

Jean-Marc Ginoux

HASARD & ERREUR

dans les
**grandes découvertes
scientifiques**



ellipses

Archimède et la couronne du roi Hiéron

Originaire de Syracuse, qui était à l'époque une colonie grecque, Archimède s'est illustré dans le domaine des Mathématiques, de la Physique et de l'Ingénierie. En Mathématiques, on lui doit la première approximation très précise du nombre π qui donnera lieu au célèbre quatrain mnémotechnique :

« *Que j'aime à faire apprendre un nombre utile aux sages!*

3 1 4 1 5 9 2 6 5 3 5

Immortel Archimède, artiste, ingénieur... »

8 9 7 9

permettant de mémoriser facilement ses quatorze premières décimales. En Géométrie, il démontra que le volume du cylindre circonscrit à une sphère est égal à une fois et demie le volume de cette dernière. Cette sphère inscrite dans un cylindre, qui représente l'une de ses plus grandes découvertes, permettra au grand Cicéron de retrouver sa tombe oubliée de tous plus d'un siècle après sa mort tragique. En *Mécanique*, on attribue à Archimède l'invention de la vis sans fin (utilisée en Égypte pour les besoins de l'irrigation), des poulies mobiles qui démultiplient les effets d'un effort de traction, des moufles¹, des roues dentées. On lui doit également la théorie du levier. Le célèbre historien Plutarque nous raconte comment Archimède devint le conseiller et l'ingénieur du roi Hiéron qui régnait alors sur Syracuse :

1. Une (ou un) moufle (*muffula* en latin médiéval) est une partie de dispositif mécanique (palan) qui permet le levage d'une charge par plusieurs brins de câble, afin de démultiplier l'effort de traction.

« Archimède avança un jour au roi Hiéron, dont il était le parent et l'ami, qu'avec une force donnée, on pouvait remuer un fardeau, de quelque poids qu'il fût. Plein de confiance en la force de sa démonstration, il se vanta que, s'il avait une autre terre, il remuerait à son gré celle-ci, en passant dans l'autre¹ ».

« Le roi, étonné de cette assertion, le pria de réduire en pratique son problème, et de lui faire voir une grande masse remuée par une petite force. Archimède ayant fait tirer à terre, avec un grand travail, et à force de bras, une des galères du roi, ordonna qu'on y mît la charge ordinaire, avec autant d'hommes qu'elle en pourrait contenir ; ensuite, s'étant assis à quelque distance, sans employer d'effort, en tirant doucement de la main le bout d'une machine à plusieurs poulies, il ramène à lui la galère, qui glissait aussi légèrement et avec aussi peu d'obstacles que si elle avait fendu les flots. Le roi, émerveillé d'un tel pouvoir de l'art, engagea Archimède à lui faire toutes sortes de machines et de batteries de siège, soit pour l'attaque, soit pour la défense des places. Mais il n'en fit point d'usage, car il passa presque tout son règne sans faire la guerre, et vécut dans une profonde paix. Tous ces préparatifs servirent alors aux Syracusains, à qui ils furent d'un grand secours, et qui, outre les machines, eurent l'artiste qui les avait faites. »

En effet, en 215 av. J.-C., après la mort de Hiéron, Syracuse fut assiégée par la flotte romaine de Claudius Marcellus. Archimède participa activement à la défense de sa cité en la faisant bénéficier de ses ingénieuses inventions. Il fit réaliser des balistes (machines de guerre servant à lancer des projectiles), des catapultes lançant des flèches et des pierres et des grues gigantesques appelées « mains de fer » qui, déposant un grappin dans les cordages des bateaux les entraînaient contre les rochers où ils se fracassaient. Il aurait même, selon la légende, incendié le reste de la flotte grâce à d'immenses miroirs paraboliques de bronze minutieusement polis, concentrant à distance les rayons du Soleil sicilien sur les voiles des galères ennemies. Ainsi, lorsque, en 212 avant notre ère, les troupes de Marcellus entrèrent finalement par surprise dans Syracuse, le siège de la ville durait depuis trois ans. Bien que Marcellus ait expressément ordonné qu'Archimède soit pris vivant, ce dernier, absorbé par la considération de figures géométriques tracées sur le sable, fut tué par un soldat romain à qui il refusait de donner son nom. Sur son tombeau, conformément à son vœu, on grava une sphère inscrite dans un cylindre. Ces faits suffiraient à eux seuls pour justifier qu'Archimède

1. Cette citation a été rapportée ainsi par le mathématicien Pappus d'Alexandrie qui a vécu au IV^e siècle ap. J.-C. : « Donnez-moi un point d'appui et un bras de levier, et je soulèverai la Terre ».

soit unanimement reconnu comme l'un des plus grands génies de l'Antiquité Grecque. Et pourtant, il semble que les circonstances, pour le moins surprenantes, de la découverte du *principe* qui porte aujourd'hui son nom, aient très largement contribué à faire entrer Archimède dans la légende (au même titre que l'anecdote des « miroirs ardents »). Elles nous ont été rapportées ainsi par l'illustre architecte romain Vitruve :

« Archimède a fait une foule de découvertes aussi admirables que variées. Parmi elles, il en est une surtout dont je vais parler, qui porte le cachet d'une grande intelligence. Hiéron régnait à Syracuse. Après une heureuse expédition, il voua une couronne d'or aux dieux immortels, et voulut qu'elle fût placée dans un certain temple. Il convint du prix de la main-d'œuvre avec un artiste, auquel il donna au poids la quantité d'or nécessaire. Au jour fixé, la couronne fut livrée au roi, qui en approuva le travail. On lui trouva le poids de l'or qui avait été donné. Plus tard, on eut quelque indice que l'ouvrier avait soustrait une partie de l'or, et l'avait remplacée par le même poids en argent mêlé dans la couronne. Hiéron, indigne d'avoir été trompé, et ne pouvant trouver le moyen de convaincre l'ouvrier du vol qu'il avait fait, pria Archimède de penser à cette affaire. Un jour que, tout occupé de cette pensée, Archimède était entré dans une salle de bains, il s'aperçut *par hasard* qu'à mesure que son corps s'enfonçait dans la baignoire, l'eau passait par-dessus les bords. Cette découverte lui donna l'explication de son problème. Il s'élança immédiatement hors du bain, et, dans sa joie, se précipite vers sa maison, sans songer à s'habiller. Dans sa course rapide, il criait de toutes ses forces qu'il avait trouvé ce qu'il cherchait, disant en grec : Εύρηκα, Εύρηκα [Eurêka!].

Aussitôt après cette première découverte, il fit faire, dit-on, deux masses de même poids que la couronne, l'une d'or, l'autre d'argent ; ensuite il remplit d'eau jusqu'aux bords un grand vase, et y plongea la masse d'argent qui, à mesure qu'elle enfonçait, faisait sortir un volume d'eau égal au sien. Ayant ensuite ôté cette masse, il mesura l'eau qui manquait, et en remit une certaine quantité dans le vase pour que celui-ci fût rempli jusqu'aux bords comme auparavant. Cette expérience lui fit connaître quel poids d'argent répondait à une certaine mesure d'eau. Il plongea aussi de même la masse d'or dans le vase plein d'eau ; et après l'en avoir retirée et avoir également mesuré l'eau qui en était sortie, il reconnut qu'il n'en manquait pas autant, et que le moins [la différence] répondait au poids qu'avait le volume de la masse d'or comparé avec le volume de la masse d'argent qui était de même poids.

Le vase fut rempli une troisième fois, et la couronne elle-même y ayant été plongée, il trouva qu'elle en avait fait sortir plus d'eau que la masse d'or, qui avait le même poids, n'en avait fait sortir ; et, calculant d'après le volume d'eau que la couronne avait fait sortir de plus que la masse d'or, il découvrit la quantité d'argent qui avait été mêlée à l'or, et fit voir clairement ce que l'ouvrier avait dérobé.»

Il semble que l'origine des *thermes* remonte en Grèce au VI^e siècle av. J.-C. On trouve ainsi des vestiges de l'existence d'établissements de bains publics dans plusieurs cités grecques comme Olympie, Corinthe, Athènes, Délos, Epidaure, ... mais également sur tout le pourtour méditerranéen, notamment à Alexandrie et, bien entendu, à Syracuse. Aussi, le fait d'« aller aux thermes » était une pratique assez répandue à l'époque d'Archimède. Cependant, il est important de préciser qu'à la différence des *thermes* romains qui offraient de grands bassins dans lesquels plusieurs personnes pouvaient se baigner en même temps (comme dans nos actuelles piscines), les « bains Grecs » ou *balnea* de Syracuse possédaient aussi des baignoires individuelles. C'est donc peut-être l'une d'elles qu'Archimède a utilisée ce jour-là. Mais, quoi de plus banal que de se plonger dans une baignoire remplie d'eau presque à ras bords et d'observer que l'immersion de notre corps l'a faite déborder. Depuis des siècles et bien avant Archimède, ils avaient été des milliers à faire cette expérience sans qu'aucun d'eux ne remarque jamais rien. Alors qu'a-t-il fallu pour que ce hasard prodigieux produise un tel effet ? Pour tenter de le comprendre, il est nécessaire de rappeler précisément quel était le problème posé et surtout les contraintes imposées.

Le roi Hiéron avait confié un certain nombre de pièces d'or à un orfèvre pour qu'il les fasse fondre et lui façonne une couronne. Ce dernier avait remis au roi le fruit de son travail et la pesée de la masse de la couronne avait montré qu'elle correspondait très exactement au nombre de pièces d'or qui lui avaient été remises. Mais la rumeur publique laissa courir le bruit selon lequel l'orfèvre aurait subtilisé une partie de l'or qu'il aurait remplacée par de l'argent. De prime abord, le problème semblait simple à résoudre : il suffisait de briser, scier ou faire fondre la couronne pour montrer qu'elle était constituée de deux matériaux différents. Mais s'il en résultait alors qu'elle n'était en réalité faite que d'or, la couronne aurait été détruite pour rien, et le roi aurait perdu la face devant ses concitoyens, ce qui était tout simplement inenvisageable. Aussi, sans cet unique moyen de vérification, il paraissait alors impossible de démontrer la fraude, si fraude il y avait eu. On remarque donc ici que la principale difficulté ne réside pas, comme c'est

d'ailleurs souvent le cas en Mécanique, dans le problème lui-même mais dans la contrainte imposée. Hiéron demanda donc à Archimède de vérifier, sans l'altérer en aucune manière, que sa couronne n'était pas entièrement faite d'or. Une autre manière de résoudre ce problème sans détruire la couronne aurait consisté à calculer le volume de la couronne afin d'évaluer sa masse volumique et la comparer ensuite à celle de l'or. Mais bien qu'Archimède se soit brillamment illustré dans le calcul du volume du cylindre circonscrit à une sphère, évaluer celui d'une couronne qui présentait des formes irrégulières paraissait alors impossible.

Aussi, il lui fallut bien du génie pour trouver une solution à ce problème, plus exactement, il lui fallut de l'*ingenium*, selon le concept dû au philosophe napolitain Giambattista Vico (1668-1744) qui le définit comme la « faculté mentale qui permet de relier de manière rapide, appropriée et heureuse des choses séparées et opposées. » L'idée, qui a probablement surgi dans l'esprit d'Archimède au moment où il pénétrait dans son bain et où il en faisait déborder une certaine quantité d'eau, est que l'eau pouvait lui permettre de mesurer le volume de n'importe quel objet quelle que soit sa forme. Selon la formule de Michel Authier :

« La masse et la capacité d'un volume d'eau étant équivalentes, le bain devient pour ainsi dire une balance à évaluer les volumes. En effet, la quantité d'eau déplacée (celle qui sort de la baignoire) égale le volume de l'objet introduit. Il est traditionnellement acquis que cette évaluation du volume d'un solide par celui d'un liquide est à la base du traité *Des corps flottants* dans lequel Archimède se préoccupe de statique des fluides, et des conditions de flottabilité de certains solides. »

Ainsi, sa démonstration spectaculaire est en fait basée sur un *raisonnement par l'absurde*. En effet, si la couronne avait été entièrement faite d'or, elle aurait dû déplacer un même volume d'eau que la masse d'or qui lui correspondait puisque, quelle que soit la forme que l'orfèvre avait pu donner à la couronne, elle possédait nécessairement le même volume. Dans la mesure où ce n'était manifestement pas le cas, Archimède put ainsi prouver que l'orfèvre avait subtilisé une partie de l'or que le roi lui avait confiée et l'avait remplacée par de l'argent.

En associant indéfectiblement son nom et l'une de ses découvertes majeures à un appareil sanitaire, le *hasard* a fait qu'Archimède est aujourd'hui universellement connu. À ce propos, il est amusant de rappeler que parmi les associations les plus célèbres que l'on trouve dans l'histoire des sciences

au cours des siècles comme : le théorème de Thalès ou celui de Pythagore, la Physique d'Aristote, le pendule de Galilée, le baromètre de Torricelli, la pile Volta, le pendule de Foucault, les fentes d'Young, la relativité d'Einstein, ... la baignoire d'Archimède dénote quelque peu par son côté à la fois ordinaire, insolite et inattendu. Cependant, il est important de remarquer qu'il en existe d'autres comme la pomme de Newton, le bonhomme d'Ampère et la cage de Faraday qui présentent les mêmes singularités.