

La seconde victoire du Comte Rumford à l'Institut : la capillarité

Physique expérimentale et physique théorique

par **Éric SARTORI**

École supérieure de physique et de chimie industrielles (ESPCI) - 75019 Paris
sartori.eric@wanadoo.fr

BENJAMIN THOMPSON, Comte Rumford (1753-1814), traître à l'Amérique, son pays, mercenaire brutal, homme d'État, philanthrope et scientifique éminent est justement célèbre pour ses travaux sur la chaleur et ses remarquables expériences (notamment le mélange spontané de deux liquides de densités différentes) qui ont établi la conception moderne de la chaleur comme résultant du mouvement de « petites particules ». Sa confrontation avec Laplace sur l'étude de la capillarité, moins connue, met en scène deux manières différentes de faire de la physique, une physique mathématique et une physique expérimentale. Le débat sera finalement tranché par Siméon Denis Poisson en 1831.

1. UN AMÉRICAIN À PARIS

En 1804, l'extraordinaire Benjamin Thompson, Comte Rumford (1753-1814) s'installe définitivement à Paris et, bien accueilli par Napoléon, est nommé à l'Institut de France, d'abord comme membre de la section des sciences sociales et politiques, en raison de son action d'homme d'État, puis comme membre de la section des sciences physiques et mathématiques. Fils d'un pauvre fermier américain, trop tôt orphelin, il a pris, durant la guerre d'Indépendance, le parti des Anglais, a espionné ses compatriotes, est devenu sous-secrétaire d'État en Angleterre, puis est revenu aux USA à la tête d'un régiment d'aventuriers qui fut l'un des derniers à se battre. Les Anglais définitivement vaincus, sa carrière de mer-



Benjamin Thompson, Comte Rumford
(1753-1814)

cenaire le mène en Bavière dont le duc le charge de réorganiser son armée puis le fait successivement ministre de la guerre en titre, Premier ministre en pratique et Comte d'Empire. Il devient aussi l'un des philanthropes les plus célèbres d'Europe, ayant réussi à éradiquer la mendicité à Munich en procurant éducation et travail aux mendiants, célèbre également par ses soupes à la Rumford qui nourriront des millions de pauvres en Europe ; à Londres, où il revient en 1798, il crée, non sans difficulté, une des plus célèbres institutions scientifiques vouées à la recherche et à la vulgarisation, la Royal Institution.

Car Rumford est aussi un scientifique de grande classe, passionné depuis longtemps par la chaleur, dont il défend une conception immatérielle (la chaleur due aux mouvements des petites particules de matière et se propageant comme une onde) opposée à celle du calorique (la chaleur comme fluide matériel) de Lavoisier. La façon dont il a fait triompher ses vues face aux derniers défenseurs du calorique... tout en ayant épousé la veuve de Lavoisier ! est bien connue et a été traitée dans de nombreux ouvrages et articles⁽¹⁾. C'est une seconde victoire de Rumford, également brillamment remportée à l'Institut de France, mais moins connue, que j'aimerais rappeler ici. Elle concerne la capillarité.

2. LES CALCULS DE LAPLACE

De l'infiniment grand, Pierre-Simon Laplace veut maintenant passer à la mathématisation de l'infiniment petit, démontrer que les interactions des plus petites particules de matières peuvent aussi être réglées par des lois mathématiques, semblables à celles de la gravitation. Pour cela, la capillarité lui paraît un bon modèle. La loi la plus simple, la plus connue, de l'hydrodynamique est celle des vases communicants. Plongez un tube de verre creux dans un baquet d'eau ou de mercure, et la surface du fluide y sera la même que dans le baquet. Mais prenez un tube de verre très fin (capillaire, de l'« épaisseur d'un cheveu »), et vous y verrez l'eau monter et sa surface (le « ménisque ») prendre la forme d'une lentille concave ; ou alors vous verrez le mercure descendre et sa surface prendre la forme d'une lentille convexe. Entre 1805 et 1807, Laplace va consacrer sept communications orales à l'Institut, suivis d'autant de mémoires, à ce phénomène qui semble défier les fondements de l'hydrodynamique. La plupart des physiciens considèrent la forme du ménisque comme un effet secondaire de la capillarité. Laplace

(1) Par exemple :

- Marie-Christine de La Souchère, «Le calorique, ou l'erreur de Lavoisier», *La Recherche*, décembre 2013 ;
- Nicolas Witkowski, *Une histoire sentimentale des sciences*, Le Seuil, 2015 ;
- Julien Bohdanowicz, *L'énergie au quotidien*, Odile Jacob, 2000 ;
- Jean Rosmorduc, *Une histoire de la physique et de la chimie - De Thalès à Einstein*, Seuil, 1985.

part au contraire de l'hypothèse que « la loi de l'ascension dans les tubes capillaires dépend de l'attraction du ménisque ». Il suppose également que les forces capillaires entre deux éléments de liquide ne dépendent que de leur distance, sont dirigées selon la droite qui les joint (« forces centrales ») et n'agissent qu'à très petites distances. Le traitement mathématique ressemble alors beaucoup à celui de la gravitation universelle, et par une utilisation astucieuse du calcul intégral et d'approximations basées sur des considérations physiques, il trouve des lois qui rendent compte d'observations connues et en découvre d'autres ; ainsi, la force s'exerçant entre deux plaques séparées par un film de liquide très fin est proportionnelle à l'inverse du carré de la distance des deux plaques. Laplace étend ses calculs à d'autres interactions de surface. Il s'intéresse au fait qu'un objet plus dense que l'eau peut flotter à sa surface ou aux problèmes d'adhésion entre fluides et solides. Il montre que cette physique du très petit est accessible à l'analyse mathématique. « Si l'on compare la théorie que j'expose aux nombreuses expériences des physiciens sur l'action capillaire, on verra que les résultats obtenus par ces expériences s'en déduisent, non par des considérations vagues et toujours incertaines, mais par une suite de raisonnements géométriques qui me paraissent ne laisser aucun doute sur la vérité de cette théorie » triomphe-t-il assez peu modestement.

3. LES EXPÉRIENCES DE RUMFORD

Dès les premières communications de Laplace, le comte Rumford, qui qualifie le savant de « leader despotique » dans ses conversations privées, décide d'intervenir sur le sujet, et de manière totalement indépendante, ce que peu de Français de l'Institut n'auraient osé tant Laplace et Berthollet contrôlaient carrières et nominations. Dans un mémoire présenté à l'Institut le 16 juin 1806⁽²⁾, Rumford n'hésite pas à revendiquer une priorité sur le sujet : « On voit souvent de petits corps solides, d'une gravité spécifique beaucoup plus grande que celle de l'eau, surnager sur la surface de ce liquide ; tels sont par exemple de très petits grains de sable, la limaille très fine des métaux, et même de très petites aiguilles à coudre. Un phénomène si extraordinaire n'a pas manqué d'attirer d'attention des physiciens. Il en fut question dernièrement à une séance de la première classe de l'Institut⁽³⁾, et comme ce fait remarquable est intimement lié avec un sujet de recherche qui m'occupe depuis longtemps, je rendrai compte à cette assemblée de quelques expériences que je viens de faire ».

Rumford présente par la suite sept expériences portant sur les propriétés étranges et déroutantes des interfaces entre l'eau et un autre liquide (éther, huiles diverses) ou entre l'eau et un solide (verre, petits grains métalliques, gouttelettes de mercure, fines

(2) B. Rumford, « Expériences et observations sur l'adhésion des molécules de l'eau entre elles », 1806.

(3) Allusion à l'une des communications de Laplace.

aiguilles d'acier). Par exemple, lorsqu'il fait tourner lentement un verre cylindrique rempli d'eau, il observe que des petites particules métalliques près de la surface de l'eau sont entraînées par le mouvement du verre, tournant et s'arrêtant quasiment immédiatement avec lui, alors que celles qui sont à l'intérieur de l'eau se mettent en mouvement avec un certain retard. Par ailleurs, il montre que, près de l'interface de l'air, du verre, ou d'une huile quelconque, l'eau supporte des sphérules de mercure qui, placées à l'intérieur du liquide, tombent directement au fond. « Si les molécules d'eau adhèrent fortement l'une à l'autre, une suite nécessaire de cette adhésion doit être, ce me semble, la formation d'une espèce de peau à la surface de ce liquide », conclut Rumford.

Et cela aurait évidemment une incidence sur les phénomènes de capillarité ; Rumford propose qu'ils s'expliqueraient par la formation à l'interface verre eau d'une fine couche d'eau très visqueuse, idée totalement absente des équations de Laplace.

On ne peut pas dire que les expériences de Rumford et ses idées sur la capillarité et l'adhésion des molécules d'eau furent ignorées : des cours dans diverses institutions, des périodiques de vulgarisation, même des journaux généralistes en rendirent compte, parfois assez complètement et toujours favorablement⁽⁴⁾. Mais à l'Institut, ce fut Laplace qui triompha ainsi que le constata l'astronome et physicien François Arago⁽⁵⁾ pourtant généralement peu charitable envers lui : « Après que Laplace eut publié en 1806 et 1807 sa théorie de l'action capillaire, on s'accorda généralement à regarder cette question comme entièrement épuisée ». En fait, Laplace ne s'intéressa guère aux expériences de Rumford, et encore moins à ses intuitions physiques, tant il considérait même les vérifications expérimentales comme quasiment superflues, ne pouvant que confirmer ses théories. Face au prestige de l'analyse mathématique, les petites expériences de Rumford, cet aventurier venu de contrées ignorées de la science, n'intéressaient guère les savants reconnus.

4. VICTOIRE POSTHUME DE RUMFORD

Le Comte Rumford eut cependant une vengeance posthume. Siméon-Denis Poisson, successeur de Laplace en ce qui concerne la dextérité mathématique et la

(4) Par exemple : *Annales des sciences et des arts*, 1807 ; *Recueil de divers mémoires extraits de la Bibliothèque impériale des ponts et chaussées*, 1810 ; *Journal de physique, de chimie, d'histoire naturelle et des arts*, 1807 ; *Mercur de France*, 1808 ; *Magasin encyclopédique ou Journal des sciences, des lettres et des arts*, 1808.

(5) François Arago (1786-1853) astronome, physicien, mathématicien. Élu à l'Institut à l'âge de vingt-trois ans, il en devint Secrétaire perpétuel en 1830. Il joua un rôle très important d'animateur de la vie scientifique, incitant Augustin Fresnel à s'intéresser aux phénomènes d'interférence lumineuses et André-Marie Ampère à l'électromagnétisme. Il fut également ministre et même président du gouvernement provisoire de la II^e République (1848).

domination à l'Institut, publia en 1831, soit quatre ans après la disparition de Laplace et dix-sept après celle de Rumford, une Nouvelle Théorie de l'action capillaire en trois cents pages. Il y constatait que l'accord entre la théorie de Laplace et les expériences ne provenait que de la compensation de diverses erreurs, que la densité d'un liquide, loin d'être constante comme l'avait supposé Laplace, variait brutalement près de sa surface extérieure et des parois du vase qui le contient, et que, sans ce phénomène négligé par Laplace, les phénomènes capillaires n'auraient tout simplement pas lieu ! Arago commenta : « Ces variations de densité dont Laplace n'a pas tenu compte, sont la vraie, l'unique cause des changements de niveau occasionnés par les tubes capillaires plongeant dans les liquides. On se demandera comment il est possible que Laplace soit parvenu à représenter, en nombres, les phénomènes de l'action capillaire, en négligeant dans son calcul la vraie, l'unique cause de ces phénomènes. Je l'avouerais, il y a là un grand scandale mathématique... »⁽⁶⁾.

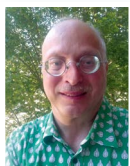
Effectivement, si les lois physiques qu'avait trouvées Laplace étaient vérifiées, elles résultaient d'approximations miraculeuses ou trop bien calculées à partir... d'une théorie fautive. En revanche, les fines et astucieuses observations de Rumford sur « une espèce de peau à la surface de l'eau » reprenaient leur validité et leur importance, et le mémoire de Poisson leur rendait justice.

Rumford, qui s'avouait incapable de suivre les calculs de Laplace et n'avait fait appel, dans toute sa physique, à aucune mathématique plus complexe que la règle de trois, avait donc eu raison sur la véritable interprétation physique des phénomènes de capillarité et les effets de surface qui leur sont liés. Mais, alors que la physique mathématique remportait de si grands triomphes, les physiciens qui ne maîtrisaient pas les techniques des calculs intégral et différentiel et les charmes des développements en série apparaissaient comme dépassés, d'un autre siècle. Cependant, il arrive que des théoriciens, même aussi doués que Laplace, n'aboutissent, avec une immense dextérité et un génie incontestable, qu'à un « scandale mathématique », alors que l'observateur attentif et astucieux d'une aiguille qui flotte sur l'eau sera plus proche de la réalité physique. La trop grande propension, dans l'enseignement français, à écrire d'abord des équations puis à étudier comment elles s'appliquent à la réalité physique nous prive peut-être de chercheurs à l'esprit plus concret, à la démarche différente. Nous formons beaucoup de théoriciens maniant avec virtuosité le Laplacien et d'autres mathématiques plus complexes, et c'est très bien, mais peut-être pas assez d'émules de Rumford ; c'était, je crois, l'opinion de Pierre-Gilles de Gennes.

(6) F. Arago, *Œuvres complètes*, tome 2, p. 633

BIBLIOGRAPHIE

- ◆ G.I. Brown, *Count Rumford : The Extraordinary Life of a Scientific Genius - Scientist, Soldier, Statesman, Spy*, Sutton Publishing, 2001. .
- ◆ J. Dhombres, « La théorie de la capillarité selon Laplace, mathématisation superficielle ou étendue ? », In: *Revue d'histoire des sciences*, tome 42, n° 1-2, p. 43-77, 1989
- ◆ B. Rumford, « Expériences et observations sur l'adhésion des molécules de l'eau entre elles », 1806, Complete Works, *American Academy of Arts and Sciences*, 1870.
- ◆ E. Sartori, *L'Empire des sciences, Napoléon et ses savants*, Ellipse, 2003, réédition 2013.
- ◆ E. Sartori, *Rumford, le scandaleux bienfaiteur d'Harvard*, Paris : Éditions de la Bisquine, 2016.



Éric SARTORI

Docteur ès sciences

Ingénieur

École supérieure de physique et de chimie industrielles (ESPCI)

Paris