

**ARTICLE OU MÉMOIRE ?**  
**UNE RÉFLEXION COMPARATIVE**  
**SUR L'ÉCRITURE DES TEXTES SCIENTIFIQUES.**  
**NAVIER ET L'ÉCOULEMENT DES FLUIDES (1822–1827)**

Frédéric GRABER (\*)

---

**RÉSUMÉ.** — Cet article propose d'aborder la question de l'écriture des textes scientifiques en partant d'une méthodologie comparative. En choisissant deux textes assez proches du même auteur sur le même sujet (en l'occurrence des travaux de Navier sur l'écoulement des fluides dans les années 1820), on peut mettre en évidence des variations dans les formulations et dans la composition des textes. Ces différences peuvent parfois être attribuées aux genres des périodiques dans lesquels ils ont paru. Mais surtout, cette lecture permet de souligner l'importance centrale dans la construction de ces textes de la confrontation théorie-expérience, qui subit un traitement très différent en fonction de la plus ou moins grande coïncidence de la théorie et de l'expérience. Navier s'avère ainsi faire usage d'une « rhétorique de l'exactitude », émergeant à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle : convaincu que l'expérience et la théorie doivent nécessairement s'accorder, Navier donne soit à l'une soit à l'autre la primauté de l'exactitude, afin de localiser les défaillances et d'atteindre une coïncidence parfaite lorsque celles-ci sont maîtrisées.

**ABSTRACT.** — **ARTICLE OR MEMOIR? A COMPARATIVE REFLECTION ON THE WRITING OF SCIENTIFIC TEXTS. NAVIER AND THE FLOW OF FLUIDS (1822–1827).** — The aim of this paper is to explore the writing of scientific texts by using a comparative method. By choosing two very similar texts by the same author on the same subject (in this case two texts by Navier on the flow of fluids), it is possible to highlight variations in the phrasing, structure, and purpose of the texts. These

---

(\*) Texte reçu le 28 mai 2003, révisé le 22 mars 2004.

F. GRABER, Centre Alexandre Koyré, Muséum national d'histoire naturelle, Pavillon Chevreul, 57 rue Cuvier, 75231 Paris CEDEX 05 (France).

Courrier électronique : fgrab@wanadoo.fr.

Mots clés : Mécanique des fluides, hydraulique, Navier, équations de Navier-Stokes, écriture des textes scientifiques.

Classification AMS : 73-03, 01A55, 76D05.

differences have been related to the style of the journals in which they were published. However, a close reading shows that the key element is the relationship between theory and experiment which structures the argument. Navier's argumentative style can be seen to be taking part in a shift towards a 'rhetoric of exactitude', which emerges at the end of the 18th century. By giving prominence to the theory or the experiment, Navier is able to assign the cause of their incompatibility to the shortcomings at one or the other level, and to expect final agreement when these are corrected.

Un grand nombre de travaux se sont attachés depuis quelques années à souligner l'importance de l'écriture des textes dans la pratique scientifique<sup>1</sup>, comme une « technique digne d'analyse historique » [Schaffer 1998, p. 996]. Pour leurs auteurs, l'écriture scientifique n'est pas une évidence, comme elle pouvait l'être pour une histoire des sciences qui supposait que les faits et les concepts décrivent effectivement « les choses comme elles sont » [Licoppe 1996, p. 12]. L'écriture est plutôt considérée comme un processus très complexe, un travail qui essaye de tenir ensemble des objets scientifiques (expériences, concepts, machines, etc.), leurs formulations et les hommes qui les étudient. Selon Christian Licoppe, dont l'ouvrage, *La formation de la pratique scientifique*, est certainement un des meilleurs représentants de ce genre d'études, « il n'est en effet pas possible de séparer les formes littéraires du récit qui a vocation à convaincre, des pratiques matérielles rapportées et des faits ainsi constitués ([...] c'est-à-dire la nature), et du public ([...] c'est-à-dire la société) » [Licoppe 1996, p. 12]. Il s'agit de considérer la dimension rhétorique des textes scientifiques, « rhétorique » n'étant pas entendu comme broderie vaine et fallacieuse, mais dans son usage classique, comme art de convaincre<sup>2</sup> : ce n'est pas un emballage qui masque la vérité des choses, mais bien une technique parmi d'autres qui participe à l'établissement des vérités scientifiques. Dans cette perspective on ne peut plus séparer un contenu conceptuel ou factuel de son expression<sup>3</sup> : les objets de science dont parlent les textes, leur manipulation et leur force démonstrative n'existent que dans une

---

<sup>1</sup> Par exemple, [Shapin 1984], [Shapin and Schaffer 1985], [Dear 1991].

<sup>2</sup> Cet usage a été réintroduit surtout dans les années 1970 par toute une série d'auteurs soucieux des questions d'argumentation, voir [Perelman 1977, p. 7–14].

<sup>3</sup> Nous ne détaillons pas ici un autre courant de ces analyses de textes qui considère plutôt les formes linguistiques indépendamment des contenus scientifiques : ainsi l'étude de Dwight Atkinson [1999] essaye de faire émerger des variations historiques dans les formes d'énonciation en prenant comme objet d'étude les *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* de 1675 à 1975.

formulation littéraire.

Parmi les diverses analyses de « technologies littéraires » dans les textes scientifiques, cette dimension rhétorique a été privilégiée [Pestre 1995, p. 510], ce qui motive une critique assez radicale d'un généticien comme Pierre-Marc de Biasi : les historiens des sciences auraient selon lui une « incapacité radicale à penser l'écriture scientifique autrement que sous le rapport de la réception », incapacité à décrire réellement la dimension de la production [Biasi 2003, p. 25]. Cette critique tombe évidemment d'elle-même dans la plupart des cas, lorsqu'on reconnaît (comme Biasi lui-même) la difficulté : la situation peu favorable des archives scientifiques<sup>4</sup>. Mais le point intéressant dans cette prise de position, c'est que l'étude de la rhétorique, comme moyen de convaincre une audience spécifique, ne se fait pas en général par l'étude de l'écriture, mais par celle de la réception. Il y a là un manque auquel la génétique peut répondre : la comparaison de différents états d'un texte peut, en effet, mettre en évidence le processus d'écriture lui-même.

Notre démarche se situe à la rencontre des analyses que nous venons d'évoquer. Nous nous intéressons ici à l'écriture des textes, c'est pourquoi nous avons privilégié une méthode comparative<sup>5</sup>. Nous partons d'un constat simple : un texte communique toujours une certaine autorité, en particulier par l'aspect définitif que lui donne la forme publiée. Le texte ne nous livre pas le possible, ce qui aurait pu être écrit autrement. Il se donne comme ce qui est écrit effectivement et qui nous apparaît donc comme la seule formulation possible.

Il s'agit là plutôt d'un effet que le texte produit sur le commentateur, effet caractéristique d'un texte isolé (en particulier de son contexte).

---

<sup>4</sup> Biasi exagère beaucoup l'absence en histoire des sciences de « l'espace des archives », de l'espace de la recherche elle-même : le travail des historiens est d'abord un travail d'archives et certains essayent tout à fait d'intégrer l'évolution des textes, les carnets de laboratoires, etc., en particulier les *analyses de controverses* dont l'ouvrage de Rudwick [1985] reste l'exemple le plus magistral. Cependant les historiens doivent assumer les lacunes des archives et ne pratiquent évidemment pas une génétique des textes au sens strict. La proposition de Biasi de s'intéresser davantage à la production des textes n'avait aucun besoin de son introduction polémique qui ignore largement les études de cas.

<sup>5</sup> Notre méthodologie se rapproche de la génétique, même si notre première source d'inspiration en était fort éloignée : les remarques qui suivent doivent beaucoup aux travaux de Michel Charles et à la fréquentation de son séminaire de théorie littéraire à l'École normale supérieure.

La comparaison de textes peut, au contraire, faire apparaître une certaine souplesse, montrer qu'un terme peut en remplacer un autre, que la composition peut être différente. On peut alors se donner comme but d'interpréter ces variations. Mais il faut que les textes comparés soient assez proches pour qu'on puisse effectivement analyser des différences et des similitudes dans l'écriture. L'idée est donc de choisir deux textes très voisins, du même auteur sur le même sujet, mais publiés dans des contextes éditoriaux et institutionnels différents : nous avons choisi deux textes de Navier sur l'écoulement des liquides.

Cette méthode comparative permettra de mettre en évidence des dimensions rhétoriques (ajustement de l'écriture au support de publication, ajustement des formulations pour être plus convaincant, etc.), mais aussi des aspects plus épistémologiques de ces textes : nous développerons particulièrement les relations que Navier construit entre théories et expériences.

## 1. NAVIER ET SES PUBLICATIONS

Présentons d'abord brièvement l'auteur et les deux textes retenus. Claude-Louis-Marie-Henri Navier<sup>6</sup> (1785–1836), ancien élève de l'École polytechnique, était ingénieur des ponts et chaussées. Affecté au département de la Seine, il a contribué à la construction de plusieurs ponts, dont la malheureuse tentative du pont des Invalides : un pont suspendu qui s'effondre avant d'être terminé et pour lequel Navier avait développé une théorie, suite à des voyages d'étude sur ce sujet en Angleterre. Ce projet est souvent cité par les historiens (voir [Kranakis 1997] et [Picon 1992, p. 371–384]) comme l'exemple même des ambitions théoriques des ingénieurs français du début du XIX<sup>e</sup> siècle formés à l'École polytechnique. Parent du célèbre inspecteur des ponts et chaussées, E.-M. Gauthey dont il publie les œuvres posthumes, Navier est aussi éditeur de versions corrigées et réactualisées des deux grands ouvrages de Bernard F. de Bélidor, célèbre ingénieur et académicien du XVIII<sup>e</sup> siècle : *L'Architecture hydraulique* et *La science des ingénieurs* [Bélidor 1819 et 1813], qui sont encore des références en ce début de XIX<sup>e</sup> siècle. Navier a aussi des charges d'enseignement en mécanique appliquée à l'école des Ponts et

---

<sup>6</sup> Pour une biographie de Navier voir [McKeon 1974] et [Kranakis 1997].

Chaussées (à partir de 1819) et en analyse et mécanique à l'École polytechnique (à partir de 1831). Dans toutes ces activités, Navier cherche à développer la part des mathématiques dans l'art de l'ingénieur. Parallèlement, Navier consacre aussi du temps à des recherches savantes, soumettant à l'Académie des sciences des années 1810 à 1830 toute une série de mémoires sur des sujets divers. Il est élu membre de l'Académie en 1824.

Venons-en aux deux textes que nous avons choisis. Le premier est intitulé « Sur les lois des mouvements des fluides, en ayant égard à l'adhésion des molécules », inclus dans les *Annales de chimie et de physique* [Navier 1822]. Le deuxième est un « Mémoire sur les lois du mouvement des fluides », paru dans les *Mémoires de l'Académie des sciences* pour l'année 1823, mais dont la parution effective date de 1827 (de nombreux textes du volume concernent des lectures à l'Académie de 1826) [Navier 1827<sub>a</sub>]. Nous désignerons désormais pour plus de clarté le premier comme *article*, le second comme *mémoire*.

Il y eut deux lectures<sup>7</sup> à l'Académie des sciences en 1822. Les commissions nommées pour en rendre compte n'ont pas remis leurs rapports, nous ne pouvons donc pas conclure avec certitude sur le contenu de ces deux lectures.

Par ailleurs, deux résumés ont paru dans les revues de la Société philomatique : l'un, anonyme, dans le *Bulletin des sciences* pour 1822 (p. 75–79) reprend les grandes lignes de l'article ; l'autre de Navier lui-même, publié en 1825 dans le *Nouveau bulletin des sciences* (p. 49–52), suit dans l'ensemble le plan du *mémoire*. À partir des mentions datées, « lu à l'Académie le. . . », qui figurent sur tous ces textes, on peut conclure que le *mémoire* et l'*article* correspondent à peu près à deux états successifs d'un même travail, présentés dans les deux lectures de l'Académie dont nous avons parlé. Ceci n'exclut pas que le *mémoire* ait été considérablement réécrit pour sa publication en 1827, comme le prouvent quelques détails qui le distinguent de la version résumée de 1825<sup>8</sup>. Au-delà de ces modifications, on peut identifier, dès les lectures à l'Académie, deux grandes

---

<sup>7</sup> Le 18 mars 1822, il y eut la lecture de « Sur les lois du mouvement des fluides, en ayant égard à l'adhésion des molécules » et le 16 décembre 1822, celle de « Sur les mouvements des fluides en ayant égard à l'adhésion des molécules » [*Procès-verbaux des séances de l'Académie des sciences* 1915, VII, p. 296 et 403].

<sup>8</sup> En particulier le dernier exemple d'écoulements qui figure dans le *mémoire*, les lits découverts, ne figure pas dans ce résumé de 1825.

lignes conceptuelles.

Les deux textes que nous allons comparer présentent beaucoup de proximités dans la structure, les concepts utilisés et leurs agencements : les écarts n'en sont que plus visibles. Nous essayerons de les attribuer soit à l'évolution conceptuelle, soit à une stratégie rhétorique, soit au genre du texte, ces trois aspects pouvant largement s'entremêler. Nos textes étant publiés par des canaux très différents, il est vraisemblable que leur écriture y est ajustée : nous désignerons sous le terme de « genre » ce qui nous semble relever de cette adaptation. Des caractères divers qui pourraient être indépendants du sujet traité et correspondre soit aux attentes des éditeurs, soit à celle d'un public, ainsi la place des mathématiques, la taille du texte, la forme des citations, etc., permettront de définir progressivement les genres de l'*article* et du *mémoire*. Nous tenterons, lorsque cela nous semblera possible, de rapprocher ces différences des caractéristiques des deux périodiques dans lesquels ils ont paru et que nous allons à cet effet présenter brièvement.

Les *Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France*<sup>9</sup> sont une publication officielle de l'Académie des sciences. Ils accueillent uniquement des textes de membres, sélectionnés de surcroît par une commission. La nouvelle série, commencée sous la Restauration, se place dans la continuité de la précédente (qui correspond à la fondation de l'Institut en 1795) et des séries de *Mémoires de l'Académie des sciences* du XVIII<sup>e</sup> siècle, dont elle reprend l'exact principe. Elle comporte un volume par an et le délai de publication est en général de plusieurs années. Certes, cette publication reste au début du XIX<sup>e</sup> siècle la plus prestigieuse dans le domaine des sciences, mais elle commence à être concurrencée par l'apparition de nombreuses revues scientifiques de qualité. Ce phénomène est lié à la professionnalisation croissante de la science, qui s'opère en particulier par une importance accrue des publications. L'approbation de l'Académie, qui reste la garantie par excellence de qualité d'un travail, n'est plus le seul objectif des savants : la question de la priorité les pousse à publier de plus en plus vite, contribuant à donner à la recherche un nouveau rythme. Dans ce contexte, les *Mémoires de l'Académie des sciences* sont handicapés par leur parution très différée par rapport à

---

<sup>9</sup> À ce sujet on peut consulter par exemple le chapitre 8 (« the printed word ») de [Crosland, 1992] dont nous reprenons ici quelques points.

des journaux scientifiques aux délais très courts, lesquels permettent de véritables discussions qui concurrencent formellement celles des séances de l'Académie. Les académiciens en sont tout à fait conscients. Ainsi, en 1809, une commission est nommée pour proposer des solutions à une crise plus globale (en particulier la désaffection des lectures dans les séances, liée, elle aussi, à l'exigence de priorité) et propose dans son rapport :

« Ne plus exclure des vos Mémoires ceux qui ont déjà été imprimés ailleurs, faire au contraire de votre collection un recueil classique et choisi de tout ce que vous aurez fait de meilleur, en vous laissant le temps de le revoir et de le corriger, c'est un moyen d'assurer encore sa réputation, lorsque les ouvrages périodiques qui rivalisent aujourd'hui avec elle, seront oubliés depuis longtemps.

Enfin publier vous-même un recueil périodique où les Membres de la Classe pourront placer leurs observations journalières, et qui aura pour second objet de vous faire connaître régulièrement à vous-même les observations des étrangers, c'est répondre en quelque sorte à tout » [*Procès-verbaux des séances de l'Académie des Sciences* 1915, IV, p. 227–228].

Cette deuxième proposition ne sera réalisée qu'en 1835 avec l'apparition des *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, hebdomadaire qui redonnera à l'Académie une place centrale dans les publications scientifiques. Le *mémoire* de Navier se situe donc dans une période critique pour les *Mémoires de l'Académie*. C'est une production d'élite, destinée à être un « recueil classique et choisi » des meilleures productions des académiciens. Elle prétend véhiculer un savoir soigné qui se pense éternel, conservé dans de beaux volumes de cuir qui soulignent sa nature de monument, par opposition au savoir des périodiques qui sera vite oublié. Mais au-delà des honneurs, c'est une production en perte de vitesse dans le nouveau rythme de la science.

Les *Annales de chimie et de physique* sont par excellence une de ces productions jeunes et rapides (certains articles paraissent dans le mois même de leur communication), adaptées à la nouvelle circulation du savoir et aux impératifs de faire connaître le plus vite possible le lien entre le nom et la production du savant. Fondé en 1816, ce journal connaît dès ses premières années un grand succès en France, mais aussi à l'étranger. Il accueille un éventail très large de savants, dont un grand nombre d'étrangers et de non-académiciens dont les textes n'ont pas été acceptés dans la publication de l'Académie réservée aux non-membres<sup>10</sup> :

---

<sup>10</sup> Cette publication, les *Mémoires présentés à l'Institut des sciences, lettres et arts par divers savants, et lus dans ses assemblées : sciences mathématiques et physiques*,

typiquement Fourier et sa théorie de la chaleur. Outre des articles de fond, on y trouve aussi beaucoup de correspondances et de réactions, ce qui en faisait un mode de communication très vivant, qui contraste fortement avec les *Mémoires* beaucoup plus formels dans leur présentation.

L'*article* de Navier est publié le même mois qu'a lieu la première lecture à l'Académie (mars 1822), le *mémoire* ne paraît que cinq ans plus tard (le fait que Navier soit élu académicien en 1824 est capital puisqu'il faut être membre pour être publié dans les *Mémoires*) : de ce point de vue, nos deux textes correspondent parfaitement à la différence que nous venons d'exposer entre les deux périodiques. Nous verrons bientôt si d'autres particularités dans l'écriture peuvent être interprétées en termes de genre.

## 2. UNE THÉORIE MOLÉCULAIRE DES FLUIDES

Le sujet des deux textes de Navier est le mouvement des fluides, considéré essentiellement sous l'angle de la mécanique rationnelle, mais aussi sous l'angle de la pratique, ce que Navier appelle les « applications ». Ces deux registres (mécanique rationnelle, pratique de l'hydraulique) sont en général considérés par les historiens<sup>11</sup> comme séparés : au XVIII<sup>e</sup> siècle naît, avec Euler, les Bernoulli et d'Alembert, une mécanique des fluides qui formule une équation du mouvement des fluides, équation locale aux dérivées partielles ; mais cette théorie est incapable de rendre compte dans la pratique de nombreux phénomènes où se manifestent les frottements du fluide, et les ingénieurs, les hydrauliciens l'ont donc peu ou pas utilisée durant la deuxième moitié du XVIII<sup>e</sup> siècle et le début du XIX<sup>e</sup> siècle, mais ils ont développé des formules pratiques adaptées à leurs problèmes. Bossut, Dubuat, Chézy, Girard et Prony sont les grands

---

communément désignée par son ancien titre de *Mémoires des savants étrangers*, accueille quelques textes de non-membres dont les présentations pendant les séances ont été jugées dignes d'être publiées. Les éloges ne suffisent pas cependant pour que les textes paraissent effectivement. Par ailleurs, la publication est limitée, en particulier par des impératifs budgétaires, et les délais sont tout aussi longs que pour les *Mémoires de l'Académie*.

<sup>11</sup> Pour une histoire focalisée sur les aspects théoriques, on peut lire [Dugas 1950] ; pour un panorama plus général sur l'hydraulique et l'hydrodynamique, on peut lire [Ince et Rouse 1957]. Ces ouvrages, très utiles pour se repérer, proposent cependant une description téléologique de l'histoire (nous entendons par là une description centrée sur le progrès, qui évalue l'importance des acteurs à l'avenir de leurs théories) dont nous souhaitons nous démarquer.



noms de cette recherche de formules pragmatiques qui concernent des grandeurs macroscopiques et prennent en compte les frottements.

Cette très brève présentation de l'état de la question au début du XIX<sup>e</sup> siècle n'est d'ailleurs guère différente de celle que Navier donne au début de nos deux textes. Dans l'ensemble cette opposition entre une théorie célèbre mais peu utilisable et des recherches essentiellement expérimentales visant à produire des outils utilisables en pratique, est juste. Il faut cependant nuancer un peu : on assiste, surtout au tournant du siècle, avec Girard et Prony, à des tentatives de calcul des frottements, qui même si elles n'aboutissent pas à une nouvelle équation locale, prétendent rendre compte de ces phénomènes par la théorie ([Girard 1804], [Prony 1804]). La démarche de Navier n'est donc pas complètement isolée, elle se distingue cependant par la volonté d'établir une nouvelle équation du mouvement au niveau local.

Une des caractéristiques majeures de ces travaux de Navier est l'utilisation du concept d'action moléculaire. Ces actions sont des forces entre molécules qui sont censées n'avoir une action sensible qu'à des distances insensibles. Sensible et insensible sont les termes mêmes de Laplace, grand fondateur d'un courant de recherches (qui se développe pendant le Consulat et l'Empire) pour lequel les actions moléculaires constituent la clef de l'interprétation physique du monde<sup>12</sup>. Navier prend en compte ces actions moléculaires dans tous ses mémoires touchant à l'élasticité et à l'écoulement des fluides, ces deux types de recherches étant largement similaires<sup>13</sup>. De nombreux savants de l'époque voient une proximité entre les phénomènes de capillarité et l'adhérence entre le fluide et la paroi dans les écoulements. C'est une génération très marquée par le succès de la solution de Laplace à la question de la capillarité statique grâce aux actions moléculaires (travaux qui datent des années 1806–1807). Même si la période (depuis la Restauration) devait être considérée comme critique et distante par rapport à Laplace et à un éventuel programme laplacien, comme l'affirme Robert Fox [1975], dans le domaine des écoulements, il faut remarquer que de nombreux savants continuent à faire le lien entre adhérence et capillarité<sup>14</sup>. On ne peut donc pas considérer que Navier

---

<sup>12</sup> Pour un exposé complet sur ce courant, voir [Fox 1975].

<sup>13</sup> [Darrigol 2002] permet de bien expliciter cette continuité.

<sup>14</sup> Par exemple Girard, Hachette, etc.

est, par l'usage qu'il fait de ces actions, en décalage avec la science de son temps.

### 3. QUELLE COMPARAISON ?

Les deux textes de Navier que nous avons présentés ne sont pas isolés dans son travail, ils font directement suite à ses travaux sur l'élasticité. Ils seront également suivis jusqu'en 1850 par plusieurs travaux d'autres savants contemporains (Cauchy, Poisson, Saint-Venant et Stokes) sur l'élasticité et l'écoulement des liquides qu'Olivier Darrigol [2002] a comparés pour retracer la généalogie de l'équation de Navier-Stokes. On peut se reporter à cet article pour une comparaison des manières dont ces différents auteurs ont traité ces questions.

Pourtant nos deux textes sont aussi relativement isolés : ils n'ont donné lieu qu'à une seule réaction explicite, celle d'Antoine Cournot [1828]. Ce texte est un compte rendu qui résume en quatre pages le *mémoire* et en fait une critique. Il est intéressant dans l'optique de notre étude parce qu'il s'agit réellement d'une lecture directe du texte de Navier. Il y a bien un impact des travaux de Navier, mais ce sont surtout ses premiers travaux sur l'élasticité de 1820–1821, et non ceux sur l'écoulement des liquides, qui ont provoqué des réactions. Ainsi, dans ses « Recherches sur l'équilibre et le mouvement des corps solides ou fluides, élastiques ou non élastiques », Cauchy [1823] répond directement à celles de Navier [Darrigol 2002, p. 117]. Avec Poisson cela tourne même à la querelle de priorité [Darrigol 2002, p. 125]. Quoi qu'il en soit, ce n'est pas à ce niveau que nous aimerions nous placer dans ce qui suit. La comparaison que nous proposons entre les deux textes vise à montrer dans quelle mesure la composition des textes et les formulations sont constitutives de sens spécifiques. Dans cette perspective, les contemporains ne peuvent donc nous être utiles que dans la mesure où ils nous rapportent une lecture des textes de Navier, ce qui est tout juste le cas de Cournot. Par conséquent, nous ne ferons que très marginalement référence à des textes autres que ceux que nous proposons d'analyser. Une comparaison plus large avec d'autres textes de Navier et de ses contemporains est possible et intéressante (elle est même largement entreprise par Olivier Darrigol), mais elle ne permettrait pas de percevoir les nuances que nous allons mettre en évidence, nuances de composition et de formulation. Pour comparer il faut une certaine

proximité. Lorsque les textes diffèrent davantage que les nôtres, on ne compare plus que ce qui peut l'être : les formulations mathématiques sont alors favorisées par rapport aux autres aspects de l'écriture des textes, parce qu'on peut aisément donner à celles-là une forme unifiée et détachée du contexte, alors que ceux-ci deviennent rapidement incomparables. Il serait en revanche intéressant, dans une future étude, de compléter notre comparaison en confrontant les éléments que nous aurons mis en évidence avec des occurrences ou des formulations similaires ou différentes dans d'autres textes, mais cela dépasse le cadre limité de cet article.

Si notre analyse va rester largement immanente à nos deux textes, encore faudra-t-il en préciser l'extension.

La lecture comparée de ces textes fait apparaître une foule de petites variations, qui se traduisent par des imprécisions sur les mots ou les outils mathématiques (ce qu'on peut d'ailleurs observer aussi à l'intérieur d'un même texte). Nous ne donnerons que deux exemples parmi d'autres de ce phénomène. Le premier concerne des mots, comme « molécules », « particules », « points » et quelques autres ; ils sont utilisés dans des sens voisins, mais qui autorisent des glissements de sens, « point » en particulier remplace « molécule » lorsqu'il s'agit d'intégrer (opération qui est difficilement compatible avec la nature discrète des molécules). Second exemple, lorsqu'on répète une opération mathématique à l'intérieur du même texte, on constate une certaine variation : ainsi dans le *mémoire*, c'est seulement en intégrant pour la quatrième fois que Navier justifie son intégration. Ces variations ne sont pas nécessairement signifiantes, elles montrent une incertitude sur ce qu'il est nécessaire d'expliquer ou de justifier, ou tout simplement un manque de maîtrise. Ces glissements de sens, ces petits écarts donnent une impression de marge, de jeu, qu'il est bien utile de garder en mémoire, pour se rappeler que les objets scientifiques manipulés dans les textes sont toujours tributaires de leur formulation : celle-ci leur confère une petite incertitude dans les contours et les définitions, qui n'est pas sans incidence pour la diversité des lectures possibles.

Dans une étude plus complète, [Graber 2000], nous avons mené une comparaison linéaire des deux textes où ces variations infimes jouxtaient d'autres plus importantes. Faute de place nous allons nous concentrer dans la suite sur quelques différences seulement<sup>15</sup>, particulièrement signi-

---

<sup>15</sup> Pour une saisie synoptique des principales différences entre le mémoire et l'article

ficatives. Outre les réflexions sur le genre de ces textes, la question de la confrontation entre théorie et expérience sera au centre de notre propos, et si nous abordons d'autres aspects (introduction, mode de citation, calculs) c'est qu'ils sont nécessaires à la compréhension.

#### 4. INTRODUIRE

Nos deux textes concentrent dans l'introduction un très grand nombre de différences. Le principe général de l'introduction est commun aux deux textes : rappeler la théorie traditionnelle des écoulements de fluides, théorie réputée, qu'on ne peut ignorer, et introduire l'hypothèse traditionnelle sur laquelle elle repose. Navier remet en cause cette théorie et introduit une nouvelle hypothèse, dont l'exploitation sera l'objet des deux textes. Soulignons deux choses : les citations et l'introduction de la nouvelle hypothèse.

La théorie traditionnelle a permis à quelques-uns des plus célèbres savants du XVIII<sup>e</sup> siècle de développer une théorie du mouvement des fluides : Euler, d'Alembert. Dans l'*article*, ces deux savants sont cités, nommés, quatre fois dans la seule partie introductive (aucune référence dans la partie équivalente du *mémoire*). Ces savants sont présentés comme des acteurs de l'histoire, en particulier par l'usage du passé. Ce sont aussi des êtres agissant à part entière : ils sont sujets de verbes comme « représenter », « regarder », « considérer » [A.244, A.245]<sup>16</sup>. Ce sont bien eux, personnages précis de l'histoire, qui produisent finalement les équations bien connues de l'hydrodynamique. On se place donc dans un développement, dans une temporalité. Dans le *mémoire*, au contraire, les concepts sont les seuls sujets et acteurs d'un discours au présent : les équations sont déduites de principes, les principes supposent, etc. Cela donne à ce début un tout autre style : il ne s'agit plus d'un historique (avec des références), mais d'un discours détaché de tout contexte, comme si tout le monde pensait ainsi, comme si on avait toujours pensé ainsi.

De même, dans l'*article*, lorsqu'il introduit sa nouvelle hypothèse (ce que nous détaillerons dans un instant) Navier cite deux fois Laplace

---

que nous allons détailler, nous renvoyons au tableau en annexe.

<sup>16</sup> Nous proposons de noter [A.244] la référence à l'*article* (ici à la page 244), et de même [M.244] pour le *mémoire*.

par son nom, ce qui est particulièrement important puisque Laplace est la référence obligée en matière d'actions moléculaires. Dans le *mémoire*, aucune trace de Laplace quand il introduit la même hypothèse. Seul le terme « actions moléculaires », éventuellement le terme « molécule », permettent à un lecteur contemporain de Navier de reconstituer une référence à Laplace.

La présence des autorités dans le premier texte est une façon assez classique de se positionner à un certain niveau, de bénéficier de la célébrité de ceux que l'on cite, de s'inscrire dans une continuité intellectuelle (même si on conteste en partie les résultats). C'est une stratégie relativement modeste, cohérente avec la position de l'auteur au moment de la rédaction : il n'est pas académicien, il n'est en quelque sorte qu'aspirant au titre de savant consacré. L'absence des autorités dans le *mémoire* n'affaiblit pas l'auteur, au contraire, elle souligne son autorité propre. Publication d'un académicien, le *mémoire* est d'emblée le texte d'un savant nécessairement important. Le texte, destiné à devenir un monument éternel, fait partie du monde des savants. Comme nous allons le voir, dans tout le *mémoire* la présence des autres savants, sous la forme de références, est minimale, ce qui permet à Navier de rester pratiquement le seul locuteur dans son discours.

Cette différence change aussi le sens du terme « géomètre » [A.244, M.389], utilisé dans la première phrase (les premiers mots) des deux textes pour qualifier les savants. « Géomètre » est un terme qui désigne à l'époque, un savant mathématicien ou physicien. Terme très utilisé au XVIII<sup>e</sup> siècle, il l'est déjà beaucoup moins dans les années 1820<sup>17</sup>. Ce déclin s'accompagne d'un glissement vers un sens honorifique : il est systématiquement rattaché à un adjectif comme « illustre », « célèbre », « grand », etc. et on le rencontre surtout pour désigner de grandes figures du passé, ainsi que quelques célébrités vivantes ou récemment disparues, essentiellement Laplace et Poisson. Dans l'*article*, ce sont les autorités classiques, Euler, d'Alembert, qui sont qualifiées ainsi, alors que dans le *mémoire*, l'absence de précision et l'atemporalité incluent l'auteur dans le

---

<sup>17</sup> Ces conclusions reposent sur nos lectures des *Annales* et des *Mémoires* sur cette période. Nous avons remarqué qu'on emploie, sur cette même période, des termes précis pour désigner les savants selon leurs disciplines. Une conclusion plus positive supposerait l'emploi de dictionnaires historiques qui malheureusement ne fournissent que très rarement des dates pour la disparition ou la marginalisation d'un terme.

groupe des géomètres. On s'adresse à ses pairs, les seuls aptes à juger : les géomètres, on en fait partie. Navier se célèbre donc un peu lui-même.

Pour mesurer l'importance des noms cités ou non dans l'introduction on peut faire référence à une querelle de priorité qui oppose Navier à Poisson en 1828 :

« Lorsque M. Poisson a lu à l'Académie cet article, dans lequel l'auteur fait mention des principales recherches des anciens géomètres qui se rapportent au sujet qu'il venait de traiter, je n'ai pu me dispenser de rappeler celles que j'avais faites moi-même, et qui sont exposées dans un écrit présenté en 1821, publié par extrait dans le *Bulletin de la Société philomatique*, en 1822, et imprimé en entier en 1827, dans le t. VII des *Mémoires de l'Académie*. M. Poisson a répondu que les citations relatives à mon travail étaient consignées dans le cours de son Mémoire (procès-verbal de la séance du 28 avril 1828), mais j'aurais eu davantage à me louer de la bienveillance ou de la justice de l'auteur, si, ne traitant pas les vivants moins bien que les morts (puisque l'immense supériorité des uns n'est pas une raison pour laisser les autres dans l'oubli), il eût fait cette citation dans le préambule ou exposé de son travail. En effet ce préambule est connu de l'Académie, publié dans les journaux scientifiques, lu par toutes les personnes qui ont le goût des sciences physiques et mathématiques ; tandis que le Mémoire lui-même étant le sujet d'une étude difficile, à la portée d'un petit nombre de savants, la mention que l'auteur y a rejetée demeurera presque inconnue » [Navier 1828, p. 304-305].

Sur le statut exact de ce qu'il faut entendre par « préambule », on peut discuter : il peut s'agir de l'introduction (qui est souvent qualifiée ainsi dans les *Mémoires*) ou d'une forme abrégée du travail telle qu'elle est lue à l'Assemblée et publiée dans les journaux. Quoi qu'il en soit, la différence établie par Navier entre des textes facilement accessibles à « toutes les personnes qui ont le goût des sciences » et des mémoires difficiles, lus seulement par un « petit nombre de savants », doit retenir notre attention. Une citation « rejetée » dans un mémoire compte beaucoup moins : signe que la reconnaissance scientifique n'est plus seulement aux mains du « petit nombre de savants », mais que c'est la diffusion plus large des idées et des noms qui est devenue importante ; signe aussi que la place de la citation est essentielle et que le cœur du texte n'est pas la plus généreuse.

Par ailleurs, Navier introduit une autre différence entre les morts et les vivants, comme s'il était plus facile de citer les morts, comme si l'on pouvait avoir intérêt à éviter de citer les vivants. Cette idée nous permet de compléter la comparaison des manières de citer de nos deux textes. L'*article* fait dans l'introduction une dernière référence à Fourier, lequel a une importance particulière pour les deux textes puisque Navier utilise les

toutes nouvelles séries de Fourier dans son calcul. Dans l'*article* toujours, le même Fourier réapparaît à nouveau nommé pour justifier l'usage desdites séries lorsqu'on les introduit. Dans le *mémoire*, Fourier n'apparaît pas dans l'introduction, mais pendant le calcul, sous la forme d'une référence que je qualifierais de technique et qui consiste à citer uniquement le titre de l'ouvrage : « Voyez la *Théorie de la chaleur*, page 399 » [M.420 et M.424]. Cette fois, c'est pour faire usage d'un détail mathématique que Navier cite ainsi Fourier, il n'y a aucune référence lorsqu'il introduit les séries. On peut donc affirmer qu'il « rejette » la citation dans le calcul, mais il fait davantage, il cite uniquement des titres (il le fait aussi pour un détail technique de la *mécanique analytique* de Lagrange [M.397]), ce qui n'est concevable que dans la mesure où il s'adresse à des lecteurs pour lesquels ces références sont évidentes. La mention nominale des auteurs semble devoir être évitée, réduite au maximum dans le *mémoire*.

Si cette question de la citation nous paraît essentielle, c'est qu'il s'agit le plus souvent dans l'introduction de justifier la nouveauté et l'intérêt du travail présenté. La nouveauté d'une recherche est, à l'époque, une partie essentielle de sa valeur. Ainsi que l'a noté Hugues Chabot [2000], en étudiant les travaux scientifiques rejetés par l'Académie au début du XIX<sup>e</sup> siècle, un des reproches fréquents adressés par les académiciens aux auteurs de mémoires, c'est leur manque de connaissance de l'état de la question : la nouveauté de l'objet ou la particularité de l'approche sont essentielles. L'introduction des textes scientifiques de cette période consiste fréquemment à se positionner dans le paysage scientifique. L'auteur se place dans la continuité d'autres travaux, ou en opposition à eux, ou enfin, cas le plus fréquent, il se montre dans la continuité, tout en prétendant dépasser dans une certaine mesure ces travaux antérieurs. Ce positionnement est un enjeu important des textes scientifiques de ce début de XIX<sup>e</sup> siècle, comme le montre la place souvent considérable accordée par les scientifiques (et plus encore par les ingénieurs) aux passages historiques, au point que certains textes sont entièrement consacrés à ces questions historiques<sup>18</sup>. Certains auteurs cependant se dispensent d'introduction ou

---

<sup>18</sup> Pour ne prendre que des auteurs dont il sera ici question : Navier a une culture scientifique tout à fait exceptionnelle et un grand talent pour l'exposer, ses commentaires de l'*Architecture hydraulique* de Bélidor se prêtent très bien à cet exercice historique, au point que le texte est considérablement augmenté et devient dans une large mesure celui de Navier (un intérêt de l'historique pouvant être de faire sien un tra-

de références dans l'introduction, ce qui peut déclencher des querelles de priorité : c'est souvent le cas de Poisson, comme dans l'exemple que nous avons reproduit plus haut.

Voyons à présent comment la nouvelle hypothèse de Navier est introduite. Il faut d'abord préciser ce que nous entendons par hypothèse. Navier utilise dans ses deux textes le terme « principe » pour qualifier les prémisses sur lesquelles il va construire sa théorie. Nous parlons d'hypothèses parce que la validité du principe sera en question, même si très différemment dans les deux cas.

Commençons par la *mémoire* qui présente une logique beaucoup plus claire. Après avoir énoncé l'hypothèse traditionnelle (absence de frottement), Navier y affirme qu'on observe des « différences considérables » entre les résultats de la théorie traditionnelle et les « effets naturels » (les faits d'expérience) [M.389]. Ces différences « indiquent la nécessité » de recourir à une nouvelle hypothèse, qui est alors introduite dans sa forme générale : la considération des actions moléculaires. Suit un exemple « d'effet naturel » où les différences en question sont manifestes : le cas de l'écoulement dans un tuyau long et étroit.

Les actions moléculaires à l'équilibre ne s'annulent pas (ce qui est une différence conceptuelle importante avec l'*article*), mais compensent les forces extérieures. Dans le cas du mouvement, les actions moléculaires sont modifiées. Grâce aux expériences (convoquées par l'expression très vague de « tous les phénomènes indiquent » [M.390]), Navier justifie que les actions varient avec l'éloignement ou le rapprochement des molécules. Il introduit alors (« nous admettrons [...] nous prendrons pour principe » [M.391]) sa nouvelle hypothèse sous sa forme précise : les actions moléculaires sont proportionnelles à la vitesse relative des molécules.

« Prendre pour principe » souligne bien le caractère hypothétique du principe choisi. En mettant en avant l'écart entre théorie traditionnelle et expérience, le *mémoire* ne prétend pas justifier son hypothèse, il renvoie ainsi à la fin, à la confrontation entre sa théorie et l'expérience, pour confirmer l'hypothèse. Le principe y sera d'ailleurs qualifié de

---

vail antérieur); dans le même style il publie par exemple des « détails historiques sur l'emploi du principe des forces vives dans la théorie des machines, et sur diverses roues hydrauliques » [Navier 1818]. Girard, dont il sera également question dans nos textes, est lui aussi un grand adepte de ces considérations historiques, auxquelles il consacre beaucoup de travail.



« supposition d'une action proportionnelle à la vitesse » [M.432] avant d'être complètement validé par la coïncidence avec l'expérience. Le principe du *mémoire* est donc une hypothèse au sens fort où sa validité n'est pas d'abord justifiée mais renvoyée à une confirmation finale. Il y a bien quelques lignes de justification dans cette introduction lorsque Navier veut rendre « naturelle » l'idée que les actions sont modifiées dans le cas du mouvement ; mais sinon le principe est simplement posé. Ce caractère fortement hypothétique a d'ailleurs été perçu par Cournot, le seul critique contemporain attesté du mémoire :

« Au reste, M. Navier lui-même ne donne le principe dont il est parti que comme une hypothèse que l'expérience seule peut vérifier » [Cournot, 1828, p. 13].

L'*article* procède d'une façon assez différente. Dès l'énoncé de l'hypothèse traditionnelle, l'*article* précise que les géomètres « n'ont pas considéré » les actions moléculaires [A.245]. Le défaut de la théorie traditionnelle est donc d'abord de n'avoir pas tenu compte d'un principe essentiel dont le statut d'hypothèse n'est pas du tout ce qu'il sera dans le *mémoire* : ce principe est incontournable, vrai *a priori* et on ne cessera de le justifier et de le réaffirmer. La citation de Laplace intervient dans ce contexte. Elle présente Laplace comme « le seul qui ait recherché les lois de l'équilibre des fluides incompressibles, en ayant égard aux actions moléculaires » [A.245], permettant à Navier de se placer dans la continuité de ces recherches. Mais elle renforce aussi implicitement la vérité du principe : les actions moléculaires existent et la meilleure preuve en est le succès spectaculaire de Laplace sur l'équilibre des fluides. Dans la même logique, Navier poursuit par une description du fluide à l'équilibre (ainsi que de l'écoulement uniforme qui y est assimilé) où il conclut à la destruction réciproque des actions moléculaires. Seule la surface est alors affectée « suivant les lois que M. de Laplace a soumises au calcul » [A.245]. Navier réaffirme ensuite à nouveau son principe : dans l'état de mouvement il faut « nécessairement » tenir compte d'actions moléculaires (différentes de celles à l'équilibre) « si l'on veut connaître les véritables lois du mouvement » [A.245]. Dans cette logique, l'incompatibilité de la théorie traditionnelle avec l'expérience, qui apparaît ensuite (voisine de celle du *mémoire*, suivie du même exemple, le tuyau de diamètre très petit), n'est plus qu'une justification parmi d'autres.

L'introduction de la nouvelle hypothèse sous sa forme précise est aussi

beaucoup plus complexe que dans le *mémoire*. Ayant affirmé que les actions se détruisent à l'équilibre et dans le cas du mouvement uniforme, Navier conclut que les seules variables pertinentes dont peuvent dépendre les actions, sont la pression et la vitesse des molécules (ce qui est loin d'être évident !). Puis il convoque un « grand nombre d'expériences » (sans référence) [A.246] pour affirmer que la pression n'intervient pas et que donc la seule variable pertinente est la vitesse. L'image du ressort lui permet ensuite de parler implicitement des actions : elles sont comme des ressorts entre les molécules, elles attirent celles qui s'éloignent et repoussent celles qui se rapprochent. Navier en conclut que les actions dépendent de la vitesse relative et ajoute que cela nous est « enseigné par l'expérience » (toujours sans précision) [A.248] : la vitesse relative est la seule variable, la pression n'intervient pas. Il termine cette introduction par un raisonnement très cohérent, qui permet de justifier que les actions sont proportionnelles à la vitesse relative des molécules, grâce à la continuité de la vitesse et aux très petites dimensions. Il rajoute même une expression mathématique du terme proportionnel, alors même qu'elle ne sera d'aucune utilité dans le calcul. Dans l'*article*, la place des mathématiques est très réduite (comme on va le voir dans un instant), une telle formule a donc d'abord un effet visuel : elle permet de réaffirmer dans un autre langage l'hypothèse nouvelle.

On voit combien cette présentation du nouveau principe est différente de celle du *mémoire*. Navier procède à une justification détaillée. Il ne laisse pas l'hypothèse reposer entièrement sur une confrontation à venir entre théorie et expérience, mais il défend au contraire sa valeur intrinsèque : on peut montrer qu'elle est juste, par la référence à Laplace, par l'expérience, l'image du ressort, etc. En effet, elle est davantage montrée que démontrée. D'une part, l'image du ressort permet de visualiser ce que sont les actions moléculaires, image extrêmement efficace, alors même que sa justification serait problématique. D'autre part, les expériences, toujours très vagues, permettent, elles aussi, de manifester ces actions. Dans la plupart des textes qui font intervenir les actions moléculaires on peut retrouver cette prétention à voir dans les expériences (macroscopiques) les actions moléculaires (microscopiques). Ce sera le cas en particulier dans nos textes, lorsqu'on en viendra à la confrontation entre théorie et expérience. Enfin la formule visualise la proportionnalité. L'*article* est

donc beaucoup plus concret et imagé dans cette introduction que ne le sera le *mémoire*, qui assume davantage d'abstraction. Précisons, par ailleurs, que, du fait de ces détails de justification, l'*article*, bien que beaucoup plus court, a une introduction beaucoup plus volumineuse : 4,5 pages (sur 15) contre 2,5 pages (sur 51) dans le *mémoire*. À la lumière de la réflexion de Navier citée plus haut, on peut relier cette importance de l'introduction dans l'article, son côté imagé et concret, à une différence de genre : on destine ce texte à un public plus large, qui a de moins grandes connaissances des mathématiques et jugera autrement. Mais la différence dans la présentation de l'hypothèse peut aussi être liée à l'état du travail. En effet, on verra par la suite que, dans l'*article*, Navier ne parvient qu'à une adéquation très partielle de sa théorie avec l'expérience, alors que, dans le *mémoire*, il a beaucoup plus de succès. On peut donc penser que la présentation de l'hypothèse est ajustée au succès de la théorie : s'il faut tant justifier l'hypothèse de l'*article*, c'est qu'elle ne peut reposer sur la confrontation de la théorie avec l'expérience, puisque celle-ci sera très fragile. Contrairement au *mémoire*, il ne sera pas d'ailleurs question directement du principe dans cette confrontation, mais plutôt de l'équation obtenue, ce qui affaiblit encore la dimension hypothétique.

Avant de quitter l'introduction, il faut encore faire une remarque sur l'impuissance de la théorie traditionnelle à rendre compte d'un grand nombre de situations expérimentales et pratiques. Si on lit superficiellement l'introduction des deux textes, on pourrait penser que la théorie traditionnelle ayant été mise en échec par l'expérience on va l'abandonner au profit d'une théorie plus performante, fondée sur un nouveau principe. Cette impression serait tout à fait fautive. L'inutilité et les défaillances de la théorie traditionnelle, sur lesquelles les recherches en hydrodynamique ont constamment insisté depuis la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, n'impliquent aucune dévalorisation. Au contraire, on rend hommage à cette théorie et on considère plutôt qu'il y a des causes, des forces, dont elle ne tient pas compte<sup>19</sup> : la théorie traditionnelle est seulement incomplète. Ce respect pour une théorie aussi inefficace pourrait surprendre, mais il faut le replacer dans son contexte. La théorie du mouvement des fluides est un des résultats les plus importants et les plus impressionnants de la

---

<sup>19</sup> Voir par exemple [Prony 1802] et [Girard 1804]. Il y a chez ces auteurs une assimilation assez classique entre cause et force.

mécanique rationnelle du XVIII<sup>e</sup> siècle. C'est un des premiers phénomènes à être formulé grâce aux « équations aux différences partielles » [M.389], on peut dire qu'il incarne le succès de cette technique, succès beaucoup plus mathématique que pratique. Prony peut ainsi affirmer que la mécanique rationnelle offre « le premier exemple d'une science achevée ou complète », tout en soulignant : « nous sommes malheureusement bien éloignés de tirer de ces règles une utilité pratique proportionnée à l'excellence des théories d'où elles découlent » [Prony 1804, p. i]. Les théories sont excellentes, vraies, mais elles ne sont pas utilisables.

Le rôle du savant est donc de rajouter les termes manquants, dont tous s'accordent à dire qu'ils correspondent aux phénomènes de frottements. Cette logique du manque et de l'ajout apparaît différemment dans les deux textes. Seul l'*article* utilise explicitement les termes « compléter » [A.246] et « ajouter » [A.251], reprend sans les démontrer les équations traditionnelles et rajoute le nouveau terme trouvé : Navier y assume donc entièrement la continuité avec les auteurs classiques. Le *mémoire* retrace le cas de l'équilibre (où les actions moléculaires ne se détruisent plus) et retrouve les lois traditionnelles de l'équilibre. Dans un deuxième temps, il calcule les forces induites par les actions moléculaires dans le mouvement et les rajoute à cette première expression : il obtient ainsi la nouvelle équation du mouvement des fluides. Il y a donc ajout dans les deux cas, mais pas de la même quantité : dans le *mémoire* Navier complète une équation de statique. Le fait qu'il retrouve l'équation statique traditionnelle permet de renforcer la légitimité de l'utilisation des actions moléculaires<sup>20</sup>. Mais comme il refait tout, en intégralité, on ne peut plus dire qu'il reprend les équations traditionnelles. Même s'il est dans la continuité des auteurs classiques, il ne le fait pas apparaître.

## 5. DÉTAILLER OU NE PAS DÉTAILLER LE CALCUL

Le principe du calcul n'est pas le même dans les deux textes. L'*article* cherche à exprimer les forces, ce qui est nécessaire pour compléter l'équation traditionnelle, mais qui ne donne pas accès aux conditions limites. Navier suppose donc celles-ci connues par ailleurs : il considère la

---

<sup>20</sup> Même si cela introduit une difficulté conceptuelle, une incompatibilité entre l'équilibre et le mouvement.

vitesse du fluide nulle aux parois, c'est-à-dire plus précisément, qu'une couche infiniment mince de fluide s'est immobilisée le long de la paroi<sup>21</sup>. Navier a évoqué des interactions entre le fluide et la paroi, mais il n'en tiendra pas compte dans le calcul. Comme les actions à l'équilibre sont censées se détruire, le calcul se contente de traiter le cas du mouvement. Dans le *mémoire*, Navier a recours à des principes variationnels, il somme des moments de force. Cette technique permet de produire non seulement l'équation générale du mouvement, mais aussi les conditions aux limites qui sont radicalement différentes de celles qu'il avait énoncées dans l'*article* : la vitesse du fluide au niveau des parois n'est plus nulle. Dans son « Mémoire sur les lois de l'équilibre et du mouvement des corps solides élastiques » [Navier 1827b], qui a l'originalité de combiner les deux méthodes, Navier précise que la seconde a l'avantage de fournir en plus les conditions aux limites et qu'elle doit être préférée<sup>22</sup>. Le changement de méthode entre les deux textes peut donc se justifier par la plus grande généralité de celle du *mémoire*. Mais il faut remarquer que cette méthode permet de produire des équations aux limites qui se révéleront être les seules importantes : dans le mémoire la limite comptera davantage que l'intérieur du fluide. Le changement de méthode correspond donc à un changement fondamental dans le résultat, changement conceptuel lié aux conclusions de l'*article* : on y avait en effet conclu que la théorie ne permettait pas de rendre compte de phénomènes aux limites ; dans le *mémoire* ces phénomènes deviennent les seuls pertinents.

Au-delà de la méthode, la grande différence entre les deux textes consiste dans la présentation du calcul.

L'*article* se contente « d'indiquer » le calcul, d'en donner le principe. Les formules y sont très rares. Pour faire le calcul sans l'exposer en détail, Navier se présente explicitement dans la continuité de ses travaux précédents sur l'élasticité, où il avait procédé à un calcul similaire : il cite son « Mémoire sur les lois de l'équilibre et des mouvements des corps solides élastiques »<sup>23</sup> :

---

<sup>21</sup> D'autres savants avant lui ont déjà considéré les conditions aux limites sous cette forme, en particulier Girard dans ses travaux sur les tubes capillaires sur lesquels nous allons revenir sous peu.

<sup>22</sup> Il est difficile de comprendre pourquoi il a néanmoins produit d'abord la première méthode.

<sup>23</sup> On ne dispose que d'une version postérieure de ce texte [Navier 1827b].

« Le calcul que l'on vient d'indiquer (dont la forme est semblable à celle d'un autre calcul analogue, exposé en détail dans un *Mémoire sur les lois de l'équilibre et des mouvements des corps élastiques*, que j'ai présenté, le 14 mai 1821, à l'Académie des Sciences) conduit au résultat suivant [...] » [A.250].

Cette référence est très problématique, puisqu'un lecteur ordinaire ne peut pas avoir accès à ce calcul : il n'a pas encore été publié et seuls ceux qui étaient présents à la séance peuvent avoir eu connaissance de la démonstration.

Le *mémoire* au contraire ne fait aucune référence à ces travaux antérieurs, alors même que le calcul s'en inspire tout aussi directement que dans l'*article*. Cette différence se rapproche beaucoup de ce que nous avons évoqué pour les citations : le *mémoire* ne fait que de très rares références vers l'extérieur et aucune pour se placer dans la continuité des recherches antérieures de Navier. C'est un objet beaucoup plus fermé que l'*article*, qui n'expose ni le contexte, ni l'histoire et se présente comme une recherche entièrement nouvelle, complète, se suffisant à elle-même. Ces traits correspondent assez bien à la présentation des *Mémoires de l'Académie* que nous avons donnée plus haut : par la collection dans laquelle il s'insère, ce texte a vocation à être une référence. Non pas un état de la recherche, issu d'autres travaux, en attente d'être perfectionné, mais un texte définitif. On verra que cette vision va se confirmer par la suite. Par contraste, on voit combien l'*article* est un texte ouvert, qui assume d'être un état de la recherche<sup>24</sup>, éventuellement imparfait, un texte à la fois dans une évolution et dans un contexte.

Cette absence de référence aux travaux sur l'élasticité va de pair, dans le *mémoire*, avec le détail complet des calculs : dans un cas la citation permet de se passer des calculs, dans l'autre l'absence de citation permet de les développer. Navier détaille les calculs de façon très précise, faisant appel à des outils mathématiques divers, très techniques et souvent très contemporains : en particulier les toutes récentes séries de Fourier, dont l'usage prouve une connaissance très actualisée, qui est certainement valorisante.

Cette différence fondamentale peut évidemment s'expliquer par le

---

<sup>24</sup> Cet aspect va se confirmer dans la conclusion, avec l'accord très partiel de la théorie avec l'expérience, qui annonce une nouvelle recherche, et situe par conséquent l'*article* comme provisoire.

public. Comme le soulignait Navier dans le passage que nous avons reproduit plus haut, un mémoire s'adresse à un petit nombre de spécialistes. Comprendre les manipulations de ces outils mathématiques sophistiqués suppose une pratique professionnelle (donc de se tenir au courant). Les articles des *Annales* visent un public plus large d'amateurs, qui ont « le goût des sciences ».

Mais cela n'explique pas tout, car le *mémoire* fait davantage que seulement développer le calcul, il le répète. En effet, après l'avoir une première fois exposé en détail, le même modèle de calcul est appliqué plusieurs fois, sans jamais être abrégé (comme on aurait pu le faire en utilisant l'expression « de même »). Ces répétitions ont une conséquence importante sur la taille du texte, qu'elles grossissent considérablement. On peut donc penser qu'elles contribuent à ajuster le texte au style des *Mémoires de l'Académie des sciences* qui sont plutôt de gros écrits : si l'on consulte les volumes des années 1820, on constate que les textes d'une dizaine de pages ainsi que les gros mémoires de 100 à 200 pages sont très rares, que la plupart des mémoires font entre 30 et 60 pages : notre *mémoire* est donc dans la moyenne avec ses 51 pages<sup>25</sup>. La répétition de formules d'une taille impressionnante (les expressions mathématiques occupent jusqu'à une demi-page) souligne à la fois la virtuosité et une dimension monstratoire de ces formules : on a l'impression très nette que l'effet visuel du calcul est au moins aussi important que son résultat.

Enfin, le calcul présente une autre différence dans la citation des théorèmes. La « loi de la composition des vitesses » [A.250] ou le « théorème de Taylor » [A.249], références élémentaires, sont invoquées explicitement dans l'*article*, alors même que les calculs ne sont pas exécutés. Le *mémoire*, au contraire, bien qu'il utilise ces mêmes théorèmes n'en porte plus trace. La différence de genre est manifeste : Navier considère l'usage de ces théorèmes évident, implicite.

## 6. APPLICATIONS – DEUX CONFRONTATIONS DIFFÉRENTES

Les deux textes proposent finalement des équations, les plus générales possibles et extrêmement complexes. Il apparaît évident qu'on ne peut rien

---

<sup>25</sup> L'*article* est lui aussi dans la norme des *Annales* avec ses 15 pages, bien que les très petits textes y soient aussi très fréquents.

dire de plus, sans choisir une configuration particulière, un cas pour lequel on propose une solution. Nous reviendrons dans un instant aux problèmes que posent ces équations et le choix des cas particuliers, mais voyons d'abord quels cas Navier choisit et comment il présente la confrontation entre la théorie et l'expérience.

Dans l'*article*, Navier propose de prendre comme cas particulier un tuyau de section carrée, long et très étroit. Il développe la solution grâce aux séries de Fourier, mais ne parvient pas à la simplifier tout à fait : l'expression théorique comporte donc une série très complexe. Une fois celle-ci établie, Navier cite les expériences de Girard, auxquelles il veut comparer ce résultat, en les qualifiant « d'observations les plus propres à vérifier les résultats précédents » [A.257]. La citation est très précise et mentionne outre le nom de Girard, le périodique, les années et les pages concernées. Navier reproduit la formule expérimentale que Girard a établie par ses expériences et il en explique les termes. La vitesse d'écoulement se trouve être proportionnelle à un quotient des différentes dimensions du tube et de la charge. Le facteur de proportionnalité  $a$  est alors décrit par Navier comme non constant et dépendant du diamètre du tube. « Le grand nombre et l'exactitude des observations » certifient selon lui la valeur de ces expériences, dont il souligne la nouveauté en les disant « tout à fait contraires aux notions admises » [A.257–A.258].

Navier conclut ensuite à un accord : les observations « confirment d'ailleurs les conséquences de l'analyse précédente » [A.258]. Mais cet accord est en fait partiel. D'une part, Navier n'a établi qu'une formule théorique très complexe et ne peut donc comparer qu'une proportionnalité. Un facteur se révèle effectivement être commun aux formules théoriques et expérimentales, mais sur la dépendance par rapport au diamètre du tube, Navier conclut à un désaccord. Il précise cependant qu'on peut l'expliquer par la différence de configuration entre le cas théorique (section carrée) et le cas expérimental (section circulaire). Le calcul pour la section circulaire (qualifié de difficile) resterait à faire, de même que les expériences pour la section carrée (on a du mal à imaginer la fabrication à l'époque de capillaires de section carrée), mais « en attendant » Navier « pense pouvoir conclure que cette analyse est conforme aux effets naturels » [A.258].

Dans la suite cependant, Navier cite d'autres expériences de Girard



(toujours avec des références précises) sur les écoulements dans des tuyaux de natures différentes qui ne peuvent être expliquées par la théorie. Il propose donc un programme de recherche pour la perfectionner : il faudra tenir compte des interactions entre le fluide et la paroi, qu'on avait ignorées dans l'*article*.

Comparons à présent cette présentation avec celle que propose le *mémoire*. Le premier cas est le même que dans l'article (un tuyau long et étroit de section carrée), mais il n'est pas confronté à l'expérience. Il sert essentiellement à introduire un argument de symétrie qui permet de simplifier le deuxième cas : un tuyau long et étroit de section circulaire. Navier a donc procédé à l'ajustement de forme entre les configurations théoriques et expérimentales que l'*article* annonçait, « attendait ». Si Navier conserve dans le *mémoire* le premier cas, qui n'a aucune utilité pour la confrontation théorie-expérience puisqu'on n'a toujours pas d'expérience correspondante, c'est qu'il en a besoin pour simplifier la formule théorique dans le cas de la section circulaire. La première application signale donc une certaine difficulté sur laquelle on reviendra : produire une solution n'a rien d'évident.

Contrairement à ce qui se passait dans l'*article*, Navier parvient à simplifier cette solution en une formule assez simple. Une fois celle-ci obtenue, il affirme que « la théorie précédente est entièrement d'accord avec les résultats principaux des curieuses expériences de M. Girard sur l'écoulement de divers fluides par des tubes capillaires » [M.432]. C'est la seule référence : Navier ne précise ni l'ouvrage, ni la date, ni les pages. Cette utilisation de la citation confirme ce que nous avons déjà signalé : le *mémoire* évite toute référence complète, cite le moins possible. L'expression « entièrement d'accord » réduit la confrontation théorie-expérience à sa plus simple expression : au lieu d'énoncer les résultats de l'expérience avant de conclure (comme dans l'*article*), Navier pose d'emblée la parfaite coïncidence et les rares détails concernant l'expérience sont reportés dans une note en bas de page. Dans cette note (la seule et très longue du *mémoire*) la formule expérimentale de Girard est reproduite et identifiée à la formule théorique trouvée précédemment.

Il est essentiel de noter la forme sous laquelle l'expérience apparaît dans les deux textes de Navier. Si l'on reprend la différence introduite par Christian Licoppe [1996] entre une partie phénoménale et une partie

théorique dans les comptes rendus expérimentaux de la fin XVIII<sup>e</sup> et du début du XIX<sup>e</sup> siècle, la présentation de Navier privilégie manifestement la partie théorique. Il ne reproduit ni le récit, ni les tableaux des expériences de Girard : il ne donne aucune place aux données brutes. L'expérience se retrouve dans ses textes sous une forme déjà très théorique, très systématisée, finalement très peu expérimentale : une formule. Celle-ci favorise évidemment la comparabilité de la théorie et de l'expérience, nous y reviendrons.

Il ne subsiste de la confrontation préalable entre les données et la formule (que Girard faisait dans son texte) que la variabilité de certains facteurs. Ainsi le facteur  $a$  de la formule expérimentale, que l'*article* affirmait variable, est, dans le mémoire, déclaré constant et Navier explique que si les expériences ne l'ont pas trouvé tel, c'est qu'elles n'étaient pas assez précises. Il prévoit en particulier qu'en utilisant des tuyaux plus longs (donc plus conformes à la configuration choisie) on trouvera enfin ce facteur  $a$  constant. On assiste donc entre les deux textes, à un retournement de la valeur des expériences : exactes et garanties par le grand nombre et la précision dans l'*article*, elles sont incertaines dans le *mémoire*. L'accord entre théorie et expérience ayant été annoncé parfait, on comprend aisément que ce désaccord ne peut remettre en cause la théorie (comme c'était le cas dans l'*article*), mais qu'il ne peut pas non plus désavouer tout à fait l'expérience (sans quoi l'accord ne serait plus parfait). Le désaccord est donc certes renvoyé sur l'expérience, mais en annonçant que celle-ci reste juste en principe : on a mal manipulé, mais le résultat qu'il faut trouver ne fait aucun doute. Les expériences de Girard sont donc inexactes, mais les expériences dans l'absolu sont justes, puisqu'elles seront conformes à la théorie. Ce sont là les premiers signes du statut particulier de la théorie dans le *mémoire* : elle est vraie, elle peut donc prévoir ce qu'il faut trouver, elle devient la référence par rapport à laquelle l'expérience est jugée. Ceci va se confirmer dans la suite.

Il s'agit en fait d'un renversement plus général des rôles entre la théorie et l'expérience : dans le *mémoire*, ce sont les résultats théoriques qui sont qualifiés de « contraires aux idées reçues » [M.432], expression qui qualifiait les expériences dans l'*article*. La nouveauté, valeur importante pour des savants préoccupés de priorités, n'appartient plus à Girard, mais à Navier. Dans le même ordre d'idées, Navier marque ensuite

explicitement à quelle partie de la confrontation théorie-expérience reviennent la valeur et la décision sur la vérité. C'est de la théorie et non de l'accord avec l'expérience qu'on tire finalement les résultats : « on conclut aussi de cette théorie » [M.432]. D'ailleurs la précision « on conclut de ces résultats, comme les expériences l'avaient indiqué » [M.432] relègue lesdites expériences au rang des prémisses : seule la théorie permet réellement de conclure, de confirmer ce que les expériences ne pouvaient que montrer, « indiquer ».

Navier convoque ensuite les mêmes résultats qualitatifs que l'article sur les écoulements dans des tubes de natures différentes. Mais cette fois, non seulement il n'y a aucune référence aux ouvrages contenant les expériences de Girard en question, mais même le nom de Girard n'est pas cité. Alors même qu'ils reprennent dans le détail les observations de Girard, ces résultats ne sont même pas présentés comme des expériences, mais comme des faits communs, pouvant être observés partout. Ils sont introduits à plusieurs reprises par l'expression : « on ne peut être étonné de voir... » [M.434] qui souligne, d'une part, qu'on aurait pu être surpris par ces résultats et d'autre part, que la théorie vient les éclaircir, rendre évident ce qui ne l'était pas. La théorie révèle le sens de réalités incomprises, ce qui la conforte dans sa vérité. Les expériences qui précisément rendaient nécessaires, dans l'article, une nouvelle théorie, sont ici absolument inoffensives et complètent l'accord parfait avec la théorie.

Nous avons interprété l'absence de référence (ou sa réduction) comme une volonté de limiter au maximum toute ouverture du *mémoire* vers l'extérieur. Il s'adresse d'ailleurs à des savants qui suivent l'actualité et ont lu ou entendu parler des travaux de Girard dans les années 1816–1818<sup>26</sup>. Comme académiciens, en particulier, ils ne pouvaient pas ne pas avoir assisté à une des nombreuses lectures sur ce sujet. Mais au-delà de cette question de public, l'absence de référence permet à Navier de rester le seul locuteur dans son texte, aspect qui est particulièrement manifeste dans l'évocation des résultats qualitatifs que nous venons de rappeler : sans se prévaloir de leurs découvertes, Navier les intègre à son propre discours et arrive à récupérer un bénéfice de ces faits en les interprétant avec sa théorie.

---

<sup>26</sup> Dans ces années 1816–1818, Girard a fait paraître un grand nombre de textes sur ce sujet dans les *Annales* ainsi que dans les *Mémoires de l'Académie des sciences*.

## 7. QUELLES CONFIGURATIONS ?

Revenons aux problèmes que posent les équations et le choix des configurations. Dans aucun des deux textes, Navier ne commente la difficulté des équations trouvées. Il ne précise pas que sous une forme aussi générale la théorie n'est d'aucune utilité et qu'il est très difficile de trouver des solutions exploitables en pratique. On perçoit ici, comme à de très nombreuses reprises à la lecture de tels textes, que l'auteur peut dire ou ne pas dire quelque chose qui, sans être déterminant, oriente sensiblement la lecture. Ainsi dans nos deux textes, Navier choisit de ne pas souligner la limitation par les mathématiques pourtant bien réelle comme on va le voir, alors que dans le « Mémoire sur les lois de l'équilibre et du mouvement des corps solides élastiques » où il a établi des équations tout à fait similaires, il précise que

« les équations précédentes contiennent, sous la forme différentielle, tout ce qu'il est possible d'énoncer d'une manière générale. [...] Pour faire de nouveaux pas dans la recherche [...] il est indispensable de spécifier la figure du corps » [Navier 1827b].

Après quoi Navier renvoie d'une manière très optimiste à un futur mémoire où il montrera que les équations de ce type « peuvent être intégrées dans un grand nombre de cas, pour lesquels on parvient à une connaissance complète » [Navier 1827b, p. 390]. Le mémoire ne viendra pas, mais Navier a montré dans nos deux textes comment il entend intégrer ces équations : par le recours aux séries de Fourier, qui permettent effectivement de résoudre des cas très nombreux. Mais en utilisant ce nouvel outil mathématique, Navier produit des expressions extrêmement lourdes, des séries qu'il ne parvient à simplifier que dans quelques rares configurations particulières. Cournot, le commentateur du *mémoire*, notait lui aussi, ce problème de la limitation par les mathématiques :

« Mais si les formules ordinaires de l'hydrodynamique sont si rebelles à l'analyse, que doit-on attendre de formules nouvelles, bien autrement compliquées ? Aussi l'auteur ne peut-il arriver aux applications numériques, qu'à travers un grand nombre de simplifications et de suppositions particulières. Ces applications montrent sans doute un grand talent pour manier l'analyse ; mais peut-on prononcer avec certitude sur la valeur d'une théorie physique et la vérité d'un principe après tant d'approximations accumulées ? » [Cournot 1828, p. 13].

Ce qui est dit là va nous intéresser tout particulièrement : la vérité de la théorie se mesure à une confrontation satisfaisante avec l'expérience. Cournot semble trouver que cette théorie est trop particularisée, trop sim-

plifiée, pour qu'on puisse conclure de l'accord avec l'expérience, la valeur de la théorie et la vérité des principes qui la fonde (les actions moléculaires et leur proportionnalité aux vitesses relatives). L'exigence de Cournot est que la confrontation théorie-expérience soit probante et, pour qu'elle le soit, il faut que la théorie, telle qu'elle sera engagée dans ladite confrontation, soit la plus générale possible. Cela pose un problème ordinaire de toute vérification expérimentale de travaux théoriques à cette époque : on ne peut vérifier la généralité d'une théorie qu'en l'éprouvant sur des cas particuliers. Le fait qu'un cas représente à lui tout seul la théorie tout entière n'a rien pour surprendre : comme on oppose classiquement<sup>27</sup> deux formes de probabilités, d'autorité et de fréquence, qui se fondent l'une sur des cas peu nombreux (et éventuellement un seul) mais importants et l'autre sur un grand nombre de cas quelconques, de même on peut considérer deux types de représentativité, par l'importance ou par le nombre. Au début du XIX<sup>e</sup> siècle, les exemples de confrontations théorie-expérience fondées, comme chez Navier, sur un ou deux exemples sont très fréquents. Mais cela suppose une certaine présentation, une certaine rhétorique, sans quoi un critique comme Cournot pourrait protester<sup>28</sup>.

L'*article* présente un seul cas particulier, le *mémoire* en présente trois (nous en avons déjà évoqué deux). Navier présente ces cas comme s'ils étaient choisis au hasard, ce qui souligne implicitement qu'on aurait pu prendre n'importe quelle autre configuration. De cette manière il peut présenter la solution dans un cas particulier comme étant toujours « la théorie », toujours générale. En réalité, les cas envisageables sont difficiles à trouver. Il faut pouvoir simplifier un minimum les solutions mathématiques et Navier choisit les approximations les plus immédiates : les très petites et les très grandes dimensions. Pour les très petites (ce sont les cas dont nous avons parlé jusqu'ici), Navier peut calculer une expression de la vitesse moyenne. Mais pour les très grandes (qui constitue la troisième configuration dans le *mémoire*, celle d'un lit de rivière), la vitesse moyenne ne se simplifie plus, ce qui le contraint à calculer un rapport où les séries peuvent se simplifier (rapport de la vitesse moyenne à la vitesse à la surface). Les grandeurs dont Navier

---

<sup>27</sup> Voir par exemple [Hacking 1975], en particulier son chapitre 4, *Opinion*.

<sup>28</sup> La présentation des expériences de Girard sous l'aspect plus théorique d'une formule contribue également à assurer leur plus grand degré de généralité.

peut effectivement calculer des expressions théoriques (plus ou moins compliquées) sont en fait en nombre très limité. Or la confrontation entre théorie et expérience exige qu'on puisse établir une grandeur théorique comparable à une grandeur expérimentale effectivement mesurable.

La comparabilité entre notions théoriques et expérimentales est un problème très général sur lequel il faut s'attarder un instant. Dans ces textes, un des efforts de Navier est de donner un sens concret à des notions théoriques. Pour ce faire il utilise trois méthodes (toutes présentes dans le *mémoire*). Soit il se contente d'assimiler les notions théoriques aux notions expérimentales sans se soucier de la mesurabilité de celles-ci. Soit il assimile les notions théoriques à des notions effectivement mesurables, et dans ce cas il peut ne pas invoquer de mesure (et ce dernier cas est très fréquent, l'assimilation suffisant à conférer du sens), ou au contraire en invoquer, comme pour la confrontation théorie-expérience, où il ne s'agit pas seulement de donner du sens à des notions abstraites, mais aussi de valider la théorie par l'expérience. La division que propose Grattan-Guinness [1990, p. 52] pour ce début de XIX<sup>e</sup> siècle entre les « *empiricistes* » (qui restreindraient les termes de leurs théories à des catégories expérimentales) et les « *trans-empiricistes* » (qui accepteraient des concepts non-empiriques), en donnant comme modèle de ces derniers les laplaciens pour leurs actions moléculaires, nous semble un peu trop simple. On peut donner un sens expérimental à des concepts parfaitement non-empiriques, ce que fait Navier quand il interprète des expériences en termes d'actions moléculaires (invisibles *a priori*), reliant directement les actions microscopiques à la résistance macroscopique [A.246, A.247]. Beaucoup plus qu'un sens empirique que Navier s'efforce toujours de conférer à ses concepts, il nous semble que ce qui est problématique c'est d'établir un lien direct entre des grandeurs mesurables (donc macroscopiques) et des grandeurs microscopiques comme les actions.

Les mathématiques ne sont donc pas la seule contrainte : il faut aussi disposer d'expériences conformes aux cas en question, ce qui limite bien davantage. Navier aurait certes pu faire les expériences lui-même, comme il l'a fait dans son travail sur la flexion des lames élastiques [Navier 1820], mais Navier fait rarement des expériences. Parmi les nombreuses expériences disponibles<sup>29</sup>, rares sont celles qui correspondent à

---

<sup>29</sup> Voir par exemple les expériences de Dubuat qui ont servi de base à de nombreuses

la fois à la configuration (la simplification exige les petites ou les grandes dimensions) et font intervenir des grandeurs effectivement calculables. Les expériences de Girard sur les écoulements dans les capillaires sont très probablement les seules auxquelles Navier puisse faire appel pour les très petites dimensions. Il a un peu plus de choix pour les expériences en lit découvert, puisque les écoulements de canaux ont été très étudiés au XVIII<sup>e</sup> siècle : des ingénieurs comme Dubuat et Chézy ont accumulé un grand nombre d'expériences d'hydraulique.

La troisième configuration du *mémoire*, qui n'apparaissait pas dans l'*article*, semble par là moins contrainte. C'est aussi la seule configuration qui permette un tant soit peu de se rapprocher du sens, classique à l'époque, du terme « application » (qu'on retrouve dans les deux textes), comme utilisation des sciences physiques et mathématiques dans les situations pratiques des arts. Cependant la difficulté à simplifier les séries dans ce cas, ne permet pas d'obtenir par la théorie une grandeur autre que le rapport entre vitesse moyenne et vitesse de surface au milieu du lit, grandeur qui, certes, est utilisée à l'époque pour décrire les courants, mais est peu utile en pratique. Les expériences (Navier citera celles de Dubuat) donnent pour ce rapport des vitesses une moyenne pour diverses tailles de lit. Navier essaye donc de multiplier les configurations pour pouvoir comparer. La limitation par les mathématiques apparaît alors aussi dans la faiblesse de ses choix : il ne peut calculer que trois formes de lit, deux côtés très petits, deux côtés très grands et un côté très petit avec un côté très grand. Le premier cas le ramène aux capillaires, mais n'a aucun sens expérimental, ni d'ailleurs le dernier, canal hybride, absurde dans la pratique (un fond de dimension capillaire allié à un bord de dimension conséquente). Il calcule donc ce qu'il peut calculer. En comparant avec d'autres mémoires ou ouvrages de Navier, la difficulté à trouver une configuration intéressante en pratique, véritablement utilisable, apparaît. Navier essaye souvent de faire des applications de résultats mathématiques à des contextes techniques<sup>30</sup> : c'est le cas, par exemple, pour la flexion des

---

réflexions théoriques en hydrodynamique, celles de [Girard 1804] et de [Prony 1804] en particulier.

<sup>30</sup> Cet enthousiasme à appliquer les mathématiques aux arts a même fait de Navier, aux yeux de certains historiens comme Antoine Picon [1992], le représentant par excellence d'un ingénieur savant, par opposition à un ingénieur architecte plus caractéristique du siècle des Lumières.

lames élastiques qui doit représenter les planchers, ou pour sa théorie des ponts suspendus. Dans nos deux textes, les « applications » ne sont en définitive que des configurations où le calcul peut être mené à son terme et fournir une expression d'une grandeur qui elle-même a été mesurée dans une configuration expérimentale analogue. Le troisième cas, en apparence plus pratique, ne sert lui aussi qu'à étendre la confrontation théorie-expérience. Quand Navier n'est pas limité par les mathématiques, il l'est par les expériences.

Malgré ces fortes limitations, Navier présente ses cas particuliers comme quelconques. « On considère un tuyau dont les parois sont formées par quatre plans parallèles... ». Ainsi Navier commence la présentation du premier cas de la partie IV du *mémoire* intitulée « Applications des résultats précédents » [M.417]. Dans l'*article* on commençait sans titre : « Pour donner une application des résultats précédents, on supposera que toutes les molécules du fluide se meuvent parallèlement... » [A.252]. Les deux textes suivent un même ordre de présentation, traitant le (ou les) cas particuliers sans évoquer l'expérience. Celle-ci n'apparaît qu'après-coup comme « les observations les plus propres à vérifier » [A.257] dans l'*article* et le « entièrement d'accord » [M.432] du *mémoire*, différence que nous avons déjà discutée. Cet ordre de présentation est tout à fait important. En effet, comme nous l'avons souligné plus haut, il faut que la théorie conserve le maximum de généralité même dans une expression particulière, sans quoi la confrontation ne serait pas probante. Si on présentait l'expérience en premier, comme étant celle disponible à laquelle on compte confronter la théorie, on avouerait implicitement que la configuration particulière a été choisie par rapport à l'expérience disponible et donc limitée par celle-ci. Il s'agit donc à nouveau de ne pas expliciter les limitations dont nous avons parlé. Ainsi les cas particuliers peuvent effectivement apparaître comme quelconques, choisis parmi d'autres.

Il y a aussi un choix judicieux dans les termes. Lorsqu'il présente (dans les deux textes) le cas particulier des tuyaux longs et très étroits, Navier n'utilise pas le mot le plus adapté, le plus commun pour les désigner, celui de « capillaires ». Ce terme, qui évoque directement les expériences de statique de Laplace et les très nombreuses et plus récentes publications de Girard sur les écoulements dans les capillaires, n'apparaît que lorsqu'on présente l'expérience. Ainsi Navier, dans l'*article*, décrit la configuration



par la périphrase : « un tuyau rectiligne dont le diamètre est très petit et la longueur très considérable » [A.252]. Dans le *mémoire*, des expressions similaires apparaissent mais comme hypothèses supplémentaires pour la simplification de cas plus généraux : les tuyaux rectangulaires (« si la largeur et la hauteur du tuyau étaient très petites » [M.422]) ou circulaires (« si on suppose le diamètre du tuyau très petit » [M.431]). On peut interpréter ce phénomène dans la même logique que l'ordre de présentation de la théorie et de l'expérience : il n'est question ni de Girard ni de capillaires avant qu'on introduise les expériences, mais une fois qu'on les a présentées, on nomme Girard (même si seulement une fois dans le *mémoire*) et on parle de capillaires désormais. En n'utilisant pas le simple mot « capillaire », Navier évite de faire référence aux expériences de Girard, ce qui confirme notre impression que celles-ci ne doivent apparaître qu'en temps voulu.

On retrouve dans l'introduction, cette question de l'ordre de présentation et de la qualification des expériences. Dans les deux introductions, l'expérience qui représentait les « effets naturels » et qui mettait en défaut la théorie traditionnelle était justement celle que Navier utilise finalement pour confronter sa théorie nouvelle : les tuyaux longs et étroits. Là encore, on remarque l'absence du terme « capillaire ». On peut l'interpréter de la même façon (il faut que les expériences de Girard n'apparaissent formellement qu'en temps voulu), mais il y a une nuance : dans ce cas précis on parle d'expériences, on fait implicitement référence à ces expériences de Girard. Il est très significatif que Navier ait justement choisi ces expériences (présentées sans aucune référence) pour exemplifier l'échec de la théorie traditionnelle, alors que les exemples d'échec ne manquaient pas. Il choisit justement la configuration particulière qui sera la seule à être développée dans l'*article* et la principale dans le *mémoire*. Navier arrive donc à concilier l'absence de référence directe à Girard (qui permet de ne pas souligner les problèmes de limitations) avec la mise en valeur de ce cas comme étant particulièrement important : ce que la théorie traditionnelle était incapable de résoudre, la nouvelle le pourra. La configuration du tuyau long et étroit représente donc l'échec de la théorie traditionnelle, ce qui renforcera le succès de la nouvelle, mais sans situer ce cas dans son contexte expérimental, ce qui aurait souligné la fragilité de la confrontation théorie-expérience.

L'attitude de Cournot montre d'ailleurs que ces détails de présentation sont tout à fait efficaces. En effet, il ne relève pas les limitations par l'expérience, ni même d'ailleurs celles par les mathématiques : pour celles-ci il remarque seulement que la généralité de la théorie est affectée par les très nombreuses et virtuoses simplifications.

## 8. UN ESPACE POUR RAPPROCHER THÉORIE ET EXPÉRIENCE

La confrontation entre théorie et expérience présente donc des similitudes et des différences frappantes entre les deux textes. Toute la construction des deux textes est orientée vers ce moment qui est censé fournir la confirmation de l'hypothèse et soutenir la vérité de la théorie. En particulier nous avons vu comment Navier arrive à soulager la tension entre une théorie générale, prétendant à la vérité pour toutes les configurations, et la particularité de la configuration dans laquelle cette théorie est éprouvée par l'expérience. Ce genre de passage du particulier au général est d'essence littéraire et ne peut être obtenu que par des techniques spécifiques, ce que confirme d'ailleurs l'étude de Christian Licoppe pour les comptes rendus expérimentaux :

« Mon principal propos est d'étudier l'agencement de la preuve empirique, entendue comme l'ensemble des procédés utilisés dans les comptes rendus expérimentaux pour résorber l'inéluctable clivage qui sépare le récit de ce qui fut (une ou plusieurs fois) et le discours sur les choses comme elles sont (toujours) » [Licoppe 1996, p. 10–11].

Par ailleurs, cette même étude établit une transformation de l'expérimentation, entendue en ce sens rhétorique, vers la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle : on passerait d'une structure de récit ternaire (préparation/effet/explication) à une structure binaire (récit phénoménal/récit théorique). Cette transformation s'accompagne d'une marginalisation des récits d'événements singuliers apparus pendant l'épreuve expérimentale, au profit d'un récit phénoménal insistant sur la régularité, la répétition : les nouveaux critères sont : « répétabilité, comparabilité, répliquabilité » [Licoppe 1996, p. 254]. La comparabilité en particulier est très intéressante dans le contexte de notre étude : d'après Licoppe, l'invention d'un nouveau langage expérimental vise, d'une part, à rendre possible la confrontation des mesures entre elles et, d'autre part, à rendre celles-ci confrontables avec « une théorie physique, un discours de vérité sans limites temporelles ni spatiales » [Licoppe 1996, p. 260]. Nous voyons là combien nos textes,

qu'on peut qualifier plutôt de théoriques, doivent à cette rhétorique de la comparabilité. En effet, il apparaît que, chez Navier, la confrontation théorie-expérience n'existe que dans la mise en scène qui en est faite dans un même espace linguistique : une part considérable du texte vise à rendre les grandeurs théorique et expérimentale comparables, puis à les amener sur une même scène, où leur confrontation devient possible.

Nous avons noté que cette présentation est très différente dans les deux textes. Dans l'*article*, les expériences sont exactes et la théorie, bien que confirmée, n'est pas absolument parfaite et doit être retouchée, alors que le *mémoire* présente une théorie exacte et des expériences imprécises, mais assez justes pour avoir permis de conclure en faveur de la théorie. On est dans les deux cas dans la « rhétorique de l'exactitude » que Christian Licoppe fait émerger à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Voyons ce que Licoppe dit de Lavoisier, pour caractériser l'émergence de cette rhétorique :

« La stratégie persuasive de Lavoisier passe toujours par [la] mise en scène d'un mouvement circulaire du texte écrit dans lequel soit les valeurs mesurées rejoignent les valeurs attendues, soit le calcul reproduit les valeurs mesurées » [Licoppe 1996, p. 257].

Raisonnements circulaires qui n'ont de sens d'après lui que « dans l'attente *a priori* d'un monde ordonné et quadrillé par des lois physiques simples ». On peut douter que les lois de Navier soient simples, mais c'est bien d'une telle attente qu'il s'agit et il y a bien dans les deux textes, un mouvement d'ajustement soit de la théorie vers l'expérience, soit de l'expérience vers la théorie. On peut soutenir pour ces textes ce que Licoppe remarque pour les comptes rendus d'expériences :

« Cette construction littéraire incorpore par avance une réponse positive à la question de la possibilité d'un accord entre théorie et expérience » [Licoppe 1996, p. 321].

Cette circularité permet de comprendre en particulier l'incroyable mélange opéré entre théorie et expérience dans le *mémoire*. L'accord devient si parfait que les deux termes peuvent être librement interchangeables (ce qui permet à Navier de privilégier la théorie).

La question de l'accord peut, elle aussi, être reconsidérée dans cette perspective. Nous avons noté que Navier introduisait l'expérience par une formule empirique, sans aucun commentaire sur la confrontation antérieure (par Girard) de la formule avec les mesures. Par conséquent, Navier n'aborde à aucun moment la possibilité d'une marge d'erreur, d'un

écart évaluable, raisonnable entre théorie et expérience : il y a confirmation partielle ou complète, mais pas de critère pour préciser à partir de quel degré de proximité il y aurait accord ou désaccord<sup>31</sup>. Dans l'*article* la chose est moins sensible : l'accord repose sur une proportionnalité (la question sur la précision ou l'imprécision de la formule empirique n'est pas abordée) et le désaccord repose sur des observations qualitatives : le désaccord introduit une marge, même indéfinissable, dans l'accord. Dans le *mémoire* au contraire la chose est plus surprenante : l'accord est total et Navier s'en félicite évidemment, un petit désaccord subsiste sur un terme qu'on peut balayer en corrigeant par la pensée (par la connaissance théorique) ce qu'il faut trouver expérimentalement. Navier vise donc un accord absolu, ce qui est certainement un geste atypique. Licoppe note en effet que Lavoisier, avec qui il fait émerger la rhétorique de l'exactitude, obtenant un accord parfait entre théorie et expérience, le juge d'abord très positivement comme « une confirmation frappante de l'exactitude de la théorie », perfection qui devient douteuse dans la pratique :

« On demandera peut-être comment il est possible qu'on soit arrivé ainsi à un résultat qui cadre au millième de grain près, et on argumentera de cette exactitude même pour croire que l'expérience a été pliée au calcul » [Lavoisier cité par Licoppe 1996, p. 256–257].

Il lui faut donc relativiser les résultats expérimentaux et souligner qu'il ne les croit pas parfaits, mais au contraire « susceptibles de quelques modifications » pour pouvoir conclure que même s'il y avait eu un écart (quelques grains, même quelques gros) « l'accord de la théorie et de l'expérience n'en serait pas moins très frappant », ce qui rétablit la stratégie initiale. L'accord est bien la chose décisive, mais l'accord parfait est douteux. On voit la très grande proximité des raisonnements de Navier avec ceux-ci, à ceci près qu'il ne semble pas se soucier particulièrement de la question d'un accord absolu : mieux, l'accord semble, dans le *mémoire*, ne pas pouvoir être trop parfait. C'est peut-être une attitude de théoricien qui, peu soucieux des questions expérimentales, ne sent pas combien la perfection peut être louche au sein même de la rhétorique de l'exactitude.

La dernière configuration évoquée par Navier dans le *mémoire*, les lits

---

<sup>31</sup> Il n'est pas surprenant de ne pas voir apparaître des méthodes mathématiques d'évaluation des erreurs, comme celles de Laplace qui, très importantes en astronomie et en géodésie, n'ont encore aucun caractère systématique en physique expérimentale.

découverts, pourrait sembler introduire des critiques de la théorie. Girard a calculé des solutions théoriques pour des formes de lits plus ou moins fantaisistes et les confronte ensuite à la valeur expérimentale du rapport entre vitesse moyenne et vitesse de surface au milieu du lit « qui est d'après l'autorité de Dubuat » de 0,8 :

« Les résultats précédents [les calculs de Navier] montrent qu'effectivement la valeur 0,8 tient une sorte de milieu entre les valeurs extrêmes du rapport dont il s'agit ; mais on en conclut que ces valeurs peuvent varier sensiblement avec la grandeur et la proportion des deux dimensions de la section » [M.439].

La confrontation commence donc par réitérer la suprématie de la théorie : les résultats expérimentaux peuvent être jugés, réinterprétés, à la lumière de la théorie. C'est elle qui « montre », c'est elle qui confirme presque les expériences : 0,8 est effectivement une moyenne. Mais dans les deux dernières pages du *mémoire* Navier semble vouloir introduire des limitations. Il note tout d'abord que dans les situations expérimentales les écoulements ne sont pas linéaires (mis à part les capillaires) ce qui pourrait limiter la pertinence de cet exemple (des lits découverts) qui a été traité dans l'hypothèse de la linéarité [M.436]. Mais, là encore, cela n'entame en rien la théorie :

« Il résulte de la nouvelle théorie exposée dans ce Mémoire, que la supposition d'un mouvement linéaire n'est point propre à représenter complètement les phénomènes de ce mouvement, à l'exception des cas où le diamètre des tuyaux est très petit » [M.439, M.440].

La théorie est intacte, ce ne sont pas les expériences qui viennent limiter son domaine de validité, c'est l'inverse : la théorie montre que l'hypothèse de linéarité ne peut s'appliquer en général aux écoulements. En somme, s'il y a une limitation, ce sont les expériences qui n'arrivent pas à produire la linéarité... Il ne s'agit donc pas à proprement parler d'une critique de la théorie. En revanche, Navier conclut le *mémoire* par une véritable critique : il n'a pas tenu compte de l'interface entre l'eau et l'air. Cela lui permet de créer un final pour le *mémoire*. La limitation ne vient absolument pas de l'expérience, elle vient de l'auteur lui-même qui remarque une imperfection et donne alors brièvement toutes les indications nécessaires pour l'écarter, pour « résoudre exactement la question » [M.440]. On quitte ainsi le texte sur une note positive, le seul problème a été facilement écarté, la théorie est forte et victorieuse encore, et la confrontation avec l'expérience ne peut aucunement l'entamer. Ce qui

reste donc très frappant chez Navier c'est cette défense jusqu'au-boutiste de la valeur de la théorie, complètement confirmée, si parfaite qu'elle peut même corriger les rares écarts de l'expérience.

---

Dans notre comparaison de ces deux textes de Navier, nous avons tenté de donner du sens à quelques écarts et similitudes, en les rapportant tantôt à l'évolution conceptuelle, tantôt aux genres du texte, à des stratégies rhétoriques, etc. Tous ces aspects sont très difficiles à séparer. Nous voudrions reprendre brièvement nos conclusions sur les deux points qui nous semblent les plus marquants.

Sur la question du genre les deux textes montrent des différences significatives. L'*article* nous est apparu comme le texte provisoire d'une recherche en cours qui annonce une suite, une correction; un texte ouvert, qui s'inscrit dans le contexte des autres recherches de Navier et qui donne une grande place aux références extérieures au texte. Le *mémoire*, au contraire, est un objet définitif retravaillé avec soin pour correspondre à la collection élitiste dans laquelle il va s'insérer; un texte fermé, avec un locuteur fort et quasiment unique, très peu de références et aucune allusion au contexte.

Cette différence recoupe plusieurs oppositions. Un *article* concret pour un *mémoire* abstrait. Mais aussi un choix sur l'importance qu'on donne aux différentes parties : l'*article* justifie sans fin l'hypothèse, l'introduction y est donc très importante et le calcul au contraire évité; le *mémoire* ne se donne pas tant de peine pour convaincre *a priori* de l'hypothèse (d'où une petite introduction) mais détaille les calculs jusqu'à l'exagération et y démontre sa maîtrise, en reportant sur la confrontation théorie-expérience le soin d'assurer la vérité.

Nous avons vu combien ces oppositions s'accordaient avec la différence établie par Navier lui-même entre des mémoires « d'une étude difficile, à la portée d'un petit nombre de savants » et des articles « lus par toutes les personnes qui ont le goût des sciences physiques ».

Au-delà de la question du *genre*, cette analyse a permis de montrer que certains objets n'existent que dans leurs formulations littéraires, ainsi la confrontation théorie-expérience, ou les différentes formes de références. Cette confrontation surtout organise complètement ces textes. À partir d'une différence conceptuelle (la considération des actions moléculaires

entre le fluide et la paroi), la comparaison entre le résultat théorique de Navier et celui expérimental de Girard se trouve considérablement transformée entre l'*article* et le *mémoire*. Navier tire parti de la plus grande proximité de ces deux résultats dans le *mémoire* et retourne complètement la composition du texte. Les nouveaux principes peuvent désormais être assumés comme hypothèses dans l'introduction (puisqu'on s'attend à une parfaite confirmation); la confrontation entre théorie et expérience peut être présentée comme coïncidence parfaite, et donc les rôles de l'expérience et de la théorie être inversés (une expérience forte commandant la révision d'une théorie plus faible dans l'*article*, devient une expérience faible corrigée par une théorie forte dans le *mémoire*). La confrontation elle-même est apparue comme d'essence littéraire, puisqu'il s'agit d'opérer un rapprochement entre des expériences nécessairement particulières et une théorie pensée comme générale. Dans les deux textes, on a ainsi pu montrer comment la construction permettait de faire oublier les limitations par les mathématiques et par l'expérience, et de présenter ainsi les grandeurs à comparer comme parfaitement quelconques et représentatives de la généralité. Enfin, cette confrontation s'est révélée être un bon exemple d'une rhétorique de l'exactitude plus générale qui s'installe dès la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, où les auteurs rapprochent théorie et expérience avec la conviction forte qu'elles doivent s'accorder. On comprend ainsi pourquoi chez Navier, au delà d'un accord global dans les deux textes, il faut que la théorie ou l'expérience l'emporte : puisqu'il y a une visée d'accord on peut entièrement attribuer l'imperfection à l'un ou à l'autre terme, et ainsi annoncer l'amélioration de la coïncidence (l'*article*) jusqu'à ce qu'on atteigne à la perfection (c'est presque le cas dans le *mémoire*, puisque ce qui reste à corriger dans les expériences est peu de chose).

## ANNEXE : TABLEAU COMPARATIF DES DEUX TEXTES

<i>Article</i>	<i>Mémoire</i>
<i>INTRODUCTION</i>	
<p>▷ Nombreuses références de savants ayant travaillé à la théorie traditionnelle.</p> <p>▷ Usage du passé.</p> <p>▷ Dès l'énoncé de l'hypothèse traditionnelle, on donne la nouvelle hypothèse dans sa forme générale : les géomètres n'ont pas tenu compte des actions moléculaires.</p> <p>▷ Seul M. de Laplace l'a fait.</p> <p>▷ À l'équilibre les actions se détruisent, seule la surface est affectée conformément à la loi de Laplace.</p> <p>▷ Deuxième affirmation de la nécessité de tenir compte d'actions moléculaires qui sont différentes dans le mouvement.</p> <p>▷ Justification de la nécessité : l'incompatibilité avec les expériences.</p> <p>▷ Exemple d'expérience : le tuyau au diamètre très petit.</p> <p>▷ Raisonnement circulaire : les actions moléculaires ne dépendent que de la pression et de la vitesse.</p> <p>▷ Des expériences permettent de conclure que seule la vitesse importe.</p> <p>▷ Utilisation d'une image : le ressort. L'image permet de préciser que seule la vitesse relative des molécules importe.</p> <p>▷ Convocation de l'expérience : seule la vitesse relative importe, la pression n'intervient pas.</p> <p>▷ Invoquant la continuité de la vitesse et les très petites dimensions, on formule l'hypothèse dans sa forme précise : les actions moléculaires dont il faut tenir compte sont proportionnelles à la vitesse relative des molécules.</p> <p>▷ Écriture mathématique de cette hypothèse.</p>	<p>▷ Pas de références nominales.</p> <p>▷ Usage du présent.</p> <p>▷ Incompatibilité de la théorie traditionnelle avec les expériences.</p> <p>▷ Il faut donc une nouvelle hypothèse : tenir compte des actions moléculaires.</p> <p>▷ Exemple d'expérience : le long tuyau de petit diamètre.</p> <p>▷ Il y a des actions moléculaires à l'équilibre dont l'effet ne s'annule pas.</p> <p>▷ Ces actions sont modifiées par le mouvement du fluide.</p> <p>▷ Convocation de l'expérience (tous les phénomènes) pour introduire l'hypothèse sous sa forme précise : les actions moléculaires sont proportionnelles à la vitesse relative.</p>



<i>Article</i>	<i>Mémoire</i>
<i>CALCUL</i>	
<p>▷ Principe du calcul : on cherche à exprimer les forces, ce qui ne donne pas accès aux conditions limites. Ces dernières sont connues par ailleurs : on suppose que la vitesse du fluide est nulle aux parois, c'est-à-dire qu'une couche infiniment mince de fluide se trouve immobilisée le long de la paroi. On évoque les interactions entre le fluide et la paroi, mais on n'en tient pas compte dans le calcul.</p>	<p>▷ Principe du calcul : on utilise un principe variationnel (deux principes, l'un pour l'équilibre, l'autre pour le mouvement) et on calcule des moments de force. Cela permet de produire non seulement l'équation générale du mouvement, mais aussi les conditions aux limites (la vitesse du fluide n'est pas nulle au niveau des parois).</p>
<p>▷ Les interactions à l'équilibre s'annulent on ne traite donc pas le cas de l'équilibre.</p>	<p>▷ On traite le cas de l'équilibre : on considère les actions moléculaires à l'équilibre et on retrouve l'équation traditionnelle de la statique des fluides.</p>
<p>▷ On ne fait pas le calcul, on en indique le principe et on renvoie pour les détails à un autre article de Navier dont on donne les références précises.</p>	<p>▷ Aucune référence à des travaux antérieurs.</p> <p>▷ Le calcul est développé intégralement : on répète plusieurs fois les mêmes calculs.</p>
<p>▷ On fait référence à quelques théorèmes.</p>	<p>▷ Les mêmes théorèmes (que dans l'<i>article</i>) sont utilisés, mais on ne les cite pas.</p>
<i>APPLICATIONS</i>	
<p>▷ On considère une seule configuration particulière dans le calcul : le très long tuyau de petit diamètre et de section carrée. La grandeur calculée est la vitesse moyenne.</p>	<p>▷ On considère trois configurations pour lesquelles on développe le calcul. La première est celle du long tuyau de petit diamètre et de section carrée.</p> <p>▷ La seconde est celle du long tuyau de petit diamètre et de section circulaire. Dans ces deux premiers exemples, la grandeur calculée est la vitesse moyenne.</p> <p>▷ La troisième est celle d'un lit découvert rectangulaire. La grandeur calculée est alors le rapport entre la vitesse moyenne et la vitesse de surface au milieu du lit.</p>

## APPLICATIONS (suite)

- 
- ▷ L'expression théorique à laquelle on parvient n'est pas simplifiée (elle contient des séries).
- ▷ On convoque les expériences de Girard dans le corps du texte avec les références précises (revue, année, pages). Première apparition du terme de « capillaire ».
- ▷ On reproduit la formule de Girard. On précise en particulier que le facteur  $a$  qui intervient dans cette formule n'est pas constant (il dépend du diamètre du tube).
- ▷ « Le grand nombre et l'exactitude des observations » justifient qu'on ne doute pas de la valeur de ces expériences. Elles sont par ailleurs « tout à fait contraires aux notions admises ».
- ▷ On conclut à un accord partiel : d'une part on ne compare qu'une proportionnalité; d'autre part il y a une différence de configuration entre le cas théorique et le cas expérimental (celui-ci est de section circulaire, celui-là de section carrée). On indique pour ce dernier point que le calcul de la section circulaire (qualifié de plus difficile) reste à faire, de même que les expériences pour la section carrée.
- 
- ▷ On invoque, par des références précises, d'autres expériences de Girard sur les écoulements dans des tuyaux de natures différentes. On conclut qu'on ne peut pas rendre compte de ces résultats qualitatifs par la théorie. Il faut donc tenir compte des interactions entre le fluide et la paroi qu'on avait négligées.
- 
- ▷ On simplifie l'expression théorique.
- ▷ Le résultat est « entièrement d'accord » avec les expériences de Girard qui sont qualifiées de « curieuses ».
- ▷ Première apparition du terme de « capillaire ».
- ▷ Aucune référence (à part le nom de Girard).
- ▷ La formule de Girard est reproduite en note (l'unique et très longue note du texte). On conclut que c'est la même formule que celle établie théoriquement en les assimilant terme à terme. Le facteur  $a$  est constant.
- ▷ Si les expériences n'ont pas trouvé le facteur  $a$  constant, c'est qu'elles n'étaient pas assez précises (on prévoit qu'on trouvera le bon résultat si on allonge le tuyau).
- ▷ On peut « conclure » ce que les expériences « avaient indiqué ». Les résultats sont « contraires aux idées reçues ».
- ▷ Il y a conformité entre le cas théorique et le cas expérimental : le cas théorique de la section carrée a été traité sans confrontation avec l'expérience, mais il est réutilisé pour simplifier le cas de la section circulaire (sous la forme d'un argument de symétrie).
- 
- ▷ Les mêmes résultats qualitatifs que dans l'article sont introduits sans aucune référence (pas même le nom de Girard) par l'expression : « on ne peut être étonné de voir... »
-

## BIBLIOGRAPHIE

## ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'INSTITUT DE FRANCE

- [1915] *Procès-verbaux des séances de l'Académie des sciences de l'Institut de France*, Hendaye : Imprimerie de l'observatoire d'Abadia, 1915.

## ATKINSON (Dwight)

- [1999] *Scientific Discourse in Sociohistorical Context : The Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1675-1975*, London : LEA publishers, 1999.

## BÉLIDOR (Bernard Forest de)

- [1813] *La science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*, édition par Cl.-L.-M.-H. Navier, Paris : Firmin Didot, 1813.

- [1819] *L'Architecture hydraulique, ou l'art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie* (première partie, tome 1), édition par Cl.-L.-M.-H. Navier, Paris : Firmin Didot, 1819.

## BIASI (Pierre-Marc de)

- [2003] Sciences : des archives à la genèse. Pour une contribution de la génétique des textes à l'histoire des sciences, *Genesis*, revue internationale de critique génétique de l'Item, 20 (2003), p. 19–52.

## CAUCHY (Augustin-Louis)

- [1823] Recherches sur l'équilibre et le mouvement des corps solides ou fluides, élastiques ou non élastiques, *Bulletin des sciences de la Société philomatique de Paris*, 1823, p. 9–13.

## CHABOT (Hugues)

- [2000] Le tribunal de la science : les rapports négatifs à l'Académie des sciences comme illustration d'un scientifiquement (in)correct (1795–1835), *Annales historiques de la Révolution française*, 320 (2000), p. 173–182.

## COURNOT (Antoine)

- [1828] Mémoire sur les lois du mouvement des fluides, par M. Navier (mémoire de l'Académie des sciences, t. VI, p. 389), *Bulletin des sciences mathématiques, physiques et chimiques*, 10 (1828), p. 11–14.

## CROSLAND (Maurice)

- [1978] *Gay-Lussac. Scientist and Bourgeois*, Cambridge : Cambridge University Press, 1978.

- [1992] *Science under Control*, Cambridge : Cambridge University Press, 1992.

## DARRIGOL (Olivier)

- [2002] Between hydrodynamics and elasticity theory : the first five births of the Navier-Stokes equation, *Archive for History of Exact Sciences*, 56 (2002), p. 95–150.

## DEAR (Peter)

- [1991] *The Literary Structure of Scientific Argument*, Philadelphia : University of Pennsylvania Press, 1991.

## DUGAS (René)

- [1950] *Histoire de la mécanique*, Neufchâtel : Édition du Griffon, 1950.

## FOX (Robert)

- [1975] The rise and fall of Laplacian physics, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 4 (1975), p. 89–136.

GIRARD (P.-S.)

- [1804] *Essai sur le mouvement des eaux courantes*, Paris : Imprimerie de la République, 1804.

GRABER (Frédéric)

- [2000] *Lecture et analyse rhétorique de textes scientifiques : autour des travaux de Cl.-L.-M.-H. Navier sur le mouvement des fluides (1822-827)*, Mémoire de DEA d'Histoire des Sciences de l'EHESS, sous la direction de Dominique Pestre, consultable au Centre Alexandre Koyré, Paris, 2000.

GRATTAN-GUINNESS (Ivor)

- [1990] *Convolution in French Mathematics, 1800-1840*, Basel : Birkhäuser, 1990.

HACKING (Ian)

- [1975] *The Emergence of Probability*, Cambridge : Cambridge University Press, 1975.

INCE (S.) & ROUSE (H.)

- [1957] *History of Hydraulics*, Iowa City : Iowa Institute of hydraulic research, 1957.

KRANAKIS (Eda)

- [1997] *Constructing a Bridge – An Exploration of Engineering Culture, Design, and Research in Nineteenth-Century France and America*, Cambridge, London : Massachusetts Institute of Technology Press, 1997.

LICOPPE (Christian)

- [1996] *La formation de la pratique scientifique – Le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820)*, Paris : La Découverte, 1996.

MCKEON (R.M.)

- [1974] Navier, Claude-Louis-Marie-Henri, dans Gillispie (Charles C.), éd., *Dictionary of Scientific Biography*, vol. 10, New York : Charles Scribner's sons, 1974, p. 2-5.

NAVIER (Claude-Louis-Marie-Henri)

- [1818] Détails historiques sur l'emploi du principe des forces vives dans la théorie des machines, et sur diverses roues hydrauliques, *Annales de chimie et de physique*, 9 (1818), p. 146-159.
- [1820] *Mémoire sur la flexion des plans élastiques*, lithographie, 1820.
- [1822] Sur les lois des mouvements des fluides, en ayant égard à l'adhésion des molécules, *Ann. chimie phys.*, 19 (1822), p. 244-260.
- [1827a] Mémoire sur les lois du mouvement des fluides, *Mémoires de l'Académie des sciences de l'Institut de France*, VI (1827), p. 389-440.
- [1827b] Mémoire sur les lois de l'équilibre et du mouvement des corps solides élastiques, *Mémoires Acad. sci. Inst. France*, VII (1827), p. 375-393.
- [1828] Note relative à l'article intitulé : Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques, page 337 du tome précédent, *Ann. chimie phys.*, 38 (1828), p. 304-305.

PERELMAN (Chaïm)

- [1977] *L'empire rhétorique – Rhétorique et argumentation*, Paris : Vrin, 1977.

PESTRE (Dominique)

- [1995] Pour une histoire sociale et culturelle des sciences – Nouvelles définitions, nouveaux objets, nouvelles pratiques, *Annales, Histoire, Sciences Sociales*, 3 (1995), p. 487-522.

PICON (Antoine)

- [1992] *L'invention de l'ingénieur moderne – L'école des Ponts et Chaussées, 1747-1851*, Paris : Presses de l'École des Ponts et Chaussées, 1992.

PRONY (G. Riche de)

[1802] *Mémoire sur le jaugeage des eaux courantes*, Paris : Imprimerie de la République, 1802.

[1804] *Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes*, Paris : Imprimerie Impériale, 1804.

RUDWICK (M.J.S.)

[1985] *The Great Devonian Controversy*, Chicago : The University of Chicago Press, 1985.

SHAPIN (Steven)

[1984] Pump and circumstance : Robert Boyle's literary technology, *Social Studies of Sciences*, 14 (1984), p. 481-520.

SHAPIN (Steven) & SCHAFFER (Simon)

[1985] *Léviathan et la pompe à air – Hobbes et Boyle entre science et politique*, Paris : La Découverte, 1985.

SCHAFFER (Simon)

[1998] Compte rendu de l'ouvrage [Licoppe 1996], *Annales, Histoire, Sciences Sociales*, 4-5 (1998), p. 996.