VADOT, comme :

- l'insémination de nuages pour la pluie artificielle (Campagne avec ballon captif dans les Terres Froides entre Lyon et Grenoble) ;
- propagation de vapeurs nocives suite à des accidents dans des usines chimiques ;
- analyse de la structure du panache d'une explosion nucléaire, etc...

On pourrait continuer et citer les sujets qui ont excité la curiosité de Louis VADOT. Si on se limite à la mécanique des fluides, on s'aperçoit que VADOT a touché

● au domaine de l'énergie hydraulique (son cours sur les machines hydrauliques doit encore se trouver dans les archives de l'ENSHMG) :

- au domaine de l'Energie éolienne,
- au domaine de la circulation atmosphérique,
- au domaine médical,
- à l'enseignement,

et encore ne citons-nous que les domaines où il estime lui-même avoir œuvré avec efficacité. C'est déjà une belle liste et le témoignage d'un beau parcours.

Gilles COMBES

Ancien chef du Service

« Adduction » et « Irrigation » à SOGREAH

72, av. Léon Blum 38000 Grenoble

