

Chapitre 1

L'ÉCLOSION DE LA SCIENCE MODERNE

La mécanique céleste

Tout commença avec l'observation des astres. Contre la thèse unanimement reçue du géographe et astronome grec Ptolémée, Nicolas Copernic (1473-1543) affirma le premier que le Soleil ne tournait pas autour de la Terre, mais que la Terre et les autres planètes visibles tournaient autour du Soleil. Johannes Kepler (1571-1630) confirma l'héliocentrisme ; il établit que les aires de gravitation des astres autour du Soleil étaient des ellipses et non pas des cercles comme elles le paraissaient. Tycho Brahé (1546-1601) conclut à un double système de rotation : celui des planètes satellites autour du Soleil, et celui du système solaire autour de la Terre et de la Lune. Il nia l'existence réelle des sphères célestes dans lesquelles s'inscrivaient les révolutions des astres. La révolution copernicienne ne consista pas à perfectionner les méthodes de l'astronomie, ni à découvrir de nouvelles données, mais à construire une cosmologie nouvelle sur les données mêmes dont disposait l'astronomie traditionnelle. Copernic, par contre, dépassa et invalida l'*Almageste* de Ptolémée dans le domaine des calculs et de l'élaboration de tables planétaires. En dépit d'une approche mathématique plus fine, ses successeurs restaient ancrés dans

l'univers mental de la philosophie naturelle traditionnelle : astrologie, alchimie, correspondances du macrocosme et du microcosme. Dans l'esprit du *quadrivium* médiéval, qui unifiait l'étude de l'arithmétique, de la géométrie, de l'astronomie et de la musique, Kepler fondait la structuration de l'univers sur les cinq polyèdres primordiaux des harmonies géométriques, et sur leur correspondance avec les harmonies musicales.

La rupture avec la science antique et médiévale se produit avec Galileo Galilei (1564-1642). D'abord parce qu'il restreint l'étude des faits naturels à leurs aspects mécaniques et physiques, exprimés dans le seul langage mathématique ; ensuite, parce qu'il est le premier astronome qui amplifie sa capacité d'observation par l'emploi d'un instrument nouveau : le télescope. Ses trois précurseurs observaient à l'œil nu, comme on le faisait depuis la plus haute Antiquité. Elle est dérisoire la longue-vue de Galilée, mais elle suffit à révéler un espace céleste beaucoup plus grand et plus peuplé de planètes ou d'étoiles qu'on ne l'imaginait. L'astronome en vient à une certitude plus fondamentale encore : les corps célestes et les corps terrestres sont de même nature ; ils sont régis par la même physique. Il invalide ainsi la philosophie naturelle d'Aristote, fondée sur la différence qualitative irréductible entre un cosmos immuable parce que parfait et une nature terrestre changeante parce qu'imparfaite. Novateur et visionnaire, Galilée, faute de l'outil mathématique adéquat, reste au seuil de la science nouvelle. Les historiens ont bien du mal à distinguer dans ses écrits les intuitions résultant de l'observation ou des expériences et les postulats métaphysiques dont sont déduites toutes les conséquences logiques. On comprend dans ces conditions que la nouvelle astronomie ait longtemps posé plus de problèmes qu'elle n'en résolvait. Les trois conceptions de l'univers : de Ptolémée, de Copernic, Kepler et Galilée, de Tycho Brahé, paraissaient également vraisemblables. Aucune avancée décisive des procédures d'investigation et de contrôle de

leurs résultats ne permit de trancher entre elles jusqu'au second tiers du XVII^e siècle.

Dans cette situation, René Descartes (1596-1650) apporta à l'investigation scientifique les définitions de son champ d'application, de ses démarches et de ses objectifs, qui l'orienteront jusqu'à nos jours. Instaurant une coupure absolue entre la réalité spirituelle et la réalité naturelle, il réduit la seconde à la substance matérielle et au mouvement. L'univers créé par Dieu n'est plus dès sa création que matière et mouvement autorégulés. La quantité de mouvement demeurant constante dans un univers sans vide, les mouvements impulsés par le choc des éléments matériels sont un réagencement perpétuel qui produit des tourbillons. L'étude des faits naturels, la recherche de leurs causes ne laissent aucune place aux qualités, à l'esprit, aux finalités. L'homme de science peut être religieux en tant qu'homme, il est matérialiste dans son activité scientifique. Si Galilée réfléchissait surtout en physicien qui cherchait à mathématiser la physique, Descartes pense en métaphysicien qui impose à la nature entière un modèle mécanique géométrique. Il ne se demande pas quels sont les modes d'action que suit effectivement la nature, mais quels sont ceux qu'elle doit suivre.

Parce qu'il formula une théorie générale de la science moderne : un système de la nature, Descartes eut un succès immédiat. L'identification cartésienne de l'espace et de la matière entraînait toute une série de conséquences : l'unité de la matière constituant le monde, l'extension indéfinie de l'univers, la divisibilité à l'infini de la matière, l'impossibilité du vide. Sa philosophie mécaniste souffrait toutefois d'un dogmatisme réducteur, d'un dédain pour la mise à l'épreuve de l'expérimentation de ses hypothèses, qui lui valut la défiance d'esprits aussi rationnels que le sien, mais plus pragmatiques et plus modestes. On peut distinguer trois angles d'attaque principaux dans les critiques adressées au mécanisme cartésien : le premier concerne la conception du

mouvement, le second la conservation de l'univers tel qu'il fut créé, le troisième le dualisme de la pensée et de la matière. Que ces critiques fassent intervenir Dieu n'implique nullement une démarche scientifique soumise à la révélation divine, interprétée par les clergés. Les anticartésiens pensent au contraire que, puisque la raison et la science en ont le pouvoir, elles doivent intégrer la révélation, la libérer du despotisme des clergés. Ils reprochent à Descartes une philosophie naturelle qui laisse la révélation sous la coupe des religions et des Églises.

G. W. Leibniz (1646-1716) conteste les postulats fondamentaux de la philosophie cartésienne : la réduction de la matière à l'étendue, la passivité de la matière, sa constitution corpusculaire et sa divisibilité en atomes indivisibles, la distinction entre le monde matériel et celui de la pensée. L'étendue, qui est géométrique, homogène et uniforme, ne permet d'expliquer ni le mouvement, ni la résistance des corps au mouvement. On ne saurait dériver cette résistance de l'étendue. L'erreur majeure de Descartes est de penser que la nature conserve toujours la même quantité de mouvement, que quantité de mouvement et force sont la même chose. Ce qui se conserve, ce n'est pas le produit de la masse par la vitesse d'un corps, mais la force vive ou énergie cinétique, équivalente au produit de la masse par le carré de la vitesse. Dans cette perspective, on ne peut ramener la physique à la mécanique, ni celle-ci à la cinétique. Le modèle de la physique n'est pas la situation d'une balance en équilibre où les forces paraissent égales. La force n'est égale à la quantité de mouvement que dans les situations statiques. Pour une mécanique centrée sur le concept de force, Leibniz invente le concept de dynamique.

Matière et mouvement sont des phénomènes relevant d'une réalité métaphysique, dont le pôle actif est l'énergie qui s'exprime par le mouvement, et le pôle passif la matière inerte ou impénétrable. Les corps physiques ou substances composées

résultent phénoménalement de points métaphysiques ou centres de forces, que sont les substances simples et individuelles directement créées par Dieu, appelées par Leibniz « monades ». Les monades sont pensées par analogie avec l'âme humaine. Dépourvues de spatialité et de figure, elles sont des êtres en soi complets et indépendants les uns des autres. Chaque monade est douée d'une activité représentative à l'égard du reste de l'univers, et d'une propension à passer d'un état à un autre. La théorie des points métaphysiques, ou centres de forces, rétablit l'unité entre matière et esprit.

La dichotomie cartésienne entre Dieu et la pensée d'une part, la matière et le mouvement d'autre part, conduit à juger que les lois naturelles régissent l'origine de l'univers comme son existence, sans qu'il ne soit besoin d'une intelligence constituante et régulatrice de ses lois. Isaac Newton (1642-1727) relève le matérialisme virtuel de l'indistinction entre la matière et l'étendue : « Si nous affirmons, avec Descartes, que l'étendue est corporelle, n'ouvrons-nous pas alors la voie à l'athéisme ? » Une telle conception rend inintelligible la distinction entre esprit et corps, « à moins qu'on ne dise que l'âme n'est pas étendue, qu'elle n'est substantiellement présente dans aucune extension, c'est-à-dire qu'elle n'existe en aucun lieu : ce qui revient à en nier l'existence ». Un destin aveugle n'aurait jamais pu faire se mouvoir toutes les planètes de la même manière ; la merveilleuse uniformité du système solaire est donc le produit d'un dessein intentionnel. Les planètes se déplacent sur leur orbite selon les lois de la gravitation, mais on ne peut pas attribuer à ces lois la position primitive et régulière de ces orbites : elle ne peut être que l'œuvre d'un « Être tout-puissant et intelligent ». Il faut comme Robert Boyle (1627-1691) distinguer la « première origine des choses » et « le cours successif de la nature ». Les lois naturelles n'entrent en jeu qu'après la création de l'univers. Newton n'accepte pas l'idée que le monde ait pu être produit par des lois

mécaniques. Ces lois ne suffisent pas plus à rendre compte de la conservation du mouvement, affirmée par Descartes. La force active diminue constamment et naturellement dans l'univers matériel. La prescience de l'entropie, confirmée par le second principe de thermodynamique au milieu du XIX^e siècle, appelle des processus de réagencement du monde existant. L'intelligence créatrice est aussi l'intelligence régulatrice des lois naturelles physiques et mécaniques. Newton se préoccupe de la force invisible qui entretient le mouvement visible. Pour que la force ne fût pas la sympathie animiste de la science ancienne, il fallait une mutation des mathématiques.

Galilée dit du livre de l'univers dans lequel se lit la philosophie naturelle : « Il est écrit dans la langue mathématique [...] et ses caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques, sans le moyen desquels il est humainement impossible d'en comprendre un mot. » La géométrie était depuis l'Antiquité la part majeure des mathématiques ; l'algèbre, en progrès depuis le XVI^e siècle, s'imposera difficilement à la fin de l'époque moderne. Car la recherche mathématique, longtemps sans débouchés, n'était pas gratifiante ; les rares esprits qu'y s'y adonnaient devaient faire de tête et à la main tous leurs calculs et démonstrations. L'alliance de l'algèbre et de la géométrie fut réalisée par Descartes. Partant des résultats obtenus par François Viète (1540-1603), sa géométrie analytique opéra un tournant décisif par rapport à la tradition antique. Elle tendait à résoudre tous les problèmes arithmétiques ou algébriques en termes géométriques. Les lignes d'une figure géométrique sont désignées par des lettres. En formant des équations entre ces lettres, la solution des équations donne la longueur d'une ligne inconnue. Les coordonnées cartésiennes permettent de définir la position d'un point, et de faire correspondre une équation à la ligne droite ou courbe tracée à partir de ce point. Ainsi, les problèmes de la physique et de la mécanique pourront être traités

par l'analyse algébrique. Le fait est étonnant venant d'un homme qui avait écrit toute sa physique sans employer une seule formule et sans recourir au langage mathématique.

Au cœur de l'invention mathématique, on trouve les questions de l'infini et du continu. La pensée antique et médiévale ne concevait pas que ce qui est continu soit divisible en un ensemble infini de parties indivisibles, de sorte que si l'on passe d'un point à un autre, on traverse une série infinie de points donnés simultanément. Le pas de l'inconcevable fut franchi par Isaac Newton et Leibniz, co-inventeurs de l'analyse infinitésimale, qui est à l'origine du calcul différentiel et intégral. Celle-ci considère les lignes comme un mouvement continu de points, les surfaces comme un mouvement de lignes, les angles comme la rotation des côtés, le temps comme un flux continu. Il en découle plusieurs concepts essentiels. En premier lieu, celui de vitesse instantanée : le calcul introduit la valeur à laquelle tendent par approximation les vitesses moyennes, lorsque les intervalles de temps pour lesquels elles sont calculées sont proches de zéro. L'idée consiste à prendre une distance infinitésimale et l'intervalle correspondant de temps infinitésimal, à en établir le rapport, et à observer ce qui se passe lorsque l'intervalle de temps considéré devient de plus en plus petit, à l'infini. Par son développement au XVIII^e siècle, le calcul analytique contribua puissamment à la construction de la science moderne. Enrichissement de la géométrie analytique au temps de Leibniz et de Newton, il s'en émancipe dans le traité de *Mécanique analytique* (1788) de Lagrange, qui annonce avec fierté au lecteur : « On ne trouvera point de figures dans cet ouvrage. Les méthodes que j'y expose ne demandent ni constructions, ni raisonnements géométriques ou mécaniques, mais seulement des opérations algébriques, assujetties à une marche régulière et uniforme. »

Un siècle plus tôt, Newton avait unifié le mouvement et la force mécaniques dans ses *Principes mathématiques de la philosophie*

naturelle (1687). Le titre même du livre exprimait un engagement polémique contre le cartésianisme. Il présentait les principes de la philosophie naturelle en langage mathématique, tout en retenant la leçon de l'expérimentation de Bacon, de Hooke et de Boyle. Contrairement à celui de Descartes, le monde de Newton est composé non pas de deux, mais de trois éléments : la matière, le mouvement, l'espace. L'exposé commence par des définitions. La masse d'un corps, produit de la densité par le volume, est distinguée de son poids, qui dépend de la force de gravité et varie avec la distance à celle-ci. La quantité de mouvement désigne le produit de la masse d'un corps par sa vitesse. Par la force d'inertie, tout corps tend à demeurer dans son état actuel, qu'il s'agisse du repos ou d'un mouvement rectiligne uniforme. L'inertie tendancielle est modifiée par les forces centripète ou centrifuge. Newton confirme l'intuition galiléenne de la relativité du mouvement. Les états de repos et de mouvement rectiligne ne peuvent être déterminés qu'en relation à d'autres corps en repos ou en mouvement. Ils ne le sont pas dans un temps ou un espace relatifs, mais dans l'étendue infinie de l'espace et dans le cours éternel du temps. La loi de la gravitation universelle qu'expose le livre III affirme que deux corps dans l'univers s'attirent l'un l'autre par une force directement proportionnelle au produit des deux masses et inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare. Une seule force permet de maintenir les planètes sur leur orbite autour du Soleil, de causer la chute des corps sur la Terre, de provoquer les marées. Il en résultait une vision unifiée de l'univers, réduit cependant au système solaire, par une mécanique et une physique des forces mathématisées.

La physique newtonienne recourait avec la gravitation universelle à une action à distance, entendue comme un principe, qui ne semblait pas immédiatement réductible à un modèle mécanique. Aux yeux des cartésiens, Newton réintroduisait en physique les « qualités occultes » de la vieille philosophie naturelle, dont la