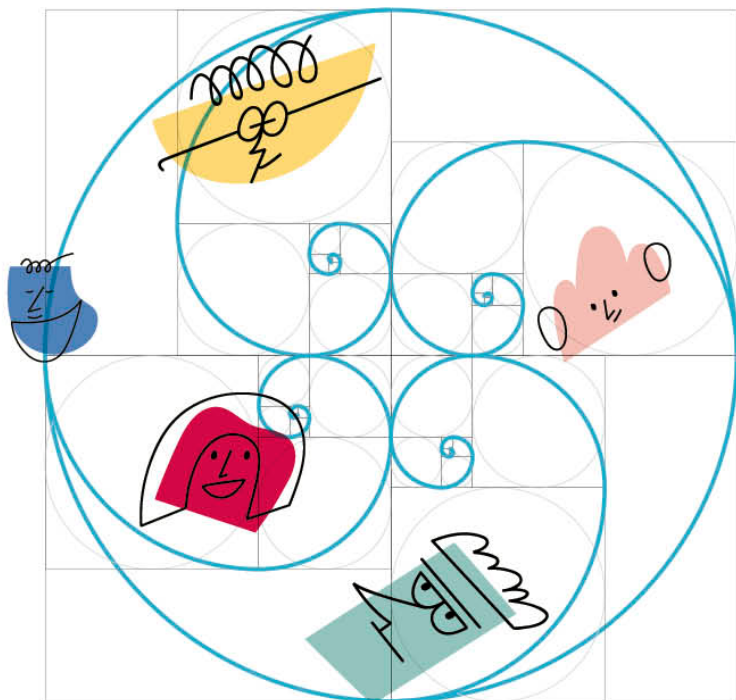


LES MATHS EN MODE ÉMOTIONS

Chroniques inspirées par 20 sentiments

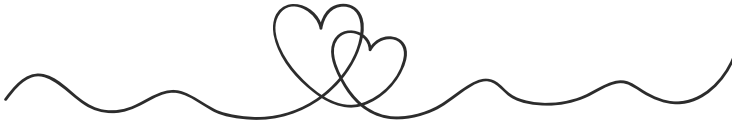


Nathalie Braun



1. Amour

Vous avez probablement expérimenté ce sentiment puissant qu'est l'amour. Cette force, qui inspire l'affection et le désir de voir le bonheur de l'autre en vous identifiant profondément à cette personne spéciale, occupe une place primordiale dans divers aspects de la vie humaine tels que les liens matrimoniaux.



Les relations entre deux personnes peuvent être à la fois fragiles et solides selon les préférences individuelles et les choix communs. Toutefois, que se produirait-il si on tentait de formaliser et d'améliorer ces collaborations en essayant de cultiver des relations parfaitement harmonieuses, non seulement dans nos vies personnelles, mais également dans différents environnements tels que les admissions universitaires ou les candidatures professionnelles ?

- **Le problème des mariages stables**

Le problème des mariages stables consiste à trouver, pour n hommes et n femmes, une manière de les appairer en fonction de leurs listes de préférences respectives de façon à garantir la stabilité de ces couples et de garantir que les cœurs formés ne soient pas brisés. Une situation est considérée comme instable s'il existe au moins un homme et une femme qui préféreraient être ensemble plutôt que de rester avec leurs partenaires actuels.

- **L'algorithme de Gale-Shapley :
l'idylle des appariements stables**

Le mathématicien et économiste américain Lloyd Shapley (1923-2016) est célèbre pour être un héritier notable du mathématicien et physicien américano-hongrois John von Neumann (1903-1957), ainsi que de l'économiste autrichien Oskar Morgenstern (1902-1977).

À l'origine, von Neumann était hongrois et portait le prénom János, mais il l'a modifié en John lorsqu'il est devenu citoyen américain. Von Neumann et Morgenstern ont jeté les bases théoriques de la théorie des jeux¹ en appliquant des concepts mathématiques à l'économie pour étudier les comportements stratégiques dans divers contextes tels que les enchères ou les négociations. Par exemple, Shapley a su astucieusement simplifier et rendre plus attrayante la représentation de plusieurs marchés économiques sous forme de jeux en développant des solutions alliant élégance et efficacité.

Pour trouver l'appariement stable, en 1962, les économistes et mathématiciens américains David Gale (1921-2008) et Shapley ont concocté un algorithme. Celui-ci est un véritable coup de foudre mathématique connu sous le nom romantique de « proposition différée ». Ce mécanisme de recherche d'âme sœur mathématique fonctionne de cette façon :

- 1. Phase de proposition :** Chaque homme propose à sa partenaire préférée qui n'a pas encore rejeté sa proposition.
- 2. Phase de réponse :** Chaque femme qui reçoit des propositions choisit la meilleure parmi elles (selon ses préférences) et rejette les autres. Si elle est déjà engagée, elle peut rompre son engagement actuel pour une meilleure proposition.
- 3. Itération :** Les hommes qui ont été rejetés passent à leur prochaine femme préférée dans leur liste et en refaisant de nouveau une proposition.

Ce processus continue jusqu'à ce que tous les hommes soient appariés.

1. Discipline mathématique qui étudie les stratégies de décision en interaction.

Voici un exemple où les préférences entrent en jeu :

Préférences des hommes :

	Arthur	Bertrand	Charles
1	Alice	Alice	Claire
2	Béatrice	Claire	Béatrice
3	Claire	Béatrice	Alice

Préférences des femmes :

	Alice	Béatrice	Claire
1	Bertrand	Arthur	Bertrand
2	Arthur	Bertrand	Charles
3	Charles	Charles	Arthur

Arthur préfère Alice à Béatrice et Béatrice à Claire, Bertrand préfère Claire à Béatrice et Alice, et ainsi de suite. Selon l'algorithme de Gale-Shapley, lors du premier tour, Arthur et Bertrand proposent à Alice, et Charles propose à Claire. Alice choisit celui qu'elle préfère : Bertrand, Claire et Charles forment également un couple. Lors du second tour, Arthur propose à Béatrice (son deuxième choix). Nous obtenons donc trois couples : Arthur-Béatrice, Bertrand-Alice et Charles-Claire. Cette affectation est stable après deux tours de propositions car aucune femme ni aucun homme n'a intérêt à former une autre paire. Illustrons cela avec le cas où Arthur ne pourrait être préféré à Bertrand par Alice, et où Béatrice ne pourrait former un couple avec quelqu'un qu'elle préfère davantage qu'Arthur. Cependant, cet exemple reste simple avec seulement trois individus de chaque sexe. Les ensembles sont donc petits et le problème se résout rapidement, comme une romance d'été. Mais dès que la taille des ensembles augmente, la quête des mariages stables devient plus complexe et prend plus de temps, un peu comme trouver l'âme sœur...

L'algorithme de Gale-Shapley garantit toujours l'existence d'un appariement stable qui assure que chaque cœur trouve son autre moitié, c'est-à-dire un équilibre où aucune paire formée n'a un

Chapitre 1

intérêt mutuel à rompre pour un autre partenaire. L'appariement obtenu est optimal pour le côté qui propose (souvent les hommes dans l'énoncé classique), signifiant qu'aucun homme ne pourrait trouver une partenaire qu'il préfère davantage dans un autre appariement stable. En revanche, pour les femmes, cet appariement est comme une romance par défaut, le pire parmi tous les accouplements stables possibles, selon leurs préférences. En inversant ces rôles, une nouvelle mélodie amoureuse se compose avec une nouvelle solution stable. Selon l'algorithme de Gale-Shapley, lors du premier tour, Alice propose à Bertrand, qui est son premier choix, tandis que Béatrice se tourne vers Arthur, également son favori. De son côté, Claire propose à Bertrand, qu'elle classe en tête de ses préférences. Bertrand, recevant deux propositions (Alice et Claire), choisit Alice, qu'il préfère, et rejette Claire. Arthur, n'ayant reçu qu'une seule proposition, accepte celle de Béatrice. Charles, quant à lui, reste sans offre. À la fin de ce premier tour, les appariements provisoires sont : Alice avec Bertrand, Béatrice avec Arthur et Claire sans partenaire.

Au second tour, Claire, rejetée par Bertrand, propose à son deuxième choix, Charles, qui accepte, car il n'a reçu aucune autre proposition. Tous les appariements sont alors complétés, et le résultat final est le suivant : Alice avec Bertrand, Béatrice avec Arthur, et Claire avec Charles. En analysant les préférences, Alice et Béatrice obtiennent chacune leur premier choix, respectivement Bertrand et Arthur. Claire, en revanche, doit se contenter de son deuxième choix, Charles, car Bertrand, son préféré, a choisi Alice.

Le défi des mariages stables, souvent parsemé de multiples possibilités, peut se transformer en une démarche d'optimisation, comme chercher à maximiser le « bonheur général ». Cette quête rappelle un problème formulé par Gaspard Monge (1746-1818), mathématicien, physicien et homme politique français, dès 1781 : comment associer un nombre égal de mines et de dépôts pour minimiser le coût total du transport. Les préférences des mines (basées sur la distance aux dépôts) et celles des dépôts (basées sur la proximité des mines) doivent être prises en compte pour obtenir une solution économiquement viable.

Véritable coup de foudre pour les économistes, les travaux de Shapley et de l'économiste américain Alvin Eliot Roth, né en 1951, sur la théorie de l'appariement leur ont valu le prix Nobel d'économie en 2012. Avec l'avènement des ordinateurs, l'algorithme de Gale-Shapley a connu une véritable renaissance, devenant plus rapide et efficace, capable d'associer un grand nombre de « cœurs » à réunir, même au sein des foules les plus vastes.

Roth est un théoricien des jeux spécialisé dans les « marchés d'appariement », où l'ajustement des prix ne suffit pas à équilibrer l'offre et la demande. Dans ces marchés, les participants ne peuvent pas simplement obtenir ce qu'ils désirent, même s'ils en ont les moyens financiers ; ils doivent aussi être choisis.

La théorie des mariages stables proposée par Gale et Shapley, grâce à sa remarquable simplicité et à son algorithme astucieux, s'avère être un véritable trésor d'ingéniosité. Ce modèle peut être utilisé de manière systématique, souvent après quelques ajustements, pour résoudre une grande variété de problèmes d'appariement dans divers domaines où l'amour de la théorie rencontre la pratique...

- **Du mariage stable à *Parcoursup* : les défis de l'adaptation de l'algorithme de Gale-Shapley**



L'algorithme de Gale-Shapley est utilisé dans le cadre de la plateforme nationale *Parcoursup* pour l'affectation des candidats aux formations universitaires. C'est un peu comme orchestrer un bal où chaque danseur espère

trouver son partenaire idéal parmi une foule de cœurs en quête d'amour. Initialement conçu pour jumeler des « hommes » et des « femmes » dans le cadre du mariage stable, cet algorithme a été modifié pour s'appliquer aux candidatures universitaires, où les « femmes » représentent les formations et les « hommes » sont

les candidats. Cependant, ce transfert pose des problèmes. Si les formations (les « femmes ») prenaient l'initiative des propositions dès le premier tour, cela pourrait potentiellement avantager les candidats qui choisissent en premier dès le début du processus. Cela diffère de l'algorithme original où les hommes font d'abord des propositions et les femmes choisissent parmi les options qui leur sont offertes, ce qui assure une certaine stabilité dans les appariements.

De plus, dans le cadre de *Parcoursup*, tous les candidats ont souvent des préférences initiales similaires pour les formations, ce qui peut parfois nécessiter des tirages au sort pour déterminer à qui faire une offre. *Parcoursup* a donc apporté des modifications importantes à l'algorithme de Gale-Shapley. Contrairement à l'ancien système d'*Admission Post-Bac* (APB), où les candidats classaient leurs choix de manière fixe sans connaître leur position sur les listes d'attente, *Parcoursup* permet aux candidats de réajuster et de modifier leurs préférences tout au long du processus. En amour comme dans *Parcoursup*, la transparence et la flexibilité sont les clefs !

- **Lorsque l'algorithme fait battre les cœurs :
les mariages parfaits entre médecins et hôpitaux**



Cet algorithme joue également les entremetteurs dans l'affectation des médecins aux hôpitaux, comme c'est le cas dans le système de résidences médicales aux États-Unis (le National Resident Matching Program, ou NRMP), où il forme des couples parfaits entre médecins et résidences.

Le processus se déroule en deux phases principales : la phase de proposition, où l'amour est déclaré et la phase de finalisation, où le couple est scellé.

Phase de proposition : Chaque médecin postule d'abord à l'hôpital qu'il affectionne le plus. Chaque hôpital examine toutes les offres qu'il reçoit et garde les meilleures (en fonction de ses

préférences), tout en rejetant les autres. Les médecins rejetés font alors des propositions aux hôpitaux qu'ils préfèrent parmi ceux qui restent sur leur liste.

Phase de finalisation : Le processus de proposition et de rejet continue jusqu'à ce que chaque médecin soit affecté à un hôpital ou que toutes les options soient épuisées.

- **Un algorithme pour la vie : le système d'échanges de reins de Roth et ses collaborateurs**

Roth, l'économiste turc Tayfun Sönmez et l'économiste américain Utku Ünver, en s'appuyant sur une version adaptée de l'algorithme de Gale-Shapley, ont conçu un système d'échanges de reins innovant. Ce processus veut pallier la pénurie de donneurs pour les patients souffrant d'insuffisance rénale, en leur permettant de trouver des donneurs compatibles. Cet algorithme facilite l'appariement entre patients et donneurs pour maximiser les opportunités de transplantation et réduire les délais d'attente pour des milliers de patients. L'algorithme prend souvent en compte qu'un donneur volontaire n'est pas compatible avec le receveur souhaité. Le système d'échanges de reins permet ainsi de mettre en relation plusieurs paires patient-donneur non compatibles dans une chaîne de greffes, créant une série d'appariements où chaque patient reçoit un rein compatible, même si ce n'est pas celui de son propre donneur. Ces chaînes d'échanges sont parfois initiées par un « donneur altruiste » qui, sans destinataire spécifique en tête, accepte de donner un rein. Ce don de départ permet de lancer une chaîne où le receveur initialement incompatible devient lui-même un donneur potentiel pour une autre paire incompatible, et ainsi de suite...

L'algorithme de Gale-Shapley illustre le problème des mariages stables et démontre comment les mathématiques peuvent assurer des unions optimales et stables, que ce soit dans le domaine des relations humaines ou dans le domaine de l'orientation professionnelle.

Avez-vous en vent de ceci ?

Vous saviez que Roth, n'avait pas de « coup de cœur » pour l'école ?

Malgré son décrochage à 16 ans de l'école, Roth intégra un programme d'excellence de l'Université de Columbia, où il



étudia les mathématiques et les sciences et décrocha une licence en recherche opérationnelle. En 1971, il rejoint Stanford pour un doctorat en recherche opérationnelle et se passionna en théorie des jeux... Roth se réconcilia finalement avec l'école... En apprenant sa distinction par

le prix Nobel¹, son lycée lui a accordé un diplôme de fin d'études honorifique en 2014.

Saviez-vous que, contrairement à ce qu'on pourrait croire, il n'existe pas de « prix Nobel d'économie » à proprement parler ?

En réalité, le prix Nobel d'économie porte le nom officiel de « Prix de la Banque de Suède en sciences économiques en mémoire d'Alfred Nobel ». Créé en 1968 et financé par la Banque de Suède, il n'a pas été inclus dans les distinctions originelles prévues par Alfred Nobel (1833-1896), l'inventeur de la dynamite. Contrairement aux autres prix, cette différence a suscité bien des débats, y compris au sein de la famille Nobel. Quant aux mathématiques, l'absence d'un prix Nobel dans cette discipline pourrait être une histoire d'amour contrariée... La légende raconte que Nobel aurait écarté les mathématiques après avoir découvert que sa compagne entretenait une liaison avec le mathématicien suédois Gösta Mittag-Leffler (1848-1927). Une romance qui aurait laissé cette discipline sans la reconnaissance du cœur de Nobel.

1. Distinction internationale décernée chaque année depuis 1901 dans plusieurs catégories, dont la paix, la littérature et les sciences.

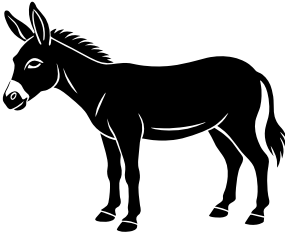
Enfin, saviez-vous que Monge était surnommé « l'enfant d'or » ?

Le directeur du collège des Oratoriens de Beaune¹, où il a étudié, lui a attribué ce doux surnom en raison de ses résultats académiques exceptionnels. Dès son plus jeune âge, Monge a entretenu une véritable passion pour l'histoire, les sciences naturelles et les mathématiques. Ses talents remarquables lui ont valu le titre de « puer aureus » (« enfant d'or »). Exceptionnellement doué, Monge a commencé à enseigner la physique au collège des Oratoriens de Lyon dès l'âge de 16 ans, entre 1762 et 1764.

1. Fondé au XVII^e siècle, le Collège des oratoriens de Beaune fut un établissement d'enseignement dirigé par la congrégation de l'Oratoire, réputé pour la qualité de son instruction.

2. Conviction

Être persuadé d'avoir raison procure généralement un sentiment de confiance en soi, d'assurance et de certitude. Cette conviction



peut engendrer une satisfaction intérieure et une stabilité émotionnelle, car l'individu ressent qu'il possède la vérité ou la solution correcte. Cependant, elle peut aussi entraîner une fermeture d'esprit, une résistance à d'autres points de vue et, dans certains cas,

de l'arrogance ou de l'inflexibilité, voire être têtu comme une mule.

Ce sentiment peut varier en intensité et en manifestation en fonction des circonstances et des personnalités.

- **Dürer, la conviction géométrique :
une méthode de projection qui fait foi**

L'illustre peintre et graveur allemand Dürer¹ (1471-1528) est l'auteur d'un manuel de géométrie pour les jeunes artistes, pour tous ceux qui ne connaissent pas la géométrie du mathématicien de la Grèce antique Euclide (v. 325 av. J.-C.-v. 265 av. J.-C.), pour tous ceux qu'il forme dans son atelier. Dans sa langue natale, Dürer publie cet ouvrage en 1525 à Nuremberg, intitulé *Instructions pour la mesure, à la règle et au compas, des lignes, plans et corps solides*. Dürer a édité son manuel en allemand, persuadé de rendre son travail accessible à tous, même à ceux dont l'instruction était restreinte.

1. Voir chapitre Mélancolie.

Chapitre 2

Dürer ouvre son ouvrage par une certaine allusion à la légende de l'inscription à l'entrée de l'Académie de Platon¹ (v. 428 av. J.-C.-v. 348 av. J.-C), philosophe de la Grèce antique, qui proclamait : « Que nul n'entre ici s'il n'est géomètre ». Il écrit : « Le très perspicace Euclide a établi les fondations de la géométrie. Celui qui les maîtrise bien n'a guère besoin de ce qui suit, car ces connaissances s'adressent uniquement aux jeunes et à ceux qui n'ont personne pour les instruire fidèlement. ».

Son entêtement à vouloir démocratiser le savoir n'était pas seulement motivé par sa volonté d'inclusion. Étant fils d'orfèvre et ayant commencé son apprentissage à 15 ans chez un peintre nurembergeois, sa connaissance du latin, la langue des livres savants, était rudimentaire. Mais avec l'aide de ses amis, notamment le poète allemand Conrad Celtis (1459-1508) et son ami proche, le juriste et humaniste nurembergeois Willibald Pirckheimer (1470-1530), Dürer étudiait les textes anciens, en particulier les *Éléments* attribués au mathématicien grec Euclide, dont il avait acheté une traduction à Venise en 1507. Il revendiquait de faire passer la peinture du statut artisanal à celui d'un art libéral en la fondant sur la géométrie.

L'œuvre, Le Portrait de Willibald Pirckheimer, réalisée en 1524 par Dürer et précieusement conservée au musée du Louvre, grave avec conviction dans les esprits l'amitié profonde entre Dürer et son modèle.

• Histoire de conique et de persistance

Dans sa recherche d'un équilibre entre mathématiques et art, Dürer se laissa persuader par les concepts géométriques essentiels, en particulier les coniques, ces courbes obtenues par la section d'un cône de révolution par un plan. Il existe trois types de coniques : l'ellipse, la parabole et l'hyperbole.

1. Voir chapitre Détermination.

Déjà au IV^e siècle avant notre ère, le mathématicien et géomètre grec Ménechme (v. 380 av. J.-C.-v. 320 av. J.-C.), élève de Platon et précepteur du roi de la Macédoine¹ et du plus grand conquérant de l'Antiquité, Alexandre le Grand (v. 356 av. J.-C.-v. 323 av. J.-C.), tente de réaliser la duplication du cube, également connu sous le nom de problème de Délos, fait la découverte des coniques. C'est un problème géométrique classique, l'un des trois grands défis de l'Antiquité, avec la quadrature du cercle, c'est-à-dire la construction d'un carré de même aire qu'un cercle donné, et la trisection de l'angle, c'est-à-dire la division d'un angle en trois parties égales. Selon les déclarations du philosophe Jean Philopon (v. 490-v. 568), du mathématicien et astronome grec Ératosthène (v. 276 av. J.-C.-v. 194 av. J.-C.) et du philosophe Plutarque (v. 46-v. 125), en 430 avant notre ère, les habitants de l'île grecque de Délos étaient atteints de fièvre. Ils étaient désireux de mettre un terme à l'épidémie de peste qui dévastait leur pays. Avec une certitude divine, l'oracle leur avait dit qu'ils devaient augmenter le volume de leur autel cubique dédié à Apollon. Plusieurs essais furent vains, et la peste revint. Découragés, ils s'adressèrent alors à Platon afin de recevoir des conseils. Ce dernier ne parvint pas à trouver la réponse claire. Il dit qu'Apollon ne demandait pas réellement un nouvel autel, mais que l'oracle les encourageait à s'intéresser à la géométrie... et donc à trouver un cube dont le volume est le double d'un cube donné, ce qui est impossible à la règle et au compas. Il s'agit donc du problème de Délos. Cette tâche consiste à établir la racine cubique de 2.

En 1837, le mathématicien français Pierre-Laurent Wantzel (1814-1848) prouva, en plus de la résolution impossible de la trisection de l'angle du problème, que la racine troisième de 2 n'est pas constructible, ce qui rend impossible la duplication du cube.

C'est au tour du géomètre et astronome grec Apollonius de Perge² (v. 240 av. J.-C.-début II^e siècle av. J.-C.) d'écrire un ouvrage de référence sur les coniques : *Kônika*. Dans ce livre, il baptise avec une certitude géométrique les trois courbes : « parabolé »,

1. Royaume de la Grèce antique.

2. Perge est une cité antique.

« ellipsis » et « hyperbolé », signifiant respectivement « jeter à côté » en guise de comparaison, « manque » et « excès ». Cet ouvrage a été restauré par le mathématicien français Pierre de Fermat (1607-1665) sous le titre *De Locis planis*. La version originale de l'œuvre est perdue depuis longtemps, mais Fermat, convaincu de la nécessité de sa restauration, a suivi l'exemple des grands restaurateurs du XVI^e siècle, tels que l'abbé de Messine Francesco Maurolico (1494-1575) et le jésuite Christophorus Clavius (1537-1612). Il s'est appuyé sur divers documents, en y mêlant ses propres interprétations. Sa source principale était la traduction latine, parfois nébuleuse, de la *Collection mathématique de Pappus* (III^e-IV^e siècles), réalisée par le mathématicien italien Federico Commandino (1509-1575).

- **Dürer et l'illusion convaincante :
l'obstination géométrique de l'ovale**

Quant à Dürer, pour dessiner les coniques, il introduisit une méthode ingénieuse dite de projection parallèle. Cette technique, bien connue des architectes et des charpentiers, n'avait jamais été appliquée auparavant à un problème purement mathématique. Avec une certitude artistique, l'historien de l'art Erwin Panofsky explique cela en 1943 dans *La vie et l'œuvre d'Albrecht Dürer*. La méthode de Dürer est simple et convaincante : il considère un cône coupé vu de dessus et vu de côté, puis en déduit la projection verticale du plan de section du cône – c'est-à-dire la conique. Son astuce réside dans la combinaison des deux vues et le report des distances mesurées sur ces vues, à l'aide d'un compas, sur le plan de coupe. Une technique qui prouve que Dürer avait une vision claire et sans équivoque de la géométrie.

La technique de Dürer est correcte, mais en ce qui concerne l'ellipse, le maître dessinateur s'est obstiné dans une erreur en transférant les mesures. Convaincu à tort que l'ellipse était plus large à la base du cône qu'en son sommet, cette fausse croyance a influencé sa main. En cherchant à créer un équivalent allemand du mot « ellipsis », Dürer inventa le terme « Eierlinie » (« ligne

en œuf») pour désigner cette courbe en œuf. Ne connaissant pas de terme allemand équivalent au mot grec « ellipsis », il a imaginé cette appellation qui a mis en lumière son erreur. Plusieurs ellipses ovoïdes apparaissent dans ses œuvres, notamment dans *Melancolia I*¹ avec l'ovale de la cloche.

Néanmoins, cette courbe en œuf a persisté dans les travaux allemands pendant presque un siècle, preuve que même les plus obstinés peuvent influencer durablement l'histoire de l'art et des mathématiques. C'est l'astronome Johannes Kepler (1571-1630) en 1604 qui, avec une certitude astronomique, fut le premier à faire la distinction entre ovale et ellipse, notamment en modélisant l'orbite de Mars.

- **Werner et Dürer :**
l'art de la conviction géométrique

Dürer a puisé une grande partie de ces connaissances sur les coniques du mathématicien et astronome allemand Johannes Werner (1468-1522), un ancien étudiant du mathématicien et astronome allemand Johannes Müller von Königsberg (1436-1476), plus connu sous son nom latin Regiomontanus, devenu un as des instruments. Son traité sur les coniques, *Libellus super viginti duobus elementis conicis*, publié en 1522, énonçait vingt-deux théorèmes sur les coniques, essentiels pour comprendre les travaux ultérieurs de l'auteur sur le problème de Délos.

À partir de 1508, Werner exerçait la prêtrise à l'église Saint-Jean, tout près de la résidence de Dürer. Il semble avoir fréquenté, comme ce dernier, le cercle de Pirckheimer, à qui il a d'ailleurs dédié l'un de ses écrits. Il se peut que Dürer ait été convaincu et influencé par la construction de la parabole proposée par Werner où ce dernier explique comment localiser le foyer d'une parabole dans le cas où le cône est oblique. Les tranches parallèles de cône utilisées par l'artiste dans sa méthode de projection parallèle rappellent fortement celles représentées par Werner

1. Voir chapitre Mélancolie.

Chapitre 2

dans son traité. Or, la formule de ce dernier ne s'applique pas au cône droit utilisé par Dürer pour construire sa parabole. Étant donné que dans chaque copie du manuel de 1525 de Dürer, un petit morceau de papier portant le dessin correct a été collé à la main sur le dessin erroné. Cela témoigne que même les esprits les plus obstinés peuvent admettre une erreur, non pas pour avoir appliqué de manière incorrecte la formule de Werner, mais pour avoir mal évalué la position du foyer.

Dürer a laissé une marque indéfectible en conciliant avec foi l'art et les mathématiques, même si son acharnement l'a parfois conduit à des erreurs devenues légendaires.

Avez-vous eu vent de ceci ?



Vous saviez que Kepler pensait que les polyèdres réguliers détenaient le secret de l'origine du cosmos ?

Kepler développe cette théorie dans son premier ouvrage, *Mysterium Cosmographicum* (1596), avec une certitude céleste.

Il y propose un modèle du système solaire dans lequel les orbes¹ des six planètes connues à son époque s'organisent autour des cinq solides platoniciens², s'inscrivant les uns dans les autres.



Dans cette représentation, l'orbe de Saturne renferme un cube, qui lui-même entoure celle de Jupiter, laquelle contient un tétraèdre. La structure se poursuit avec Mars, associé au dodécaèdre, la Terre à l'icosaèdre, Vénus à l'octaèdre et enfin Mercure.

Toutefois, en accédant aux données astronomiques exhaustives de l'astronome danois Tycho Brahe (1546-1601), les plus précises de son époque, Kepler abandonna ses premières idées. Il formula ses célèbres lois, qui portent son nom et décrivent le mouvement des planètes autour du Soleil, précisant notamment que les planètes suivent des trajectoires elliptiques autour de celui-ci.

1. Espace circonscrit par l'orbite d'une planète ou de tout autre corps céleste.

2. Ils tiennent leur nom du philosophe grec Platon, pour qui l'univers reposait sur cinq éléments fondamentaux : le Feu, l'Air, l'Eau, la Terre et l'Univers. Chacun de ces éléments est associé à un polyèdre régulier inscriptible dans une sphère, dont les faces sont des polygones réguliers isométriques (même longueur de côté et même mesure d'angle). Il n'existe que cinq solides satisfaisant à ces critères : le tétraèdre, l'octaèdre, l'icosaèdre, le cube et le dodécaèdre. Platon considérait leur perfection comme le symbole idéal de ces cinq éléments.

Vous étiez au courant que Dürer sous-traitait ses gravures sur bois ?

Bien que Dürer maîtrisât la technique et s'y adonnât à l'occasion, il confiait souvent cette tâche à d'autres comme le graveur allemand Hieronymus Andreae (v. 1485-1556) avec la gravure *L'arc de triomphe de Maximilien I*. Dürer fournissait à ses artisans des dessins minutieusement élaborés en leur laissant la responsabilité de leur exécution. Cette répartition du travail explique les variations que certains ont pu remarquer entre ses œuvres.

Enfin, vous étiez au courant que Dürer aurait peint le premier paysage en couleur ?

Convaincu que l'art s'enrichit par la rencontre et l'échange, Dürer voyageait beaucoup pour se frotter au talent d'autres artistes et s'inspirer de leur travail. À l'automne 1494, il s'aventure en Italie du Nord, fait escale à Venise, puis poursuit son périple à Bologne, à Padoue et à Mantoue. Au cours de ce voyage, il aurait rencontré des artistes italiens et les aurait interrogés sur leur savoir-faire. Ceux-ci lui auraient répondu que leur secret résidait dans la maîtrise des *Éléments* d'Euclide. Sur le chemin du retour, au printemps 1495, il s'arrête dans les Alpes et se laisse convaincre par la beauté des paysages, peignant une série d'aquarelles. Ces œuvres, devenues une référence précieuse pour les botanistes, incluent ce qui est considéré comme le premier paysage en couleur représentant un lieu réel, marquant la fin du XV^e siècle d'une touche de réalisme inédite.