



Cédril-Studio R. Wilson et F. Fréchaud

Le beurre, un faux solide

HERVÉ THIS

Comment le rendre tartinable.

Le beurre est un solide étrange : quand on le sort du réfrigérateur, on doit parfois attendre une quinzaine de minutes avant de le tartiner facilement. Pourquoi ? Comment éviter cette attente ? Pourrait-on fabriquer un beurre tartinable dès sa sortie du réfrigérateur ?

La question se pose depuis 1988 : la législation accorde l'appellation de beurre aux produits qui, comme le beurre, sont des dispersions de gouttelettes d'eau dans la matière grasse laitière, à condition que ces produits aient été séparés par des méthodes physiques. Aussi pouvait-on concevoir de vendre des beurres de qualités variées, préparées par mélange de diverses fractions qui auraient été d'abord isolées du beurre.

Comment séparer ces fractions ? Comment les recombiner ? En 1992, le groupe de recherche de l'industrie laitière *Arilait* a confié à plusieurs laboratoires la tâche d'analyser la matière grasse laitière et d'identifier des règles de composition des beurres tartinables. L'étude était difficile, parce que les molécules qui composent la matière grasse laitière sont variées et « polymorphes » : chaque type de molécules cristallise de plusieurs façons, selon le type de traitement qu'il a antérieurement subi, et les cristaux n'adoptent leur forme d'équilibre qu'après un long repos.

Dans le lait, cette matière grasse est sous la forme de gouttelettes dispersées dans de l'eau ; chaque gouttelette, de quelques micromètres de diamètre, est enrobée de micelles de caséine, chaque micelle étant un assemblage de plusieurs protéines, cimentées par du phosphate de calcium. Des arômes sont dissous dans les matières grasses des gouttelettes, tandis que des molécules variées (vitamines, sucres, tels que le lactose, sels minéraux, protéines) sont en solution dans l'eau.

L'équipe commanditée par *Arilait* a d'abord étudié la matière grasse, dont la composition change même selon les saisons. En revanche, une unité règne : les matières grasses du lait sont essentiellement des molécules de triglycérides, composées d'une molécule de glycérol à laquelle sont liées trois molécules

d'acides gras. Le lait contient plus de 500 acides gras différents. Comme chaque acide gras peut être lié à n'importe quel atome de carbone du glycérol, le nombre de triglycérides possibles est supérieur à plusieurs milliers.

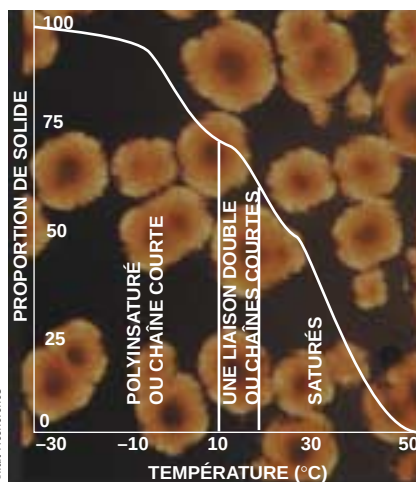
Une des conséquences majeures de cette diversité est le comportement étrange du beurre à la fusion : contrairement à un corps pur tel que l'eau, qui fond à une température fixe (0 °C), la fusion du beurre

née : on refroidit lentement le beurre fondu et l'on isole les cristaux qui apparaissent à une même température, tous composés des mêmes types de molécules.

Ayant ainsi isolé des fractions qu'ils ont identifiées, Frédéric Lavigne, Michel Ollivon et leurs collègues ont alors cherché un moyen de former des mélanges tartinables dès la sortie du réfrigérateur : ils préconisent de mélanger des triglycérides à température de fusion élevée, qui restent donc solides à la température ambiante, avec une proportion appropriée de triglycérides à basse température de fusion, liquides à température ambiante. On obtient ainsi un corps apparemment solide qui, comme le beurre classique, contient une proportion de molécules sous la forme de liquide (même dans le lait, les « gouttelettes » de matière grasse sont partiellement solides : la proportion de solide atteint 70 pour cent à 4 °C, mais seulement 10 pour cent à 30 °C). L'enrichissement en molécules à basse température de fusion facilite le tartinage. Les fractions à point de fusion élevé sont utilisées en pâtisserie (encore sous le nom de beurre, puisque la réglementation l'autorise) notamment pour la réalisation de pâtes feuilletées.

Pourquoi un solide qui contient du liquide reste-t-il apparemment solide ? À cause des cristaux qui s'enchevêtrent quand ils croissent. Raclé par un couteau, le beurre semble s'amollir non pas parce qu'il s'est échauffé, mais parce que les cristaux sont séparés.

Comment utiliser ces découvertes en cuisine ? Je vous propose de tester la cristallisation fractionnée : fondez le beurre et récupérez la partie solide à mesure qu'elle se forme, tout comme l'ont fait les physico-chimistes. Vous aurez ensuite la possibilité de composer votre beurre, par des mélanges, et d'obtenir les textures appropriées au plat où vous voudrez placer votre produit.



Les diverses molécules de la matière grasse du lait cristallisent (en fond) en trois étapes principales.

commence dès -50 °C, et elle s'achève vers +40 °C. Les divers triglycérides du lait fondent par familles chimiques homogènes en trois étapes principales : de -50 °C à 10 °C, on observe la fusion des molécules dont les acides gras sont courts ou comportent des liaisons chimiques doubles, entre les atomes de carbone ; puis, entre 10 °C et 20 °C, vient le tour des molécules ne contenant qu'une seule liaison double ou bien une chaîne courte ; entre 20 °C et 40 °C, fondent les molécules où les trois acides gras sont saturés (avec seulement des liaisons chimiques simples entre les atomes de carbone).

Les physico-chimistes ont plutôt étudié le phénomène inverse de la fusion : la cristallisation, à partir de beurre fondu. Pour séparer les diverses fractions, on effectue ainsi une « cristallisation fraction-

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 25 juin 1998, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.



Antephot/Vega

Une fraude en physique

JAMES EVANS

L'arrière garde antinewtonienne a utilisé des moyens peu scientifiques pour combattre la théorie de la gravitation.

En juin 1769, un article paraît dans le *Journal des Beaux-Arts et des Sciences* qui attaque la théorie de la gravitation universelle de Newton. L'auteur, Jean Coultaud, a enseigné la physique à Turin, et passe sa retraite dans la maison familiale de Samoëns. Il y décrit des expériences qu'il a réalisées durant les étés 1767 et 1768, dans la montagne, près de Samoëns.

Coultaud a acheté deux horloges à balancier chez l'un des meilleurs horlogers de Genève. Il place l'une des pendules dans sa maison, à Samoëns et l'autre dans une cabane, à 2 000 mètres d'altitude. Un de ses amis, M. Andrier, «homme intelligent, actif et instruit», est chargé de la pendule de la station supérieure. Il entretient un feu dans la cabane, pour que la température soit maintenue à «12 degrés sur l'échelle de Réaumur» (15 °C). Cette précaution garantit que la pendule ne ralentisse ni n'accélère à cause de changements de température. Il s'agit de faire démarrer les deux pendules simultanément : le frère de Coultaud se place à mi-chemin entre Jean et Andrier. Le 1^{er} juillet 1767, à zéro heure, le frère de Coultaud enflamme de la poudre à canon : c'est le signal pour mettre en route les deux pendules. Deux mois après, les pendules sont arrêtées selon le même procédé.

Selon la théorie de la gravitation de Newton, la pendule supérieure doit être plus lente, car l'accélération de la pesanteur diminue avec l'altitude (la période d'un pendule simple étant inversement proportionnelle à la racine carrée de l'accélération de la pesanteur, elle augmente avec l'altitude et, par conséquent, l'horloge à pendule avance moins vite). Quand Andrier descend de la montagne avec ses notes et les relevés horaires, Coultaud est stupéfait : contre toute attente, la pendule supérieure a avancé plus vite et pris 28 minutes d'avance sur la pendule inférieure.

Coultaud conclut ainsi son article : «L'attraction et les lois qu'on lui prête trou-

vent leur cercueil dans ces mêmes faits.» L'article se termine par : «À Samoëns en Faucigni, Province de Savoye, ce 15 Novembre 1768» et est publié au cours du mois de juin suivant. Les résultats de Coultaud sont bientôt confirmés par un certain Mercier, qui reproduit l'expérience à Sion, dans le Valais, et publie son compte rendu dans le *Journal des Beaux-Arts et des Sciences*. Les articles de Coultaud et de Mercier sont à l'origine d'une controverse qui dure une dizaine d'années et suscite de nouvelles expériences dans toute la France. Ils sont critiqués par de nombreux scientifiques, notamment par d'Alembert et Lalande, tandis que l'arrière-garde antinewtonienne y voit une preuve inattaquable de la validité de son propre système.

Qui étaient Coultaud et Mercier, les auteurs des premiers articles ? En fait, ils n'ont jamais existé ! Les expériences

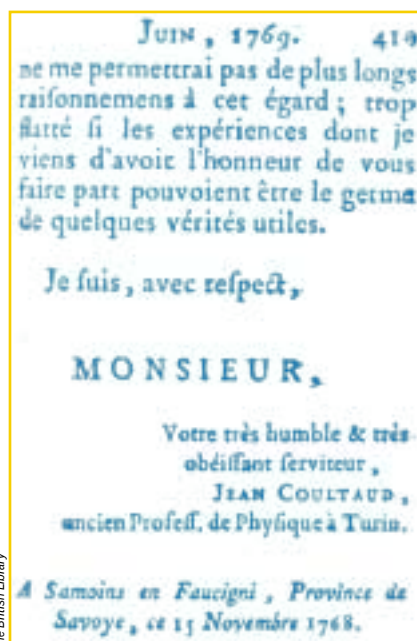
décrites n'ont jamais été réalisées ! Cet épisode des fraudes scientifiques illustre les passions qu'a déclenchées la théorie de Newton, les antinewtoniens étant prêts à tout pour détrôner Newton.

LES ENJEUX

L'histoire commence en 1687 avec la publication des *Principes mathématiques de philosophie naturelle*, où Newton déduit, des lois du mouvement des planètes, que tous les objets s'attirent, et que la force de gravitation entre deux objets diminue quand leur distance augmente. De surcroît, la Terre tournant rapidement sur son axe, Newton pense qu'elle n'est pas parfaitement sphérique, mais aplatie aux pôles.

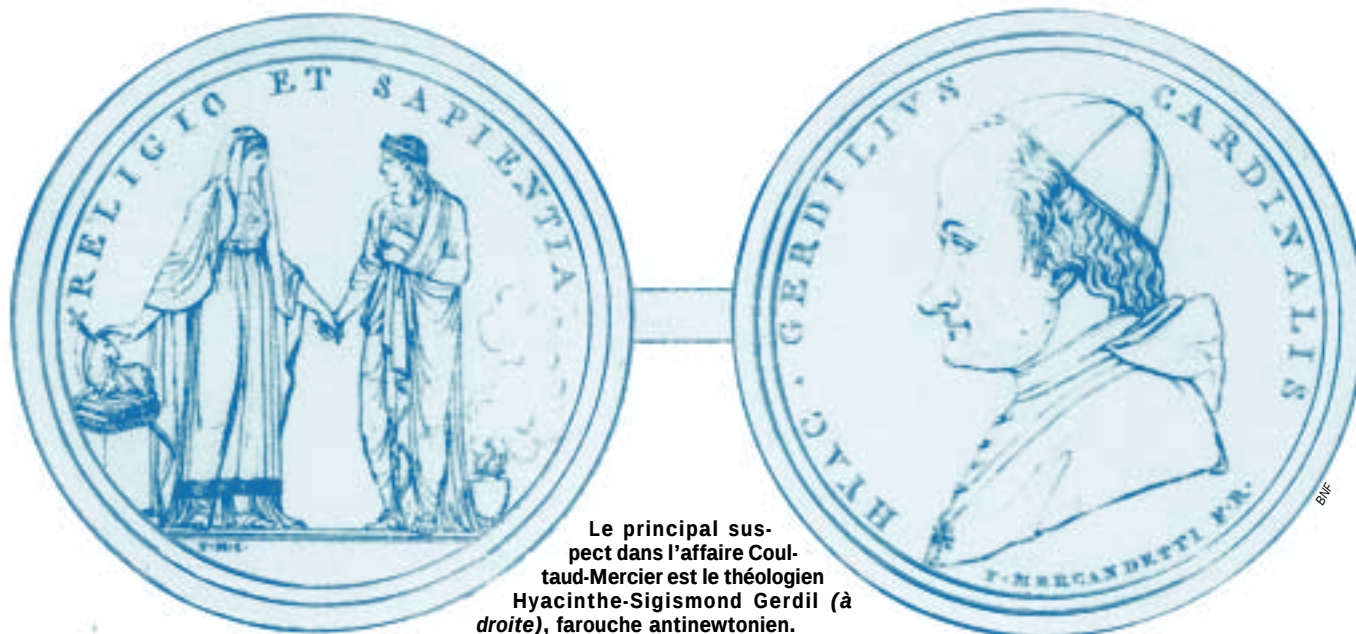
Cette hypothèse sur la forme de la Terre n'était pas totalement théorique, mais reposait sur quelques observations, notamment celles de Jupiter qui, au télescope, apparaît aplatie aux pôles. On pouvait raisonnablement supposer que la Terre avait la même forme. De plus, on savait depuis 1672 qu'une horloge à balancier observée à Cayenne (au Nord de l'Amérique du Sud) est un peu plus lente que la même pendule à Paris. Ces constatations sont compatibles avec la théorie de Newton : si la Terre est effectivement renflée à l'équateur, le pendule de l'horloge de Cayenne est plus éloigné du centre de la Terre que celui de l'horloge de Paris, de sorte que l'accélération de la pesanteur y est inférieure ; sa période est supérieure et l'horloge avance moins vite.

Newton n'avait pas proposé d'explication mécanique de la gravitation. Il lui suffisait que sa loi permette de calculer le mouvement des corps, sans que l'on ait à se préoccuper de l'origine de la gravitation. Cet aveu de faiblesse fut l'un des principaux arguments utilisés par les adversaires de Newton. Pour les disciples de Descartes, la théorie de Newton apparaissait comme un retour aux pensées obscurantistes. Une des principales



The British Library

Fin de l'article de Coultaud publié dans le *Journal des Beaux-Arts et des Sciences*, en juin 1769.



Le principal suspect dans l'affaire Coultaud-Mercier est le théologien Hyacinthe-Sigismond Gerdil (à droite), farouche antinewtonien.

contributions de Descartes avait été de lutter contre les «explications» obscurantistes des phénomènes naturels qui avaient caractérisés les écoles moyen-âgeuses. Au Moyen Âge, on disait qu'un aimant attirait un morceau de fer parce qu'il avait un «pouvoir» d'attraction. Ces explications qui attribuaient pouvoirs, puissances, vertus et autres forces aux objets, estompaient la frontière entre le monde vivant et le monde inanimé.

Plus de trente ans après la publication du livre de Newton, les philosophes continuaient à s'interroger sur la validité de la théorie de l'attraction universelle. Certaines observations semblaient même infirmer la théorie. En 1713, Jacques Cassini, qui travaillait à établir une nouvelle carte de la France, prétendait que les mesures les plus récentes indiquaient que la Terre était légèrement renflée aux pôles. C'est à cause des arguments de Cassini que la Terre fut alors représentée comme un citron, Newton prétendant qu'elle ressemblait plutôt à une citrouille. Ainsi, vers 1730, deux conceptions du monde s'affrontaient, celle de Newton et celle de Descartes (selon Descartes, les corps ne s'attirent pas, et la pesanteur résulte d'une pression exercée par une «matière subtile», dont les tourbillons exercent une pression sur les objets). Pour les newtoniens, la pesanteur diminue avec l'altitude et la Terre est aplatie aux pôles ; pour les cartésiens, la Terre est aplatie à l'équateur et, pour certains d'entre eux, la pesanteur augmente avec l'altitude.

En 1735, l'Académie des Sciences propose un test décisif : des expéditions seront envoyées en Laponie et au Pérou pour mesurer la longueur d'un degré de méridien. Ces expéditions confirment que la Terre est aplatie aux pôles et, vers 1750, la quasi totalité des physiciens français adhèrent à la théorie de Newton. Pourtant quelques uns résistent.

Quand Jean Coultaud publie ses expériences c'est un combat d'arrière garde. Les troupes antinewtoniennes sont clairsemées. Deux arrière gardistes, Joseph-Étienne Bertier et Jean-Pierre David ont élaboré des théories incompatibles avec les principes de Newton et se servent des expériences de Coultaud pour réfuter la théorie de l'attraction universelle.

Joseph-Étienne Bertier (1702-1783) est prêtre de la congrégation de l'Oratoire qui enseigne la philosophie et la physique aux adolescents. Il est correspondant de l'Académie des Sciences. Quand il cesse d'enseigner, il est envoyé à Paris, dans la maison de l'Oratoire, rue Saint-Honoré. Il est viscéralement convaincu de la validité du système de Descartes. Il entreprend un traité des *Principes physiques, pour servir de suite aux «Principes mathématiques» de Newton*. Il rassemble en trois volumes tous les phénomènes physiques et chimiques. Il décrit comment ces phénomènes sont expliqués par les newtoniens et par les cartésiens. Il rassemble également les arguments de chacun des deux camps contre la théorie adverse. Bertier prétend être neutre et se contenter de rassembler objectivement les arguments des deux camps. Pour ne pas attaquer de front Newton, il distingue entre «l'attraction physique» qu'il récuse et «l'attraction mathématique». Selon Bertier, Newton a utilisé l'attraction seulement comme un outil mathématique qui facilite les calculs.

Bertier publie le quatrième volume de ses *Principes physiques* en 1770, un an après la parution de l'article de Coultaud, et indique, sur la page du titre : *La nature, consultée par des expériences nouvelles, décide les questions qui partageoient tous les physiciens modernes*. Dans le quatrième volume, l'expérience de Coultaud est présentée comme une nouvelle évidence contre la théorie de Newton. Bertier continuera à défendre le système

cartésien et à attaquer les newtoniens qui «Auteurs de systèmes opposés à la Nature, voudroient nous enlever notre Père et notre Dieu, en soutenant que les Corps s'attirent et se meuvent d'eux-mêmes sans premier moteur.»

Le deuxième antinewtonien, Jean-Pierre David (1737-1784) enseigne la chirurgie à Rouen. En 1769, il publie *Dissertation sur la figure de la Terre*, ouvrage qui le classe dans le camp des antinewtoniens. Il continue à prétendre que, contrairement aux résultats des expéditions envoyées par l'Académie, la Terre est aplatie à l'équateur. Il affirme même que les observations des académiciens «valident» sa propre théorie. Les expériences de Coultaud apportent une «preuve» à David : la pendule de la vallée avait été plus lente que la pendule en altitude ; ainsi, plus la pendule est proche du centre de la Terre, plus elle est lente ; or on avait montré qu'une horloge à balancier située à l'équateur est plus lente qu'à Paris ; on en déduisait que les points, à la surface de l'équateur, sont plus près du centre de la Terre, qui a donc une forme de citron...

L'ENQUÊTE ET LA RÉVÉLATION

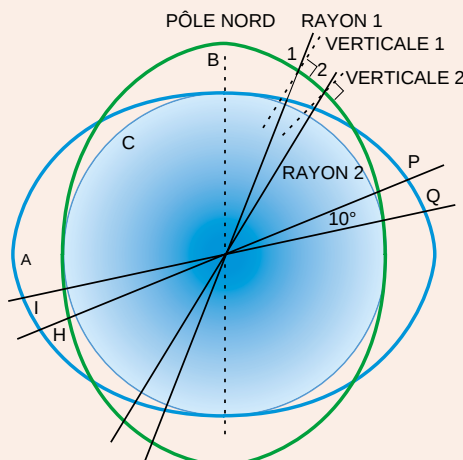
Pendant ce temps, Georges-Louis Le Sage vit modestement de leçons de physique et de mathématiques. Il habite Genève, là même où les pendules de Coultaud ont été fabriquées. Le Sage décide d'enquêter sur ces pendules et fait le tour des horlogers genevois : aucun n'a fabriqué ces pendules, aucun ne connaît Jean Coultaud. Dans son article, Coultaud s'était prétendu être un ancien professeur de physique à Turin : après enquête, Le Sage apprend qu'aucun professeur de ce nom n'a jamais enseigné à Turin. Enfin, aucun Jean Coultaud n'habite Samoëns ! Il montre, de même, que

Des expériences mal interprétées

La Terre est-elle aplatie aux pôles? Sur la figure, A est une Terre aplatie aux pôles, C une Terre sphérique et B une Terre aplatie à l'équateur. Sur C, un rayon, tel H ou I, coïncide avec la verticale en chaque point de la Terre. Au contraire, sur B, les rayons, aux points 1 et 2, ne coïncident pas avec les verticales, perpendiculaires à la surface. Le rapport de la distance 1-2 sur l'angle entre les verticales 1 et 2 est constant pour la Terre sphérique. Que devient-il sur la Terre réelle? Lors de leurs expéditions au pôle et à l'équateur, les Académiciens trouvèrent que le rapport est inférieur à l'équateur, d'où ils conclurent que la Terre est aplatie aux pôles, comme l'avait prévu Newton. Toutefois, l'antinewtonien Jean-Pierre David prétendit que les Académiciens avaient mal défini la verticale. Pour lui, la verticale passait toujours par le centre de la Terre, et n'était pas nécessairement perpendiculaire à sa surface. Sur la Terre aplatie aux pôles (A), un angle au centre découpe un arc PQ dont la longueur augmente quand on se rapproche de l'équateur. David conclut que, sur A, le rapport entre PQ et l'angle au centre correspondant *augmente* vers l'équateur; donc la Terre doit être aplatie à l'équateur, en forme de citron (B). En fait, David utilisant une définition erronée de la verticale, son rapport était surévalué, car l'angle des «vraies» verticales, en P et

Q était supérieur à 10 degrés. Une autre expérience a été utilisée par les antinewtoniens contre la théorie de la gravitation.

Dans le temple de l'Oratoire, Joseph-Étienne Bertier avait placé une balance à fléau à 25 mètres du sol. Dans le plateau de gauche, il posait un poids. Dans celui de droite, il plaçait une corde et une masse pour équilibrer la balance. Ensuite, il déroulait la corde attachée sous le plateau de droite et y suspendait le poids qui équilibrait la balance avant le début de l'expérience. Quand la corde était déroulée, la balance pen-



1. Les newtoniens voyaient la Terre comme une citrouille aplatie aux pôles (A), tandis que les antinewtoniens y voyaient un citron (B).

chait vers la gauche. Bertier en conclut que les objets pesaient plus lourd quand ils étaient plus haut. La querelle s'envenima entre Bertier et ses adversaires. L'expérience fut reproduite dans d'autres églises. On finit par comprendre, en utilisant des objets plus ou moins denses que l'effet résulte de la diminution de la densité de l'air avec l'altitude (quand l'objet suspendu est dense et peu volumineux, la poussée exercée par la masse d'air déplacée est faible et l'équilibre peu perturbé). Bertier publia à regret un article où il se rétractait, mais il continua à être convaincu que la pesanteur augmente avec l'altitude, jusqu'à une altitude qui n'avait pas encore été déterminée.

Mercier est aussi un mythe. Ce travail de détective met au jour la fraude et est publié non dans le *Journal des Beaux-Arts et des Sciences*, mais dans celui, plus prestigieux, de l'abbé Rozier, *Observations sur la Physique*. Le Sage ne fait aucune hypothèse sur l'identité réelle de l'auteur des faux.

Les principaux suspects sont Bertier et David, mais ils ont fait d'autres expériences dont les résultats ne sont pas compatibles avec ceux de Coultaud. S'ils étaient les fraudeurs, ils auraient sans doute falsifié tous leurs résultats. Qui était Jean Coultaud? Peut-être était-ce Hyacinthe-Sigismond Gerdil (1718-1802) un théologien et prêtre barnabite qui, en 1777, fut nommé cardinal et qui postula pour être pape à la fin de sa vie. Gerdil était un philosophe conservateur, cartésien convaincu et opposé à la théorie de Newton. De surcroît, Gerdil avait une maison familiale à Samoëns et au moment de la fraude, il vivait à Turin où il était professeur de théologie morale et tuteur du fils du roi de Sardaigne. Enfin, le style des articles de Coultaud et Mercier ressemble beaucoup à celui des traités de physique de Gerdil. En 1754, il avait publié une *Dissertation sur l'incompatibilité de l'attraction avec les phénomènes*. Il tentait d'y réfuter la théorie

de l'attraction universelle en utilisant les phénomènes de capillarité. Il notait que si l'on applique un peu de graisse à l'intérieur d'un capillaire, l'eau ne monte pas dans le tube. Or l'attraction du verre pour l'eau ne disparaît pas par la seule présence de la graisse. Il en déduisait que l'attraction n'existe pas non plus en l'absence de graisse et, donc, qu'elle n'existe jamais.

GERDIL : LE COUPABLE?

Ainsi Gerdil faisait aussi partie des antinewtoniens, connaissait Turin et Samoëns : il a pu écrire l'article sur les horloges à balanciers. Pourquoi aurait-il envoyé cet article en 1768, 14 ans après avoir rédigé son traité? Il a sans doute été motivé par la publication d'un article de Lalande, en 1768. L'auteur mettait en doute les interprétations de Gerdil sur la capillarité et refusait ses arguments contre l'attraction universelle. Lalande expliquait qu'une goutte d'eau placée au sommet d'un tube graissé ne descend pas, ne pénètre même pas dans le tube. On ne pouvait pourtant pas en déduire que la gravitation n'existe pas. Pour lui les expériences sur la capillarité tendaient même plutôt à confirmer qu'à infirmer la réalité de l'attraction : «L'élévation du fluide

qu'on observe dans ces tuyaux me paroît de tous les phénomènes de la Physique expérimentale celui qui prouve le mieux l'attraction.» Le texte de Lalande renversait tous les arguments de Gerdil, ce qui l'aurait incité à trouver d'autres preuves expérimentales pour réfuter la théorie de Newton. Un mois plus tard, le mystérieux Coultaud publiait son article.

Nous ne saurons jamais avec certitude qui a écrit les articles signés Coultaud et Mercier. Cette affaire n'est pas caractéristique des fraudes en science. Habituellement, les fraudes sont commises par des personnes qui y voient un moyen de faire progresser plus rapidement leur carrière, d'enjoliver leur renommée ou encore de tirer un bénéfice financier. Dans ce cas, il ne s'agissait vraisemblablement ni de renommée, ni de profits, mais plutôt de conviction philosophique. Jean Coultaud – quelle que fût son identité – n'admettait pas la théorie de Newton qui attribuait une force d'attraction à la matière inanimée. Il craignait que la conception classique du monde, qui conciliait si bien la physique de Descartes et la doctrine de l'Église, ne s'effondre.

James EVANS est professeur de physique à l'Université de Puget Sound, à Tacoma.

