

INTRODUCTION

« Quand a-t-on pour la première fois compris que... affirmé que... ? » demandent les scientifiques à celui, ou celle, qui a choisi de se spécialiser dans l'histoire de sa discipline. Ce dernier se trouve bien embarrassé et ne fournit que rarement la claire réponse attendue, trop conscient des modifications de sens d'un même énoncé selon le contexte. Il se lancera alors dans un exposé savant sur les ruptures radicales dans les outils et les modes de pensées, au début du XX^e siècle, ou bien au XIX^e siècle, interdisant ainsi toute illusion de continuité avec un passé plus lointain et décevant définitivement son interlocuteur ! Si le scientifique ne se laisse pas décourager et persiste cependant, l'historien poussé dans ses retranchements pourra au contraire remonter indéfiniment, jusqu'aux subtilités des philosophes grecs, moins naïfs face à la nature qu'on ne le croit habituellement.

Jusqu'où devrions-nous remonter raisonnablement dans le temps pour assigner à nos principes et fondements les plus utilisés en physique une origine vraisemblable ? Il n'y a malheureusement, ou heureusement, pas de réponse à cette question en dépit des précautions prises dans notre formulation de la question.

Cette indétermination va nous permettre de choisir librement l'univers du XVII^e siècle, le « grand siècle » de Louis XIV mais aussi de Galilée, Descartes, Newton et Leibniz, non pour y défendre quelque thèse au sujet de l'origine de notre science mais d'abord pour le plaisir de plonger dans un univers lointain mais accessible, méconnu en dépit de son apparente proximité. Certains des aspects de ce siècle classique que nous pensions familiers, comme la dynamique newtonienne, nous sembleront en effet bien étranges si nous allons les lire directement chez l'auteur, tandis que des recherches de méthode, l'expression de doutes et de limites, peuvent se révéler plus proches des nôtres que nous ne l'aurions imaginé. Car à l'enthousiasme foisonnant de la Renaissance succède en réaction un certain malaise, un besoin de faire le tri dans tout ce qui a surgi dans la diversité des traditions redécouvertes et publiées ; il faut aussi remettre

de l'ordre au sein d'une curiosité sans limites et d'attitudes passionnées vis-à-vis des phénomènes naturels.

La physique de cette époque s'appelle encore « philosophie naturelle », ce qui nous rappelle que l'origine grecque : « physis » du mot que nous utilisons aujourd'hui signifie tout simplement « la nature ». Il s'agit donc d'étudier cette nature afin d'en trouver les principes, d'une façon claire, intelligible et durable.

Francis Bacon est le premier auteur à proposer vigoureusement l'usage d'une méthode permettant de se débarrasser d'une tradition écrite trop lourde et mettre de l'ordre dans le chaos de la Renaissance. Il est peu connu des scientifiques d'aujourd'hui car il n'a pas de résultats précis à son actif, en dépit de son influence réelle sur son époque. Écoutons-le :

« Restent un unique salut et une unique médecine : reprendre à neuf tout le travail de l'esprit ; faire en sorte que celui-ci, dès le début, ne soit en aucune façon laissé à lui-même ; constamment au contraire, le gouverner et mener l'entreprise comme avec des machines¹. »

Les machines servent donc déjà de modèle pour discipliner un esprit trop dispersé par la diversité des phénomènes, remplacer la contemplation par l'activité. S'il ne s'agit ici que d'une métaphore, nous n'en verrons pas moins des machines simples servir à représenter et étudier les phénomènes naturels. À côté de ces machines, il y a aussi les instruments auxquels nous pensons plus facilement : Galilée regarde le ciel avec sa lunette, Descartes utilise des lentilles. Puis surviennent les microscopes, les horloges, les pompes à vide. Ces nouveaux outils, dont la fabrication relève de l'art des mécaniciens, donnent l'impression de pouvoir accéder enfin à une réalité, au-delà de la limite des impressions sensibles. C'est peut-être ce qu'exprimait Galilée :

« On a besoin d'un guide dans un pays inconnu et couvert de forêts ; à découvert, en plaine, seuls les aveugles en ont besoin ; ceux-là feraient mieux de rester chez eux ; mais, quand on a des yeux, sur le front ou dans l'esprit, il faut s'en servir pour se guider². »

¹ Francis BACON, 1620, *Novum organum*, Puf, 1986, p. 94. Bacon, grand chancelier anglais, aura en fait davantage d'influence sur les savants de la Royal Society que sur les continentaux. Il est par ailleurs considéré comme le représentant de l'empirisme insulaire auquel on pourrait opposer le rationalisme cartésien français. Il nous semble cependant assez représentatif des difficultés, des questions et réponses, pour une nouvelle philosophie de la nature.

² GALILÉE, 1632 : *Dialogue sur les deux systèmes du Monde : le Ptoléméen et le Copernicien*, « Deuxième Journée », Seuil, 1992, p. 139.

En se plongeant dans les travaux de Galilée sur la chute des corps, nous verrons bien à quel point il utilise les yeux de l'esprit pour proclamer que : « tous les corps tomberaient à la même vitesse dans le vide ». À l'image idéale d'un Galilée qui rejette le savoir livresque et sclérosé des universités pour regarder la nature, il faut donc substituer l'histoire plus complexe de ces mathématiciens-philosophes qui réapprennent à raisonner à l'aide de phénomènes bien choisis.

Ces philosophes de la nature reposent d'abord implicitement ou explicitement la question des limites de la connaissance. Descartes raconte ses doutes :

« Mais, comme un homme qui marche seul et dans les ténèbres, je me résous d'aller si lentement, et d'user de tant de circonspection en toutes choses, que, si je n'avançais que fort peu, je me garderais bien, au moins, de tomber¹. »

C'est le point de départ de sa propre méthode, différente de celle de Francis Bacon, pour bien conduire son esprit sans le laisser s'égarer dans des rêves, les fictions apprises ou spontanées. Après avoir déclaré la pratique des mathématiques inutile et fatigante – et il sait de quoi il parle ! – Descartes montre à quel point elles lui servent de modèle pour bien raisonner, par de « longues chaînes de raisons, toutes simples », dont les objets sont des rapports. Les animaux sont des machines, mais l'homme a selon lui une âme qui le différencie de ces machines, une raison qui lui permettra de savoir distinguer les « idées claires et distinctes ». La connaissance est donc refondée sur un sujet pensant muni de sa raison, bien séparé de son objet d'étude. L'observation immédiate, trop directe, de la nature est jugée trompeuse, ou tout simplement trop difficile comme chez Bacon, pour constituer le point de départ d'une connaissance que l'on voudrait « scientifique », c'est-à-dire commune à tous et durable, établie sur des fondements clairs et solides qui permettent une construction progressive².

Les physiciens prennent facilement Galilée comme emblème de la modernité, les philosophes préfèrent Descartes, tandis que les historiens proclament : ni l'un ni l'autre en particulier mais bien d'autres personnes, pris dans un

¹ René DESCARTES, 1637 : *Discours de la Méthode*, Flammarion, 1992, p. 38.

² On ne trouve pas de définition d'une connaissance scientifique, mais il y en a une caractérisation implicite par le mal que l'on se donne pour fonder solidement ce que l'on affirme, pour raisonner à partir d'éléments bien distincts, comme le fait le géomètre : la géométrie d'Euclide a résisté au temps mieux que la physique d'Aristote et elle semble plus facilement lisible.

contexte fait de pratiques et de situations socio-culturelles. Nous allons tenter de garder un équilibre entre ces attitudes, sans jouer vraiment le jeu de l'historien qui serait sans doute le plus juste, car nous allons nous appuyer sur des textes élaborés et publiés par des auteurs qui sont, de ce fait, devenus des « vedettes ». On y trouve en effet exprimés des résultats et une partie des moyens utilisés pour y parvenir ; une partie seulement hélas, le reste étant affaire d'interprétation et d'études historiques très laborieuses. Considérons-les cependant comme des témoins privilégiés de leur temps. La perspective proposée ici ne peut donc être qu'un compromis, que l'on espère agréable au lecteur et propice à la réflexion.

Cet ouvrage sera donc consacré à la science émergente uniquement¹, à ce qui peut alors être qualifié de « nouveau » ou de « moderne », dans un parcours qui obéit au projet d'ensemble que nous venons d'esquisser : au-delà des idées reçues, approcher un monde souvent étrange, voire étranger, pour y retrouver à la fin quelque chose de la spécificité de notre culture scientifique actuelle, dans une autre perspective que celle des théories contemporaines. Ce projet reste assez souple pour laisser s'entrecroiser plusieurs problématiques. Une première partie présente en effet une étude du « voir » qui traite de la géométrisation, d'une représentation dans l'espace vide et indifférencié des mathématiciens. Galilée, Descartes et les autres, éprouvent d'abord le besoin de voir plus clair, de ne plus être « aveugle », de sortir des « ténèbres ». La seconde problématique aborde le thème bien connu de l'« expérience » dont les avatars annoncent l'expérimentation moderne. La dernière partie de cette étude traite enfin explicitement du « mécanisme », terme sur lequel nous nous expliquerons longuement. Ces trois thèmes ne sont cependant pas sans rapports étroits, si l'on considère que l'usage des machines introduit le savant du XVII^e siècle dans le domaine d'une vision presque géométrique, hors des catégories du langage et des outils logiques auxquelles il a été habitué par ses études universitaires. Cet usage l'entraîne également dans une pratique de manipulation, d'activité, bien distincte de la spéculation traditionnelle et prépare ainsi le terrain pour une pratique expérimentale future. Le pendule et le levier, la machine à vide et à

¹ Il existe beaucoup moins d'ouvrages généraux sur les sciences de cette période que sur celles de la Renaissance ou sur Galilée ; indiquons tout de même : René DUGAS, *La Mécanique du XVII^e siècle*, éditions du Griffon, Neuchâtel, 1954. On pourra trouver également des articles d'Alexandre KOYRE, en particulier dans : *Etudes d'Histoire de la Pensée scientifique*, Gallimard 1973. Nous donnons des références plus récentes, malheureusement souvent en anglais, dans notre bibliographie.

vapeur, sont en effet bien différents des nuages et des arbres, de la lumière du Soleil, ou même des pierres qui tombent et roulent.

Parler de mécanisation des représentations du Monde n'est pas original : c'est le titre d'un livre publié en 1950 par Dijksterhuis¹, livre très complet qui traite à la fois des images mécaniques du monde « le monde comme une grande horloge » et de la « philosophie mécanique », selon l'expression effectivement employée dès la dernière partie du siècle pour désigner la nouvelle physique. Cette philosophie est celle qui n'accepte comme principes explicatifs que matière et mouvement : les chocs de corpuscules chez Descartes ou Huygens, le ressort de l'air chez Boyle, etc.

La métaphysique explicite sera presque absente de cet ouvrage, ce qui conditionne évidemment les choix que nous avons effectués parmi les auteurs possibles au XVII^e siècle. Qu'il nous suffise de dire ici qu'au sein de la philosophie mécanique que nous voulons décrire, les causes des changements et des actions entre les corps seront considérées comme régies par des principes, lois ou règles, indépendantes de toute volonté divine. Celle-ci peut en revanche intervenir en amont ou en aval, dans la création ou la finalité de l'ensemble de ces processus. Il y a donc une volonté d'autonomie de la méthode d'investigation et d'explication, et c'est celle-ci que nous décrivons.

On parle plus couramment encore de « mathématisation » que de mécanisation, depuis l'utilisation de la parabole par Galilée et des coniques par Kepler, et aussi en raison de l'identification de la matière et de l'étendue par Descartes ; mais même s'il y a des liens évidents entre des pratiques mécaniques et géométriques, tout autant qu'entre les choix métaphysiques sous-jacents, nous verrons que ce n'est pas la même chose.

Que les scientifiques d'aujourd'hui soient tributaires des résultats d'une telle quête est évidemment contestable. Nous pouvons penser que le statut des principes obtenus et leur finalité ont totalement changé, que lorsque nous parlons d'inertie ou de conservation de l'énergie aujourd'hui, il s'agit de tout autre chose qu'autrefois, que le sujet de la connaissance scientifique a en conséquence modifié son rapport aux objets qui l'entourent et n'est donc plus le même. Nous considérerons ici que ce changement en cours n'est pas si radical qu'il doive rendre incompréhensible les objets maniés par des savants du XVII^e siècle. Nous pensons en outre que ces changements mêmes peuvent aider

¹ DIJKSTERHUIS E.J., 1950 : *The Mechanization of the World picture*, Princeton University Press, 1986.

à prendre du recul, pour envisager l'érosion des certitudes qui ont été établies au XVIII^e et XIX^e siècles ; car ce qui se défait, ou va se défaire en partie, est plus facilement visible que ce qui est encore bien ancré dans les habitudes. Les bouleversements actuels permettent en retour un autre regard sur les origines classiques de notre science, permettent d'imaginer que cette vision se soit imposée sans une irrésistible nécessité. Il y a toujours une nécessité historique, bien sûr, que l'historien tente d'établir sans aucun jugement de valeur : ce qui a eu lieu n'est pas le fruit du hasard mais d'un enchevêtrement de causes et raisons diverses. Le scientifique ou le philosophe veulent en revanche toujours évaluer les affirmations des savants du passé. L'historien leur permet alors d'élargir leurs repères et leurs critères afin de ne pas juger simplement selon ce qu'ils ont appris à l'école ! C'est bien pourquoi cet ouvrage se veut d'abord historique, dans les limites d'un compromis qui en facilite la lecture, avant d'inviter à la réflexion philosophique qui en est l'objectif lointain.

Ce qui est commun à cette science nouvelle et à celle d'aujourd'hui, par rapport aux discours plus anciens sur la nature, est certainement l'importance des mathématiques. On verra précisément comment la géométrie sert d'outil et surtout de modèle, d'exemple grâce auquel nos savants novateurs, agitateurs un peu sceptiques, vont apprendre à bien « raisonner ». Mais la différence entre eux et nous est que ce modèle mathématique nous semble aujourd'hui typiquement hypothético-déductif : on déduit des théorèmes, des propositions, à partir d'une axiomatique que l'on ne juge que par ses conséquences. Les axiomes d'Euclide paraissaient en revanche à Galilée, Descartes et ses successeurs, comme les seuls possibles, donc « vrais¹ ». On cherchait donc, suivant cet exemple, à obtenir le même degré de nécessité dans le domaine des principes de la mécanique, ou science des corps en mouvement. On n'y parviendra pas, mais cette recherche de principes vrais n'en est pas moins fructueuse en ce qu'elle conduit à une exigence de simplicité et d'évidence qui fera de la mécanique le modèle des sciences de la nature, pour longtemps et peut-être aujourd'hui encore, à tort ou à raison.

Le but de ce volume sur la physique du XVII^e siècle est ainsi de parvenir plus tard à donner un éclairage, proposer un regard, sur la physique moderne depuis sa naissance jusqu'à la « crise » de la fin du XIX^e siècle. Il ne s'agit pas d'un panorama purement descriptif puisque nous adoptons délibérément un point de vue : celui de la visualisation et de la mécanisation des représentations,

¹ Nous parlerons de la « vérité » dans notre chapitre 8.

qui débute au siècle de Galilée, Descartes, Huygens ou Newton, et donne lieu plus tard aux éthers de Fresnel et Maxwell ainsi qu'à l'atomisme de Maxwell et Boltzmann. Nous pensons en effet que, malgré la modification profonde des outils d'analyses mathématiques et expérimentaux, quelque chose demeure, dans ces modèles, du projet initial des premiers physiciens de l'époque classique.

Tout a été dit sur la transformation de la société et du monde du travail à la fin du Moyen-Âge, sur la montée des artisans et ingénieurs à la Renaissance, et sur les nombreux traités pratiques ou théoriques qui ne doivent rien à l'enseignement universitaire. Que les innovations se soient produites hors des universités, voilà qui est indéniable, mais leur lien effectif avec la pratique n'en est pas moins difficile à saisir. Quelle est l'utilité pratique de la forme parabolique donnée par Galilée en 1638 aux trajectoires de boulets de canons ? Personne ne contestera le fait que les tables d'artilleurs, des tables toujours refaites, fournissent une meilleure précision qu'une courbe théorique qui néglige trop de paramètres. Ce que permet la parabole est surtout d'illustrer les présupposés d'inertie et de composition des mouvements qui acquièrent ainsi implicitement un statut de principes, puisqu'ils ont déjà servi à démontrer la possibilité du mouvement de la Terre. L'intérêt de cette géométrisation sera aussi de pouvoir ranger bientôt les trajectoires des boulets de canon et celles des planètes dans la même famille. On peut simplement penser que les modifications de la vie pratique, si elles ne constituent pas l'objectif immédiat du savant, résonnent subtilement avec sa façon de « voir » le monde, à travers ce qu'il y a autour de lui. Ni cause ni finalité des avancées scientifiques, comme quelque chose qui serait vraiment avant ou après, la pratique est vraiment dans la science, dans la façon de regarder la nature, à partir de cette époque.

Des préoccupations pratiques, si l'on entend par là des applications dans la vie courante, ne seront officiellement mises en avant que plus tard comme objectif, par Colbert en 1666, lorsqu'il fonde l'Académie des Sciences en réponse à la nouvelle *Royal Society* de Londres. Il faut en effet construire alors des ponts, des moulins à eau et à vent, améliorer les communications, développer l'agriculture, savoir déterminer les longitudes pour obtenir une meilleure précision dans la navigation, à des fins militaires et commerciales. Il faut avoir de bonnes horloges autant pour la navigation que pour l'astronomie. L'ancienne obsession de la quadrature du cercle est maintenant remplacée par celle du mouvement perpétuel, beaucoup plus utile ! Les savants académiciens vont tenir compte de ces exigences pratiques, mais aussi les détourner à leur

profit pour poser des questions plus théoriques¹ qui deviendront, plus tard, des problèmes « académiques » !

Le mélange effectif des visées pratiques et théoriques culmine sans doute vraiment au XIX^e siècle, sans être jamais totalement réalisé. La thermodynamique est, elle, vraiment née du monde des machines, à vapeur, pour rejoindre seulement plus tard celui de la mécanique théorique grâce aux théories statistiques de James Clerk Maxwell et Ludwig Boltzmann. L'électromagnétisme se développe indépendamment de la domination mécanique, pour rejoindre cependant le domaine traditionnel de l'optique, sur un modèle qui appartient tout de même un peu à la mécanique : celui des ondes. C'est donc un fantastique succès. Les secteurs plus pratiques sont réintégrés naturellement dans l'ensemble théorique préexistant et c'est une réussite inespérée.

Il semblerait alors que ce soit justement lorsque tout marche trop bien que les doutes réapparaissent dans la communauté scientifique. Les philosophes, eux, n'avaient évidemment pas attendu si longtemps pour soumettre l'édifice naissant, au XVIII^e siècle déjà, à la critique d'une sorte de « tribunal de la raison pure ». L'impossible empirisme, que l'on pense à tort être à la source des méthodes de la nouvelle philosophie de la nature, a été définitivement rejeté par Hume, puis par Kant au profit d'une entreprise lucide de la raison, dans les limites que lui assignent ses possibilités. Nos physiciens ne s'en préoccupent guère, puisqu'ils ne sont plus philosophes et n'ont aucune raison d'être critiques lorsque tout marche à merveille. Cela marchait en effet si bien que l'on a pu croire la physique presque terminée vers la fin du XIX^e siècle : à part le problème du « rayonnement du corps noir » qui résistait encore à la sagacité des chercheurs, et de petits désaccords ici ou là entre les prédictions théoriques et la vérification expérimentale ou l'observation du ciel, tout allait assez bien.

Mais après deux siècles de « progrès », on s'interroge à nouveau sur la valeur des représentations acquises. La statistique de Boltzmann a réintroduit une représentation atomiste qui semble un peu trop ancienne, et provoque une violente querelle entre les nouveaux atomistes et les « énergétistes ». Ceux-ci veulent oublier ces images naïves de jeu de billard microscopique qu'ils jugent inutiles et fausses. Les systèmes d'équations différentielles leur suffisent comme explications et instruments de prédiction. Mais les ondes lumineuses et électromagnétiques doivent se propager dans un milieu, appelé « éther », lui aussi trop ancien. Ce milieu mystérieux, invisible et intangible, doit être en

¹ Nous en verrons quelques exemples : les règles des chocs au chapitre 7 et la pesanteur au chapitre 10.