

Réflexions sur l'histoire de la mécanique des fluides

Louis Vadot

23, av. de la Plaine Fleurie, 38240 Meylan

Les anciens physiciens distinguaient quatre éléments : la terre, l'eau, l'air, le feu. Cette tétralogie qui nous paraît bien simpliste avait une signification profonde, qui n'est d'ailleurs pas tellement éloignée de nos connaissances actuelles. En voici une traduction qui intègre ce que nous savons du monde matériel : la terre représente l'état solide, l'eau, l'état liquide, l'air, l'état gazeux et le feu est l'image même de l'énergie. Entre la terre, solide et support de notre domaine planétaire et le feu, feu du ciel ou feu des profondeurs il y a l'eau et l'air. Ce n'est pas le hasard qui met ici ces deux éléments, c'est parce qu'ils sont à la fois présents dans notre domaine et fondamentalement nécessaires à notre vie. L'eau et l'air, en effet sont à la base de toute vie : l'air comme comburant dans les cycles bioénergétiques, l'eau comme principal constituant du corps vivant (de l'ordre de 70 % en poids) et comme milieu interne nécessaire aux transferts ioniques à la base de la vie. Ainsi donc avant toute considération physique ou mathématique les fluides sont en nous et leur rôle y est essentiel puisqu'ils sont les supports de notre vie.

Dans les conditions normales pour l'homme, être d'interface, l'air est partout présent, mais l'eau ? Certaines contrées la possèdent en abondance, d'autres non. Dès lors la recherche de ce liquide essentiel va conduire à ces travaux qui mettent l'hydraulique au premier rang des sciences les plus anciennes et les plus utiles. Chaque civilisation depuis les plus lointaines jusqu'à nos jours laisse comme un héritage les marques de son action sur l'eau. Ce sont les poteries préhistoriques, les canaux, les aqueducs des mésopotamiens aux romains ; ce sont aussi les récipients en plastique des amas de détritiques de nos jours.

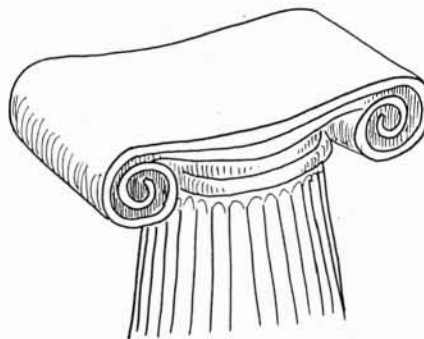
L'homme antique fait entrer son fluide familier dans le panthéon de ces divinités. C'est Poséidon et les Néréides des grecs, ce sont les nombreuses déesses des fontaines celtes, c'est le rôle sacré de l'eau dans toutes les religions, c'est le jaillissement d'une source dans beaucoup d'événements miraculeux.

Le terme de « fluide » qui fait partie du langage scientifique actuel est beaucoup plus général que celui de l'eau, quoique celle-ci en reste dans tous les esprits l'exemple typique. Il y en a certes bien d'autres. L'air et tous les gaz en sont les plus subtils. Avec l'eau on placera tous les liquides courants, parmi lesquels le sang tient une place particulière et profondément intime. Mais la notion même de fluide peut s'étendre à quantité d'autres corps : les métaux en fusion, la lave des volcans, les roches elles-mêmes dans les mouvements orogéniques comme le montrent les observations géologiques. Ceci simplement pour illustrer la diversité de nature. Cependant par certains comportements, le terme « fluide » peut s'appliquer aussi

bien à la matière stellaire constituant une nébuleuse qu'à une foule d'individus s'écoulant dans une rue ou à tout autre milieu homogène susceptible de déformation et de transfert.

La masse fluide se présentera sous forme d'une veine liquide coulant dans une canalisation, ou à l'inverse, contournant un obstacle. Dans les deux cas le volume considéré est limité par une paroi. Suivant un autre aspect le fluide sans limite sera le siège d'échanges cinétique, thermique, ionique. Un cas particulier fréquent de limite fluide est l'interface liquide-gaz dont la forme dépendra de l'état cinétique de l'un et l'autre milieux. Dans la pratique courante ce seront les vagues de la mer ou les ondes d'un torrent.

Les rapports des hommes et des fluides ne sont pas seulement utilitaires, ils revêtent bien des aspects, de la contemplation esthétique aux réflexions scientifiques. Les anciens grecs, ces hommes de génie créateurs de notre



1. Chapiteau ionique.



2. Tourbillons marginaux d'un panache.



Pierre DANIEL (1902-1966)

- Fondateur et Directeur du Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique des Ets NBPP.
- Fondateur de la revue « La Houille Blanche ».

civilisation, surent passer de l'observation du fluide vital aux réalisations artistiques (fig. 1) et voilà les savantes courbes qui ornent les frontons des temples, voilà le merveilleux chapiteau ionique dont la double volute est une anticipation du système des tourbillons marginaux que génère l'aile d'avion (fig. 2). Certes JOUKOWSKI ne pensait pas qu'il avait dans quelque PRAXITÈLE ionien un pré-curseur de ses conceptions.

Mais l'eau n'est pas seulement un liquide nécessaire à la vie, elle offre bien d'autres possibilités. La voilà qui fournit l'énergie de ses chutes au moyen de machines rudimentaires qui écrasent le grain, la voilà qui entraîne une véritable centrale comme l'extraordinaire usine à farine de Barbegal où les romains réunissent en un double circuit 16 groupes comprenant chacun une roue hydraulique, des engrenages et une paire de meules. Et puis la surface ondulante des flots se prête à la navigation, de la simple pirogue à la trirème savamment carénée et vous avez là grâce à l'apport énergétique éolien l'instrument de toutes les explorations, ainsi d'ailleurs que celui de tant de combats d'ACTIUM à TRAFALGAR. On peut dire sans erreur que l'histoire de l'humanité est écrite avec beaucoup d'eau, et sans doute aussi avec beaucoup de sang, cet autre fluide secret que nous portons en nous.

La mécanique des fluides est donc si intimement mêlée à la vie humaine qu'elle sera tout au long des siècles presque exclusivement entre les mains des artisans, comme le sont le travail du fer ou la taille de la pierre. Des savants cependant il y en a eu, et de fort célèbres, mais ces gens très supérieurs ne s'abaissaient guère au niveau des artisans, ils planaient comme l'esprit de DIEU au-dessus des flots à la veille de la Création. Il y eut certes un ARCHIMEDE qui en prenant son bain découvrit le principe qui porte son nom. Pendant des siècles tout développement des connaissances et des applications techniques reste entre les mains des artisans, dont certains s'élevèrent déjà très haut dans le domaine de la réflexion, sans laisser pour autant un nom à la postérité. C'est que l'artisan est astreint à la réussite matérielle beaucoup plus qu'à la gloire.

Comment un domaine aussi fondamental reste-t-il quasi ignoré du monde savant ? On se le demande. C'est à croire que l'observation directe de la matière était mal considérée dans un milieu qui s'adonnait à ses discussions scolastiques dans le respect de la tradition. Ce désintérêt du monde savant pour l'œuvre des artisans est la raison pour laquelle on dispose de si peu de documents sur la longue période qui va de l'antiquité à la Renaissance.

En 1452 dans un village de Toscane naquit un enfant dont la vie fut d'une extraordinaire fécondité intellectuelle et qui passa à la postérité pour sa production artistique. C'est Léonard de VINCI. Certes ce fut un peintre de grande valeur, mais ce fut avant tout un homme qui s'appuyait dans toutes ses entreprises sur l'observation, la réflexion et l'expérience ; « *sono un huomo della sperienza* » disait-il de lui-même.

VINCI n'abordait aucun sujet sans l'avoir disséqué, et c'est bien le mot qu'il faut employer ici car toutes les représentations de personnages qu'il fit furent précédées de longues études d'anatomie. C'est lui qui le premier analysa la mécanique de la pompe cardiaque et donna une description détaillée de la structure et du fonctionnement des valves du cœur. C'est lui qui dessina une des premières turbines dans un projet de machine à aléser les canons. C'est lui qui fit pour François I^{er} un projet de canal le long de la Loire. C'est lui qui observa l'écoulement fluvial et

torrentiel d'un cours d'eau. De cette dernière observation et des croquis qu'il en fit il s'inspira pour dessiner par exemple la magnifique chevelure de l'ange de l'Annonciation. C'est lui qui imagina machines volantes, parachute et scaphandre pour ne rester que dans le domaine de la mécanique des fluides. Avec VINCI, autant ingénieur qu'artiste, on est tenté de parler de l'esthétique des fluides comme d'une méthode d'analyse et de représentation. Nombreux furent les artistes qui comme lui empruntèrent leurs images à celle que leur offrait l'observation des fluides ; nous en verrons deux par la suite qui ne manqueront pas de nous surprendre.

Au XVI^{ème} et au XVII^{ème} siècles les théoriciens de la mécanique des fluides restèrent dans une ombre prudente, se livrant presque à regret à quelques expériences comme le fit PASCAL, par personne interposée, à propos de la pression atmosphérique. Par contre l'œuvre des artisans (j'appelle ainsi les créateurs et les constructeurs) se développe considérablement. Les noms sont le plus souvent ignorés, mais les réalisations sont là. Un exemple parmi d'autres : c'est l'époque où la Hollande luttant contre les eaux envahissantes va protéger et créer son sol grâce aux innombrables moulins à vent entraînant les machines d'épuisement, moulins dont les dimensions, l'efficacité, la normalisation restent un sujet d'admiration. Ces machines dont la puissance pouvait atteindre près de 50 kW avec des roues de 20 m de diamètre étaient construites presque exclusivement en bois avec l'outillage rudimentaire de l'époque.

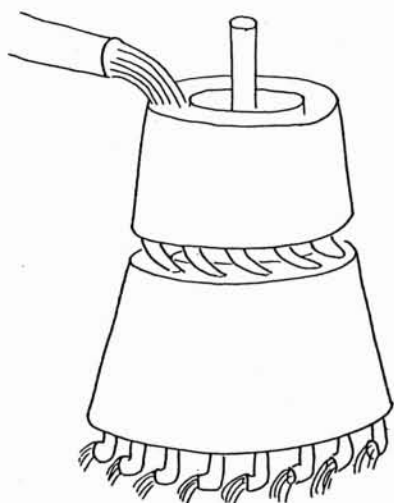
Dans le domaine de l'hydraulique les réalisations furent aussi très remarquables. Le lent travail des siècles fut tel que sous le règne de Louis XV la France possédait plus de 100 000 moulins à eau, sans compter les moulins à vent. Ces moulins fournissaient au total l'équivalent d'une puissance de l'ordre de un à deux millions de kW suivant les saisons. Et tout cela sans l'aide d'aucun calcul en s'appuyant seulement sur la tradition et l'expérience.

Il se trouva cependant au début du XVIII^{ème} siècle un homme de grand mérite pour transmettre tout ce savoir dispersé. C'est BELIDOR, ingénieur militaire et professeur de mathématiques, qui en 1737 publia les quatre tomes de son « Architecture hydraulique » grâce auxquels nous découvrons tant de belles machines. Parmi celles-ci il faut citer les moulins de Basacle à Toulouse, véritable anticipation avec deux siècles d'avance des modernes centrales de basse chute avec bête tourbillon et roue hélice à axe vertical. C'est BELIDOR également qui nous présente les détails des moulins à marée, autre anticipation de la célèbre usine marémotrice de la Rance.

Avec le XVIII^{ème} siècle va enfin disparaître la longue ignorance qui séparait les savants des artisans. Daniel BERNOULLI, membre d'une célèbre famille de mathématiciens de Bâle, va enfin formuler l'expression de la conservation de l'énergie où figurent les trois termes de position, de pression et de vitesse (Traité d'hydrodynamique de 1738). En cela il est vrai il avait été précédé en 1644 par TORICELLI qui cependant avait limité son travail aux jets d'eau des villas italiennes. Puis, toujours originaire de la ville de Bâle, LÉONARD EULER en 1741 donne l'expression dite « des moments cinétiques » qui est à la base des calculs de toutes les turbomachines.

Si VINCI fut un exemple d'universalité, EULER en est un autre. On oublie généralement qu'il est parti de la théologie, mais les voies du Seigneur le conduisirent ensuite aux mathématiques, à la topologie, à l'optique, à l'astro-

nomie et à la mécanique des fluides sans jamais quitter la philosophie. Cette universalité toute opposée à la spécialisation à outrance des modernes chercheurs est bien la marque du vrai génie. Ce génie fut honoré par la Banque Nationale Suisse qui fait figurer sur son billet de 10 F le portrait d'EULER ainsi que des dessins relatifs à ses principales activités, dont sa machine hydraulique. Mais si EULER fut un philosophe et un savant, il n'était pas un ingénieur, aussi la réalisation qu'il fit faire de sa machine hydraulique resta à l'état embryonnaire, tel qu'on peut la contempler au musée technique de Winterthur (fig. 3).



3. Machine hydraulique de Léonard EULER 1754.

Il faut attendre une bonne cinquantaine d'années pour que le rêve d'EULER prenne corps grâce au génie de Benoît FOURNEYRON. Mais FOURNEYRON était ingénieur et de plus un industriel, ce qui lui apportait non seulement le sens de la mécanique mais aussi celui de la faisabilité économique. Aussi le succès fut-il atteint dès les premières machines. En l'espace de quelques années FOURNEYRON passe de basses chutes en 1827 à la première haute chute dépassant 100 m en 1837 dans la Forêt Noire. La voie est ouverte ; dans le sillage de FOURNEYRON s'engage quantité de réalisateurs : GIRARD, JONVAL, FRANCIS, PELTON, KAPLAN. Des 100 m de 1837 on passe à l'impressionnant record de 1 650 m atteint en 1914 à la centrale de Fully. L'eau attaque les roues par le centre, par le côté, par la périphérie.

Dans un autre domaine, la vapeur se substitue à l'eau et ce sont : De LAVAL, PARSONS, ZOELLY, STODOLA, RATEAU. Les turbines à vapeur remplacent les belles machines à piston. Ces remarquables réussites vont entraîner à leur suite le monde des mathématiciens, des scientifiques, des expérimentateurs cette fois au service des constructeurs. Mais, revanche des artisans, c'est du bureau d'étude des industriels que part le mouvement. Ainsi les réflexions de BERNOULLI et d'EULER ne sont plus de simples formules livresques, elles sont chaque jour concrétisées.

Le mariage de la science et de l'artisanat n'est cependant pas encore entièrement consommé. Il reste deux façons bien distinctes d'envisager les fluides : la représentation mathématique et la représentation physique. Toutes deux s'attachent à des milieux différents dont l'un dit fluide parfait ignore les difficultés que présente l'autre, le fluide réel. Le phénomène essentiel qui caractérise le fluide réel est la combinaison des effets cinétiques d'inertie et de la viscosité génératrice de forces tangentes aux lignes de courant, forces qui vont engendrer des gradients de vitesse perpendiculairement aux parois limitant l'écoulement. Curieusement les premières études sur la viscosité sont dues à un médecin, POISEUILLE auteur de la formule classique des écoulements dans les tubes de petite dimension, tels les vaisseaux sanguins ; son nom fut d'ailleurs retenu pour désigner l'unité de viscosité.

Deux notions très importantes des fluides réels découlent de l'influence de la viscosité. C'est ici que se situent les travaux de REYNOLDS et en particulier son célèbre nombre sans dimension qui sépare les écoulements dits laminaires où la viscosité joue un rôle stabilisant, des écoulements dits turbulents où les forces d'inertie l'emportent et créent une instabilité interne. L'influence prépondérante de la viscosité au voisinage des parois est à l'origine de la couche limite à l'étude de laquelle s'illustrèrent entre autres PRANDTL et VON KARMAN. Toutes les questions de sillage et décollement se déduisent de ces considérations.

Fluide réel, fluide parfait, voilà une frontière entre deux conceptions, entre deux mondes de chercheurs, une frontière qui sépare deux représentations, deux pédagogies et donc deux descendance d'hydrauliciens, ceux de l'expérience et ceux de la machine à calculer. Fluide réel, fluide parfait, ce sont bien deux philosophies de la matière, l'une rattachée à la nature et l'autre au produit du raisonnement. Fluide réel qui appelle l'observation, l'expérience, qui fut le maître des artisans et des ingénieurs. Fluide parfait, image engendrée par les calculs, mais aussi image d'autres domaines qui vont s'ouvrir par analogie. Ces deux types de représentation deviennent complémentaires, mais les applications s'appuyant sur le deuxième mode doivent toujours recevoir la sanction expérimentale du premier mode.

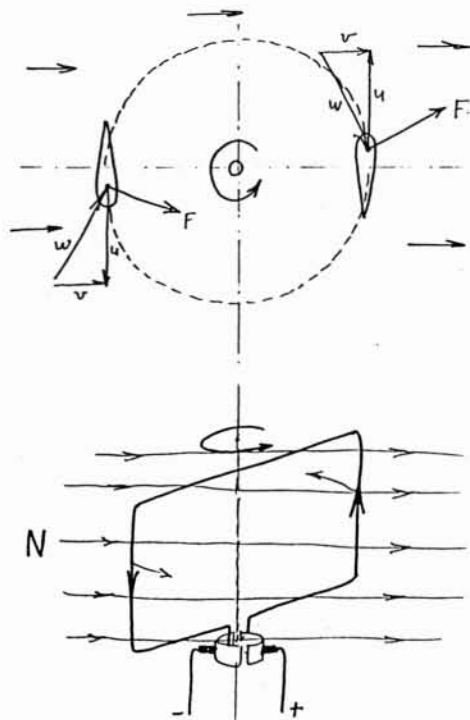
Comme un pont établi entre ces deux modes de représentation, certains concepts offrent une vision nouvelle des phénomènes physiques et à travers eux s'établit une analogie avec d'autres domaines. Tel est le concept de « flux », d'une perception immédiate. Tel est aussi le concept plus subtil de « circulation » qui s'applique aussi bien à un profil d'aile qu'à un conducteur électrique.

A l'origine, œuvres de rêveurs audacieux, les premières machines volantes se lancèrent dans l'air alors que leurs constructeurs ignoraient totalement la physique des profils d'aile. Puis, rendus nécessaires par le besoin, les essais effectués en soufflerie permirent de tracer des « polaires » d'aile. C'est ici que le concept de « circulation » imaginé (ou utilisé) par JOUKOWSKI va jouer un grand rôle dans la représentation des phénomènes en faisant apparaître la portance d'une aile comme le produit d'une circulation par une vitesse de déplacement. Il se trouve que cette forme est la même que celle de l'expression de LAPLACE déterminant la force exercée par un champ magnétique sur un conducteur parcouru par un courant électrique, ou inversement que celle de LENZ définissant le courant induit en fonction du flux magnétique balayé. Voici ainsi réalisée

l'homogénéité physicomathématique d'un groupe turbo-alternateur.

La synthèse des techniques hydraulique et électrique peut même aller plus loin par l'emploi d'un liquide conducteur (métal liquide, eau salée). On réalise ainsi en un seul appareil un moteur fluide-générateur électrique ou un moteur électrique-pompe fluide.

Dans le domaine des turbomachines il convient d'évoquer les notions élémentaires de cinématique qui aboutissent aux triangles des vitesses combinant les vecteurs vitesses : absolue, entraînement et relative. De ces notions découle la distinction très féconde entre mouvement absolu auquel s'applique le théorème d'EULER et mouvement relatif auquel s'appliquent les règles de tracé d'aubages. Le principe de fonctionnement de l'étrange rotor de DARRIEUS découle directement de l'application de ces règles avec renversement d'incidence deux fois par tour (fig. 4).



4. Rotor Darrieus. Analogie électrique.

Avec le $xx^{\text{ème}}$ siècle les connaissances acquises offrent des méthodes différentes et complémentaires de représentation de fluide, qu'elles soient physiques ou mathématiques. La représentation physique s'enrichit des possibilités de la similitude qui rendent accessible l'étude des phénomènes indépendamment des échelles de dimension et qui donnent au terme « fluide » des applications physiques variées passant des liquides aux gaz, ou des fluides habituels à des milieux matériels inattendus.

Un exemple frappant de ces passages de fluide à un autre fluide et d'une échelle à une autre est offert par des études ayant pour but l'analyse de la cinétique de la boule de feu qui accompagne une explosion nucléaire. Les règles de similitude ont permis de reproduire les mouvements qui ont lieu dans une boule de feu de plusieurs centaines de mètres de diamètre au moyen d'une analogie hydraulique dans laquelle la boule à étudier était figurée par une bouffée de liquide de densité appropriée injectée dans un

milieu liquide reproduisant l'atmosphère. C'est maintenant une pratique courante en laboratoire. Mais chose plus surprenante, on a pu constater que les structures tourbillonnaires ainsi mises en évidence étaient identiques à celles que l'on peut observer au firmament dans la célèbre nébuleuse du Crabe résultant de l'explosion d'une nova il y a de nombreuses années. Plus curieux encore, quittant les laboratoires reportons nous au monde artistique. Au musée St Jean dans la belle ville de Bruges on peut admirer un tableau de Hans MEMLING représentant St Jean à Patmos écrivant son célèbre ouvrage au milieu des différentes scènes de l'Apocalypse. Or parmi celles-ci figure la boule de feu dont il est question dans son chapitre 9. Chose merveilleuse, l'image du tableau représente un système tourbillonnaire en tous points semblable à celui que l'on observe après une explosion avec l'ascendance thermique centrale et le sillage torique qui l'accompagne. Ceci vers 1480.

La représentation mathématique elle aussi va nous offrir de superbes images. Avec elle s'ouvre le vaste domaine des analogies où se tissent des liens entre différentes techniques : hydraulique, aérodynamique, thermodynamique, électromagnétique. La multiplicité des possibilités de représentation élargit le sens même du mot « fluide ». S'agit-il d'un fluide qui coule, d'un milieu où règne un champ de forces, s'agit-il de transferts ioniques, énergétiques, et, pourquoi pas économiques ? les turbulences qu'on y rencontre sont familières à l'hydraulicien.

La géométrie des champs laplaciens offre des images harmonieuses à la création de l'ingénieur, mais aussi à la création de l'artiste, ce qui ramène la mécanique des fluides à l'esthétique, ou inversement. Un exemple inattendu, emprunté aussi à la peinture de la fin du xv^{e} siècle va montrer l'usage qui fut fait des champs laplaciens bien avant que ceux-ci ne soient mathématiquement analysés. Hiëronymus BOSCH, peintre hollandais bien connu pour ses compositions fantasmagoriques, réalisa cependant une œuvre apaisante « la montée dans l'Empyrée » où l'on voit les âmes des défunts quittant leurs tombes pour rejoindre la lumière céleste. Cette composition est entièrement bâtie sur le dessin laplacien du champ d'un puits combiné à un mouvement tourbillonnaire, à telle enseigne que l'on peut mettre en parallèle le tableau et le tracé, l'un découle de l'autre d'une façon évidente.

Milieu déformable, continu, le fluide s'adapte particulièrement aux transferts énergétiques de toutes sortes. Transfert mécanique dont la dynamique résulte de combinaison de pressions et d'effets cinétiques. Transfert thermique où les échanges résultent des mouvements internes. Transferts ioniques, électriques, magnétiques suivant la nature des corps considérés. Transferts entre formes différentes d'énergie, on trouve le fluide dans les masses stellaires comme dans les plus petits organismes vivants.

La fonction biologique de fluide sanguin, fonction essentielle de transfert, se manifeste à deux échelles étroitement combinées. Tout d'abord, phénomène le plus évident, la circulation comporte un circuit fermé où l'énergie fournie par la pompe cardiaque assure le mouvement et compense les pertes dues à la viscosité dans le réseau vasculaire. Ce réseau est un exemple parfait de système ramifié distributeur et collecteur ; le degré de ramification y est poussé à un point de division tel que longtemps on ignora que le circuit était fermé par suite de l'impossibilité d'observer les plus fines branches. Il en résulta les hypothèses les plus fantaisistes jusqu'à ce que le micros-

cope permette l'observation des capillaires par lesquels le circuit se ferme. Puis, phénomène caché, la fonction essentielle du système réside dans l'échange ionique en milieu fluide au voisinage des membranes cellulaires. Nous avons donc en nous-mêmes cette double fonction fluide à des échelles très différentes, l'échange ionique entretenu par la circulation.

L'étude de la boule de feu atomique a montré que des échelles très différentes conservaient dans l'ensemble la structure du phénomène. Le système circulatoire par contre révèle deux phénomènes très différents suivant l'échelle considérée. La notion d'échelle prend donc des sens différents suivant la nature des phénomènes considérés. Un exemple caractéristique de cette notion est offert par l'étude de l'atmosphère terrestre où l'on rencontrera trois étapes significatives. A l'échelle planétaire, dans une structure stratifiée s'effectuent les grands échanges entre masses chaudes tropicales et masses froides polaires suivant le schéma des ondes de Rossby donnant naissance aux systèmes cycloniques et anticycloniques. Puis à l'échelle intermédiaire se situe l'influence du relief et les structures thermo-convectives. Enfin à l'échelle réduite on trouve les courants d'échange thermique dans la couche limite au sol. Voici un exemple typique de l'intérêt qu'offrent la similitude et la modélisation dans un domaine où l'expérimentation est impossible. On remarquera que le terme d'échelle prend un sens différent suivant qu'il caractérise un phénomène dans le cadre d'une similitude possible, ou des phénomènes différents ayant chacun leur échelle propre dans un même ensemble. Ce double sens peut prêter à confusion ; c'est le recours à l'observation physique qui lèvera l'ambiguïté.

La modélisation peut se présenter sous deux aspects physique et mathématique remettant ainsi face à face les deux conceptions de la science : réalité physique ou image rationnelle. La tentation est grande aujourd'hui de se limiter aux images rationnelles, le matériel informatique actuel s'y prête très sournoisement, mais quelque habile que soit

un cuisinier, celui-ci ne trouvera jamais au fond de sa casserole que ce qu'il y aura mis au début, à trop tourner la sauce il finit par en perdre le goût.

On a vu la multiplicité des milieux auxquels le mot « fluide » peut s'appliquer, de l'hydraulique à la géologie, de l'aérodynamique aux masses stellaires. On a vu qu'un même fluide pouvait être simultanément le support de phénomènes différents. Les possibilités des similitudes et des analogies apparentent le comportement des fluides classiques à des phénomènes d'une nature totalement étrangère, tels champs d'écoulement et champs électromagnétiques. Enfin si l'histoire a fait le partage entre artisans constructeurs et savants mathématiciens, quelle que soit l'époque, quel que soit le domaine d'application, on se trouve en présence de deux modes de représentation, deux types de conception, deux philosophies de l'intégration du fluide à l'univers des connaissances, la voie physique et la voie mathématique, voies complémentaires sans doute, mais voies entre lesquelles l'esprit hésite allant de l'une à l'autre comme une vague qui se balance entre deux rives.

Pour aborder le monde de la mécanique des fluides nous avons pris Léonard de VINCI comme guide, pour terminer cet examen nous nous adresserons à un autre artiste de la même époque, Albert DÜRER. Celui-ci dans une célèbre gravure intitulée « Mélancolie » nous présente un personnage plongé dans ses réflexions face à l'incertitude d'un choix et à l'ignorance des conséquences. Ce personnage est là entre les sciences rationnelles symbolisées par le compas, le polyèdre ou le célèbre carré magique, et la contemplation des beautés d'une nature où l'on voit briller dans l'atmosphère avec un arc en ciel l'éclatante lumière qui se réfléchit dans une vaste étendue liquide, symbole de l'eau, de l'air et du feu, les trois acteurs de la mécanique des fluides.

La réponse à l'incertitude de la Mélancolie nul calcul ne la donnera, il faut la chercher au plus profond de nous-mêmes.