

## PIERRE BOUGUER, DE LA MER À LA TERRE

Pierre Bouguer naît au Croisic en 1698. À seize ans seulement, il remplace son père, décédé, comme professeur d'hydrographie. La majorité de ses travaux portent sur la navigation : formes des bateaux, manœuvres, mesures pour s'orienter en mer... Scientifique reconnu, il est élu membre de l'Académie royale des sciences en 1731 en tant que géomètre. La vie de Bouguer bascule en 1735 lorsque l'Académie le choisit pour participer à l'expédition géodésique de Louis Godin et Charles de La Condamine au Pérou. La théorie de la gravitation universelle de Newton prévoyant un aplatissement du globe

terrestre aux pôles, il s'agit de déterminer la « figure de la Terre », c'est-à-dire l'écart par rapport à la sphère parfaite, et de mesurer le degré méridien à l'équateur. Difficulté des mesures, rudesse du climat et du relief, enjeux géopolitiques, querelles entre savants... Pierre Bouguer retourne en France après plus de huit ans en Amérique latine. Rentré quelques mois plus tard, La Condamine, refusant de lui laisser tous les honneurs de l'expédition, l'attaque sur sa rigueur scientifique. S'ensuit une longue et pénible polémique entre les deux hommes qui ne s'achève qu'à la mort de Bouguer, en 1758.



Une statue de Pierre Bouguer surplombe la mer dans le port du Croisic, sa ville natale.

d'un photomètre (voir la gravure page 74). L'expérience représentée consiste à comparer la tache lumineuse formée par une lampe à une flamme et celle formée par une lampe à deux flammes placée à une distance double. D'Aguilon établit que la première est la plus fortement éclairée. Mais le savant ne formalise pas cette décroissance de l'éclairement avec la distance. Il est donc probable que personne, en dehors des deux génies dessinés par Rubens, n'ait jamais utilisé ce prototype de photomètre...

Quoi qu'il en soit, les liens entre photométrie et peinture se sont révélés plus minces que Bouguer ne l'espérait. En 1857, dans un article intitulé « L'optique et la peinture », le physicien Jules Jamin, s'adressant aux peintres français dits « réalistes », a démontré, photomètre en main, l'impossibilité de conserver sur une toile la même dynamique de luminosités que dans la réalité. Pour reproduire en peinture la perspective et les effets de profondeur d'un paysage, la seule solution est de donner l'illusion de la réalité par la maîtrise des clairs-obscur. Le livre *De la loi du contraste simultané*, du chimiste Michel-Eugène Chevreul, publié en 1839, a eu bien davantage d'influence sur les peintres français que les ouvrages de photométrie.

### LE TEMPS DES PHOTOMÈTRES

En revanche, l'*Essai* de Bouguer a suscité l'engouement des savants pour la photométrie, et de nombreux dispositifs ont vu le jour. À la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, notamment, le physicien américain Benjamin Thomson, comte de Rumford, a proposé un photomètre fondé (comme sur les schémas de Vinci!) sur la comparaison des ombres et non des éclaircissements. L'œil se fatigue moins et l'observateur a plus de temps pour ajuster la luminosité. Au XIX<sup>e</sup> siècle, on a utilisé des photomètres pour quantifier les performances des brûleurs des nouvelles lampes à gaz. En raison de sa simplicité et de

son faible coût, celui du chimiste allemand Robert Bunsen a connu un certain succès. Le composant principal était une feuille blanche qu'une tache d'huile rendait translucide en son centre. On plaçait la feuille entre les deux sources de lumière à comparer et l'égalisation des éclaircissements se produisait lorsque la tache de graisse était aussi lumineuse que le reste du papier et devenait donc invisible. Il a fallu en revanche attendre le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle pour qu'un photomètre à égalisation visuelle soit proposé pour évaluer la luminosité des étoiles : celui de l'astrophysicien allemand Johann Zöllner, qui présentait une lampe au kérosène comme étoile artificielle et un dispositif polarisant pour moduler son intensité.

Des variantes sont aussi apparues. Les photomètres thermométriques, visant à s'affranchir de la subjectivité des mesures en évaluant la chaleur émise, n'ont pas connu un grand succès. La photométrie stellaire a aussi tenté de s'emparer de la photographie, mais l'étalonnage était particulièrement délicat. Au XX<sup>e</sup> siècle, enfin, les détecteurs photoélectriques se sont imposés pour toutes les mesures photométriques. La lumière détectée étant transformée en courant électrique, une fois l'étalonnage fait, la comparaison visuelle n'était plus nécessaire – un atout considérable. Restait cependant une difficulté : comment relier la puissance d'un rayonnement lumineux détectée par une photodiode au flux lumineux perçu par l'œil humain ? L'artifice, proposé dès la fin des années 1920 et toujours utilisé aujourd'hui, a consisté à définir la sensibilité spectrale d'un « observateur standard ». Il s'agit d'une courbe spectrale obtenue à l'aide d'expériences psychovisuelles fondées sur le principe d'égalisation des éclaircissements... celui-là même défini par Bouguer. La candela du XXI<sup>e</sup> siècle, qui rattache l'intensité lumineuse perçue à une intensité énergétique, lui doit donc beaucoup! ■

### BIBLIOGRAPHIE

P. Bouguer, **Essai d'optique sur la gradation de la lumière**, 1729, éd. L. Simonot, Light Zoom Lumière, 2021.

L. Simonot, **Premières mesures photométriques : de Léonard de Vinci à Pierre Bouguer**, Photoniques, 2020.

D. Fauque, **Pierre Bouguer et l'« affaire du jaugeage »**, 1721-1726, *Revue d'histoire des sciences*, 2010.

D. Fauque, **Du bon usage de l'éloge : cas de celui de Pierre Bouguer**, *Revue d'histoire des sciences*, 2001.

J. E. Morère, **La photométrie : les sources de l'Essai d'optique sur la gradation de la lumière de Pierre Bouguer, 1729**, *Revue d'histoire des sciences*, 1965.

# R

## ENDEZ-VOUS

P.80 Logique &amp; calcul

P.86 Art &amp; science

P.88 Idées de physique

P.92 Chroniques de l'évolution

P.96 Science &amp; gastronomie

P.98 À picorer

# DES CRYPTO-MONNAIES SOBRES EN ÉNERGIE?

Un problème de récréation mathématique met en lumière la difficulté à concevoir des cryptomonnaies justes, économes et écologiques.

## L'AUTEUR



**JEAN-PAUL DELAHAYE**  
professeur émérite  
à l'université de Lille  
et chercheur au  
laboratoire Cristal  
(Centre de recherche  
en informatique, signal  
et automatique de Lille)



Jean-Paul Delahaye a notamment publié : **Les Mathématiciens se plient au jeu**, une sélection de ses chroniques parues dans *Pour la Science* (Belin, 2017).

# U

n débat fait rage depuis une dizaine d'années concernant les méthodes de sécurisation des cryptomonnaies anonymes. Il concerne le système Bitcoin et ses concurrents principaux Ethereum, Cardano ou Solana et a pris une importance de plus en plus grande avec la montée de leurs cours. De la conclusion qu'on tirera de ce débat dépendra sans doute l'avenir des cryptomonnaies et plus généralement des cryptoactifs dont l'impact écologique s'accroît gravement aujourd'hui.

Le problème posé peut s'expliquer en considérant un jeu assez simple qui dégage le problème de son contexte un peu confus. Ce jeu permet à chacun de comparer les deux solutions principales et peut-être d'en imaginer de nouvelles. Voici ce « jeu du mécène et des enveloppes anonymes ».

## DISTRIBUER AU MIEUX DE L'ARGENT

Imaginez qu'un riche mécène vous confie une certaine somme  $S$ , par exemple 1 million d'euros, en vous demandant de la distribuer. Vous êtes chargé d'organiser une sorte de jeu pour répartir le plus équitablement possible la somme  $S$  entre les gens qui acceptent de recevoir une part de cet argent. Vous leur demandez de manifester leur souhait en vous faisant

parvenir à un lieu fixé une enveloppe avec une adresse, dans laquelle vous mettrez ce que vous leur attribuez avant de renvoyer l'enveloppe à l'adresse inscrite.

Si vous collectez  $N$  enveloppes, la méthode qui vient immédiatement à l'esprit consiste à mettre  $S/N$  euros dans chacune des enveloppes et à les renvoyer.

La « méthode  $S/N$  » n'est pas parfaite, car les personnes ayant plusieurs domiciles pourraient mettre plusieurs enveloppes à leur nom avec des adresses différentes, ce qui vous empêcherait de savoir que l'argent ira à la même personne. Il y a pire : le mécène vous a demandé de concevoir une méthode qui n'oblige pas ceux qui veulent recevoir une part de  $S$  à transmettre leur adresse véritable. Vous acceptez donc que des joueurs se regroupent sur une même adresse et vous soumettent des enveloppes avec des adresses anonymes du type « joueur 237 au 11, rue Dupont, à Paris ».

Vous comprenez bien que si vous utilisez la méthode  $S/N$ , chaque joueur sera tenté d'envoyer une multitude d'enveloppes dont les contenus lui seront destinés. Il utilisera plusieurs adresses, ou une seule adresse  $A$  en prenant le rôle du joueur 1, du joueur 2, etc. de l'adresse  $A$ . Si vous utilisez la méthode  $S/N$ , vous allez donc recevoir des milliers