

*Épistémologie*  
*Hervé Barreau*

1	Introduction .....	3
2	Connaissance commune et connaissance scientifique dans l'histoire   .....	6
3	La logique et les mathématiques .....	12
	I Le logicisme.....	16
	II. – Le formalisme.....	18
	III. – L’intuitionnisme .....	20
	IV. – Le réalisme platonicien .....	22
4	La méthodologie et les sciences physiques   .....	26
	I. – La relativité.....	33
	II. – La mécanique quantique.....	35
	III. – La nouvelle cosmologie .....	40
5	La médecine et les sciences de la vie .....	42
	I. – La taxinomie .....	46
	II. – L’évolution .....	48
	III. – L’hérédité .....	51
6	L'histoire et les sciences de l'homme et de la société .....	55
	I. – La psychologie.....	59
	II. – La linguistique .....	63
	III. – L’économie.....	65
7	Enjeux sociaux, culturels et éthiques du développement scientifique et technique.....	68
8	Conclusion.....	74

---

## 1 Introduction

L'épistémologie, dont il est question dans ce volume, est l'étude de la science, ou plutôt des sciences. L'usage de ce mot et la conception qu'il exprime sont relativement récents, puisqu'on ne les rencontre, dans la littérature scientifique et philosophique de langue française, qu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, pour remplacer l'expression antérieure de philosophie des sciences, qu'avaient employée Auguste Comte et Augustin Cournot, et qui ne cesse pas d'être employée, en un sens souvent plus large que celui désigné par l'épistémologie. À ce titre, cette dernière se distingue surtout de la théorie de la connaissance, telle qu'elle était entendue par les philosophes du XVII<sup>e</sup> et du XVIII<sup>e</sup> siècle, qui s'étaient préoccupés déjà d'élargir, au contact de la science moderne, les anciennes doctrines sur la connaissance humaine. Apparemment plus fidèles à cette antique tradition, mais au mépris de l'étymologie, selon laquelle l'épistémologie est un discours sur la science, les auteurs anglo-saxons désignent volontiers aujourd'hui par *epistemology* la théorie philosophique et moderne de la connaissance, qu'ils distinguent alors, et avec raison, de la philosophie des sciences proprement dite.

On a désigné plus récemment en France par épistémologie l'étude de l'épistémé, c'est-à-dire de ce que Michel Foucault considérait comme un corps de principes, analogues aux « paradigmes » de T. S. Kuhn, qui sont à l'œuvre simultanément dans plusieurs disciplines, et qui varient avec le temps de façon discontinue. Quel que soit l'intérêt de cette manière de voir pour l'histoire des idées, cette conception ne rend pas compte du progrès de la connaissance scientifique, qui s'effectue d'abord dans une discipline, même s'il se répercute souvent sur plusieurs, et qui n'atteint pas d'un seul coup tous les domaines de la science. C'est pourquoi la conception foucaultienne de l'épistémologie, que son auteur avait bornée du reste aux sciences de la vie et aux sciences de l'homme, ne peut prétendre occuper le terrain de ce qu'on entendait jadis par la philosophie des sciences.

Ce qu'il faut retenir cependant de la conception de l'épistémé comme relative à une époque déterminée du savoir, c'est que les sciences sont en évolution, puisque le progrès est une de leurs exigences essentielles, et que chacune constitue à un moment du devenir historique ce qu'elle prendra dorénavant, à moins d'une refonte éventuelle, pour son objet déterminé. On ne peut donc séparer de façon rigide, comme l'avait voulu le mouvement néopositiviste entre les deux guerres mondiales, l'histoire et la philosophie des sciences. Dans un premier chapitre on montrera ici que la connaissance scientifique, de même que la connaissance commune sur laquelle elle s'appuie, se

situent toutes deux dans l'Histoire (on désignera par l'Histoire le devenir historique et par l'histoire le récit de ce dernier).

Puisque les sciences sont diverses et que cette diversité s'accroît, comme on aura l'occasion de le manifester, avec le développement historique du savoir scientifique, il y a quelque chose d'artificiel, si l'on s'intéresse au contenu des sciences, à traiter de la science comme si c'était un corps unique de savoir. Les auteurs qui persistent à le faire envisagent alors nécessairement la science dans ses institutions et le discours que tiennent ses représentants officiels, plutôt que dans sa matière et les problèmes qu'elle soulève. On s'écarte alors de l'épistémologie entendue comme une réflexion sur les sciences, qui est la conception proposée par G.-G. Granger dans l'Encyclopaedia Universalis, et l'on se tourne vers l'anthropologie et la sociologie des sciences, qui sont des disciplines connexes mais distinctes. Ces dernières disciplines ne seront pas prises directement ici comme objets d'étude ; quelques problèmes, qui sont de leur ressort, seront pourtant abordés à propos des répercussions que le développement scientifique et technique entraîne dans toute la société, et de l'attitude que cette dernière, en retour, peut adopter à l'égard de l'impact social de ce développement. À ces questions, qui relèvent manifestement de la philosophie des sciences, sera consacré le dernier chapitre de ce livre (chap. VI).

Entre sa base, qui est la connaissance commune, et son horizon d'ordre pratique qui est son environnement social, culturel et éthique, se situe l'éventail entier de la connaissance scientifique. On offrira ici un parcours des problèmes que pose cette connaissance dans ses principes et dans ses développements. On passera ainsi successivement en revue la logique et les mathématiques (chap. II), la méthodologie et les sciences physiques (chap. III), la médecine et les sciences de la vie (chap. IV), l'histoire et les sciences de l'homme et de la société (chap. V). Le point de vue adopté dans ce parcours légitime donc l'existence d'épistémologies régionales, dont Gaston Bachelard avait introduit le concept dans la philosophie scientifique de langue française, et dont la recherche contemporaine manifeste toujours le bien-fondé. À de telles épistémologies régionales, qui reflètent chacune plus ou moins l'état de leur domaine, les différents chapitres de cet ouvrage, qui se situent entre les deux extrêmes, peuvent servir d'introduction. Tel est du moins le dessein qui a présidé à l'organisation des matières nécessairement diverses qui étaient appelées à prendre place sous ce titre, L'épistémologie, auquel la collection « Que sais-je ? », dans la mesure où elle s'intéresse non seulement aux connaissances mais à leur origine et à leur portée, se devait de faire place.



---

## 2 Connaissance commune et connaissance scientifique dans l'histoire |

La substitution de l'épistémologie à la théorie classique de la connaissance pour ce qui regarde la diversité des champs scientifiques a eu au moins le mérite de manifester clairement la différence entre la connaissance commune et la connaissance scientifique. À une époque comme la nôtre, où la deuxième s'oppose à la première comme le spécifique au général, l'approfondi au superficiel, le technique à l'approximatif, le progressif au traditionnel, on peut s'étonner que la philosophie se soit souciée assez tard de souligner cette différence qu'elle ne pouvait ignorer. En fait, deux raisons ont conduit à négliger cette différence. La première, c'est qu'en Occident la philosophie depuis Platon a accompagné le développement de la science et s'est mise d'ordinaire de son côté dans leur commune opposition à la connaissance commune, dite parfois vulgaire ; elle s'est employée alors à montrer que la connaissance scientifique est la vraie connaissance, et que la philosophie a précisément pour but de manifester cette vérité, même si c'est pour la borner aux phénomènes et ne pas condamner nécessairement toute connaissance transcendante. On peut dire que le criticisme de Kant au XVIII<sup>e</sup> siècle et le positivisme au XIX<sup>e</sup> et au XX<sup>e</sup> siècle ont ainsi conçu leur mission. La seconde raison, qui prolonge la première, est que la philosophie a pris le parti de la science dans la résistance que celle-ci a subie du côté des représentations traditionnelles, éventuellement religieuses, et qu'elle s'est autorisée de ce conflit pour manifester la faiblesse des opinions et des croyances communes.

Kant montrait que la connaissance scientifique était seulement possible à partir des formes a priori de la sensibilité et des concepts de l'entendement, qu'on devait présupposer comme des structures inscrites dans l'esprit humain, sans s'interroger sur leur origine. Auguste Comte préférait considérer que ces structures étaient produites par cet esprit, au cours d'un long travail, qui passait par un stade théologique puis un stade métaphysique pour aboutir au stade scientifique ou positif. Ces deux conceptions accentuaient, en fait, la coupure entre la connaissance commune, abandonnée à quelque mélange de croyances et d'éléments empiriques, et la connaissance scientifique, seule capable d'autotransparence.

Au cours du XIX<sup>e</sup> siècle, on a espéré qu'une science nouvelle, la psychologie, allait permettre de faire comprendre le passage resté soit mystérieux soit indirect entre la connaissance commune et la connaissance scientifique. Au XVIII<sup>e</sup> siècle déjà, Hume avait tenté de réaliser ce passage, mais il

s'était heurté à des difficultés qu'il jugeait insurmontables, et en avait conclu à l'impossibilité de fonder la connaissance scientifique. La psychologie du XIX<sup>e</sup> siècle n'est pas parvenue, de son côté, à des résultats acceptables, d'autant que, par exigence de méthode scientifique, elle devait elle-même présupposer la possession de concepts très élaborés pour faire comprendre la formation de concepts qui le sont beaucoup moins. Actuellement, les sciences cognitives tentent une entreprise semblable, mais elles se heurtent à de nouvelles difficultés, comme on le montrera plus loin (chap. V) à propos des méthodes de la psychologie.

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, le philosophe Husserl, qui est le fondateur du mouvement phénoménologique en Allemagne, a dénoncé dans les diverses tentatives qui tendaient à fonder la connaissance scientifique au moyen de la psychologie, une même illusion, qu'il qualifiait de « psychologisme », de « naturalisme » ou d'« objectivisme ». Cette illusion consiste à substituer au dynamisme de la vie subjective un corps de concepts ou d'idées qui sont présumés en rendre compte, alors qu'ils ne sont eux-mêmes que des produits de ce dynamisme et réclament une élucidation à partir de ce dernier. Ce renversement « idéaliste » du problème de la connaissance rappelle celui qu'avait opéré Kant et se qualifie, comme ce dernier, de « transcendantal », c'est-à-dire de méthode fournissant a priori à partir de la subjectivité constituante les conditions de la pensée d'un objet quel qu'il soit (que ce dernier appartienne à la connaissance commune ou à la connaissance scientifique). Cet idéalisme transcendantal délimite correctement un problème, mais ne fournit pas nécessairement le moyen de le résoudre : qu'est-ce qui prouve, en particulier, qu'en mettant le monde « entre parenthèses », comme le demandait Husserl, on retrouve les conditions effectives qui ont permis de le penser avec tous ses objets ? On risque de tomber dans une nouvelle illusion : celle qui consiste à croire que la pure subjectivité suffit à créer de l'objectivité à travers les différentes couches de la vie mentale. La comparaison qui est tentée ici du travail du philosophe avec le travail du géologue tendrait plutôt à montrer que les méthodes sont différentes, car le géologue, lui, se garde bien de mettre entre parenthèses l'existence et l'évolution de la Terre. Il est avéré, d'autre part, que dans ce travail spontané qui est essentiellement intersubjectif, comme l'avait reconnu Husserl lui-même, les différents peuples n'adoptent pas les mêmes chemins pour aboutir, dans les diverses cultures, à des résultats, sinon équivalents, du moins comparables. Les nouvelles sciences sociales qui se sont penchées sur la mentalité des peuples soit réellement primitifs soit éloignés de notre propre civilisation ne nous permettent guère de supposer un développement uniforme et universel des capacités humaines de connaître.

C'est pourquoi une solution qui s'attache au problème qu'a défini Husserl, mais qui est resté, semble-t-il, irrésolu jusqu'ici par l'école phénoménologique, consiste à prendre davantage au sérieux ce « monde de la vie » qu'Husserl avait bien identifié comme la source de toute connaissance et de le considérer non seulement dans son vécu conscient, individuel et collectif, mais dans les assises vitales qui soutiennent ce vécu et qui lui imposent des directions déterminées. La vie humaine se trouve toujours, en effet, en face de problèmes auxquels elle s'ingénie à trouver des solutions. On peut relever au moins trois exigences de cette vie humaine, qui suscitent un développement des capacités cognitives allant fort au-delà des performances déjà atteintes par la vie animale : l'action réfléchie qui amène tout homme à trouver certains moyens et certains outils en vue de réaliser certaines fins, la communication interhumaine à travers le langage qui invente les formes lexicales et grammaticales susceptibles de traduire les modalités de cette communication, la représentation globale du monde qui oblige à se représenter la vie sociale à l'intérieur d'un cosmos qui l'abrite et peut y mettre fin. À l'intérieur de cadres de cette sorte, il est possible de reconstituer, en l'attribuant à un « cogito anthropique », la formation des concepts de la pensée commune, en particulier ceux qui correspondent, au moins approximativement, mais avec des correspondances frappantes, à nos notions de « chose », de « personne », de « causalité », de « espace », de « temps », etc.

Quant au développement de la pensée scientifique (où il est usuel de distinguer trois âges : l'âge grec, qui est fondateur, l'âge classique européen, qui est une reprise originale du premier, l'âge moderne qui s'institue, selon les disciplines, à différentes époques du XIX<sup>e</sup> siècle), il est possible d'en rendre compte à partir des problèmes que se sont posés, tout au long de l'Histoire des sciences, les savants eux-mêmes. Il faut remarquer, en effet, qu'aucune société historique n'a été privée de tels savants, bien que leur statut et leur fonction aient considérablement évolué au cours du temps. C'est ce que, dès le XVIII<sup>e</sup> siècle, l'histoire des sciences s'était efforcée de montrer. À partir du XIX<sup>e</sup> siècle, la philosophie des sciences s'est aperçue du profit qu'elle pouvait en tirer. Ainsi s'est formé, dès cette époque, un courant qu'on peut désigner comme celui de l'« épistémologie historique » avant la lettre. Appartiennent à ce courant des auteurs comme Whewell en Angleterre, Cournot en France, un peu plus tard E. Mach en Autriche. L'ouvrage de ce dernier, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung historisch-kritisch dargestellt* (1883), traduit en français sous le titre *La Mécanique, étude historique et critique de son développement*, marque l'avènement de la méthode historico-critique comme méthode directrice de l'épistémologie. Il convient de noter, à cet égard, que E. Mach était lui-même un scientifique, adonné à toutes les branches de la physique et plus tard de la psychophysique. À partir de cette époque, les scientifiques commencent, en effet, non

seulement à s'intéresser à l'histoire de leur discipline, mais à produire des travaux en histoire et en philosophie des sciences. On peut citer Poincaré et Brouwer en mathématiques, Duhem et plus tard Langevin en physique, de nos jours F. Jacob et E. Mayr en biologie. L'épistémologie devient ainsi pour une part l'œuvre des scientifiques tout en ne cessant pas d'être l'une des branches de la philosophie. Il faut remarquer du reste que, si engagée qu'elle puisse être une épistémologie dans une œuvre scientifique – et les noms cités attestent assez bien cet engagement – cette épistémologie n'en est pas moins, et peut-être d'autant plus, philosophiquement orientée et philosophiquement pertinente. À côté d'une telle épistémologie, l'histoire des sciences peut s'orienter, comme il arrive à toute histoire, dans des directions différentes, soit qu'elle privilégie l'entourage politique et social qui a permis ou entravé le travail scientifique, soit qu'elle s'applique à ressusciter l'atmosphère intellectuelle qui a constitué l'enveloppe culturelle de ce travail, soit qu'elle s'adonne à l'étude des transformations conceptuelles, considérées d'un œil épistémologique, qui se sont opérées tout au long de ce travail.

Puisqu'on privilégiera, dans ce volume, cette dernière forme d'histoire des sciences, mobilisée au service de l'épistémologie, entendue elle-même dans une perspective historique, il faut dire en quelques mots comment cette épistémologie historique se distingue de l'épistémologie génétique de Piaget, qui apparaît, du point de vue qui est ici adopté, comme un psychologisme. Dans l'épistémologie génétique de Piaget, en effet, la connaissance commune et la connaissance scientifique sont certes distinguées, mais la première n'est considérée que comme une étape préparatoire à la seconde, où elle est supposée trouver son « équilibre » ou son extension. Dans cette perspective, la science du passé ou d'autres civilisations est disqualifiée et ses protagonistes injustement méprisés. Si l'épistémologie de Piaget se prête à de telles injustices, c'est qu'elle n'a pas observé, semble-t-il, deux principes qui doivent régir la façon dont l'épistémologue étudie les rapports entre la connaissance commune et la connaissance scientifique, telles qu'on vient de les distinguer.

Le premier principe, c'est que les schémas de la connaissance commune ne cessent pas d'habiter l'esprit des scientifiques, non seulement dans leur vie privée, ce qui est bien évident, mais dans leur travail de recherche lui-même. La difficulté de ce travail, ce n'est pas d'évacuer la prégnance de tels schémas, qui peuvent au contraire se révéler inspirateurs, mais de les distinguer soigneusement des procédures scientifiques, qui ont été reconnues parce qu'elles ont fait déjà la preuve de leur efficacité, au moins dans un domaine déterminé. Il est bien certain qu'un esprit inventif ne doit pas

sans cesse faire la police de son esprit ; ce serait la meilleure façon de ne rien inventer du tout. Mais il doit dans l'exposé des résultats auxquels il est parvenu respecter les canons scientifiques, qui ne sont pas exactement les mêmes selon les époques, mais qui se caractérisent toujours par la rigueur dans le raisonnement et, s'il s'agit d'une science expérimentale, par la reproductibilité des faits observés. La science, par principe, doit être communicable à tout esprit suffisamment instruit pour en prendre connaissance et capable d'en juger sans prévention. Quand on sait cela, on n'oublie pas pour autant que pour trouver de nouveaux résultats il faut se fier à de tout autres critères, qu'on aura l'occasion d'examiner par la suite.

Le second principe qui devrait guider une épistémologie philosophiquement défendable (une épistémologie doit être capable de se défendre elle-même, comme il en est de toute discipline philosophique, sinon on risque d'être renvoyé à une critique de cette épistémologie, à une critique de cette critique..., dans une régression qui va à l'infini), c'est qu'elle n'est guère séparable de l'Histoire des sciences. Piaget n'avait pas nié ce lien, mais il n'en a guère tenu compte. Quand il reproche, par exemple, à la dynamique aristotélicienne ou prégaliléenne un manque de coordination entre leurs notions spécifiques, il oublie que les Anciens coordonnaient l'expérience du mouvement d'une façon différente de celle des Modernes. Chez les premiers, les considérations cosmologiques dominaient, pour des raisons qu'il est facile de comprendre, les analyses physico-mathématiques, alors que c'est l'inverse aujourd'hui. Le progrès n'est pas venu d'une coordination plus stricte, mais d'une coordination différente. On s'aperçoit que la différence principale consiste dans l'acceptation ou le refus du principe d'inertie. Ce principe, qui paraissait absurde à Aristote, s'est en revanche imposé, au XVII<sup>e</sup> siècle, à Galilée, Gassendi et Descartes. Cela ne veut pas dire qu'Aristote avait été un arriéré en son temps mais que la physique aristotélicienne avait besoin d'être dépassée vingt siècles après son apparition. Une révolution scientifique n'est pas due à des cerveaux meilleurs que ceux qui ont bâti la synthèse précédente, mais à un ensemble de conditions sociales, techniques et culturelles, qui orientent l'attention d'une façon différente. Dès le XIV<sup>e</sup> siècle, la physique aristotélicienne avait été ébranlée, mais elle restait plongée dans une atmosphère intellectuelle et culturelle qui rendait difficile la ruine de ses principes.

Si l'on retient ces deux principes directeurs pour l'épistémologie, on s'apercevra qu'ils offrent le meilleur des antidotes contre le psychologisme, puisqu'ils ne cessent d'opposer les concepts scientifiques, tels qu'il a fallu les penser, aux esprits humains, tels qu'ils sont enclins, selon leurs habitudes, à voir et à considérer le monde qui les entoure. En adoptant la méthode historico-

critique, on n'oubliera pas non plus que cette méthode est susceptible d'être perpétuellement révisée et perfectionnée, compte tenu du progrès des sciences – comme l'ont fait ressortir Bachelard et G. Canguilhem. En tant qu'elle se met au service de l'épistémologie, elle tend à privilégier, en effet, la méthode récurrente, qui va du présent au passé de la science, mais elle peut adopter également la méthode progressive, qui s'attache à suivre le progrès historique des sciences et qui a l'avantage d'éviter tout anachronisme. On verra par la suite qu'on a utilisé dans ce volume l'une et l'autre. Mais puisque ce chapitre a trait à la connaissance commune autant qu'à la connaissance scientifique, il est indispensable d'ajouter que les mêmes méthodes valent également pour l'étude de la connaissance commune, qui n'est pas invariable dans son contenu, tout en restant quasi constante dans ses motivations. Bien qu'elle joue un rôle fondateur pour la connaissance scientifique qui s'en distingue en produisant les raisons de cette distinction, elle se trouve enrichie à son tour par les acquisitions les plus tangibles de la science ; ces dernières ont de l'influence sur les mentalités et parviennent souvent à en déterminer les orientations, au moins dans certains secteurs de la vie sociale. On ne peut s'attarder davantage ici sur les influences réciproques de ces deux types de connaissance. Il faudra y revenir quand il s'agira, dans le dernier chapitre, d'examiner les enjeux sociaux, culturels et éthiques du développement scientifique et technique.

---

### 3 La logique et les mathématiques

C'est un trait du troisième âge de la science d'associer la logique et les mathématiques. Aristote, qui a fondé la logique formelle, et qui a dominé par ses prises de positions philosophiques l'âge de la science grecque (dont Archimède est un autre protagoniste), un âge qui s'est prolongé au Moyen Âge et à la Renaissance, ne considérait pas la logique comme une science, mais comme un organon, c'est-à-dire un outil de raisonnement, propédeutique à la science mais sans objet particulier. Le deuxième âge de la science, qui s'est détourné d'Aristote, s'est détourné aussi de la logique, dont il ne percevait pas l'intérêt, pour s'intéresser à la méthode ou l'art de découvrir, comme on le voit chez Descartes. Au XVII<sup>e</sup> siècle cependant, la Logique de Port-Royal, œuvre d'amis jansénistes de Pascal, s'est efforcée de concilier l'acquis des recettes formelles d'Aristote avec la théorie cartésienne de la connaissance. Au XVIII<sup>e</sup> siècle, le mot « logique » recouvre des domaines très divers : la méthodologie de la science chez Lambert, la théorie de la connaissance de nouveau, avec la logique transcendantale de Kant, l'ontologie ou science de l'être en général, avec la logique dialectique de Hegel. Cette dernière est publiée dans les premières années du XIX<sup>e</sup> siècle. C'est au cours de ce siècle que la logique formelle va se renouveler entre les mains des mathématiciens. D'un côté, les mathématiciens font de la logique une branche des mathématiques, conçue comme un algorithme de la pensée, ainsi que l'avait voulu Leibniz. D'un autre côté, certains d'entre eux vont jusqu'à tenter de bâtir l'édifice entier des mathématiques sur la logique elle-même, réunissant toutes ces disciplines dans le secteur des « sciences formelles », ce qui poussera certains auteurs à penser que ce secteur est habilité à recouvrir l'héritage entier de la philosophie. Nous allons voir que si le troisième âge de la science a effectivement réussi la première tâche, celle de mathématiser la logique, il a rencontré de redoutables difficultés dans la seconde, celle de réduire les mathématiques et tout ce qui relève des formes du discours rationnel à la nouvelle logique. L'examen de ces difficultés nous introduira ainsi dans l'épistémologie des mathématiques.

La mathématisation de la logique s'est opérée en deux étapes. D'abord, on a construit des algorithmes pour des opérations qui semblaient intuitivement relever de la logique. Ainsi l'algèbre des classes de Boole (1847), à qui l'on doit la découverte de l'algèbre binaire, c'est-à-dire à deux valeurs 0 et 1, qu'on peut appliquer également aux valeurs de vérité (vrai/faux) des énoncés propositionnels, ce qui permet d'appliquer cette algèbre à des variables interprétées comme des propositions. Par ailleurs, l'invention d'une logique des relations, due à De Morgan, contribua à révéler aux logiciens combien la logique classique, qui n'envisageait, à l'intérieur de la proposition,

que la relation du prédicat au sujet de cette proposition, était impropre à traduire les multiples combinaisons de la pensée. Cependant, les divers essais tendant à constituer une algèbre de la logique privilégiaient, comme en toute algèbre, la relation d'égalité ou d'équivalence, qui n'est pas la relation logique fondamentale. Si l'on se tourne vers la logique ancienne, que ce soit celle d'Aristote ou celle des mégarico-stoïciens assez différente de la première et malheureusement confondue avec celle-ci au cours du Moyen Âge, on s'aperçoit que la relation logique fondamentale est la déduction, ou l'inférence, ou l'implication, opérations qui n'admettent pas selon leur définition leur inverse. À cet égard, c'est Pierce (1839-1914), logicien et philosophe américain, qui mit en valeur le caractère général de la relation d'« illation », qui fonde chez lui l'inférence, et qui permet de réinterpréter la syllogistique aristotélicienne dans un cadre beaucoup plus général, où sont introduits les modernes quantificateurs (correspondant aux anciens opérateurs : tous... quelques). Mais c'est au mathématicien Frege (1848-1925) que revient le double mérite d'avoir publié le premier livre de logique symbolique moderne, le *Begriffsschrift* ou *Idéographie* (1879) et d'avoir su relier ce qu'il appelait la logique des fonctions à la logique des propositions, grâce à l'analyse de la proposition (fonction, argument) et à l'usage réglé des quantificateurs. De plus, Frege a proposé la première axiomatique de ces deux logiques.

C'est cette logique frégréenne, reprise ensuite et codifiée par Russell et Whitehead, qui est devenue aujourd'hui la logique classique, celle qui est enseignée et couramment utilisée. On la présente toujours en ses deux parties : calcul des propositions, calcul des prédicats. C'est la première qui est fondamentale : elle repose sur la bivalence des propositions, lesquelles ne peuvent être que vraies ou fausses. Ainsi est présupposé le principe du tiers exclu. L'implication, la disjonction, la conjonction sont interdéfinissables si l'on se donne la négation ; elles sont définies à partir des valeurs de vérité des propositions simples, qui se trouvent liées par ces opérations logiques, dont le sens est ainsi fixé sans ambiguïté. C'est pourquoi l'on dit que cette logique est vériconditionnelle ou vérifonctionnelle. Quand elle est proposée à des débutants, elle paraît d'abord assez artificielle. Et pourtant son fondement n'a rien de moderne ; on le retrouve chez les mégariques et les stoïciens, qui définissaient eux aussi les opérations logiques en fonction des valeurs de vérité, bien qu'ils y ajoutassent, d'ordinaire, des notions modales (possible, impossible, nécessaire), que les logiciens mathématiciens repoussent d'ordinaire aujourd'hui. D'autres logiciens, non moins capables de précision formelle et symbolique, ont pourtant défendu l'existence de logiques modales. Leur motivation principale réside dans le refus du caractère assez arbitraire et non intuitif de l'implication vérifonctionnelle. Cette dernière n'est rien d'autre, en effet, que la vérité ou la validité d'un conditionnel (lequel s'exprime dans le langage ordinaire : si... alors), définie elle-même comme le

lien logique qui existe entre deux propositions, quelle que soit leur valeur de vérité, sauf quand la première (l'antécédent) est vraie et la seconde (le conséquent) fausse. Il est bien clair, en effet, qu'on ne peut admettre que le vrai implique le faux ; en revanche, on doit admettre, selon le choix de cette logique, outre que le vrai implique le vrai, que le faux implique aussi bien le vrai que le faux (ex falso sequitur quodlibet, disaient les scolastiques). C'est ce qu'on appelle aujourd'hui l'implication matérielle ou l'implication philonienne (du nom de Philon de Mégare qui l'a inventée). Les Anciens avaient voulu déjà renforcer les conditions de vérité de l'implication, en y ajoutant, comme on l'a dit, des notions modales, définies parfois, mais pas toujours, de façon très claire. De nos jours, on a eu recours aussi à des ajouts de cette sorte. Ainsi, Lewis a proposé l'implication stricte définie comme l'impossibilité de la conjonction de l'antécédent vrai et du conséquent faux. Cela rappelle la définition de Diodore de Mégare. Mais la difficulté de manier les notions modales a poussé d'autres logiciens à concevoir tout autrement cette notion d'implication, en abandonnant l'idée d'une logique vérifonctionnelle. Selon cette conception, la logique codifie des schémas d'argumentation, qui doivent réussir à convaincre un interlocuteur réticent. Il est donc possible de constituer une logique dite opérative, où les opérations logiques sont définies comme des schémas d'argumentation réussie auprès d'un interlocuteur exigeant. Dans cette logique, l'implication veut dire que si l'interlocuteur a des preuves de l'antécédent, alors celui qui propose l'implication doit être en mesure de prouver le conséquent à cet interlocuteur qui a prouvé l'antécédent. Cette définition de l'implication rappelle l'exigence de déduire le conséquent du contenu de l'antécédent qu'avaient proposée également certains Anciens, à la suite d'Aristote. Elle coïncide aussi avec ce que proposent les mathématiciens intuitionnistes. Or, ces derniers recourent à une telle définition de l'implication parce qu'ils refusent le principe du tiers exclu et tout ce qui en dépend dans la logique classique. Autrement dit, pour eux, la fausseté du faux pour un certain énoncé n'implique pas qu'il soit vrai et ils refusent, par conséquent, le raisonnement par l'absurde. Ils conçoivent qu'à côté de ce qui est établi ou réfuté, existe ce qui n'est ni l'un ni l'autre. On verra que la situation actuelle des mathématiques leur donne de bonnes raisons pour étayer leur position. Mais indépendamment de cette application de la logique aux mathématiques, on peut se demander si les principes de la logique classique peuvent se prévaloir d'une application générale au monde empirique. Certains théoriciens de la mécanique quantique, même s'ils admettent le tiers exclu, refusent la logique classique, en tant que celle-ci suppose que toute proposition est vraie ou fausse, de façon intemporelle. Pour tenir compte de l'impossibilité de déterminer simultanément deux variables conjuguées, qu'impose le principe d'indétermination d'Heisenberg, ces théoriciens recourent à la logique opérative, et adoptent sa définition de l'implication logique. Enfin, dans le monde humain, on peut constater que la dichotomie vrai/faux est rarement applicable, ou du

moins doit être soigneusement spécifiée. Que d'erreurs judiciaires résultent de l'imputation de culpabilité à quelqu'un dont on n'a pu prouver l'innocence ! Un inculpé est quelqu'un qui n'est ni prouvé innocent ni prouvé coupable. On discute souvent à qui appartient la charge de la preuve. La présomption d'innocence, en tout cas, est un principe de droit. Si donc la logique possède, par son caractère universel, un aspect normatif, on voit qu'elle doit prendre garde à ce que les normes qu'elle utilise soient des normes acceptables. On a vu se créer des logiques déontiques, des logiques juridiques, et même des logiques épistémiques, qui font d'ordinaire intervenir des opérateurs modaux. C'est dire que la logique, même mathématisée, n'est pas réservée aux mathématiciens, lesquels d'ailleurs sont plus ou moins exigeants, on l'a vu, sur ce qui peut passer pour une loi logique.

Ce bref aperçu sur l'histoire et le développement actuel de la logique appelle, semble-t-il, deux remarques. La première se rapporte à ce qui constitue l'essentiel de la logique formelle depuis Aristote, à savoir l'étude des conditions de validité de l'inférence déductive. Sur ce point, les Anciens différaient, et les Modernes et contemporains font de même, en retrouvant curieusement les anciennes oppositions. De ce point de vue, on ne peut pas dire que la logique change beaucoup. Ce qui a changé, c'est son appareil symbolique, qui s'est heureusement généralisé depuis Pierce et Frege, et qui a permis d'en faire un outil pour toutes les disciplines scientifiques, en particulier pour les mathématiques, ce qu'elle avait cessé d'être. Par conséquent, de ce point de vue, la logique, convenablement repensée, a retrouvé le rôle qu'elle n'aurait jamais dû perdre. La seconde remarque a trait à l'existence de plusieurs logiques, qui est la conséquence de l'impossibilité de s'entendre définitivement sur les fondements mêmes de la logique. Plutôt que de considérer cet état de fait comme une tare, beaucoup y voient une chance pour les recherches logiques. Les intuitionnistes par exemple, qui sont sévères quant à ce qu'ils permettent à leurs collègues mathématiciens, ne prétendent nullement légiférer pour l'extérieur des mathématiques. Chaque discipline, pensent-ils, peut forger sa logique, puisque la logique n'est pas selon eux antérieure aux mathématiques mais, au contraire, postérieure : c'est uniquement la codification des procédés de preuve sur lesquels on peut s'entendre dans un domaine donné. Sur cette lancée, il faut s'attendre à voir proliférer les logiques, comme on le voit aujourd'hui. N'a-t-on pas vu naître, sur un terrain qui semble défier la portée intemporelle des lois logiques, une logique du temps ? Or cette remarquable extension, qui s'efforce d'ordinaire de conserver les acquis, n'est-elle pas le signe que le programme logiciste de fonder les mathématiques sur la logique n'avait rien d'insensé ? Si la chronosophie peut se réduire à une logique du temps, combien plus la géométrie ne devrait-elle pas être considérée comme la logique de l'espace ! N'oublions pas que pour Leibniz, chez qui l'on trouve des affirmations qui

pourraient caractériser tantôt l'un tantôt l'autre des trois âges de la science, « les mathématiques sont une promotion de la logique. » L'extension contemporaine de la logique est donc une invitation à examiner la philosophie des mathématiques et à étudier le programme logiciste de Frege.

## I Le logicisme

L'ambition de Frege ne se bornait pas à rebâtir la logique, elle entendait également fonder les mathématiques sur la logique. Cette ambition est historiquement explicable et elle n'est pas isolée à son époque. Les analystes du XIX<sup>e</sup> siècle, en effet, à partir de Weierstrass, soucieux de se libérer des intuitions trompeuses véhiculées par la géométrie, avaient voulu fonder l'analyse sur l'arithmétique. C'est ce que l'on a appelé l'arithmétisation de l'analyse. Si de plus on parvenait à fonder l'arithmétique sur une logique rénovée, alors toute la pensée rationnelle pouvait être regardée comme une construction homogène de la raison. C'était déjà, à l'époque de Frege, ce qu'avait essayé de faire Dedekind (1831-1916), sans publier ses résultats, en utilisant les notions d'ensemble (ou de système) et de fonction. La tentative de Frege se présente comme assez proche de la conception qu'on a généralement du nombre. Nous voyons en lui une quantité discrète (par opposition à un intervalle continu), qui est identiquement la même dans toutes les collections d'objets dites précisément de même nombre. C'était déjà la position d'Aristote. Ainsi 1 peut être considéré comme la classe de tous les singletons, 2 comme celle de tous les duos, 3 comme celle de tous les trios, etc. En termes plus techniques, Frege dira 1/ qu'une classe est dite semblable à une autre quand elle peut être mise en correspondance biunivoque avec cette dernière, c'est-à-dire si à tout élément de la première correspond un seul élément de la seconde et inversement – ce qui est aujourd'hui la définition d'une application bijective ; 2/ que la classe de toutes les classes semblables est le nombre de chacune de ces classes. On voit que cette définition est parfaitement claire pour les collections qui sont visualisables d'un seul coup d'œil, c'est-à-dire dont les éléments se distinguent facilement les uns des autres (les deux extrémités d'un segment, les trois sommets d'un triangle, les quatre sommets d'un carré...) mais qu'elle n'indique pas comment il faut opérer la correspondance demandée pour des collections riches et désordonnées. Si on introduit un ordre dans de telles collections, on importe du même coup la notion de nombre ordinal, c'est-à-dire celle de successeur, et à partir de cette notion, si l'on se donne 0 ou 1, il est facile de constituer la suite des nombres entiers, en ajoutant son successeur à chaque nombre déjà obtenu. Cela suffit du moins pour constituer une suite finie de nombres. Si l'on veut signifier que la suite est véritablement infinie, alors on ajoute ce qu'on appelle l'axiome d'induction, qui est utilisé dans le raisonnement

par récurrence. C'était ce qu'à l'époque de Frege proposait Peano, en utilisant cinq axiomes. Beaucoup de mathématiciens se reconnaissaient dans ces axiomes et considéraient que la définition de Frege, qui se voulait plus radicale, puisque logique, que celle de Peano, avait l'inconvénient de n'être pas opératoire et de constituer un cercle vicieux si on la rendait opératoire. Il est vrai que, pour retrouver l'équivalent des cinq axiomes de Peano, Frege se livrait ensuite à une construction logique compliquée, qui devait séduire Russell.

À une époque où l'on redécouvrait la logique formelle, et où l'œuvre logique de Frege apparaissait comme une théorie remarquable parmi d'autres, il n'est pas étonnant qu'on ait été séduit par la puissance des formes logiques les plus simples (la relation de similitude entre classes est l'une de ces formes logiques). Russell entreprit donc de bâtir tout l'édifice des mathématiques sur la logique entendue comme la théorie des fonctions de vérité, celle des classes ou ensembles, et celle des quantificateurs. On utilisait en somme l'œuvre de Frege en la plongeant dans l'œuvre toute nouvelle aussi de Dedekind et de Cantor (1845-1918) sur les ensembles finis et infinis. Mais c'était précisément à l'époque où la théorie des ensembles était âprement discutée car elle conduisait à des contradictions. Russell découvrit lui-même l'une de ces contradictions, qui montre que l'attribution d'une propriété à tous les éléments d'un ensemble, et donc à cet ensemble lui-même, qui est si courante en mathématiques, est beaucoup plus délicate qu'il ne semble à première vue. Voici le paradoxe de Russell : parmi les ensembles, on peut distinguer ceux qui ne se comprennent pas eux-mêmes comme éléments, et ceux qui se comprennent comme éléments ; si l'on forme l'ensemble de tous les ensembles qui ne se comprennent pas eux-mêmes comme éléments, il paraît légitime de se demander si cet ensemble lui-même possède la propriété de ne pas se comprendre lui-même comme élément, puisque cette propriété et sa contradictoire sont complémentaires et déterminent une partition sur tous les ensembles. Mais alors apparaît une contradiction qui mérite le nom d'antinomie, puisque la réponse, affirmative ou négative, entraîne la réponse contradictoire. En effet, supposons que cette réponse soit affirmative, alors l'ensemble en question ne peut pas être défini comme l'ensemble de tous les ensembles qui ne se contiennent pas eux-mêmes comme élément, puisque la réponse dit qu'il se contient. Supposons en revanche que la réponse soit négative, alors l'ensemble en question ne peut pas non plus être défini comme l'ensemble de tous les ensembles qui ne se contiennent pas eux-mêmes comme élément, puisque la réponse dit qu'il ne se contient pas. Si l'on invoque le bon sens, on dira qu'il ne faut pas poser cette question. Telle était la solution de Kant aux antinomies métaphysiques qu'il s'était plu à mettre en œuvre. Mais la logique n'est pas la métaphysique ; il faut s'y fier complètement ou l'abandonner. Russell envoya son paradoxe à Frege. Ce dernier s'aperçut que ce paradoxe mettait en cause la technique

logiciste de représentation d'une fonction par son parcours de valeurs – technique dont il avait besoin dans sa reconstruction de l'arithmétique – et, après quelques essais d'éviter la contradiction, il reconnut que c'était impossible. Frege renonça finalement à son programme logiciste et se proposa, vers la fin de sa vie, de fonder l'arithmétique sur la géométrie.

Russell ne se laissa pas décourager par de telles difficultés. Il inventa la théorie des types pour les pallier. Selon cette théorie, les ensembles ou classes forment une hiérarchie à partir des individus (de niveau 0), et un ensemble ne peut appartenir qu'à un ensemble de type immédiatement supérieur, donc un ensemble ne peut appartenir à lui-même ni à une classe inférieure. Malheureusement, cette théorie des types, qui rappelle la solution de bon sens, est d'une grande incommodité dans la reconstruction des mathématiques. Pour surmonter de telles difficultés, Russell abandonna les exigences posées dans la théorie des types et posa l'axiome de réductibilité, selon lequel toute proposition mathématique s'exprime dans la logique du premier ordre (sans prédicat de prédicat). Or, cette procédure contrevient directement au programme logiciste de reconstruction des mathématiques à partir de la logique, comme l'a montré Ramsey. Ce programme avait été précisé, entre-temps, par Wittgenstein pour qui, à cette époque, les théorèmes mathématiques devaient être, comme les lois logiques, de pures tautologies, vides de tout contenu. Si l'on ajoute que Russell dut ajouter à l'axiome de réductibilité l'axiome de l'infini, qui permet de considérer des ensembles infinis, mais qui n'a rien de logique, et l'axiome de choix, fort discuté à cette époque, qui permet de former un ensemble à partir d'ensembles qui n'auront chacun qu'un élément en commun avec l'ensemble formé, sans donner de règle de choix, on voit que l'édifice des *Principia Mathematica*, publiés conjointement par Russell et Whitehead dans les années 1910-1913, dépassait singulièrement le programme logiciste, et en manifestait surtout l'extrême difficulté.

## II. – Le formalisme

Le programme formaliste est né de la volonté des mathématiciens qui ne voulaient pas être chassés, selon l'expression de Hilbert, du « paradis que Cantor leur avait conquis. » Ces formalistes, qui ne pouvaient qu'accueillir une logique formelle adaptée aux besoins des mathématiciens, n'adhéraient pas, pour autant, au programme logiciste. La construction de Russell leur apparaissait inutilement lourde et compliquée, d'autant plus que, dès 1908, le mathématicien Zermelo fournissait une liste de sept axiomes pour systématiser la théorie dite naïve de Cantor et de Dedekind. Cette liste fut complétée par Fraenkel en 1922, et le système de Zermelo-Fraenkel,

comprenant neuf axiomes, est le plus communément utilisé par les théoriciens de la théorie des ensembles. Ces axiomes étaient évidemment choisis de telle sorte qu'on ne puisse en dériver des contradictions, notamment en limitant la possibilité de former un ensemble à partir d'une quelconque propriété. Mais une telle procédure paraissait trop arbitraire à nombre de mathématiciens et ce qu'on a appelé « la crise des fondements » n'était pas résolue. Heureux les mathématiciens du XVII<sup>e</sup> siècle qui pouvaient s'autoriser d'évidences rationnelles ! Après l'apparition des géométries non euclidiennes, les perfectionnements de l'analyse, et les disputes sur ce qu'autorisait le concept d'ensemble, cette attitude n'était plus suffisante. L'idée d'Hilbert fut que, tout en laissant les mathématiques se développer dans leurs diverses branches, il fallait assurer leurs fondements par une démonstration de la consistance, c'est-à-dire de la non-contradiction de leurs axiomes fondamentaux. Il fallait donc concevoir une métamathématique, qui serait également une théorie de la démonstration. Certes, les premiers travaux qui allaient dans ce sens étaient un peu troublants. Ainsi, Löwenheim, dès 1915, montra que la théorie des ensembles de Zermelo était non catégorique, c'est-à-dire que, conçue pour s'appliquer à des ensembles infinis de différents degrés, tels que les avait conçus Cantor, elle avait un modèle, c'est-à-dire une réalisation, dans un ensemble au plus dénombrable. Plus tard, Skolem devait utiliser le théorème de Löwenheim pour démontrer que l'axiomatique de l'arithmétique était elle-même non catégorique. Pour Hilbert, il fallait éviter les doutes quant à l'utilité de l'édifice construit par Cantor et ses successeurs théoriciens des ensembles, en empruntant la voie du formalisme. C'est par là que le programme formaliste s'apparente au programme logiciste, au point de ne pas s'en distinguer pour certains. Au lieu de raisonner sur des êtres mathématiques, disait Hilbert, il faut raisonner sur des signes privés de toute signification : on leur donnera, comme on le fait dans les axiomatiques plus intuitives, des règles d'assemblage, on proposera des axiomes, et, à l'aide de règles d'enchaînement bien explicitées, on calculera les théorèmes. C'est l'idée d'un système formel, où toutes les opérations sont formalisées et n'impliquent pas de contenu. Cependant, cette formalisation des principes des mathématiques n'est qu'un aspect du programme formaliste. L'autre aspect consiste à n'admettre que des « procédés finitistes », qui aboutissent en un nombre limité d'étapes, et qui limitent donc le raisonnement par récurrence à une induction finie. Ce deuxième aspect constituait une concession à l'égard de ceux qui dénonçaient les facilités logiques que se donnaient les ensemblistes (par exemple, si ceux-ci utilisaient l'axiome du choix), et, en particulier à l'égard des intuitionnistes, qui refusaient une démonstration d'existence par l'absurde. Hilbert exigeait que les démonstrations d'existence fussent constructives. On voit en quel sens cette métamathématique était une théorie de la démonstration. Elle en précisait toutes les conditions, et en proposait le but : établir la consistance, c'est-à-dire la non-contradiction, et la complétude, c'est-à-dire la capacité de prouver

que toute proposition correctement formée est vraie ou fausse, des théories fondamentales des mathématiques, en particulier de l'arithmétique. C'est ce programme qui fut mis sur pied dans les années 1920-1930.

Qu'en est-il advenu ? Les premiers résultats furent encourageants. Des étudiants de Hilbert avaient démontré la consistance et la complétude du calcul des propositions. En 1930, Gödel prouva même la complétude du calcul des prédicats de premier ordre. Mais en 1931 arriva la catastrophe : Gödel faisait connaître deux résultats sensationnels qui allaient bouleverser l'horizon de la philosophie mathématique et du courant formaliste. D'après le premier théorème de Gödel, toute théorie formelle assez puissante pour pouvoir englober la théorie des nombres entiers, si l'on accorde sa consistance, est nécessairement incomplète ; d'après le deuxième théorème, qui s'appuie sur le premier, toute théorie de cette espèce ne peut être prouvée consistante. Il est vrai qu'en 1936 Gentzen, qui appartenait à l'école hilbertienne, put établir la consistance de l'arithmétique en recourant à l'induction transfinie ; c'était évidemment au prix de recourir à des moyens qui excédaient de beaucoup ceux dont s'était servi, conformément aux préceptes d'Hilbert, Gödel lui-même. Ce dernier s'était borné à traduire les énoncés de sa métamathématique dans l'arithmétique formalisée dont il pouvait disposer, en recourant à la technique dite des nombres de Gödel. On a parlé à ce propos d'arithmétisation de la syntaxe (la syntaxe appartient à la métamathématique d'une théorie formelle). La leçon des résultats de Gödel, c'est que toute théorie mathématique suffisamment riche pour pouvoir formaliser l'arithmétique est incapable d'établir sa consistance. Voilà qui éloigne définitivement, semble-t-il, toute théorie mathématique de la logique des propositions et de celle des prédicats de premier ordre. De nos jours, la théorie des catégories et la théorie des topoi sont en droit de revendiquer une universalité égale à la théorie des ensembles et fournissent, semble-t-il, une grammaire plus adaptée à la riche diversité des sciences mathématiques. Mais les théorèmes de limitation, dûs essentiellement à Gödel, pèsent sur toute théorie qui voudrait reprendre l'idéal d'Hilbert.

### III. - L'intuitionnisme

Pour les intuitionnistes, les résultats de Gödel n'étaient pas surprenants. Aux formalistes, ils pouvaient faire remarquer, de façon presque désobligeante : « Nous vous l'avions bien dit ! » En effet, leur chef de file, L. E. J. Brouwer (1881-1966), connu par ses contributions à la topologie, n'avait cessé de dénoncer la confusion que commettaient les formalistes entre les mathématiques

réelles, qui sont toujours constructives, et les théories formalisées, qui ne veulent pas savoir de quoi elles parlent. S'adressant à Hilbert, il lui demandait d'être attentif à quatre remarques. La première, c'est que la construction d'une mathématique formalisée n'a rien à voir avec la reconstruction intuitionniste des mathématiques, qui se base sur la théorie intuitive des entiers naturels. La deuxième, c'est que l'examen du principe du tiers exclu est indispensable pour toute recherche sur les fondements des mathématiques, et que, pour les intuitionnistes, la validité du principe est bornée aux systèmes finis. La troisième, c'est que la reconnaissance du principe de tiers exclu s'identifie avec le postulat de la possibilité de résoudre tout problème mathématique. La quatrième, c'est que la tentative de justifier la mathématique formalisée par la preuve de sa non-contradiction repose sur un cercle vicieux, car elle veut dire que toute affirmation qui n'implique pas contradiction est vraie ou valide, c'est-à-dire qu'elle postule justement la validité du principe du tiers exclu. Il est difficile de porter une critique plus incisive, et plus justifiée par la sanction historique que subit le programme formaliste, du moins dans sa forme hilbertienne. Pour Brouwer, entre les deux façons possibles de fonder les mathématiques auxquelles il est fait allusion dans la première remarque, le choix ne pouvait se faire qu'en faveur de la seconde : « Le seul fondement possible pour les mathématiques doit être cherché dans ce processus constructif, dirigé par l'obligation de distinguer avec réflexion, raffinement et culture, celles des idées qui sont acceptables à l'intuition, évidentes à l'esprit, et celles qui ne le sont pas. » La suite potentiellement infinie des nombres entiers est une évidence pour Brouwer, mais les ensembles infinis en acte de Cantor ne le sont pas. Il admettait cependant des irrationnels, définis par des suites de rationnels sans aucune loi de formation, des « séries de choix libre », et retrouvait ainsi l'ensemble des nombres réels. Mais l'analyse qu'il reconstruisait, par l'obligation qu'il se faisait de ne pas appliquer le principe du tiers exclu aux ensembles infinis, était tout autre que l'analyse classique. Ni le théorème de Bolzano-Weierstrass, ni celui de Borel-Lebesgue n'y figuraient. C'était demander aux mathématiciens de sacrifier beaucoup de leurs théorèmes les plus puissants. On se doute que ni Borel, ni Lebesgue, mathématiciens français qui avaient manifesté une certaine opposition à l'axiome de choix des ensemblistes, n'étaient prêts, pour autant, à endosser la tunique intuitionniste. Quant à Poincaré, qui mettait « l'intuition du nombre pur » aux fondements de l'arithmétique, il approuvait, de ce côté, Brouwer ; mais il reconnaissait en revanche l'intérêt de la méthode axiomatique et du principe du tiers exclu, par conséquent la validité du raisonnement par l'absurde. Son conventionnalisme en géométrie (et en physique théorique) l'écartait du programme intuitionniste, duquel il restait cependant assez proche. Pour Brouwer, en effet, ce programme s'arrêtait à l'analyse et ne pénétrait pas en géométrie qui, supposant l'espace, échappait pour autant au plein contrôle de l'esprit et ressortissait aux sciences physiques. On voit que l'intuitionnisme représente la rigueur

mathématique, s'adossant à celle des nombres entiers, et défiant une autre rigueur, qui serait purement logique. Les intuitionnistes voulaient savoir de quoi ils parlaient et atteindre par là à la certitude du vrai. La rançon de cette rigueur, prise de façon exclusive, est une certaine inaptitude à recouvrir le champ des mathématiques classiques. La rançon du logicisme est l'impossibilité constatée de rejoindre même les bases les plus sûres de l'arithmétique. Quant à la rançon du formalisme, on a vu qu'elle consiste à ne satisfaire personne et à laisser les mathématiciens courir leur aventure à leurs risques et périls.

#### IV. – Le réalisme platonicien

L'importance attribuée à l'intuition plutôt qu'à la logique rapproche l'intuitionnisme d'une autre philosophie des mathématiques, qui est plus traditionnelle que les trois premières qui ont été évoquées jusqu'ici, et à laquelle tenaient en général les mathématiciens du XVII<sup>e</sup> siècle. Cette philosophie est le platonisme, pour lequel il existe une réalité mathématique indépendante de la façon dont les mathématiciens l'abordent au cours des âges. Cette philosophie a été celle de celui que l'on considère comme le plus grand logicien mathématicien du XX<sup>e</sup> siècle, Kurt Gödel. Ce dernier, qui connaissait tous les arguments logicistes, formalistes et intuitionnistes, déclarait cependant : « Malgré leur éloignement de l'expérience sensible, nous avons une certaine perception des objets de la théorie des ensembles : les axiomes s'imposent à nous comme étant vrais. Je ne vois pas de raison d'avoir moins de confiance dans ce type de perception, c'est-à-dire dans l'intuition mathématique, que dans la perception sensorielle... De plus, ils représentent un aspect de la réalité objective. » Cette position a l'avantage d'attirer l'attention sur deux caractères des objets mathématiques que les autres écoles n'envisagent pas avec la même insistance : leur caractère strictement idéal d'un côté, leur applicabilité à l'expérience physique de l'autre.

Examinons d'abord le premier caractère. Nous savons que le platonisme vulgaire est la philosophie spontanée de tout mathématicien. Celui-ci considère que les nombres, les fonctions, etc., existent indépendamment de la compréhension qu'il en a et qu'il ne cesse de perfectionner s'il y travaille. La différence d'époque ne rend pas les mathématiciens étrangers les uns aux autres ; ceux d'aujourd'hui, comme on l'a dit, peuvent considérer comme des « collègues » les mathématiciens grecs, pourvu, bien sûr, qu'ils entrent dans leur problématique. Pourtant, c'est en raison de l'importance de cette problématique, qu'il est nécessaire de reconstituer pour rendre justice à chaque époque, qu'on peut concevoir une certaine suspicion à l'égard de ce platonisme

vulgaire. La richesse de la tradition transmise constitue tellement le terrain de notre apprentissage des mathématiques que nous en épousons le contenu, et que, pour l'expliquer, nous cherchons seulement à saisir les routes essentielles qui ont permis de l'acquérir. À cet égard, les trois écoles plus haut mentionnées s'efforcent de répondre à cette question qui est justifiée, même si les platoniciens la jugent superficielle.

Or, ce qui est frappant chez Platon, c'est qu'on y trouve déjà la réponse à l'objection qu'on vient de soulever à l'encontre du platonisme vulgaire. Car Platon ne place pas les objets du mathématicien dans le « monde des essences et des formes. » Il les place dans un monde intermédiaire qui participe des essences, mais ne le constitue pas. L'image de ce monde intermédiaire est fournie par les marionnettes, actionnées par des dieux, que les prisonniers de la caverne doivent, dans l'allégorie, dépasser avant d'arriver au jour plein. Cela veut dire que le nombre du mathématicien n'est pas le vrai nombre – affirmation qui scandalisait Aristote. La théorie des nombres idéaux, que nous connaissons seulement par le témoignage de ce dernier, a été prise au sérieux, au XX<sup>e</sup> siècle, par Albert Lautman, un philosophe français spécialisé dans les mathématiques. Lautman a vu dans cette théorie, que le témoignage d'Aristote nous permet de reconstituer, une métamathématique bien différente de celle d'Hilbert. Cette métamathématique platonicienne ne se préoccupe pas de justifier les théories mathématiques mais d'en expliquer la genèse par la dialectique de certaines idées (fini/infini ; continu/discontinu ; même/autre ; symétrique/dissymétrique...). De cette façon, la réalité mathématique prend une profondeur que Lautman décrit de la manière suivante : « On peut définir la nature de la réalité mathématique de quatre points de vue différents : le réel, ce sont tantôt les faits mathématiques, tantôt les êtres mathématiques, tantôt les théories et tantôt les idées qui dominent ces théories. Loin de s'opposer, ces quatre conceptions s'intègrent naturellement les unes dans les autres : les faits consistent dans la découverte d'êtres nouveaux, ces êtres s'organisent en théories et le mouvement de ces théories incarne le schéma des liaisons de certaines Idées. » Ainsi l'aspect historique des mathématiques, qu'on ne saurait dénier, se trouve éclairé par en haut, justifié par une « logique » supramathématique, faite de « schèmes de structure », qui hantent l'esprit des mathématiciens créateurs.

Le deuxième caractère de l'objectivité mathématique, c'est son application à la réalité empirique. Là encore, Platon a ouvert la voie en imaginant, dans le *Timée*, le démiurge fabriquant le monde en contemplant les Idées et en s'efforçant d'imiter leur perfection. Ce n'était qu'un mythe comme celui de la Caverne, mais les mythes sont la meilleure façon d'introduire à une philosophie. La

révolution scientifique du XVII<sup>e</sup> siècle a considéré ce mythe comme une révélation. Le mathématicien Hermite, qui s'exprime parfois comme un platonicien vulgaire, a trouvé, en plein XIX<sup>e</sup> siècle, une interprétation profonde des deux mythes platoniciens. Il propose, en effet, leur foncière identité de contenu : « Il existe, si je ne me trompe pas, un monde formé d'un ensemble de vérités mathématiques auquel nous n'avons accès qu'au moyen de notre intelligence, comme dans le cas du monde de la réalité physique ; l'un et l'autre sont indépendants de nous, tous deux sont des produits de la création divine qui nous paraissent distincts en raison de la faiblesse de nos esprits, mais qui sont une seule et même chose au regard d'une pensée plus puissante. La synthèse de ces deux mondes se révèle partiellement dans la merveilleuse correspondance entre les mathématiques abstraites d'une part et toutes les branches de la physique de l'autre. » Cette doctrine de l'identité des deux mondes, celui dont nous esquissons les formes et celui dont nous recevons l'empreinte à travers la perception sensible, a été reprise aujourd'hui par un autre mathématicien, René Thom, qui voit une seule dynamique à l'origine de toutes les formes, qu'elles soient en nous ou hors de nous : « La dynamique intrinsèque de notre pensée n'est pas fondamentalement différente de la dynamique agissant sur le monde extérieur. » La question, en effet, est de faire disparaître l'étrangeté de la correspondance, soulignée par Einstein, entre des idées abstraites et des processus concrets, alors qu'il est clair que les premières ne dérivent pas des seconds. Hermann Weyl, qui était intuitionniste dans sa philosophie des mathématiques pures, devenait platonicien, dans sa philosophie des mathématiques appliquées. Il croyait à « une harmonie inhérente à la nature qui se réfléchit elle-même dans nos esprits. » Mais c'est encore Lautman qui a exprimé avec le plus de justesse, semble-t-il, cette harmonie cachée, qu'il est difficile de mettre en rapport avec l'histoire des découvertes : « Les matériaux dont est formé l'univers ne sont pas tant les atomes et les molécules de la théorie physique que ces grands couples de contraires idéaux comme le Même et l'Autre, le Symétrique et le Dissymétrique, associés entre eux selon les lois d'un harmonieux mélange. » Aujourd'hui, la théorie des particules élémentaires et des supercordes serait une meilleure illustration à cette position de Lautman que les exemples qu'il pouvait produire lui-même. C'est qu'il n'y a pas d'explication qui pourrait rendre compte de cette efficacité « déraisonnable », selon le mot du physicien Wigner, des mathématiques sur la réalité physique. Elle frappe et elle séduit, comme cette beauté, dont aucun théoricien des mathématiques ne peut donner raison, mais qui n'en constitue pas moins un indice frappant d'une réalité profonde. Que cette beauté ne soit pas seulement intérieure aux mathématiques pures, mais qu'elle s'exprime également dans les théories de la physique mathématique, est une raison de plus pour tenir les mathématiques comme une expression, non seulement de la raison humaine, mais d'une raison transcendante à l'œuvre dans l'Univers. C'est pourquoi, alors que le logicisme et le formalisme rendent sensible la

raison humaine dans son langage propre, l'intuitionnisme et le platonisme rendent davantage manifeste une raison créatrice dont l'Univers est un langage qui, comme le pressentait Galilée, est en grande partie accessible à notre langue mathématique.

---

## 4 La méthodologie et les sciences physiques |

Il n'y a pas de science sans méthode. Les mathématiciens grecs le savaient, qui distinguaient l'analyse et la synthèse. La première consistait, pour eux, à remonter vers les conditions qui rendaient un résultat assuré ; la deuxième faisait le chemin inverse, en redescendant de ces conditions ou hypothèses vers le même résultat. La méthode axiomatique moderne repose encore sur cette double démarche. Cependant, les mathématiciens modernes, qui sont habitués à procéder de différentes façons pour atteindre un résultat, entendent aussi par méthodes des procédés plus particuliers ; ainsi la méthode des limites ou celle des infiniment petits en analyse, les méthodes algébriques en topologie ou les méthodes topologiques en algèbre, etc. Mais ces méthodes ont besoin elles-mêmes d'être fondées d'une façon axiomatique, si bien que les procédés généraux d'analyse et de synthèse gardent en mathématiques l'importance qu'ils avaient déjà chez Euclide.

En est-il de même dans les sciences empiriques, qui se proposent d'expliquer les phénomènes qui se produisent dans l'expérience, et, si possible, de les prévoir ? Si l'on considère que ces sciences ne sont que des applications des mathématiques, ou même de la géométrie, comme le pensait Descartes, alors les mêmes procédés valent dans toutes les sciences. On sait que le Discours de la méthode encadre les deux règles centrales, inspirées par l'analyse et la synthèse mathématiques, par la règle d'évidence imposée aux principes premiers (1<sup>re</sup> règle) et par le dénombrement de tous les cas d'un même genre (4<sup>e</sup> règle). Or, l'histoire montre qu'il y a des évidences trompeuses, et, d'autre part, plus on étudie la nature, plus on s'aperçoit qu'elle ne se prête pas « à des revues si générales que l'on soit assuré de ne rien omettre ». Si essentielle que soit l'utilisation de méthodes mathématiques pour la physique moderne, il est clair de plus que l'intuition physique est différente de l'intuition mathématique, si l'on entend par la première la faculté de saisir les concepts physiques fondamentaux. À cet égard, Galilée et Newton ont surpassé définitivement Descartes. Il est d'ailleurs rare qu'un esprit soit également doué pour l'intuition mathématique et pour l'intuition physique, même si la seconde emprunte nécessairement le langage mathématique.

Or, de même qu'il y a des épistémologues qui nient l'intuition mathématique, ou qui, du moins, ne lui accordent pas un rôle essentiel dans la science, ainsi en est-il, et ce sont généralement les mêmes, qui nient l'intuition physique. Ils ne nient pas, pour autant, que les théories physiques se présentent, comme les théories mathématiques, sous forme axiomatique. Ils prétendent seulement que le contenu non strictement mathématique de ces théories est obtenu par induction à partir de

la connaissance sensible.

L'induction se caractérise par le passage du particulier au général. Ce qu'on a constaté dans un cas ou plusieurs, on en fait un concept ou une loi générale. Il est clair que la connaissance commune procède très souvent de cette façon. Et d'ordinaire avec grand succès. Les catégories et les classifications, que relèvent les dictionnaires, les grammaires, les manuels d'enseignement et qu'étudient ceux qui s'intéressent aux ethnosciences, sont les meilleurs témoignages de ces capacités universelles de l'esprit humain. Elles montrent que ce dernier est capable de reconnaître des espèces et des genres, des qualités et des dispositions, d'une manière qui est étonnamment semblable chez tous les peuples. Un grand zoologue contemporain a même remarqué que les Pygmées d'Afrique possèdent une classification d'une famille d'insectes peu différente de la sienne. Il faut en conclure que la capacité de remarquer les ressemblances et les différences est une propriété de l'intelligence humaine, qui est développée par l'existence d'une tradition, et qui s'accroît par l'exercice personnel.

Les épistémologues, qui sont sceptiques sur les capacités intuitives de l'intelligence, estiment que les sciences empiriques reposent sur des démarches inductives qui ne se distinguent de celles dont use la connaissance commune que par davantage de rigueur et de méthode. Dans son *Novum Organum*, qui voulait être un traité de méthodologie de la science moderne, F. Bacon, au XVII<sup>e</sup> siècle, proposait de classer les faits sur lesquels toute science doit reposer par des tables de présence, d'absence et de degré. Il serait difficile de trouver une seule découverte scientifique importante qui ait été obtenue par l'observation de règles aussi abstraites. Plus intéressant est l'accent que Bacon mettait sur l'expérimentation, distinguée de l'observation pure et simple, et servie par des instruments issus des progrès techniques. Grâce à l'expérimentation, disait Bacon, la nature est mise « à la question », de la même façon qu'un juge contraint un détenu à avouer son crime ou à livrer des renseignements (et, doit-on ajouter, d'une façon moins choquante humainement). Pour que l'expérimentation permette de procéder à une induction scientifique, Stuart Mill a proposé, au XIX<sup>e</sup> siècle, ses quatre célèbres méthodes : méthode de concordance, méthode de différence (ou de contre-épreuve), méthode des variations concomitantes, méthode des résidus. Il faut reconnaître que ces méthodes décrivent, en effet, une pratique expérimentale soucieuse de rigueur, mais elles servent davantage à tester une hypothèse qu'à fabriquer cette dernière, en quoi devrait consister l'induction scientifique.

Pour instituer de façon méthodique une hypothèse, il faudrait disposer d'une logique inductive. Les épistémologues empiristes du XX<sup>e</sup> siècle ont cru trouver cette logique inductive dans un certain usage du calcul des probabilités. Ils retrouvaient ainsi une ambition manifestée par certains auteurs du XVIII<sup>e</sup> siècle, visant à déterminer la probabilité des causes. Le théorème de Bayes (publié en 1763) affirme par exemple, en se fondant sur les lois de la probabilité conditionnelle, que la probabilité d'une cause (prise dans l'ensemble des causes possibles pour un événement déterminé) est égale au produit de la probabilité a priori de cette cause par la probabilité conditionnelle de l'événement déterminé relative à cette cause, divisé par la somme des probabilités conditionnelles de cet événement calculées pour toutes les causes possibles du même événement. Ce théorème a une signification intemporelle et ne distingue nullement parmi ses variables celles qui se réfèrent au passé et celles qui se réfèrent au présent. Mais, dans l'usage qu'on en fait, il faut bien assigner une signification à la probabilité a priori ; on en fait généralement le résultat de la connaissance acquise, et, plus précisément, d'un tableau statistique. On pourra alors parler d'une probabilité statistique. Quant à la probabilité a posteriori, celle qu'on s'estime en droit de calculer après l'occurrence de l'événement déterminé, elle résulte d'un simple raisonnement, celui qu'on peut faire dans le cas très exceptionnel où toutes les causes possibles sont connues, leur causalité a priori estimable, et estimable également la probabilité conditionnelle de tel effet pour telle cause supposée réalisée. On pourra alors parler d'une probabilité logique. Dans la plupart des cas, on ne se trouve pas devant des situations aussi discernables, et l'idée est venue d'utiliser la probabilité statistique obtenue en recensant le nombre de fois où tel événement s'est trouvé associé à tel autre, comme une probabilité inductive qui permet d'attendre tel événement chaque fois que tel autre est décelable d'une façon ou d'une autre.

On voit qu'il y a bien des façons de relier la notion mathématique de probabilité à l'expérience. Entre les deux guerres mondiales se sont fait jour différentes conceptions de la probabilité, au moment même où le calcul des probabilités recevait une formulation axiomatique de la main de Kolmogorov. Ces conceptions trouvaient, à juste titre, insatisfaisante la conception dont s'étaient contentés les mathématiciens classiques, en particulier Laplace et Cournot. Chez ces derniers, la probabilité d'un événement est définie comme le rapport du nombre de cas (ou chances) favorables à cet événement au nombre de cas équipossibles dans l'univers où l'on se place. Cette dernière conception s'applique bien dans des cas simples et artificiels, tels que jeux de dés ou de cartes, tirages de boules à partir d'urnes qui les contiennent. Mais la nature, à laquelle on avait commencé à appliquer le calcul des probabilités au cours du XIX<sup>e</sup> siècle (théorie de la mesure, mécanique statistique), ne nous offre pas des situations aussi facilement maîtrisables. D'une façon qui est

cohérente avec l'analyse de la causalité proposée par Hume, selon laquelle le lien de causalité n'est que l'habitude que nous avons contractée d'associer tel événement à tel autre, des auteurs ont proposé de définir la probabilité par la fréquence. Les classiques n'avaient pas méconnu le lien entre probabilité et fréquence, mais ils n'avaient exprimé ce lien, grâce au théorème de Bernoulli, que par l'intermédiaire de la notion même de probabilité, ce qui excluait que la fréquence puisse définir la probabilité. Les auteurs qui ont franchi ce pas sont, au XX<sup>e</sup> siècle, le mathématicien von Mises et le philosophe Reichenbach. Ils se sont heurtés à de grandes difficultés théoriques. D'autres auteurs, inspirés par la logique dont use le calcul des probabilités, ont envisagé, au contraire, la probabilité comme une implication affaiblie entre deux énoncés ; tels furent, en particulier, l'économiste J. M. Keynes, le géophysicien Jeffreys et le philosophe Carnap. Aucune application satisfaisante n'en est résultée. Parallèlement, les méthodes statistiques se sont beaucoup développées, grâce surtout au généticien Fisher. À considérer les règles qui sont assorties à l'usage des tests statistiques, on s'aperçoit que ce qu'on a appelé plus haut probabilité statistique et probabilité logique est tout à la fois requis pour la bonne intelligence de ces tests. Mais ces tests fournissent-ils une probabilité inductive qui ait une valeur supérieure à la généralisation dont use la connaissance commune et qui puisse caractériser la méthode scientifique expérimentale ?

À cette question, on sait que Karl Popper a fourni une réponse négative, en s'appuyant sur de bonnes raisons. « La logique des probabilités, a-t-il écrit, ne nous permet pas de conclure, à partir de la prémisses connue, à une conclusion inconnue. » Autrement dit, le calcul des probabilités est analytique (on dit d'une démarche qui se borne à développer ce qui est contenu dans son point de départ qu'elle est « analytique » ; ce terme s'oppose alors à « synthétique » qui désigne alors une démarche opérant un rapprochement nouveau, une synthèse dans le sens que la chimie a mis notamment en honneur et qui était déjà apparent dans ce que Kant appelait un « jugement synthétique ») ; il n'y a pas de logique inductive. Même quand il s'agit des tests les plus banals, il faut inventer l'hypothèse qui sera mise à l'épreuve, si du moins l'on se propose d'accroître la connaissance. Il n'y a pas d'intérêt à vérifier ce qui est déjà établi. C'est à partir d'une question controversée qu'il faut inventer le bon test, celui qui pourra avoir une issue négative. À la place d'une prétendue logique inductive, Popper propose une méthodologie falsificationniste. Car il faut s'ingénier à mettre en défaut l'hypothèse inventée. Si l'hypothèse résiste à toutes les tentatives qu'on a faites pour la réfuter, elle se trouve corroborée. La science ne doit viser à rien de plus, mais aussi à rien de moins. S'il y a un progrès en science, c'est par la dénonciation des erreurs, non par la confirmation de l'acquis, qui est toujours provisoire et susceptible de révision.

Remarquons que la méthodologie poppérienne n'est nullement contradictoire avec la méthodologie des tests statistiques. Un précepte de cette dernière méthodologie consiste à dire, en effet, qu'il faut vérifier l'hypothèse alternative (c'est-à-dire contradictoire) à celle qu'on estime correcte, car une réponse négative est toujours plus instructive qu'une réponse positive : la dernière autorise tandis que la première exclut. Si l'on s'accorde le principe du tiers exclu, qui est moins objectable en physique qu'en mathématique, puisque, au plan phénoménal du moins, tel état de choses a lieu ou n'a pas lieu sans tierce solution, alors la fausseté de l'hypothèse contradictoire à l'hypothèse supposée correcte implique la vérité de cette dernière hypothèse. En ce sens, il est vrai que la méthodologie des tests fait un ample usage de la logique, mais de la logique déductive, selon la conception qu'on se fait universellement de la logique en dehors de la tradition empiriste. Cela n'implique nullement l'inutilité des tests pour traiter toute l'information disponible, car le raisonnement intuitif est vite perdu dans les situations qui comportent de l'incertitude et du hasard (qu'on ne peut exclure dans les situations expérimentales), et le scientifique a besoin de procédures qui, dans certaines limites, l'assurent que les résultats obtenus ne sont pas dus au hasard, c'est-à-dire à un concours momentané de facteurs non décelables empiriquement ou non maîtrisables théoriquement. En ce sens, on peut dire que les méthodes statistiques sont un auxiliaire utile, voire indispensable, à l'induction scientifique.

Est-ce à dire que la statistique, munie de toutes ses règles logiques, puisse servir de fondement à une science de la nature ? Ce serait confondre l'existence de corrélations empiriques, que la statistique permet de cerner, avec l'existence de liens de causalité. Une philosophie d'inspiration humienne tend à les confondre. Mais elle méconnaît alors la visée profondément réaliste de la science. Ce qui intéresse celle-ci, ce ne sont pas des régularités empiriques sur lesquelles elle pourrait déposer l'arsenal de ses outils mathématiques, quitte à désespérer d'une adéquation toujours mise en défaut ; c'est de trouver l'ensemble de concepts adéquats à traiter ces régularités. Quand ces concepts sont trouvés, on dispose d'une théorie et l'on peut formuler des lois capables de capter le contenu de telles régularités. Le détour par la théorie n'est donc nullement superflu. Et quand cette théorie n'est pas en cause, mais seulement la loi formulable dans le cadre de cette dernière, encore faut-il trouver l'hypothèse qui s'ajuste à la régularité constatée et qui deviendra loi si elle est confirmée. Un détour théorique est donc toujours nécessaire. Il constitue le moment proprement dit de l'induction scientifique. Pour désigner ce moment, Pierce avait proposé le terme d'abduction, qui a le mérite de manifester le caractère nécessairement abstrait du lien qu'on croit avoir découvert entre les phénomènes, et la possibilité qu'il propose d'en déduire des conséquences vérifiables expérimentalement. Popper, de son côté, parle de conjecture. Une conjecture éclaire une situation

d'une façon neuve et se prête à une mise à l'épreuve. Voilà le propre de l'induction scientifique, et le moyen qu'elle se donne pour atteindre, à travers une théorie et des lois, des liens de causalité reconnaissables dans l'expérience. On s'aperçoit ici que le concept scientifique de « cause », pour autant qu'il se trouve subordonné à celui de théorie et de loi, diffère de la notion de cause utilisée dans l'expérience commune.

Il n'y a donc pas de raison de s'étonner que les scientifiques aient fait, en général, bon accueil à la méthodologie poppérienne. Ils y retrouvaient à la fois une relation suffisamment fidèle de leurs démarches effectives et l'expression de l'idéal qui donne à la science sa valeur comme mode de connaissance. On peut évidemment se demander s'il est possible d'atteindre simultanément ce double objectif. S'il s'agit des démarches effectives, on dira, par exemple, que le cours de la science est, chez Popper, un peu idéalisé : les scientifiques sont plus portés d'ordinaire à confirmer leurs hypothèses qu'à les réfuter. Cependant, comme leurs collègues se chargent d'ordinaire, à leur place, de cette réfutation éventuelle, il en résulte que, tout compte fait, à travers discussions et controverses, la communauté scientifique est en mesure de trancher, du moins pour un temps. On admettra donc que le chercheur assujéti à la Logique de la découverte scientifique, proposée par Popper, est davantage la communauté scientifique en tant que telle qu'un chercheur individuel. Cependant, comme le chercheur se plie d'ordinaire volontiers aux règles de la discussion scientifique, et qu'il ne se conçoit pas lui-même sans cette communauté à laquelle il doit appartenir pour faire reconnaître son travail, il n'y a pas lieu d'accentuer, de ce point de vue, l'écart inévitable entre l'idéal et la réalité. Seuls les empiristes purs s'offusquent d'un tel écart, mais ils doivent alors se contenter, s'ils sont logiques, du scepticisme de Hume.

C'est d'un autre point de vue que la méthodologie poppérienne peut révéler, semble-t-il, une certaine insuffisance. Comme l'idéal de la science qu'elle traduit, elle se veut réaliste. Le réalisme ici consiste à soutenir non seulement qu'il existe, comme le reconnaissait Kant, une réalité « en soi », c'est-à-dire indépendante de l'esprit humain qui en prend connaissance, mais que cette réalité possède elle-même les traits que lui confère, grâce à la science, l'esprit humain. En d'autres termes, le réalisme consiste à soutenir que la merveilleuse correspondance entre les théories scientifiques et la réalité empirique, sur laquelle on a vu déjà les mathématiciens s'interroger, n'est pas seulement une chance heureuse préservée par un mécanisme de sélection naturelle, mais le signe d'un accord plus profond entre la raison humaine et une certaine logique présente dans l'Univers. Si l'on refuse de reconnaître la présence d'un tel signe, alors le réalisme dont on se targue est plutôt du

pragmatisme : est vrai ce qui réussit. Quand Popper refuse un monde platonicien des essences et se réclame d'un nominalisme (doctrine qui réduit le concept à l'usage du nom qui le désigne) méthodologique, il fait preuve de pragmatisme plus que de réalisme. En revanche, quand il reconnaît l'existence d'un « monde 3 », celui de la culture et des théories scientifiques, distinct d'un « monde 2 », celui des états mentaux, et, à plus forte raison, d'un « monde 1 », celui de la réalité empirique, Popper fait un pas vers le platonisme. On voit qu'il est impossible d'examiner l'idéal de la science (un idéal sans lequel la science elle-même est mise en péril quant à son statut de connaissance) sans aborder des questions métaphysiques. De ce point de vue, la méthodologie poppérienne est un peu indécise. D'un côté, elle récuse tout dogmatisme et demande à la science de tendre toujours à sa propre critique. D'un autre côté, par souci de réalisme, elle reconnaît que les théories scientifiques sont dotées, sinon de vérité, du moins de « vérisimilitude. » Elle a même proposé des critères pour ordonner la vérisimilitude des différentes théories concurrentes, mais ces critères n'ont pas été reconnus logiquement opérants. Il semble que la vérisimilitude poppérienne relève de l'évaluation des théories, pour laquelle Cournot avait jadis proposé de faire appel à une notion non mathématisable de probabilité. Un « probabilisme philosophique » semble donc une position réaliste qui se maintiendrait à égale distance du dogmatisme et du scepticisme, et se montrerait un peu plus exigeante que le pragmatisme. Il n'est pas sans intérêt de relever que ce probabilisme peut s'inscrire dans la tradition platonicienne, puisque Cournot se réclamait sur ce point de Carnéade qui dirigea l'Académie de Platon au II<sup>e</sup> siècle av. J.-C. Il n'est pas sans intérêt non plus de rappeler qu'il y a plus d'un siècle, le philosophe Lachelier, traitant du fondement de l'induction, remarquait qu'il est insuffisant de faire appel à un ordre de causes efficientes existant dans la nature et qu'il faut y joindre, pour rendre compte de la stabilité des lois, un ordre des causes finales de telle sorte qu'on puisse réellement se fier à ce qui passe pour « l'uniformité de l'ordre naturel ». Cette remarque ne vise pas assurément à réintroduire les causes finales dans la démarche scientifique, mais à rendre cette dernière intelligible.

De fait, on a renoncé, au cours du troisième âge de la science, à fonder une théorie scientifique sur l'évidence de ses principes. On lui demande, en revanche, que l'axiomatique par laquelle elle s'exprime et qui achève le travail de la « synthèse inductive » (l'expression est de J.-L. Destouches), se recommande par la simplicité, qui se prête à la réfutation, par la généralité, qui lui permet d'englober l'acquis scientifique antérieur, et la fécondité, qui montre qu'on a réellement progressé dans la connaissance. On retrouve ainsi le conventionnalisme de Poincaré, que ce dernier justifiait par des critères de « commodité ». Ce savant philosophe n'entendait pas par ce terme des critères pragmatiques, au sens opérationnel de ce mot, mais des exigences d'harmonie, de simplicité,

d'efficacité dans la recherche. Faute de pouvoir invoquer ici l'histoire entière de la physique, on se bornera à montrer que la théorie de la relativité, la mécanique quantique et la nouvelle cosmologie sont, au XX<sup>e</sup> siècle, des exemples frappants de l'idéal théorique qui vient d'être défini.

## I. – La relativité

C'est l'électromagnétisme de Faraday et de Maxwell qui est à l'origine de la théorie de la relativité. En inventant la notion de champ, ces auteurs avaient montré qu'il n'y a pas, en électromagnétisme, d'espace vide ni d'attraction à distance. Ils se situaient ainsi d'emblée, même si c'était à regret du côté de Maxwell, hors de l'intelligibilité newtonienne des phénomènes mécaniques. Cependant, leur dissidence d'avec la physique newtonienne n'allait éclater qu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, à propos du principe de relativité. D'après ce principe, sous sa forme dite galiléenne, les lois physiques sont les mêmes pour tout observateur situé dans un repère inertiel (c'est-à-dire un repère où se vérifie le principe d'inertie), qui se trouve en mouvement rectiligne et uniforme par rapport à l'espace absolu. Ce principe ne serait d'aucune utilité, ou, du moins, ne pourrait servir à trier des lois physiques valables dans tout repère inertiel, si on ne disposait pas d'un système de transformations susceptible de traduire les mesures spatio-temporelles effectuées dans un repère inertiel pour un événement déterminé dans un autre repère en mouvement rectiligne et uniforme par rapport au premier. À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, la difficulté résidait en ce que les transformations dites de Galilée dont on se sert en mécanique classique ne sont pas applicables en électromagnétisme, bien que tout se passe comme si le principe de relativité y est, là encore, vérifié. Pour garder la validité des lois de l'électromagnétisme en tout repère inertiel, il faut faire appel à un autre groupe de transformations, dites transformations de Lorentz. Poincaré démontra que les équations de Maxwell demeurent invariantes pour le groupe des transformations de Lorentz. C'était au prix cependant d'introduire, outre une contraction inexplicable des longueurs, des « temps locaux » fictifs, différents du temps absolu, qui est celui de l'éther ou espace absolu. Il y avait une contradiction entre la loi classique de composition des vitesses, qui devrait s'appliquer également à la lumière dans le cadre newtonien de l'espace et du temps, et le fait constaté de la constance de la vitesse de la lumière dans le vide pour tout repère inertiel. Einstein leva cette contradiction, en recourant à une « abduction » au sens peircéen du terme : il posa les deux postulats du principe de relativité d'une part, de la constance de la vitesse de la lumière pour tous les repères inertiels d'autre part. Il montra, en même temps, que si l'on se donnait une définition opératoire de la simultanéité à distance, il fallait renoncer à postuler un temps absolu, comme on le faisait en mécanique classique. En revanche, les deux postulats adoptés permettaient de déduire le système des transformations de Lorentz. Ils

permettaient également de retrouver un autre absolu, l'intervalle spatio-temporel entre deux événements, et, de façon générale, l'espace-temps dit de Minkowski, du nom du mathématicien qui l'a mis en lumière. Cette union de l'espace et du temps permet de simplifier considérablement l'énoncé des lois de l'électromagnétisme.

La théorie einsteinienne de la relativité ne se recommande pas seulement par la simplicité qu'elle confère au domaine pour lequel elle a été instituée, mais également par sa généralité, puisque la nouvelle cinématique qu'elle instaure se répercute sur la mécanique, à savoir sur la dynamique newtonienne. Les formules de cette dernière ne gardent leur validité que pour des vitesses très inférieures à la vitesse de la lumière, dans lesquelles il faut comprendre d'ailleurs toutes les vitesses des objets macroscopiques. Dès que les vitesses approchent de celle de la lumière, les masses augmentent, contrairement au principe newtonien de conservation de la masse. Le principe newtonien de conservation de l'énergie demeure valable, mais avec une signification nouvelle, puisque la masse devient elle-même une énergie, si bien que la masse au repos apparaît comme l'énergie interne du système considéré ou son énergie propre.

Malgré tous ces résultats, qui devaient s'imposer dès son apparition, la théorie de la relativité n'avait pas atteint son but, puisqu'elle était restreinte au cas des repères inertiels, et qu'en abandonnant le concept d'espace absolu, elle rendait plus douteuse que jamais l'existence de tels repères. D'autre part, la théorie newtonienne de la gravitation, qui postulait une simultanéité absolue, ne rentrait pas aussi facilement dans son cadre que la dynamique générale. Il fallait donc étendre et généraliser la théorie pour les repères accélérés et y inclure le cas de la gravitation. La réussite exceptionnelle d'Einstein est d'avoir mené à bien cette double tâche. Il fut guidé par le principe d'équivalence entre la masse inertielle et la masse gravitationnelle. Dans un repère soumis à un champ gravitationnel, tous les corps, quelle que soit leur masse, sont également accélérés. Rien ne distingue donc localement un tel repère d'un repère inertiel. Réciproquement, un repère accéléré peut être considéré comme un repère soumis à un champ gravitationnel. Reste à trouver l'expression de ce champ dans l'espace-temps de Minkowski. Malheureusement, sauf introduction d'éléments ad hoc, c'est impossible. La solution d'Einstein fut de faire appel à un espace de Riemann, où la courbure des quatre dimensions d'espace-temps dépend de la présence des masses-énergies. Localement, ce nouvel espace-temps se comporte comme un espace de Minkowski. Ainsi est réalisée, outre la satisfaction au moins locale du principe de relativité générale, une théorie spatio-temporelle de la gravitation. Cette théorie surpasse celle de Newton, en ce qu'elle rend

compte d'effets, comme l'avance séculaire du périhélie de Mercure, que la théorie classique laissait inexpliqués. On comprend qu'Einstein se soit efforcé de généraliser sa théorie en une théorie du « champ unitaire », où la gravitation n'apparaîtrait plus comme une interaction isolée. Mais nul n'a réussi jusqu'ici cet exploit, d'autant plus que les phénomènes quantiques, sur lesquels s'était penché avec une insatisfaction grandissante Einstein, sont toujours rebelles à entrer dans le cadre de la relativité généralisée de la façon qui vient d'être esquissée.

## II. – La mécanique quantique

La théorie quantique n'a pas atteint d'un seul jet la perfection dont a joui la théorie de la Relativité, et c'est probablement l'une des raisons pour lesquelles, bien que son formalisme ait été mis au point dès les années 1930 du XX<sup>e</sup> siècle, les discussions ont été vives à son sujet. Depuis les années 1980, une interprétation dominante s'est dégagée, qui permet de mieux comprendre la signification de ce formalisme. Après avoir retracé brièvement l'histoire des quanta, on s'attachera à présenter les lignes principales de cette interprétation.

Après la découverte par Planck des quanta d'énergie dans le rayonnement thermique du corps noir (1900), l'ancienne théorie des quanta doit beaucoup à Einstein qui mit en évidence, dès 1905, l'existence de quanta de lumière, qu'on devait appeler photons, à propos de l'effet photo-électrique resté inexpliqué. En 1922, l'effet Compton, qui montra que des photons cèdent une partie de leur quantité de mouvement aux électrons d'un corps matériel qu'ils rencontrent, constitua une nouvelle illustration de ces quanta de lumière. L'extension décisive de la théorie des quanta est due à Bohr qui montra, dès 1913, qu'il fallait introduire dans l'atome des quanta d'énergie. En effet, la stabilité de l'atome est inexplicable, à moins qu'on reconnaisse que les électrons n'émettent pas de rayonnement quand ils restent sur leurs orbites, contrairement à ce que demande la théorie électromagnétique classique, mais qu'ils en émettent lorsqu'ils passent par un saut énergétique d'une orbite plus élevée à une orbite plus basse. L'énergie émise (ou absorbée dans le cas inverse) est alors égale à la différence des énergies quantifiées des deux mouvements. Ainsi se trouva expliquée la spectroscopie de l'atome d'hydrogène. Bohr posa également des conditions de quantification pour le moment angulaire des électrons tournant autour du noyau, enrichissant ainsi le modèle d'atome que Rutherford avait proposé en 1911. Cependant, cette ancienne théorie des quanta perdait son pouvoir d'explication au-delà de l'atome d'hydrogène, et ne faisait que juxtaposer, comme Bohr le soulignait lui-même, des postulats quantiques à une physique restée

classique. Une refonte théorique s'avérait nécessaire.

On peut dater de 1923 la naissance de la nouvelle théorie des quanta. Cette année-là, Louis de Broglie fit paraître, dans les Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, l'essentiel des idées qu'il développa dans sa thèse de 1924. Se fondant sur l'analogie entre le principe de Fermat (existence du plus bref chemin en optique) et le principe de Maupertuis (existence de la moindre action en mécanique), sur le caractère à la fois corpusculaire et ondulatoire de la lumière découvert par Einstein, et sur le fait que les nombres entiers sont toujours associés en physique à des interférences d'ondes, de Broglie montra que la mécanique classique doit être considérée comme une approximation d'optique géométrique d'une mécanique ondulatoire, qui est seule valable dans l'atome. Les nombres quantiques, découverts par Bohr, sont alors liés à des ondes stationnaires. Restait à découvrir la forme générale de l'équation d'ondes pour cette mécanique ondulatoire : ce fut l'œuvre de Schrödinger (1926). Curieusement cependant, l'équation de Schrödinger n'attribue à la fonction d'onde que des valeurs complexes (au sens des nombres complexes, où l'une des composantes est « imaginaire »), si bien qu'il est impossible de lui faire correspondre directement des quantités mesurables.

D'autre part, Heisenberg, à la même époque, était soucieux de n'admettre, dans la théorie qu'il cherchait, que des quantités observables, selon la leçon qu'il tirait alors de la Relativité d'Einstein. Or, en 1925, soutenu par l'idée intuitive que tout vibre dans l'atome par un effet de résonance, il montra que les quantités observables de l'atome doivent s'écrire non comme des nombres, mais comme des matrices (tableaux à deux dimensions) de nombres, et que le produit de ces matrices n'est pas commutable. Il retrouvait de cette façon en physique les règles du calcul matriciel mises au point par les mathématiciens, comme Born le lui fit remarquer. Ce dernier, accompagné par Jordan, publia, avec Heisenberg lui-même, cette même année, les éléments d'une mécanique matricielle pour l'atome.

Cependant, les deux points de vue (ondulatoire et matriciel) furent démontrés mathématiquement équivalents par Schrödinger lui-même (1926), tandis que Born montrait que la fonction d'onde de Schrödinger, à valeurs complexes, ne désignait, en fait, que l'amplitude d'une probabilité. Dès lors, une nouvelle théorie physique était née, à laquelle Dirac puis von Neumann fournirent les outils mathématiques dont elle avait besoin. On n'exposera ici que les idées essentielles de cette nouvelle physique, dont la présentation axiomatique fournie par les manuels

semble à première vue assez déroutante.

L'évolution d'un système quantique (et, par extension, de tout système physique) obéit à l'équation de Schrödinger, qui concerne l'onde envisagée comme une amplitude de probabilité (il faut élever au carré le module du nombre complexe qui représente l'onde pour obtenir la probabilité de trouver le système dans le voisinage du point et de l'instant où se trouve l'onde, une fois que se trouvent normalisés, c'est-à-dire ramenés à la valeur 1, tous les voisinages possibles). On peut s'étonner qu'une onde continue gouverne l'évolution d'un système quantifié. En fait, la plupart des ondes physiques connues possèdent des « valeurs propres ». C'est de cette façon que Schrödinger avait pu déterminer les valeurs propres, c'est-à-dire les niveaux d'énergie de l'atome d'hydrogène. La façon dont Schrödinger avait établi son équation ressemblait à l'inverse de la démarche par laquelle Hamilton avait dérivé, au XIX<sup>e</sup> siècle, l'optique géométrique de l'optique ondulatoire. Cette façon n'était guère rigoureuse. Plus récemment, Richard Feynmann a obtenu l'équation de Schrödinger en se fondant essentiellement sur les propriétés de superposition et de linéarité, qui sont caractéristiques des phénomènes ondulatoires. Ce faisant, il a aperçu que l'onde figurait « l'intégrale des chemins » (il vaut mieux dire « l'intégrale des histoires » puisque ces chemins dépendent du temps) qu'un système quantique peut prendre pour passer d'un point à un autre. L'expérience des trous d'Young est une illustration frappante de cette multiplicité infinie des chemins possibles. On peut dire que la probabilité dépend de la contribution de tous les chemins possibles aux probabilités finales.

Le cadre mathématique de la théorie quantique est fourni par les espaces d'Hilbert. Un espace d'Hilbert est un espace vectoriel complexe muni d'un produit scalaire. Une fonction d'onde  $y$  est représentée par un vecteur d'état. Un espace d'Hilbert peut être doté d'un ou de plusieurs opérateurs hermitiens (ou « autoadjoints »). S'il existe un opérateur hermitien, alors il existe une base orthonormée qui représente les « vecteurs propres » de l'opérateur en question. Dans ces conditions, un opérateur hermitien peut représenter n'importe quelle grandeur physique ou observable (en dehors du temps), à laquelle peuvent être attribuées des « valeurs propres ». L'ensemble des valeurs propres d'un opérateur forme son spectre. Ainsi, l'on peut obtenir la décomposition spectrale d'une fonction d'onde, où les valeurs propres de l'observable sont munies de leur poids respectif de probabilité. Le module de la fonction d'onde représente alors la racine

carrée de la moyenne ou de « l'espérance mathématique » attachée à toutes ces valeurs.

Quand on mesure physiquement une observable, on le fait avec un appareil macroscopique, et l'on n'obtient qu'une seule des valeurs propres de l'observable en question. Le problème est alors d'expliquer pourquoi on obtient cette seule valeur, entre toutes les valeurs possibles a priori, puisque les antécédents de toutes ces valeurs sont comptabilisés dans l'évolution du système. C'est le problème du chat de Schrödinger. Si l'on suppose qu'un chat est enfermé dans une enceinte, où une décomposition radioactive peut se produire ou non après un certain temps et où cette décomposition, si elle se produit, active une fiole de poison qui intoxique le chat, alors il faudrait s'attendre, après un certain temps, d'après les principes quantiques, à ce que les deux solutions soient en superposition, c'est-à-dire que le chat soit à la fois mort et vivant. En fait, il est mort ou bien il est vivant. Certains théoriciens ont prétendu que c'est l'acte d'observation qui détermine le terme de l'alternative. Mais cette solution donne trop d'importance à l'observateur, d'autant plus que l'observateur est souvent matériel, par exemple un ordinateur. On a cherché longtemps une solution à ce problème de l'irréversibilité de l'acte de mesure, où quelque chose d'unique advient, à la place de la multitude des possibilités. Ce n'est qu'à partir de 1970 que des théoriciens, parmi lesquels le physicien français Roland Omnès dont nous suivons ici la théorie, ont imaginé une solution pleinement conforme aux principes de la mécanique quantique, et l'ont nommée « décohérence ». Elle consiste grossièrement en ceci : quand un système quantique rencontre un appareil de mesure, alors il se produit dans cet appareil une décohérence des phases des fonctions d'onde qui composent la fonction d'onde, ce qui représente l'interaction entre le système quantique et l'appareil classique. Cette décohérence aboutit, en très peu de temps, à ce que toutes les solutions se trouvent éliminées par des interférences destructives, sauf une. Cette décohérence a été expérimentalement vérifiée en 1996 : elle ne se produit pas quand très peu d'atomes sont en jeu, mais quand elle se produit, alors une seule solution parmi toutes les solutions possibles se trouve réalisée. Cependant, la décohérence n'explique pas pourquoi c'est telle solution qui se trouve préservée et non telle ou telle autre. Reste un facteur de hasard absolu, qui est lié à la théorie.

Puisqu'on ne peut vérifier les prédictions quantiques qu'avec des appareils classiques, on est obligé de passer continuellement du langage quantique au langage classique, qui est très proche du sens commun, à la différence du premier. Si l'on n'est pas très circonspect dans l'utilisation de l'un et de l'autre langage, il est inévitable qu'on tombe sur des contradictions. Pour éviter de telles contradictions, Bohr avait cru bon d'énoncer ce caveat : « il n'y a pas de monde quantique. »

D'après lui, le langage de la complémentarité (onde/particule) était suffisant pour énoncer, à notre échelle, les particularités étonnantes des systèmes quantiques. Mais cette solution ne pouvait être que provisoire, et les remarquables succès de la mécanique quantique dans des domaines d'échelles très éloignées, comme l'atome et la particule élémentaire, ont fait prévaloir une autre solution. Si l'on s'astreint à ne dire que ce que la théorie autorise à affirmer d'après ses principes, alors il ne faut raconter que des « histoires consistantes » dont Griffiths a énuméré les conditions (1984). C'est le respect de ces conditions, en particulier quand il s'agit de décrire les valeurs d'observables non commutables (telles que la position et l'impulsion d'une particule), qui permet de déjouer les paradoxes, en particulier le paradoxe d'Einstein-Podolski-Rosen (1935). Il n'y a pas de paradoxe quand on respecte les règles du jeu quantique. Il appartient donc à la « logique quantique », peu différente de la logique ordinaire, mais attentive à ne pas confondre le possible (et éventuellement l'impossible) et le réel et, en cela, proche d'une logique modale, de faire respecter ces règles, qui résultent d'une exacte compréhension de la théorie.

On voit que, même présentée d'une façon qui tient compte de la physique classique, la théorie quantique est très différente de la première. Et pourtant la réalité physique est une. La décohérence montre qu'on passe insensiblement du quantique au classique, qui n'est qu'une stabilisation globale de systèmes quantiques toujours capables de se réveiller. Des études ont montré qu'il est possible de dériver le déterminisme classique du probabilisme quantique, même si ce dernier ne peut jamais être totalement exclu. La décohérence montre que le quantique peut perturber le classique et lui imposer, pendant un court instant, sa loi de superposition ; mais alors les interférences sont destructives, sauf en un cas que le hasard préserve, si bien que finalement le classique est restauré, et impose à son tour sa loi (réduction de la fonction d'onde) au quantique lui-même. C'est la raison pour laquelle les « histoires consistantes » ne sont pas des « histoires de Feynmann » (lesquelles apparaissent dans ce cadre comme des « ensembles virtuels d'histoires »). Le temps, qui n'est pas un « opérateur » de la théorie, et qui n'est pas doté d'une direction privilégiée dans l'équation de Schrödinger, est donc un paramètre extérieur, dont dispose l'observateur. Il est remarquable qu'il permette de décrire aussi bien l'évolution déterministe de la fonction d'onde que le hasard instantané qui en privilégie, sous la contrainte d'un appareil classique, une unique solution. De cette façon, les systèmes quantiques ne sont pas soustraits à l'universelle Évolution de la Nature, et en subissent l'orientation générale du passé à l'avenir.

### III. – La nouvelle cosmologie

L'originalité de la physique contemporaine se marque dans la possibilité qu'elle offre de traiter des questions que la physique classique avait dû écarter, à savoir celles relatives à la structure et à la genèse de l'Univers. La relativité générale et la théorie quantique se partagent ces deux tâches, qui peuvent faire augurer leur rapprochement inlassablement poursuivi depuis leur naissance.

En ce qui concerne la structure de l'Univers, la théorie relativiste de la gravitation a permis d'emblée d'en reconsidérer le problème. Dès 1917, Einstein publiait des Considérations cosmologiques, où il proposait un univers spatialement fini (doté d'une courbure spatiale appropriée) et, ajoutait-il, spatialement statique. Il avait proposé cette hypothèse, parmi d'autres possibles, pour obéir au principe de Mach selon lequel les masses n'ont d'inertie que les unes par rapport aux autres et pour échapper aux difficultés insurmontables d'un potentiel infini situé à l'infini. Mais il était contraint de faire intervenir une constante cosmologique qui maintenait le volume constant de cet « univers cylindrique ». Or, Friedmann montra en 1922 que l'on pouvait et devait se passer de cette constante cosmologique si l'on faisait intervenir des solutions cosmologiques non statiques des équations d'Einstein, les seules qu'on puisse dériver normalement de ces dernières. Les modèles de Friedmann, auxquels se rallia Einstein, et auxquels travaillèrent les astrophysiciens Lemaître, Robertson et Walker, sont devenus classiques : ils représentent un univers homogène, en expansion ou en contraction spatiale, ouvert et infini dans le premier cas, fermé et borné dans le second. Dans ces modèles peuvent s'inscrire l'effet Hubble, confirmé en 1929, de la fuite mutuelle des galaxies lointaines, et le rayonnement cosmologique isotrope à 3 oK, découvert en 1965, qu'on interprète raisonnablement comme le vestige de la séparation entre le rayonnement initial et les premiers édifices atomiques, qui aurait eu lieu 350 millions d'années environ après le commencement de notre Univers. Ce début, qu'on désigne par le terme de big bang, que l'astronome Hoyle avait employé pour s'en moquer, car il se refusait à y croire, devrait être daté de 13 milliards d'années environ. Cette datation fait intervenir un certain nombre de phénomènes décelables à l'échelle cosmique, en particulier la vitesse de la fuite réciproque des galaxies.

Ce n'est pas le moindre mérite, on le voit, de la relativité générale d'Einstein que d'offrir le cadre d'une théorie scientifique à des spéculations cosmologiques qu'il serait illusoire et d'ailleurs arbitraire de prétendre réprimer. L'interdit que Kant avait cru devoir leur imposer marque ainsi,

non une limitation inévitable de la raison scientifique, mais les limites de la physique classique et d'une théorie de la connaissance qui s'efforçait de s'y conformer au plus près.

En ce qui concerne la genèse de l'Univers, qu'évoque cette fameuse explosion initiale, les modèles de Friedmann ne pouvaient rien en dire, seulement lui attribuer, comme à une limite indescriptible, la date 0 du temps cosmique. Cependant, dans la mesure où la théorie quantique pénètre dans le domaine des très hautes énergies (et températures), elle offre un cadre théorique adéquat où peuvent être envisagées la création des particules et des antiparticules, la prédominance des premières sur les secondes, la nucléosynthèse initiale, la prédominance de l'hydrogène et de l'hélium par rapport aux autres éléments chimiques présents dans l'Univers et fabriqués à l'intérieur des étoiles. Même le big bang peut perdre de son mystère, dans la mesure où l'on en fait une fluctuation du vide quantique, ou même l'évaporation d'un trou noir, dont la formation, on le sait, est la conséquence extrême de l'attraction gravitationnelle dans certaines conditions. Ainsi, l'on peut espérer refaire l'unité de la physique et des quatre forces d'interaction (gravitationnelle, électromagnétique, nucléaire forte, nucléaire faible) à propos des conditions premières qui ont donné naissance à notre Univers. Les théories récentes des supercordes ou de la théorie quantique à boucles offrent les conditions théoriques d'une telle unification. Si une telle synthèse pouvait être opérée, ce serait une belle revanche de la cosmologie sur ses détracteurs qui la considéraient, même après l'apparition de la relativité générale, comme un résidu de la pensée mythique que la science ne devait pas admettre dans le royaume intemporel de ses équations. Remarquons qu'on peut reconnaître l'intemporalité des relations mathématiques et des lois de symétrie qu'elles manifestent sans y subordonner la Nature qui n'a jamais demandé à la physique théorique la permission d'exister.

---

## 5 La médecine et les sciences de la vie

La médecine est, d'un certain côté, la mère de toutes les sciences modernes, ou, du moins, partage-t-elle cet honneur avec les mathématiques. On sait que Galilée était médecin et que J.-L. Meyer, un des fondateurs de la chimie du XIX<sup>e</sup> siècle, le fut également. Ces exemples ne prouvent pas que la physique et la chimie ont emprunté des concepts à la médecine, mais ils montrent que cette dernière, attentive depuis toujours à l'expérience et à l'évolution du savoir qui pourrait améliorer sa pratique, a suscité d'innombrables vocations scientifiques. Durant le deuxième âge de la science, quand les sciences physiques et chimiques étaient enseignées à la faculté de philosophie, elles l'étaient presque toujours par des médecins, qui étaient soucieux de fonder leur pharmacopée sur les meilleures connaissances disponibles en chimie et en botanique. Au XIX<sup>e</sup> siècle, quand des chaires d'histoire naturelle, de géologie et de paléontologie, de physiologie animale, furent créées en France dans les facultés des sciences, elles furent souvent occupées par des agrégés de médecine. Au XX<sup>e</sup> siècle encore, les découvertes les plus sensationnelles, tant pour la biologie que pour la médecine, proviennent davantage, s'il s'agit de la France, des laboratoires de l'Institut Pasteur, longtemps peuplés de médecins, que du Muséum d'histoire naturelle qui poursuit davantage la tradition, tant dans son personnel que dans ses centres d'intérêt, des naturalistes du XVIII<sup>e</sup> siècle. Partout dans le monde, d'ailleurs, recherche médicale, recherche biomédicale, recherche biologique sont étroitement liées, au niveau des institutions comme à celui des hommes.

Cependant, d'un autre côté, la médecine a retenu l'attention de ses praticiens vers des considérations, sinon étrangères à la science moderne, du moins aussi distinctes d'elle que le corpus hippocratique l'était, dans la Grèce ancienne, des recherches d'Aristote. C'est ainsi qu'elle a obligé les esprits les plus portés à la recherche des lois et relations constantes, susceptibles d'être exprimées par des fonctions mathématiques, à considérer les patients comme des malades qu'il fallait soigner pour eux-mêmes, et non comme des cas particuliers de maladies répertoriées. Elle a montré constamment de plus l'erreur qui consisterait à généraliser trop vite ou à appliquer de façon systématique des recettes. L'étiologie médicale, c'est-à-dire la recherche des causes, soit de maladie soit de mort, n'a jamais pu être considérée comme la simple application de lois universelles. Chaque patient, en effet, a sa façon propre de réagir aux agressions qui perturbent sa santé. Cette individualité du malade n'empêche pas, du reste, la recension de similitudes, mais il est remarquable que celles-ci empruntent plutôt la forme de lois statistiques et probabilistes que de lois nécessaires,

et rendent la prévision beaucoup plus délicate. Ce qui vaut pour la connaissance et la prévention des maladies vaut également pour les traitements thérapeutiques.

De cette façon, la médecine a puissamment contribué à manifester l'originalité de l'être vivant par rapport à la matière inanimée. Une foule d'atomes ou de molécules d'un corps physique est semblable à une autre et ne se manifeste pas par des propriétés particulières, mais un homme diffère de son congénère, et l'on peut en dire autant d'un animal, même d'une plante et de tout être qui se reproduit par les voies de la sexualité. Cette différence entre la matière inanimée et la matière vivante est perçue par la connaissance commune. Elle n'a pas été abolie par la révolution mécaniste du XVIII<sup>e</sup> siècle. Sans doute la théorie, critiquée dès sa formulation, des animaux-machines a eu quelques conséquences en médecine, où s'est formée une école de iatromécaniciens. Il faut ajouter que cette école n'a jamais fait de grandes découvertes, même si elle a contribué à révéler des analogies entre des outils ou des machines et des organes. Elle n'a pu expliquer, par exemple, le phénomène de la génération. En face d'elle s'est créée, notamment à Montpellier à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle, l'école vitaliste, qui insistait sur l'importance du « principe vital », distinct des composants matériels qu'il fait vivre de concert. À cette école qui continue, d'un point de vue théorique, la tradition d'Hippocrate (VI<sup>e</sup> siècle av. J.-C.), d'Aristote et de Galien (II<sup>e</sup> siècle apr. J.-C.), on doit, en revanche, grâce à sa manière d'insister sur l'originalité du vivant, de quelque façon qu'elle considère cette dernière, nombre de découvertes, comme celle du réflexe, et elle a contribué à fonder la biologie comme science distincte de la physique et de la chimie. Avec la biologie, écrivait A. Comte, cesse la prééminence des « parties » sur le « tout » et s'institue la prééminence inverse, qui permet de renverser, selon le même auteur, le rapport de domination qu'exerce le monde sur l'homme.

C'est dans cette tradition vitaliste, pour autant qu'elle se garde d'affirmations métaphysiques, qu'il faut situer Claude Bernard dont l'Introduction à l'Étude de la médecine expérimentale (1865) est considérée encore comme un nouveau Discours de la Méthode pour les sciences du vivant. Bernard y met l'accent sur la méthode hypothético-déductive, c'est-à-dire sur la conception de l'hypothèse comme invention de l'esprit dont les conséquences déduites sont soumises à l'expérience ; cette conception rapproche la médecine et la physiologie des sciences physiques telles qu'on en a caractérisé la méthodologie, au chapitre III, à partir de Pierce et de Popper. Mais surtout, Bernard s'applique à montrer que la méthode expérimentale, dans les sciences qu'il considère, est soumise à des limites et à des exigences qui leur sont propres. C'est par la mise en évidence de ces

propriétés que l'Introduction est aujourd'hui la plus intéressante, comme l'a remarqué G. Canguilhem. Reprenant des vues qui avaient été déjà dégagées pour la plupart par C. Bernard, C. Canguilhem voit cinq raisons qui rendent la méthode expérimentale beaucoup plus délicate à manier dans les laboratoires de biologie que dans ceux de physique et chimie. Tout d'abord, il faut prendre garde à la spécificité du vivant, qui s'accuse à tous les stades de la différenciation, de variété en variété, d'espèce à espèce, de l'animal à l'homme. Ensuite, à l'individuation, comme on l'a vu plus haut, qui n'autorise pas à considérer que tous les individus d'une même variété qu'on soumet à des expériences sont exactement les mêmes. Troisièmement, à la totalité de l'organisme, comme on l'a remarqué aussi plus haut, qui ne permet pas de considérer qu'un organisme amputé est le même qu'un organisme diminué d'un organe : l'amputation en a fait un autre organisme. Quatrièmement, à l'irréversibilité des phénomènes biologiques, qui contraste avec la réversibilité au moins élémentaire des phénomènes mécaniques, et qui fait que l'étude du développement de l'œuf manifeste la perte de la totipotentialité initiale au profit de la spécialisation progressive des organes. Enfin, on ne peut faire fi des problèmes éthiques, que pose l'expérimentation sur des sujets humains (ou même, peut-on ajouter, sur des animaux) et qu'on envisagera au dernier chapitre de cet ouvrage.

Même si l'on met à part la médecine qui, toute scientifique qu'elle soit devenue, demeure toujours un art, une activité pratique qui ne vise pas d'abord une fin spéculative, il faut reconnaître que la prise de conscience médicale de l'originalité du vivant est de nature à entraîner un nouvel examen de l'idéal scientifique. Pour les savants mathématiciens du XVII<sup>e</sup> et du XVIII<sup>e</sup> siècle, comme pour leurs successeurs physiciens du XIX<sup>e</sup> et du XX<sup>e</sup>, qui ont fait appel à de nouveaux outils mathématiques, cet usage des mathématiques fait partie de leur idéal scientifique, car il leur assure l'exactitude des concepts et leur pertinence expérimentale qui manquent par d'autres voies. Les biologistes, de leur côté, ne refusent pas de faire usage de tels outils, mais ils le subordonnent à une pertinence conceptuelle et à une capacité référentielle de catégories, qui ont pour eux une importance essentielle et que la mathématique ne leur fournit pas. Certes, on pourrait imaginer que des mathématiques plus développées fournissent de telles catégories. La théorie élémentaire des catastrophes, créée par R. Thom, peut être considérée comme un essai dans ce sens ; mais, selon son auteur lui-même, elle ne prétend posséder en biologie aucune valeur prédictive ; tout au plus fournit-elle une clé herméneutique (un mode d'interprétation) qui s'appuie sur un vitalisme méthodologique. Cette situation bien particulière de la biologie, qui a tendance à s'affirmer en même temps que se développent biophysique et biochimie, qui sont des applications de la physique et de la chimie à l'étude des phénomènes vivants, est de nature à faire réfléchir sur l'idéal scientifique

qui guide la science moderne et que nous avons cru possible de ramener jusqu'ici, sans prétendre que tous les épistémologues en seraient d'accord, au réalisme platonicien. Nous avons vu qu'il y a plusieurs interprétations de ce réalisme et qu'il importe d'éviter, même en mathématiques, un platonisme vulgaire. L'interprétation d'Hermite nous a semblé une façon heureuse de rendre compte de l'application des mathématiques à la réalité physique. Faute de telles mathématiques pour la réalité biologique, l'interprétation qu'avait faite Aristote des formes platoniciennes comme d'espèces vivantes (ou simplement naturelles) qu'on définit de l'extérieur par la classification sans fournir de preuves de telles définitions, apparaît toujours suggestive. Elle demande cependant à être complétée par la vision moderne de l'évolution des espèces. Les espèces ne sont pas éternelles, contrairement à ce que pensait Aristote, peut-être trop influencé encore par un platonisme littéral, mais elles sont les formes que revêtent les êtres vivants (ou naturels) au cours de leur évolution. Les individus vivants ont des lois inscrites en eux-mêmes, comme l'avait bien vu Leibniz, et ces lois sont des lois de développement, beaucoup plus complexes et hiérarchisées que les lois physiques et chimiques, mais qu'on peut approcher dans l'étude de l'ontogenèse (développement de l'individu singulier) comme de la phylogenèse (développement des espèces). Le philosophe et mathématicien Whitehead, comme s'il avait reconnu que ses travaux antérieurs de logique ne le conduisaient pas au seuil de la réalité, a conçu, dans la première partie du XX<sup>e</sup> siècle, une « philosophie de l'organisme » qui est un platonisme de cette sorte. Il serait excessif de dire qu'il ait fait beaucoup de disciples. Mais nombre de théoriciens de la biologie ont proposé, depuis un demi-siècle, des conceptions apparentées. Sans parler du philosophe R. Ruyer, qui s'est inspiré lui-même directement de Whitehead, il faut mentionner ici les théories de l'autonomie du vivant, proposées par des biologistes comme L. Bounoure, qui n'a pas négligé la phylogenèse, et plus récemment le regretté P. Vendryès, davantage porté sur l'ontogenèse et ce qu'on appelle la « biologie du fonctionnement ». D'autres biologistes théoriciens se rapprochent davantage de la théorie du système général, créée après la Deuxième Guerre mondiale par L. von Bertalanffy, et qui entend déborder la biologie aussi bien du côté de la physique que du côté de la sociologie. On mentionnera ici H. Atlan, F. Varela, A. Pichot. Le sociologue et épistémologue E. Morin a exposé dans *La méthode* (t. I, II, III) les implications multiples de cette nouvelle méthode de penser l'individu, même physique mais surtout vivant, dans son milieu, et d'étudier l'auto-éco-organisation. On ne développera pas ici les multiples nuances de la pensée de ces auteurs, qui n'ont pas tous achevé leurs recherches. On se bornera à montrer que l'essor de telles théories est en quelque sorte appelé par l'état des sciences de la vie en trois domaines, qui relèvent plutôt de ce qu'on appelle la « biologie de l'évolution » et qui sont regardés depuis longtemps comme les plus typiques du monde vivant : la taxinomie, l'évolution, l'hérédité.

## I. – La taxinomie

La taxinomie est la science des taxons, c'est-à-dire des groupes d'individus vivants rangés dans des classes de plus en plus générales, depuis l'espèce considérée comme une catégorie jusqu'aux embranchements du règne végétal et du règne animal. Elle est précédée, dans toutes les cultures, par des classifications populaires, auxquelles on a déjà fait allusion. Un des grands mérites d'Aristote, en biologie, est d'avoir opéré le passage, au moins s'il s'agit de la zoologie (puisque son traité sur les Plantes est perdu), de ces classifications populaires, dont il s'était enquis chez les pêcheurs de Lesbos et chez les voyageurs de son époque, à l'ébauche d'une classification savante. Cependant, contrairement à l'idée qu'on s'est faite de lui à partir de la Renaissance, Aristote n'a pas cherché à opérer une division logique dans le fouillis des espèces et a mis en garde contre le procédé de la dichotomie qui aboutit à des rapprochements artificiels. Les groupements d'espèces qu'il a proposés, qu'il s'agisse des vertébrés ou des invertébrés, sont souvent plus proches de nos classifications modernes que le sont les classifications de Linné (1707-1778).

Il ne faudrait pas en conclure pour autant que la taxinomie du deuxième âge de la science soit sans valeur. À une époque où les physiciens étaient dominés par la vision mécanique dont on a parlé, les botanistes et les zoologues ont accompli une œuvre considérable dans l'investigation de la diversité du monde vivant, à l'aide de l'ancienne vision hiérarchique de « l'échelle de la nature » (*scala naturae*). Cette vision hiérarchique et les procédés logiques de classification qui lui ont été associés sont loin d'avoir été infructueux. C'est ainsi que le nombre d'espèces répertoriées a crû énormément. Aristote avait mentionné 550 espèces d'animaux environ, et les premiers herbiers de la Renaissance ne comptaient guère davantage d'espèces de plantes. Or, le botaniste John Ray (1627-1705) recensait, en 1682, 18 000 espèces végétales, et Linné enregistrait, en 1758, 4 000 espèces animales, tout en estimant qu'il en existait plus du double (il était, de toute façon, très loin du compte, qui s'élèverait, selon les estimations récentes, à plus d'un million). La découverte du Nouveau Continent, tout comme l'exploration de l'Afrique et les contacts avec l'Asie, ne sont pas étrangers à cette extension du monde vivant connu. La tâche de mettre de l'ordre dans cette diversité n'était donc pas facile. Linné surpassa ses devanciers, tel Tournefort (1656-1708), et même ses contemporains, tel Jussieu, dans sa classification des plantes, qui était fondée sur le « système sexuel », c'est-à-dire les différences des organes de fleurs et de fruits. C'était, en tout cas, une remarquable méthode d'identification et telle fut la raison qui fit adopter la

classification des plantes de Linné. Au-dessus du genre, qu'il privilégiait pour des raisons philosophiques, Linné rangeait les catégories d'ordre et de classe. Son système hiérarchique établissait donc quatre niveaux. Sans doute la méthode de division dichotomique lui fit commettre beaucoup d'erreurs, mais il n'en faisait usage qu'à l'intérieur d'un genre. D'autre part, l'œuvre de Linné n'empêcha pas l'apparition d'œuvres originales, comme celle d'Adanson (1727-1806) qui mit en cause la méthode de division logique, et d'abord celle de Buffon (1707-1788) dont l'Histoire naturelle enseigna la zoologie à des générations de naturalistes. Buffon se défait des classifications conceptuelles et, inspiré par les philosophies de Leibniz et de Newton, pourtant fort différentes, sensible aux différences de temps et de lieu, il mettait l'accent sur la continuité des êtres et l'unité du plan de la Nature. Après lui, Cuvier (1769-1832) insista sur la corrélation des caractères à l'intérieur des espèces et des genres et fit progresser la taxinomie des embranchements, ordres, classes et familles. Cette hiérarchie des catégories est restée la nôtre. Il ne faut pas la confondre avec la hiérarchie des espèces considérées comme des entités réelles classées dans ces catégories, et dont Lamarck (1744-1829) pensa longtemps qu'elle constituait une « série unique », qui indiquait la direction d'une évolution ascendante depuis les infusoires jusqu'à l'Homme.

Pour la taxinomie, le troisième âge de la science ne commence véritablement qu'avec Darwin, dont l'Origine des espèces (1859) éclata comme une bombe dans le monde des naturalistes, dont la philosophie était encore dominée par la théologie naturelle de Newton : « Les naturalistes, écrivait-il, essayent d'arranger les espèces, les genres et les familles dans chaque classe pour former ce que l'on appelle un Système naturel. Mais qu'entend-on par là ? Certains auteurs ne le regardent que comme un système permettant de ranger ensemble ceux des êtres vivants qui sont les plus semblables, et de séparer ceux qui sont les plus différents... Beaucoup de naturalistes pensent que la notion de Système naturel a une portée bien plus grande ; ils pensent que celui-ci révèle les plans du Créateur... Je crois qu'il y a dans ces classifications quelque chose de plus que la simple ressemblance, et qu'elles nous révèlent partiellement un lien, plus ou moins dissimulé par des degrés variables de modification, qui n'est autre que la communauté de descendance – la seule cause connue de la similitude des êtres vivants. » Ce qui est remarquable dans cette position de Darwin, qui s'oppose à la fois au nominalisme et au créationnisme, c'est que la généalogie, qui éclaire la systématique, ne prétend pas la constituer tout entière, en raison précisément des modifications qui surviennent au cours de l'évolution des espèces. C'est pour ne prendre pas garde à ces modifications que, de nos jours, l'école cladiste n'a d'égard qu'aux branchements fournis par la phylogénèse et classe, pour cette raison, les oiseaux à côté des crocodiles. À l'opposé, l'école de la « phénétique numérique » abandonne toute idée de descendance et revient à la comparaison

classique des caractères, en s'aidant maintenant des techniques informatiques. Face à ces deux écoles extrêmes, la taxinomie évolutionniste maintient que les taxons, dans quelque catégorie qu'ils soient rangés, doivent être monophylétiques, c'est-à-dire constitués de descendants d'un ancêtre commun.

Mais alors, comment considérer l'espèce ? La définition de l'espèce conçue comme entité réelle, qui a fait couler beaucoup d'encre, est l'objet de la microtaxinomie. Préoccupé de montrer que les espèces évoluent et produisent ainsi la diversité du monde vivant, Darwin n'avait pas voulu distinguer nettement les espèces des variétés. Mais les néodarwiniens d'aujourd'hui n'ont pas les mêmes raisons d'effacer la discontinuité des espèces. Ils ont proposé une conception biologique de l'espèce, inspirée de la tradition naturaliste antérieure, et qui évite autant le nominalisme de Buffon dans ses premiers écrits que l'essentialisme ou platonisme vulgaire des auteurs créationnistes. C'est ainsi que E. Mayr définit l'espèce une communauté reproductive de populations (reproductivement isolées d'autres communautés) qui occupe une niche écologique dans la nature. On voit que c'est la capacité reproductive qui est la marque d'appartenance à la même espèce pour des individus de sexe opposé ; cet isolement reproductif doit être mis en relation avec un isolement écologique, sur lequel ont insisté Eldredge et Gould (1972). Quelles que soient les difficultés que soulève une telle définition, en particulier pour les cas de reproduction asexuée, on voit qu'elle a l'avantage d'être reconnaissable empiriquement. Cependant, elle pose le problème de la spéciation, c'est-à-dire de la formation d'une espèce nouvelle, qui est un des problèmes traités par la théorie de l'évolution.

## II. - L'évolution

On considère parfois les auteurs anciens qui ont précédé Aristote comme des évolutionnistes, mais ils ne peuvent l'être que dans un sens très général, qui exclut, en tout cas, la variabilité des espèces. La conception ancienne qui serait la plus proche de l'évolutionnisme moderne est celle des stoïciens, postérieurs à Aristote, et pour qui le monde vivant se développe, dans un Univers cyclique, selon des « raisons séminales » qui font apparaître au moment voulu des espèces nouvelles. Cette conception a été reprise au IV<sup>e</sup> siècle de notre ère par saint Augustin dans sa théologie de la création, fort différente des théories créationnistes modernes : « Dieu ne créa pas d'emblée toute la nature. Il donna à la terre et aux eaux, en les tirant du néant, le pouvoir d'amener au jour, à l'époque fixée, tous les êtres destinés à répandre la vie et le mouvement dans les airs, dans

les mers et sur tous les points du globe. »

Cette conception du développement des espèces à partir des potentialités de la vie existante sur Terre était évidemment opposée au fixisme d'Aristote et elle n'a guère été reprise au cours du deuxième âge de la biologie. Les grands naturalistes, comme Linné et Buffon, pourtant fort éloignés l'un de l'autre, étaient opposés à un évolutionnisme généralisé, et ne pouvaient concevoir que des transformations d'espèces limitées à l'intérieur d'un genre. Pourtant, avant eux, Leibniz, qui voyait comme saint Augustin la vie et l'Univers en progrès, avait nettement conçu, sans y attacher d'ailleurs beaucoup d'importance, ce que nous appelons aujourd'hui le transformisme : « Peut-être que dans quelque temps ou dans quelque lieu de l'Univers, les espèces d'animaux sont, ou étaient, ou seront plus sujettes à changer qu'elles ne sont présentement parmi nous, et plusieurs animaux qui ont quelque chose du chat comme le lion, le tigre et le lynx pourraient avoir été d'une même race et pourraient être maintenant comme des sous-divisions naturelles de l'ancienne espèce de chat. » Au XVIII<sup>e</sup> siècle, ces mêmes idées, ou d'autres apparentées, ont été reprises, mais généralement dans un sens matérialiste, c'est-à-dire à partir de l'idée de génération spontanée, et sans grande rigueur scientifique, par des auteurs comme le physicien Maupertuis, le géologue Maillet, le philosophe Diderot, le médecin Robinet. Ces auteurs pouvaient s'autoriser de vues analogues émises dès le I<sup>er</sup> siècle de notre ère par le poète latin Lucrèce. L'absence de netteté dans la conception ou d'un témoignage apporté par des faits correctement discutés marque l'insuffisance de toutes ces doctrines.

Le pas décisif qui ouvre en ce domaine le troisième âge de la science a été franchi par Lamarck (1744-1829). Chez lui, le transformisme n'est pas seulement une hypothèse séduisante, mais une réponse à deux phénomènes qu'il ne pouvait pas expliquer autrement : l'étonnante série de « perfectionnements » que manifestent les espèces, l'extrême diversité qu'elles montrent. Le premier phénomène serait dû, selon lui, à une montée croissante vers la complexité, qui est une caractéristique de la matière vivante ; le second à une adaptation continuelle des vivants à leur milieu. Ces deux principes agissent simultanément et traduisent ensemble le dynamisme de la vie, stimulée par des changements dans l'environnement. Ces derniers suscitent de nouveaux besoins, auxquels l'être vivant répond par de nouvelles habitudes, qui suscitent de nouveaux organes ou font dépérir les anciens. On s'étonne seulement que de telles vues s'accompagnent chez Lamarck d'une aversion constante à l'égard de tout vitalisme comme de tout finalisme. Telle est la théorie exposée dans la Philosophie zoologique (1809) et élaborée à partir de 1800, quand Lamarck eut

pris la direction de l'étonnante collection des mollusques récents et des fossiles, que possédait le Muséum de Paris. Les découvertes de nouveaux fossiles, les progrès en embryologie et en anatomie comparée auraient pu favoriser, à cette époque, les théories évolutionnistes et même transformistes. Ce fut le sentiment exprimé par l'écrivain Chambers, fidèle à la tradition newtonienne de théologie naturelle, dans *Vestiges of the Natural History of Creation* (1844). Mais ni le matérialisme de Lamarck ni le théisme de Chambers n'ébranlèrent beaucoup, à cette époque, la position fixiste et catastrophiste (selon laquelle des espèces naissent ou se développent à la suite de catastrophes où les anciennes disparaissent) qu'avait émise, après Lamarck, le père de la paléontologie que fut Cuvier (1769-1832). Ce dernier apparut comme le vainqueur de la polémique qu'il avait menée contre Geoffroy Saint-Hilaire, moins armé que lui en anatomie comparée mais sensible aux similitudes entre fossiles d'âges différents, qui avaient tant frappé Lamarck. Il fallut que le problème du transformisme fût repris, d'un point de vue différent, non plus historique et « vertical » comme chez Lamarck, mais géographique et « horizontal », pour qu'il s'imposât à la considération du monde savant. Ce fut l'œuvre d'A. R. Wallace et de Charles Darwin (1809-1882), dont les deux articles fondateurs, où ils exprimaient des théories indépendantes mais semblables, parurent en 1858. Puis *L'Origine des espèces* fut publié par Darwin en 1859. Les deux protagonistes de la nouvelle théorie avaient été frappés non seulement par la différence des faunes et des flores dans des aires géographiques à la fois voisines et séparées par des obstacles naturels, mais encore par l'enseignement du géologue Lyell, qui s'opposait au catastrophisme de Cuvier, et par la doctrine de l'économiste Malthus, qui insistait sur la compétition dans la lutte pour l'existence. La théorie de la sélection naturelle émergea de leurs réflexions. Selon cette théorie, l'évolution ne doit pas être considérée comme un progrès – lequel, s'il est réel (mais ils ne s'en occupaient pas), reste encore à expliquer – mais comme une diversification qui répond aux particularités de l'environnement. Celui-ci joue, dans la substitution d'une espèce à une autre, le rôle que les éleveurs exercent dans la sélection artificielle. Si l'on admet que des variations héréditaires se produisent constamment dans une population, alors le milieu sélectionne celles de ces variations qui se trouvent les plus aptes à s'adapter aux particularités de ce milieu, et condamnent par le fait même les autres à la disparition. Les espèces sont ainsi le résultat graduel mais irréversible de sélections successives produites par les changements de l'environnement.

À la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, les théories de l'évolution, qu'elles fussent lamarckiennes ou darwiniennes, du fait qu'elles présupposaient toutes l'hérédité de l'acquis, eurent à faire face à une objection majeure. Selon Weisman (1834-1914), tous les organismes pluricellulaires (la théorie cellulaire est une acquisition du XIX<sup>e</sup> siècle) sont composés de deux sortes de cellules : celles du

corps ou soma et les cellules reproductrices qui constituent le germe ; or, ces deux sortes sont totalement indépendantes les unes des autres. Dans ces conditions, les acquisitions, si elles sont possibles, du phénotype (le type apparent) ne peuvent s'imprimer dans le génotype (le type héréditaire). Il n'y a pas d'hérédité de l'acquis. Du coup, il n'y avait place, en théorie de l'évolution, que pour un néodarwinisme qui se bornerait à faire appel à des mutations accidentelles suivies de sélections (pour beaucoup d'auteurs, les mutations étaient bien plus importantes que les sélections). Mais, comment des mutations peuvent-elles se produire si le phénotype (c'est-à-dire l'organisme) n'y est pour rien ? De même que le problème de la définition de l'espèce avait renvoyé au problème de l'évolution, ainsi le problème de l'évolution renvoyait à celui de l'hérédité.

### III. – L'hérédité

La connaissance de l'hérédité est sans doute aussi ancienne que l'humanité consciente, mais la science de l'hérédité, qui a reçu au XX<sup>e</sup> siècle le nom de génétique, est l'une des plus récentes disciplines biologiques. On ne peut pas, en effet, qualifier de scientifiques, sinon dans un sens historique, les doctrines sur la génération qui se signalèrent durant ce qu'on appelle dans ce volume le deuxième âge de la science. Les unes dites préformationnistes tenaient que les rejetons étaient déjà entièrement constitués depuis toujours ; elles se distinguaient en ce que les unes plaçaient cette préformation dans l'œuf non fécondé, les autres dans le sperme apporté par le mâle. D'autres doctrines professaient l'épigenèse, c'est-à-dire l'apparition graduelle des différents organes de l'embryon et du fœtus : les expériences de C. F. Wolff (1734-1794) sur l'œuf de poulet marquent, à cet égard, les débuts de l'embryologie expérimentale. Toutes ces opinions détenaient, nous le savons aujourd'hui, une certaine part de vérité, mais elles ne disposaient pas de méthodes d'investigation suffisamment puissantes pour déterminer cette part. Même les expériences de Spallanzani (1729-1799), qui montraient la nécessité de féconder les œufs vierges par le contact du sperme, et réalisaient même les premières inséminations artificielles, étaient insuffisantes à inciter leur auteur à renoncer à ses conceptions préformationnistes et ovistes (existence de l'embryon dans l'œuf non fécondé).

En 1865, Mendel, un religieux morave, fit le premier pas qui devait conduire à la science de l'hérédité. Il publia un article *Recherches sur les hybrides végétaux* où il montrait, dans le plus simple des exemples qu'il offrait, que le croisement de petits pois aux graines soit lisses soit ridées produit des rejetons aux graines lisses, et que le croisement entre eux de ces rejetons de la première

génération produit des rejetons aux graines soit lisses soit ridées, dans une proportion qui obéit aux règles du calcul des probabilités, si l'on admet que, pour chaque caractère visible, la part de l'un et de l'autre géniteur est égale dans les hybrides, mais que l'une de ces parts domine l'autre, ce qu'on traduit en disant qu'un tel caractère est soit dominant soit récessif. L'article de Mendel passa inaperçu, car les biologistes de cette époque, et notamment le botaniste Nägeli auquel Mendel avait envoyé son article, étaient occupés par une théorie du « mélange » des caractères, qui allait être d'ailleurs exposée par Darwin lui-même (1868). Cette théorie avait le défaut de postuler que toutes les parties du corps contribuent à la constitution des cellules germinales (théorie de la pangenèse), contrairement à ce qu'allait démontrer, comme on l'a vu, Weisman (1885).

C'est en 1900 que les lois de Mendel (disjonction et indépendance des caractères) furent redécouvertes par trois botanistes, Hugo de Vries (1848-1935), C. Correns et E. Tschermak, qui vengèrent la théorie de Mendel de l'oubli où elle était tombée, et dont le premier introduisit le mutationnisme (c'est-à-dire la discontinuité) dans la théorie de l'évolution. Cependant, bien qu'on ait alors désigné les facteurs des caractères mendéliens du nom de gènes (Johannsen, 1909) et qu'on les ait mis en rapport avec les chromosomes constituant le noyau des gamètes (Boveri, 1887), on ne savait guère comment se produisaient les mécanismes de l'hérédité.

Ce fut le laboratoire américain de T. H. Morgan (1865-1945) qui, à partir de 1910, et grâce au choix de la drosophile comme matériel d'expérience, développa la théorie chromosomique de l'hérédité. Les chercheurs de ce laboratoire purent rendre compte des exceptions apparentes aux lois de Mendel, grâce à la mise en évidence des étapes de la méiose, ou division des cellules germinales. D'un côté, les cellules germinales doivent se diviser en deux étapes avant de donner naissance à des gamètes (spermatozoïdes ou ovules) qui ne posséderont chacune que la moitié (N), constituée au hasard, des chromosomes (2N) qui appartiennent à la cellule mère. D'un autre côté, avant le terme de la première étape de la méiose, dans les gamètes femelles, peut se produire entre les deux gamètes qui se séparent un échange de matériel génétique appelé crossing over. Il en résulte une dissociation de caractères non prévue par les lois de Mendel et qui affecte une certaine proportion des descendants.

Ces découvertes ne firent pas obstacle à la réconciliation de la théorie génétique et de la théorie néodarwinienne de l'évolution. Cette réconciliation fut opérée par quelques théoriciens, généticiens ou naturalistes, qui, en se fondant sur la génétique des populations d'une part, sur le caractère

graduel des modifications effectuées par la sélection naturelle d'autre part, établirent les bases de ce qu'ils appelèrent la Nouvelle Synthèse. Les principaux artisans de cette synthèse furent J. Huxley (1940, 1958), G. G. Simpson (1944), Th. Dobzhanski (1937, 1970), E. Mayr (1954, 1976).

Cependant, la connaissance du matériel de l'hérédité était loin d'être achevée, comme elle est loin de l'être encore aujourd'hui. Dans l'intervalle, bien des événements qu'on a qualifiés de « révolutions » se sont produits. En 1944, Avery, McLead et McCarthy ont prouvé que l'ADN, ou acide désoxyribonucléique, est responsable de la transmission des caractères héréditaires. En 1953, J. D. Watson et F. H. C. Crick découvrirent la structure en double hélice de l'ADN, qui révèle le mécanisme de la duplication des gènes, explique en termes chimiques la nature des mutations et montre comment la mutation, la recombinaison et la fonction des gènes sont des phénomènes distincts au niveau moléculaire. Cette intrusion de la biologie moléculaire dans l'explication des mécanismes de l'hérédité et de la vie en général est sans doute définitive. Elle jette des lumières nouvelles sur la construction du phénotype à partir du génotype, puisque l'ADN est responsable de la fabrication des protéines du corps à travers l'ARN messenger où il se trouve transcrit, et les ARN ribosomiaux et de transfert qui aident à le traduire. Cette métaphore linguistique exprime la découverte du code génétique, qui apparut en 1960, et à laquelle les biologistes français A. Lwoff, J. Monod et F. Jacob ont pris une très grande part, grâce à leur mise en évidence de l'ARN messenger. Mais ce code n'est pas le programme génétique, qui doit se trouver inscrit, au moins partiellement, dans l'ADN, on ne sait pas exactement comment. Ce programme génétique, qu'Aristote avait deviné et désigné par le terme d'eidos qu'il empruntait à Platon, semble encore presque aussi mystérieux qu'il apparaissait il y a vingt-quatre siècles. Il n'est pas éclairci, en effet, par la découverte des « gènes éclatés », qui sont la règle chez les eucaryotes (êtres vivants où le noyau des cellules est pourvu d'une membrane), et qui sont désignés ainsi parce qu'ils se trouvent logés sur les chromosomes, en des lieux distants les uns des autres (qu'on appelle exons), séparés par des brins qui ne s'expriment pas dans l'ARN messenger (et qu'on appelle introns). Qu'est-ce qui commande la mise en action, très différenciée, d'un tel gène éclaté ? Pourquoi cette action est-elle si différente chez l'embryon, le jeune animal, l'adulte et le vieillard ? Comment la recombinaison de tels gènes s'effectue-t-elle pour créer de nouvelles espèces ? Comment se fait-il que la vie soit restée presque identique durant trois milliards d'années et qu'elle ait fait des bonds prodigieux depuis environ sept cents millions d'années ? Comment est-elle née elle-même au sein de la « soupe primitive » ? À toutes ces questions, des réponses ont été proposées, mais elles restent partielles ou hypothétiques. Aux yeux de l'épistémologue, les secrets du gène, qui sont sans doute identiques aux secrets de la vie et de son évolution, pourtant si manifeste, restent bien gardés. Ce n'est pas

l'inventaire achevé du génome humain (ainsi que de quelques autres) qui est susceptible à lui seul de lever un tel voile.

Toute société humaine un peu développée a besoin de juristes, non seulement pour rendre la justice mais pour conserver et interpréter les lois et les décrets. Elle a également besoin d'historiens pour garder la mémoire des événements qui scandent sa vie nationale et internationale. En ces domaines encore, les anciens Grecs ont innové, car ils ne se sont pas contentés de déléguer ces fonctions à des personnages officiels ; d'eux-mêmes, parce qu'ils étaient des citoyens libres et responsables, ils ont voulu faire la comparaison des institutions politiques, ils ont cherché à connaître et à comprendre la vie sociale de leurs voisins et leurs propres querelles. Platon et Aristote sont les inventeurs de la philosophie politique occidentale, et également, par les descriptions jointes à leurs analyses, de la sociologie politique. Hérodote, un contemporain d'Hippocrate, est l'historien de l'Égypte, de l'Empire perse et des guerres médiques. Thucydide est l'historien des guerres du Péloponnèse, qui brisèrent la suprématie d'Athènes. Tous ces auteurs, qui n'avaient pas reçu mandat d'écrire les Annales de leur nation, nous étonnent encore par la profondeur de leurs vues, l'originalité de leur regard, et l'indépendance de leur jugement.

L'âge classique européen ne pouvait que tendre à les imiter en ce domaine comme en d'autres, ainsi que l'avaient fait les historiens latins. Tandis que Montesquieu rappelle Aristote, Rousseau semble prendre un des visages de Platon, celui qui visait l'utopie ; quant à Voltaire, il serait, par l'abondance et la maîtrise de sa documentation, l'égal d'Hérodote et de Thucydide, s'il était moins partisan. Du moins montre-t-il ce que l'histoire du XVIII<sup>e</sup> siècle tend à être : une histoire de l'esprit humain, dont Condorcet, précisément à la fin de ce siècle, s'efforce de manifester les progrès. Cette tendance philosophique de l'histoire va s'accroître au XIX<sup>e</sup> siècle, non seulement chez Hegel, qui s'en est fait en quelque sorte le théoricien, mais chez des historiens comme Guizot, le systématique, et Tocqueville, l'enquêteur impartial. Cependant, une autre tendance, contemporaine de la première et l'accompagnant souvent, se fait jour, notamment chez des écrivains comme Augustin Thierry et Michelet. Elle se prend d'intérêt pour le passé comme tel et vise sa « résurrection intégrale ». Cette tendance, aiguisée par le romantisme, s'affirme également en Allemagne chez Ranke, en Angleterre chez Carlyle.

Cependant, le XIX<sup>e</sup> siècle est aussi, on le sait, marqué par la révolution industrielle. Le changement dans les modes de production et d'échange entraîne des bouleversements sociaux et économiques, qui sont évalués par les observateurs de ce temps. Auguste Comte, ancien secrétaire

du comte de Saint-Simon, lequel se trouve à l'origine de plusieurs familles de pensée, est davantage frappé par cette révolution industrielle qu'il juge capitale pour l'évolution de la société tout entière que par la Révolution française, dont il réprovoie surtout le caractère « métaphysique ». Il voudrait, par sa philosophie, contribuer à l'éducation des prolétaires et des femmes. Les socialistes, eux, considèrent que la révolution industrielle appelle une révolution sociale, qui réclame elle-même une nouvelle vision de l'Histoire. K. Marx leur doit beaucoup, même s'il croit pouvoir les corriger, du haut d'une dialectique qu'il prétend scientifique et qu'il emprunte à Hegel. Toutes ces doctrines ont renouvelé la conception d'ensemble de l'homme et de la société. Elles ont inspiré les idéologies du XX<sup>e</sup> siècle, ces systèmes de représentations qui servent de repères à des groupes et à des foules préoccupés de défendre et de promouvoir leur existence sociale. Du point de vue de la connaissance scientifique cependant, qui se caractérise, comme l'a bien dit Popper, par sa capacité d'être mise en défaut, de telles doctrines n'offraient pas suffisamment de prise. C'est pourquoi elles ont joué, elles aussi, le rôle de « philosophies de l'Histoire », dont le ton rappelle celui du Discours sur l'Histoire universelle, que Bossuet avait écrit, au XVII<sup>e</sup> siècle, dans une perspective théologique.

On trouve une critique, assez remarquable pour l'époque, de ces nouvelles religions historiques sous la plume de Cournot. Ce dernier voyait bien que l'importance prise, dans les sociétés modernes, par la science et la technique allait conduire à une rationalisation de toute la vie sociale. Mais il était également frappé par les soubresauts que ces mêmes sociétés connaissent, sous la poussée irrationnelle de besoins et d'instincts vitaux nullement méprisables. Il n'entendait condamner ni la marche irrésistible des premières ni l'influence inévitable des seconds. À la philosophie de l'Histoire, il donnait donc un sens nouveau : faire la critique des catégories de la science historique, autrement dit l'épistémologie de l'histoire. On lui doit la distinction des causes, qui exercent leur efficacité à l'avant-scène des événements, et des raisons, qui expliquent à l'arrière-plan la plus ou moins grande portée des premières. C'est ce Cournot-là qu'on salue aujourd'hui comme un précurseur. Il est vrai qu'un siècle plus tard, un philosophe sociologue comme Raymond Aron (1905-1983) l'a jugé trop dogmatique. Dans *L'Introduction à la philosophie de l'histoire* (1938), ce philosophe français du XX<sup>e</sup> siècle, qui fut sans doute parmi ses pairs le plus attentif à la marche des événements et le plus soucieux de n'être pas dupe d'illusions collectives, entendait faire un « essai sur les limites de l'objectivité historique. » Aron y critique la théorie de la connaissance historique qu'a proposée l'école néokantienne de Bade, trop attentive, selon lui, aux valeurs que protège ou promeut toute société historique, même s'il reconnaît que la distinction, proposée dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle par Windelband, entre sciences nomothétiques (qui posent des lois) et sciences idiographiques (qui décrivent des individualités historiques) est à retenir. Aron

serait finalement plus proche d'auteurs comme Dilthey et Simmel, qui n'appartenaient à aucune école et qui accusaient la différence entre les sciences de la nature et les sciences de l'esprit. En tout cas, il est fort voisin de Max Weber (1864-1920), dont il n'a cessé d'opposer la finesse et l'érudition historique à la méthode rigide préconisée par la sociologie de Durkheim (1858-1917), pour qui la détermination des « faits » ne posait pas de problème, puisque les « faits sociologiques » pouvaient être traités comme des « choses ». À Max Weber, Aron emprunte, en particulier, l'idée de compréhension (que Dilthey avait opposée avant lui à l'explication que cherchent les sciences de la nature), celle de causalité historique (en quoi consiste l'explication en histoire, et qu'on ne peut inventorier qu'en usant d'une méthode comparative), et de type idéal (qui réunit des traits de comportement dans un schème qu'on peut appliquer à des conduites réelles). Ces trois notions sont, pour Weber, des outils que se donne l'historien sociologue, toujours maître de ses choix et restreint par les intérêts qu'il s'est donnés, mais dont l'enquête historique doit rester objective et se distinguer, pour autant, de l'action menée par l'homme politique. C'est sur cette prétendue objectivité de l'historien qu'Aron exprimait des doutes en 1938, tant les faits n'étaient historiques pour lui qu'à travers une interprétation donnée par l'historien. Il a reconnu pourtant que sa Thèse de 1938 était sans doute trop influencée par la phénoménologie et l'existentialisme qui régnaient alors en Allemagne. Il s'est rallié plus tard, semble-t-il, à la conception de la vérité historique qu'un historien épistémologue tel que P. Veyne, pour qui l'histoire est un roman vrai, a cru pouvoir soutenir (Comment on écrit l'histoire, 1971). On voit que l'histoire, pour Veyne, n'est pas une science. C'est un roman, parce que c'est par l'imagination que nous pouvons entrer dans la mentalité des hommes du passé ; mais c'est un roman vrai, et non une fiction, parce que l'imagination de l'historien est soumise aux documents dont il peut disposer, qu'elle est incessamment corrigée et réorientée par eux. Plus exactement, l'histoire est, pour P. Veyne, un récit d'intrigues, et ces intrigues s'expliquent par les facteurs qui s'y font jour. Or, ces facteurs sont, pour cet auteur, de trois espèces : « L'un est le hasard, qu'on appelle aussi causes superficielles, incident, génie ou occasion. L'autre s'appelle causes, ou conditions, ou données objectives... Le dernier est la liberté, la délibération... » Paul Veyne écrit encore : « Tant qu'il y aura des hommes, il n'y aura pas de fins sans moyens matériels, les moyens ne sont moyens que par rapport à des fins et le hasard n'existe que pour l'action humaine. Il en résulte que, chaque fois qu'un historien arrêtera son explication, soit sur des fins, soit sur la matière, soit sur le hasard, son explication devra être réputée incomplète ; à vrai dire, tant qu'il y aura des historiens, leurs explications seront incomplètes, car elles ne pourront jamais être une régression à l'infini. » Il est frappant que le type d'explication qu'Aristote avait réservé aux êtres naturels du monde sublunaire, Veyne l'ait repris, presque mot pour mot, pour les êtres humains ! Il n'y a rien d'étonnant à cela : si la physique

d'Aristote était fautive, c'est qu'elle assimilait par trop les êtres naturels aux êtres humains, qui sont beaucoup plus riches de possibilités ; en revanche, si la sociologie positiviste était superficielle, c'est qu'elle assimilait par trop les choses humaines aux choses naturelles, qui sont beaucoup moins complexes et sans intention qui leur soit propre. D'un côté, on supposait à tort un « intérieur » aux masses matérielles ; d'un autre côté, on voulait ranger sur le modèle de l'extériorité réciproque des phénomènes qui sont caractérisés par des intentions et des contaminations de proche en proche. L'imitation est un processus social fondamental, et comme l'a montré R. Girard, c'est elle qui explique la violence.

Dans la perspective platonicienne (mais non platonisante) qui nous a permis jusqu'ici de situer les différentes entreprises de l'esprit scientifique et même les diverses sortes de sciences, une conception de la « vérité » historique qui mêle, sur fond de hasard, exactement les deux sortes de causes que Platon avait appelées si joliment dans le *Timée* « causes nécessaires » (efficientes) et « causes divines » (finales) pour faire un récit « vraisemblable » de la genèse du Monde, ne peut qu'entrer dans une vision cohérente des disciplines qui revendiquent ou non le titre de sciences. L'histoire des sociétés n'est certainement pas une science « théorique » au sens que Cournot donnait à ce terme, mais elle appartient, comme la nouvelle cosmologie, à la « série cosmologique et historique » dont le même auteur reconnaissait l'existence entre la « série théorique » et la « série technique ou pratique » de la classification des sciences qu'il proposait. En tout cas, s'il est quelqu'un qui ne confondait pas la science (au sens où il l'entendait) et l'histoire, c'est justement Platon. Sous ce biais, les épistémologues historiens d'aujourd'hui qui, comme Veyne, ne se piquent pas de science tout en étant soucieux de vérité, peuvent être dits platoniciens. Il faut ajouter cependant que semblent l'être davantage encore les auteurs qui, pour restituer totalement le vécu et l'actuel tant d'aujourd'hui que du passé, répudient la méthode proprement dite, si caractéristique de la démarche scientifique et également de la démarche historique en tant qu'elle dépend des documents pour attester sa « vérité ». Ceux-là se réclament de la tradition herméneutique qui, inaugurée par les philosophes de la religion du XIX<sup>e</sup> siècle qui s'inspiraient elles-mêmes des modes d'interprétation de l'Écriture, impose d'aller à la vérité dans l'ordre pratique humain « avec toute son âme », comme le disait encore Platon, c'est-à-dire avec toutes les puissances du cœur et de la volonté. Qui ne se comporterait pas ainsi, en effet, à l'égard d'un projet humain total, en laisserait nécessairement perdre le plus précieux et ne parviendrait pas à le comprendre dans sa signification essentielle, qui est indépendante de son succès historiquement détectable. Dans cette tradition peuvent être rangés des auteurs comme H. Gadamer, J. Habermas, P. Ricœur. Avec eux, c'est l'Histoire plus que l'histoire qui importe, puisque l'homme est un être qui se connaît dans le devenir

et l'« historicité » de son destin, plus que dans la connaissance historique de son passé, ainsi que l'affirmait du reste Raymond Aron lui-même. Mais alors, c'est moins de connaissance scientifique qu'il s'agit que de connaissance pratique, préoccupée de raisons d'agir et de moyens proportionnés à de telles raisons, donc d'éthique à proprement parler. On envisagera de tels problèmes au chapitre suivant. En tant qu'elle s'occupe de connaissance, l'épistémologie ne peut certes ignorer ces questions. Mais en tant qu'elle s'occupe essentiellement de la connaissance scientifique, il lui faut d'abord s'occuper des disciplines qui suivent, par choix délibéré, des méthodes scientifiques, même si ces disciplines s'interrogent elles-mêmes sur ces méthodes, les jugent insuffisantes et en adoptent sans cesse de nouvelles, pour saisir tel ou tel aspect des choses humaines. Ne pouvant examiner ici toutes les disciplines de cette sorte, on se bornera à jeter, comme dans les chapitres précédents, un regard sur trois d'entre elles : la psychologie, la linguistique, l'économie.

## I. – La psychologie

Aristote n'avait pas de peine à relier la psychologie à la biologie, puisque tout être vivant, selon lui, se caractérisait par la possession d'une âme, d'une « psyché ». Cette conception ne l'empêchait pas de distinguer, justement par leur psyché, plantes, animaux et hommes, puisque ces diverses sortes de vivants possédaient diverses sortes d'âmes, même si les âmes d'ordre supérieur étaient capables d'assumer les fonctions des âmes d'ordre inférieur. Ainsi, l'âme intellectuelle de l'homme reprenait les fonctions de l'âme sensitive et locomotrice de l'animal, laquelle reprenait les fonctions de l'âme végétative de la plante. Cela permettait à Aristote de développer, en annexe de sa biologie, une psychologie qui était animale autant qu'humaine, une psychologie comparative en somme, qui suscite encore notre admiration pour l'étude de questions telles que la perception, la mémoire, l'intelligence pratique, etc.

On reproche souvent aux savants des siècles classiques d'avoir cantonné la psychologie dans la philosophie de la connaissance et des passions humaines, bref d'avoir régressé par rapport à la vision scientifique d'Aristote. Mais on oublie alors de se rendre compte que si l'on définit, comme le faisaient les classiques, le psychisme par la conscience humaine, il n'y avait pas pour eux d'autre solution. Bergson a eu le mérite de manifester une dissidence à leur égard, puisque, ne caractérisant pas la conscience par la façon dont les hommes la vivent et en font usage, il jugeait coextensives, cette fois à la façon d'Aristote, la conscience et la vie. Ce qui n'est guère contestable en tout cas, c'est qu'on aura bien des difficultés à comprendre l'organisation des fonctions psychiques si l'on

n'en fait pas des fonctions vitales, comme l'a bien montré dans son *Traité de psychologie générale* (1943-1946) le philosophe M. Pradines. Au reste, les auteurs classiques ne niaient pas cette connexion, et cette insertion des facultés mentales dans les besoins vitaux rendait d'autant plus délicate pour eux la manière d'articuler ces fonctions avec la raison considérée comme une faculté d'un autre ordre. Puisque nous sommes nous-mêmes aujourd'hui préoccupés de saisir l'exacte différence qui nous distingue psychiquement de nos cousins animaux, différence que nous rencontrons partout, sans pouvoir lui assigner un lieu propre, nous pouvons relire avec intérêt Malebranche, Locke, Berkeley, Hume, Condillac. Si nous leur dénions la qualité de psychologues, au sens contemporain du terme, du moins devons-nous les admettre, et pas à n'importe quel rang, comme des épistémologues de la psychologie. Ces auteurs se battaient, en effet, avec des problèmes, que Kant a jugés plus expédient de renvoyer à une science pure, baptisée alors anthropologie, comme si cette discipline ne posait pas déjà sur son propre terrain l'ensemble des problèmes philosophiques ! La démarche transcendantale ne peut abolir, en effet, en usant d'une conception purement formelle de l'« objectivité », la difficile question du rapport de la psychologie à la biologie d'un côté, à la sociologie de l'autre. Comte s'en était bien aperçu, et Cournot avouait que les sciences charnières sont les plus difficiles et finalement irréductibles à l'unicité d'un projet théorique.

La première tentative rigoureuse de faire de la psychologie une science au sens moderne du terme (c'est-à-dire une science qui soit à la fois expérimentale et théorique) a été d'en faire « la science du comportement. » Cette science peut être exercée au laboratoire. Mais là ne réside pas son principal caractère, car la psychologie expérimentale du XIX<sup>e</sup> siècle, la psychologie d'Helmholtz, de Wundt et de W. James, se passait aussi au laboratoire. Seulement, elle utilisait encore, comme allant de soi, la méthode introspective. C'est cette méthode que la nouvelle psychologie veut éviter, même si elle demande aux sujets de dire ce qu'ils ressentent et si elle note leurs réponses, qu'elles soient verbales ou gestuelles. Comme l'a écrit H. Piéron en 1908 : « Il est possible autant que nécessaire, non de nier, mais d'ignorer la conscience dans ces recherches évolutives sur le psychisme des organismes. Mais si ces recherches ne portent pas sur la conscience, sur quoi donc porteront-elles, qui ne soit déjà étudié par la physiologie ? Elles portent sur l'activité des êtres et leurs rapports sensori-moteurs avec le milieu, sur ce que les Américains appellent "the Behavior"... et sur ce que nous sommes en droit d'appeler "le comportement" des organismes. » Sans doute une telle conception de la psychologie convient bien à l'étude du psychisme animal, que l'éthologie, avec K. Lorenz et R. Chauvin, est allée saisir sur place, dans les conditions d'existence sauvage plutôt qu'au laboratoire. Mais il est tout à fait impossible d'ignorer la conscience chez les sujets humains,

puisque leur psychisme se caractérise par le développement de cette conscience (auquel l'accroissement relatif du cerveau semble ordonné) quoi qu'il en soit des animaux qui, au reste, agissent très souvent comme s'ils la possédaient également, d'une manière qui n'est pas radicalement différente de la nôtre bien que beaucoup moins développée. Reste donc à saisir le sens et l'utilité de la prise de conscience, en tant qu'elle semble caractéristique d'un psychisme humain évolué.

La deuxième tentative de rendre scientifique la psychologie a au moins le mérite de ne pas oblitérer l'importance de cette prise de conscience. Pratiquement contemporaine de la première, elle a été fondée par Freud. Celui-ci était l'héritier des méthodes psycho-pathologiques de Charcot et de Bernheim, et donc l'héritier de la médecine psychiatrique qui depuis longtemps suscitait l'attention des psychologues. Freud n'a pas voulu ignorer la conscience, mais constatant qu'elle cache souvent plus qu'elle ne dévoile le psychisme, il a voulu la faire servir, comme malgré elle, au dévoilement de ce psychisme profond, de cet inconscient qui rend compte d'une conduite ambivalente ou contradictoire, génératrice de malaise pour l'individu qui en est le sujet. À la place de l'hypnose, au cours de laquelle on avait constaté que l'évocation de l'événement traumatisant parvenait à en libérer le patient, Freud demande au sujet de se laisser aller à la « libre association », de façon à vaincre le refoulement qui est à l'origine des troubles. La théorie de Freud est que ce refoulement a eu lieu au cours du développement de la sexualité infantile, développement qui commence à la naissance et culmine entre trois et cinq ans avec le complexe d'Œdipe. C'est à propos de cette théorie psychique de la sexualité que des scissions se sont produites dans le mouvement psychanalytique, lequel se caractérise du moins par l'adoption de la « méthode clinique ». Thérapeutique efficace, du moins dans certains cas, cette méthode peut-elle être érigée aussi en instrument théorique et en méthode universelle pour la psychologie ? On répondra qu'elle suppose toujours une différence entre celui qui interprète et celui qui se laisse interpréter, entre le normal et l'anormal en somme. Ainsi, Piaget l'appliquait avec un certain succès pour interroger les enfants. Mais ne présupposait-il pas alors le normal, c'est-à-dire l'adulte, et l'adulte bien instruit ? Qu'est-ce qui nous introduira à cette connaissance de l'adulte, du normal, et de tout ce qui fait en un mot l'homme bien développé ?

La troisième tentative de rendre scientifique la psychologie a consisté à l'appuyer, comme cela s'était révélé fécond pour la génétique, sur la théorie de l'information et les techniques informatiques. Ainsi se révélait un moyen d'ouvrir la « boîte noire », que les behavioristes avaient

maintenue fermée, entre le stimulus et la réponse. De cette tentative est née la psychologie cognitive. Piaget avait bien vu que la psychologie devait se développer de ce côté : il s'était intéressé à la cybernétique et à l'étude du système nerveux, que McCulloch et Pitts avaient considéré comme un réseau électronique. C'était montrer que la voie de la psychologie devait rencontrer celle de la neuropsychologie, elle-même confrontée aux réalisations des « cerveaux électroniques ». Malheureusement, l'étude physiologique réelle des connexions entre neurones les a montrées beaucoup plus complexes que n'importe quel réseau de cette sorte. Tout ce que peut offrir la technique informatique, c'est une « simulation » sur ordinateur. On dira que c'est déjà beaucoup. On ajoutera que le développement de « l'intelligence artificielle », qui fait faire à l'ordinateur ce que l'intelligence humaine réalise, permet d'avancer beaucoup dans la comparaison des cerveaux humains et des machines à penser. D'où l'idée des « sciences cognitives ». Mais cette dérive vers les sciences cognitives en général montre bien qu'on a abandonné en chemin l'idée de se concentrer sur la psychologie. Il n'y a rien d'étonnant à cela. Depuis Pascal et Leibniz, les machines à penser sont des calculatrices qui obéissent à des règles qu'on sait leur inculquer. Elles se meuvent fort bien dans l'artificiel et l'on a raison d'en attendre beaucoup pour les sciences formelles et peut-être la linguistique. Mais le passage du naturel à l'artificiel qu'opère le génie humain depuis des millénaires reste aussi mystérieux que le passage beaucoup plus ancien de l'inanimé à la vie. Peut-être que l'anthropologie descriptive et historique (ou historico-culturelle) est notre seule arme en ce domaine, celle dont on s'est servi, en tout cas, au chapitre Ier de ce volume pour écarter le spectre toujours renaissant du psychologisme. Toutefois, même en tenant comme irréalisable le rêve que forme la pensée humaine de se connaître entièrement elle-même à l'aide des concepts opératoires de la science objective et des schémas physico-chimiques que ces derniers permettent de concevoir et éventuellement de réaliser, il est possible d'avancer dans la connaissance de la part que prennent les différentes parties du cerveau humain dans l'exercice de la pensée. Ainsi, le fonctionnalisme, qui renonce à connaître le hardware du cerveau assimilé à un ordinateur, prétend du moins approcher les programmes dont use le cerveau/esprit et identifier les modules successifs (éventuellement localisables) à travers lesquels se déploie la pensée réduite à un calcul (computationnisme). Cependant à une telle réduction s'opposent de fortes objections, même de la part de ceux qui, comme H. Putnam, furent les promoteurs d'une telle approche théorique. De son côté, le connexionnisme, qui se donne pour tâche d'approcher les processus mêmes de l'activité cérébrale, imagine et réalise des systèmes de neurones purement artificiels, reliés par des interconnexions dites synapses (comme pour les neurones réels) : on obtient ainsi des simulations de certaines fonctions mentales (comme la généralisation), qui sont retenues par la neuropsychologie et admises à titre de modèles. Par ailleurs, les nouvelles techniques d'imagerie cérébrale permettent

de tester les hypothèses ressortissant à n'importe quelle approche théorique et, par là, de traiter la science du cerveau comme celle des autres organes de la physiologie humaine. On a toute raison de penser que l'étude fine du cerveau, comme organe de la pensée, donnera des indications sur ce que celle-ci est capable de réaliser, soit de façon normale et habituelle, soit de façon exceptionnelle.

## II. – La linguistique

Si l'histoire n'est pas une science théorique, et si la psychologie semble appartenir davantage à la « série technique et pratique » des connaissances dites scientifiques qu'à toute autre série, on peut se demander dans quelle catégorie doit être placée la linguistique. Fort heureusement, nous ne sommes pas embarrassés pour lui reconnaître des ancêtres d'ordre pratique qui appartiennent en particulier à la sphère pédagogique : grammaire et prosodie, rhétorique et poétique. Nous ne sommes pas embarrassés non plus pour lui décerner des parents moins éloignés : l'hiéroglyphie et la paléographie, la philologie et la linguistique historique et comparative. C'est tout récemment que la linguistique est devenue une science théorique : son problème est d'être partagée entre de multiples écoles.

On s'accorde à considérer comme le père de la linguistique contemporaine le professeur de Genève Ferdinand de Saussure (1857-1913), dont le Cours de linguistique générale a été publié après sa mort par ses élèves. La critique saussurienne a doté la linguistique de distinctions qui sont devenues classiques : celle de la langue et de la parole, celle de la synchronie et de la diachronie, celle du signifié et du signifiant. La première distinction oppose l'institution sociale de la langue à l'acte individuel de langage, la deuxième le système de la langue à son évolution au cours de l'Histoire, la troisième le contenu communiqué au signe qui le communique.

Ces cadres dressés par de Saussure peuvent être différemment remplis. La linguistique française doit beaucoup à Gustave Guillaume (1883-1960) qui a étudié sous le nom de psycho-systématique les opérations de pensée qui concernent le signifié, laissant à la sémiologie la tâche de constituer la systématique du signifiant. De son côté, Émile Benveniste (1902-1976) a mis l'accent sur le discours (plutôt que sur la parole) qui est, en fait, à l'origine de la langue, puisque celle-ci n'est que le dépôt des formes de discours qui ont réussi au cours de la pratique du langage. Les auteurs qui travaillent dans cette ligne de pensée, tels que Jean-Pierre Desclès et Zlatka Guentcheva, n'oublient pas que

le langage est affaire de signes, que les signes ont une signification et que celle-ci ne peut être dissociée de la fonction symbolique qu'on s'accorde à reconnaître à l'esprit humain.

La linguistique structurale a pris naissance dans un autre univers linguistique, celui du Cercle de Prague, où Troubetskoï (1890-1938) joua un grand rôle, après la Deuxième Guerre mondiale, en tant que fondateur de la phonologie, science distincte de la phonétique. À son nom est associé celui de Jakobson (1896-1982), dont on retient surtout le « binarisme universel », c'est-à-dire la théorie des oppositions binaires. Se voulant plus épistémologique, la tentative de Hjelmslev (1899-1965) est, en fait, plus abstraite et sans prolongement d'ordre scientifique. C'est au sein du béhaviorisme que la linguistique structurale a pris une figure plus concrète avec l'Américain Bloomfield (1887-1949), dont l'attitude « antimentaliste » a fait école. On la retrouve chez le Français André Martinet (né en 1908) dont les *Éléments de linguistique générale* (1960) ont fait connaître la théorie de la double articulation, tandis que d'autres ouvrages développent davantage l'orientation fonctionnaliste que Martinet a donnée à la linguistique structurale : le langage est fait pour communiquer et cette fonction l'emporte sur tout autre conditionnement.

Une troisième école, qui a rompu délibérément avec l'aspect béhavioriste de la tendance précédente, est celle de Noam Chomsky (né en 1928). Pour ce dernier, l'emploi relativement libre de la langue par le sujet parlant est incompréhensible si l'on ne distingue pas la compétence de la performance. La première est innée (d'où le nom de linguistique cartésienne que Chomsky a donné à sa théorie), la seconde l'effet d'un apprentissage, où se manifeste l'existence de structures génératives et transformationnelles. De cette façon, le langage redevient l'œuvre de la pensée, et il n'est pas étonnant que le lien ait été fait immédiatement avec les sciences cognitives, dont s'est occupé personnellement Chomsky, relayé aujourd'hui par Fodor, Katz, Pylyshin, etc.

Si l'on ajoute que la philosophie analytique, dans le prolongement de l'œuvre de Russell et de Wittgenstein, s'est faite principalement une philosophie du langage, on voit que cette dernière n'a pas manqué d'interlocuteurs du côté des linguistes. Réciproquement, ceux-ci ont été conduits à prendre position vis-à-vis de ce que les logiciens leur offraient, sous les noms de syntaxe et de sémantique. À cette dernière, ils ont voulu associer la pragmatique, dont le rôle semble même prépondérant s'il s'agit du langage ordinaire. Il n'est pas sûr cependant que l'investissement des philosophes, pris par le tournant linguistique, dans les problèmes du langage ait beaucoup contribué à l'élucidation épistémologique des problèmes de la linguistique. La raison en est sans doute qu'on

ne gagne rien à confondre le langage ordinaire avec le langage scientifique et qu'il vaut mieux laisser les linguistes tenter de déterminer les articulations du premier et n'introduire, semble-t-il, la logique moderne que pour éclaircir, dans la mesure où elle le peut, les déterminations beaucoup plus univoques (mais qui ne le sont jamais totalement) du langage mathématique et du langage scientifique. À ce compte, on pourrait introduire, si elle était utile, une logique de la linguistique. Une telle logique n'aurait évidemment rien à voir avec la sorte de logique naturelle qu'on appelle le bon sens et dont on peut sans doute s'inspirer pour élaborer des schémas combinatoires susceptibles d'implémentation sur ordinateur.

### III. – L'économie

Bien que déjà connue des Grecs, l'économie, ou plutôt la science économique, s'est beaucoup développée en Europe avec l'organisation des États nationaux (mercantilisme, physiocratie) et, plus encore, avec l'avènement de la révolution industrielle (Adam Smith, Ricardo) et des doctrines socialistes. On peut dater du dernier tiers du XIX<sup>e</sup> siècle le visage théorique que nous lui connaissons aujourd'hui. Cependant, le lien inévitable qu'elle entretient avec la pratique sociale et politique la rend plus que la psychologie et la linguistique dépendante des nouvelles questions qu'on lui pose et qui l'amènent à prendre de nouveaux visages.

En tant que science théorique, l'économie a eu une naissance difficile, bien que les Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses aient été publiées dès 1838 par le fondateur de l'épistémologie française, Augustin Cournot. Ce dernier lui indiquait la voie à suivre, une voie qui a été reprise par L. M. Walras (1834-1910) et son successeur à la chaire d'économie de l'université de Lausanne, V. Pareto (1848-1923). Il était inévitable, en effet, que les activités économiques, qui ont été à l'origine des premières notions arithmétiques, aient pu profiter en retour des progrès de l'analyse et de la théorie des fonctions, comme Cournot l'a montré le premier pour les questions de prix et de marché. Cette acquisition reste fondamentale. Elle a été développée ensuite en une théorie de l'équilibre général par Walras et Pareto. Ceux-ci ont dû cependant introduire dans leur théorie des hypothèses qui sont peu réalistes, comme celle de concurrence parfaite. Parallèlement, l'école de Vienne, notamment avec C. Menger (1840-1921), développait la théorie de l'utilité marginale, qui correspondait exactement aux analyses des théoriciens de Lausanne. On doit en dire autant des analyses de l'Anglais Jevons (1835-1882). Tous ces auteurs ont fondé la « microéconomie », celle qui s'applique aux agents économiques pris individuellement.

Ce qui manquait à cette science théorique, c'était la vision d'ensemble du système économique réel et la prise en compte des facteurs historiques où il joue. Les auteurs classiques ou néoclassiques (de Smith à Stuart Mill et à A. Marshall) en tenaient compte davantage, de même que les socialistes. Pour ces derniers, en particulier, le marché du travail ne pouvait pas être conçu comme le marché des marchandises. C'est à l'intersection de ces différents courants que se distingue l'œuvre de J. M. Keynes (1883-1946) dont *La Théorie générale de l'emploi, de l'intérêt, de la monnaie* parut en 1936. Cette œuvre, qui voulait remédier au sous-emploi dont souffraient les économies libérales, a été, pour toutes ces sociétés, l'inspiratrice de la plupart des politiques économiques nationales après la Deuxième Guerre mondiale.

Aujourd'hui, où ces sociétés ont épuisé l'ensemble des recettes keynésiennes et où elles sont confrontées à d'autres formes de chômage, celles qui sont la conséquence de l'innovation technologique, la pensée économique est plus que jamais partagée entre diverses écoles. Le libéralisme classique fait retour, notamment avec la prise en considération de l'œuvre de F. A. Hayek (prix Nobel 1974) et la théorie quantitative de la monnaie de Milton Friedmann (*Inflation et Systèmes monétaires*, 1969) qui préconise une masse de monnaie stable et indexée. Cependant, les États n'ont pas renoncé à poursuivre des politiques économiques, qui s'avèrent de toute façon nécessaires, ne serait-ce que pour enrayer ou prévenir les crises. Par ailleurs, les études d'économétrie, dotées de statistiques, apparaissent comme des instruments capables de tester et donc de « falsifier » les théories économiques, à condition que les unes et les autres usent de concepts communs ou du moins transcritibles, ce qui n'est pas toujours réalisé. Pour ces diverses raisons, l'épistémologie se révèle aussi indispensable à la science économique qu'elle l'est à la psychologie et à la linguistique. Mais sans doute faut-il y ajouter une raison supplémentaire. Les deux dernières disciplines ne posent pas, en effet, beaucoup de problèmes éthiques, sinon dans leur application, de plus en plus sollicitée il est vrai. Ces problèmes s'imposent d'emblée à l'économie, dont on ne peut accepter que la science qui la prend pour objet ne s'inquiète pas de laisser mourir de faim des centaines de millions d'êtres humains. Déjà Aristote avait distingué une « chrématistique » ou art d'acquisition des richesses et une « économique » proprement dite ou art de bien gérer son domaine. L'économie d'Aristote était domestique. Depuis plusieurs siècles, elle est devenue politique ; et cette politique est indispensable aujourd'hui à tous les niveaux : régional, national, continental, mondial. Aurait-ils donc résolu les problèmes théoriques intérieurs à leur science que les économistes auraient certainement, en raison des enjeux pratiques que recouvre la science de la production et de la répartition des richesses, du travail jusqu'à la fin

du monde.

---

## 7 Enjeux sociaux, culturels et éthiques du développement scientifique et technique

Les sciences de l'homme et de la société tendent, on l'a vu, de plus en plus à former des experts, c'est-à-dire sinon des décideurs, du moins des spécialistes aptes à préparer et éclairer des décisions pratiques. Il n'en est pas exactement de même pour les autres sciences, où l'aspect technique est plus apparent ; cependant, l'aspect pratique au sens social et moral n'en est pas moins prégnant, puisque tout ce qui s'inscrit dans la vie sociale a des répercussions à long terme sur la société, qui sont souvent plus importantes que des décisions momentanées. Aujourd'hui, les mathématiciens s'occupent d'informatique, les physiciens des sciences de l'ingénieur, les chimistes de recherches pharmaceutiques, les biologistes de génie génétique. Cela recouvre des pans entiers de l'activité sociale. La science et la technique deviennent ainsi solidaires, sinon dans leur visée, du moins dans leurs activités concrètes et leurs retombées sociales. C'est la raison pour laquelle les critiques qui sont portées à notre civilisation industrielle les atteignent toutes deux également et d'ordinaire conjointement. Même si elles ne peuvent être rendues les uniques responsables des décisions qui sont prises avec leur concours, la part que les sciences et les techniques prennent à ces décisions montre que leur développement ne peut être abandonné au hasard mais doit être attentif aux effets, désirables ou indésirables, qu'il peut produire dans l'ordre social, culturel et éthique. On ne fera ici qu'évoquer brièvement les enjeux auxquels ces effets se trouvent liés et dont la considération ne peut être propre ni aux scientifiques ni aux philosophes des sciences, bien que les uns et les autres ne puissent s'y soustraire.

Dans l'ordre social, le développement scientifique et technique, qui est la principale des forces productives, tend à renforcer le pouvoir des secteurs de pointe et à rendre désuètes et inutiles des activités qui, importantes naguère, sont aujourd'hui atteintes par le chômage. La solution ne peut consister à arrêter ce développement, comme l'abbé Grégoire l'expliquait déjà aux députés de la Convention, et malgré le geste symbolique qu'accomplirent plus tard les canuts de Lyon, en détruisant en 1832 leurs métiers à tisser. Car un vrai progrès technique, s'il est possible, s'imposera tôt ou tard, et les sociétés qui auront tardé à l'adopter n'auront que plus de difficultés à s'y adapter. Mais il est possible de restreindre les effets pénibles de telles mutations. On pense d'abord aux

actions de formation permanente, qui doivent permettre aux producteurs de tous ordres de suivre le progrès technique. Cependant, il faut bien se rendre compte qu'on ne fera pas de tous les candidats à la production les gérants indispensables d'un appareil productif qui aura de moins en moins besoin de bras et de cerveaux. La solution consiste évidemment à orienter la main-d'œuvre vers des secteurs non liés directement à la production matérielle mais tout aussi nécessaires à l'équilibre des sociétés : le jeu, la santé, l'enseignement, la communication, la recherche fondamentale, les activités juridiques et la politique, l'art et la religion. Si nos sociétés industrielles ne trouvent pas le moyen d'articuler ces activités culturelles aux activités productives des biens indispensables, les unes et les autres se soutenant mutuellement, les plus graves conflits sont à craindre. On peut penser que si les appareils d'État gardent entre leurs mains un potentiel d'armement qui paraît insensé, ce n'est pas seulement par rivalité de pouvoir, mais également par crainte que les affrontements sociaux ou ethniques deviennent tels qu'on aura besoin d'une force dissuasive pour les empêcher d'éclater en guerres meurtrières. Quoi qu'il en soit des raisons qui tendent à faire prévaloir en politique les rapports de force, aujourd'hui comme dans les temps anciens, on s'aperçoit que le passage d'une « civilisation du travail » à une « civilisation du loisir » ne va pas sans difficultés. Il est en général plus facile à l'homme, en effet, de subir son travail, serait-ce en maugréant, que d'inventer un loisir promis à une destination sociale. S'il en était autrement, on n'aurait pas vu dans l'Histoire tant de civilisations périr, par incapacité manifeste de leurs élites dirigeantes à inventer des formes de loisir, qui soient non seulement intéressantes ou passionnantes pour leurs adeptes, mais suffisamment communicables pour être partagées par le grand nombre et se prêter à une reconnaissance, qui soit davantage qu'une tolérance. La science elle-même, connaissance communicable par excellence, a mis longtemps à se faire reconnaître.

Les problèmes sociaux que suscite le développement scientifique et technique sont donc, en définitive, des problèmes culturels. La culture, qu'elle soit d'élite ou de masse, doit être acceptée. Or, il existe aujourd'hui un mouvement puissant qui tend à contester la légitimité de cette culture scientifique et technique, qui façonne aujourd'hui le visage de nos sociétés. On la conteste au nom des dommages qu'elle porte à l'environnement. Il faut reconnaître que tant que l'emprise technique sur la nature n'avait pas entraîné les effets inquiétants qu'on doit attribuer surtout à l'accumulation des déchets, le mot d'ordre cartésien de nous rendre « maîtres et possesseurs de la nature » était aisément reconduit. Déjà cependant au XIX<sup>e</sup> siècle, Cournot assignait à l'humanité une ambition plus modeste, celle d'être « concessionnaire » de la planète. On peut se demander aujourd'hui si cette concession a rempli les offices qu'on pouvait en attendre. Ce n'est pas le lieu d'énumérer les catastrophes écologiques qui nous menacent. Puisque ces risques mettent en question la place de

l'Homme dans la Nature, ils nous invitent certainement à réfléchir sur cette place qui était la préoccupation dominante des mythes dans les anciennes cultures. Or, les sciences d'aujourd'hui sont singulièrement mieux outillées que les sciences de l'âge classique pour fournir des éléments de réponse à cette question. C'est donc un sujet d'étonnement pour l'épistémologue de constater combien souvent les sciences ou disciplines de la « série cosmologique et historique » sont méprisées par les théoriciens. On accordera à ces derniers que ces disciplines ne se présentent pas sous la forme axiomatique, qui est satisfaisante pour un esprit scientifique, même si elle laisse dans l'ombre des problèmes qui interdiront toujours d'y voir le dernier mot de la science. Mais de quel droit un physicien théoricien, qui n'a pas fait l'unité entre la relativité et la mécanique quantique, peut-il interdire au cosmologue de tenter de la faire ? Comme l'a fort bien remarqué Poincaré : « L'Univers n'est tiré qu'à un seul exemplaire. » Il n'y a donc aucune raison pour que l'idéal de la relativité, qui est de trouver des lois invariantes dans des lieux et époques différents, passe pour la loi suprême de la nature. Cet idéal est, tout au plus, un réquisit de notre « commodité », qu'on a raison de suivre dans la détermination des lois physiques et qui nous empêche au moins de nous égarer. Si donc une hypothèse cosmologique rend compte de l'Univers tel qu'il est, avec la vie et la pensée sur la petite planète Terre, il n'y a pas lieu de la repousser sous prétexte qu'elle n'est pas revêtue de la légitimité d'une loi physique testable. Il suffit qu'elle soit vraisemblable, compte tenu des données dont nous disposons. Si cette hypothèse prend en compte le « principe anthropique », selon lequel parmi tous les univers imaginables il faut retenir pour réel celui qui est compatible avec notre existence, il n'y a aucune raison de rejeter cette hypothèse sous prétexte qu'elle nous ferait, comme l'astronomie précopernicienne, trop d'honneur. Qu'on le déplore ou non, en effet, c'est l'Univers où nous sommes qui est à expliquer, celui pour lequel Platon avait imaginé un démiurge, comme s'il avait voulu nous dire par là que cette fabrication aurait pu être tout autre. Mais l'idée d'un univers qui n'aurait aucun lien avec les moyens que nous possédons de l'identifier n'est qu'une pseudo-idée, un mythe plus inconsistant encore que les mythes d'autrefois. Bien que tout nous autorise, en particulier en raison des suggestions que nous offre la mécanique quantique, d'imaginer d'autres univers à partir de celui que nous connaissons, c'est celui-ci même qui s'offre à nos regards que le cosmologue doit prendre pour objet. Les quelques quasi-certitudes que nous pouvons obtenir à son sujet, comme la fabrication des éléments lourds au sein des étoiles, ont sans doute plus d'importance culturelle que la classification de Mendeleïev des mêmes éléments, si remarquable que soit cette dernière. Le même type de raisonnement est sans doute applicable à l'évolution de la vie sur la Terre. Il est très intéressant de savoir que le code génétique découvert au siècle dernier est quasiment universel. Cela renforce notre persuasion relative à l'unité de tout le monde vivant. Mais il est plus intéressant encore de saisir les étapes d'une telle évolution, puisqu'elle

nous instruit sur les bonds fantastiques dont nous sommes les héritiers et sur la manière dont ils ont pu se produire. À cet égard, on peut se demander si l'apparition de la pensée réfléchie chez l'homme est vraiment un coup de hasard, comme le prétendait J. Monod. Le fait que nous partageons 99 % de nos gènes avec les chimpanzés n'indique-t-il pas qu'une longue préparation a été nécessaire, dans la famille des Hominidés, pour qu'un corps animal puisse servir d'habitable à la conscience réfléchie ? On comprendrait ainsi qu'à la dernière étape très peu de différences aient pu faire surgir l'éclair de la pensée. Prétendre que l'évolution des espèces est une affaire qui n'a rien à voir avec cette apparition si décisive qu'elle devient pour son bénéficiaire un problème, est à peu près aussi convaincant que prétendre que l'apparition de la pensée scientifique en Grèce, aux VIIe-VIIIe siècles avant notre ère, est parfaitement inexplicable à partir des procédés de réflexion de la pensée commune. En fait, rien d'important n'apparaît jamais qui n'ait été possible et longtemps préparé. Cette remarque vaudrait pour toutes les étapes de l'Évolution et de l'Histoire. De cette façon, la finalité dont nous avons vu qu'elle est l'enveloppe de la science, est la demeure de la culture. Renoncer au principe de finalité, c'est renoncer à la culture, puisque c'est renoncer à comprendre. Il faut bien reconnaître que certaines écoles de la philosophie des sciences constituent une offense à ce besoin de comprendre. Rien ne justifie, par exemple, le positivisme d'A. Comte qui installait l'homme dans un microcosme fait à son image et qui était préoccupé de défendre ce microcosme par tous les moyens, y compris par l'interdiction des sciences (calcul des probabilités, astrophysique) dangereuses pour de telles illusions. Rien ne justifie davantage le scientisme, qui se complait dans la mosaïque des sciences, comme si cette mosaïque n'avait pas besoin d'une mise en perspective, d'être rattachée à un dessein ou plutôt à plusieurs desseins qui ont chaque fois guidé la main de l'artiste et qui l'ont fait obéir, comme c'était le cas du démiurge de Platon, à un réel supposé intelligible. Ici, le mythe de Platon nous aide à penser non plus la genèse de l'Univers mais la genèse des sciences. Rien ne semble justifier enfin le matérialisme, à moins qu'on y trouve une excuse dans le besoin qu'éprouve parfois le scientifique ou l'homme d'action de justifier à ses propres yeux les limites criantes de son entreprise en taxant de fumée ce qu'il ne peut ni englober dans ses formules ni manipuler par ses instruments ou par ses injonctions.

Les problèmes de culture et d'ouverture à des significations englobantes, étant des problèmes de finalité, sont, en définitive, des problèmes d'éthique. Il faut reconnaître qu'il est difficile de percer les mystères qui nous entourent. Il faut reconnaître aussi que les sciences apparaissent comme des leviers d'action, qui, à défaut d'éclaircir ces mystères, procurent quelque sécurité. D'où l'espoir est né, il y a au moins trois siècles, qu'un humanisme scientifique serait un refuge contre les dangers de l'inconnu et les prestiges de l'irrationnel. Mais le problème qui s'est posé à l'homme n'a jamais

consisté à se fabriquer une carapace pour se protéger d'un milieu hostile ou des tentatives de ses compagnons plus hardis. Il a toujours été de développer la vie humaine elle-même, dans ce qu'elle a inséparablement de sublime et de fragile. Faute de cette assistance que l'homme doit apporter à l'homme précisément dans le développement de son humanité, c'est le désespoir qui le ronge et les fausses justifications qui le guettent. Or, les préceptes de l'éthique générale ne s'arrêtent pas devant les considérations d'une prétendue éthique scientifique. On ferait bien, nous semble-t-il, dans les problèmes d'éthique que pose telle ou telle utilisation des découvertes biologiques ou des techniques médicales, de se demander d'abord non si elle est scientifiquement sérieuse, mais si elle est humainement souhaitable. Certes, dans les questions où il s'agit uniquement d'une éthique de la recherche, le sérieux d'une entreprise, qui suscite par ailleurs quelque gêne morale, doit être examiné de près. Rien ne devrait être fait, nous semble-t-il, qui offense le respect de la vie humaine, car ce respect a plus d'importance qu'un progrès hypothétique de la science. Mais les vrais problèmes de bioéthique sont ceux qui ne restent pas confinés dans les laboratoires, ceux qui répondent aux questions qui se posent dans les cliniques et dans les hôpitaux. Là, il ne s'agit pas de légiférer pour un petit nombre, mais pour la grande masse des patients et des demandeurs. Il s'agit de savoir, par exemple, si des procédés qui rendent l'amour facile ne contribuent pas à la détérioration de l'amour, alors que l'amour entre l'homme et la femme a constitué jusqu'ici le grand ferment de nos sociétés, l'adjuvant de l'héroïsme, et la marque de l'engagement dans le don réciproque. Certes, des problèmes de santé peuvent également se poser, mais ils ne devraient pas boucher l'horizon au point d'assimiler tous les humains à des pestiférés potentiels ou à des brutes sans conscience. Il s'agit de savoir aussi, par exemple, si les techniques de reproduction animale sont le relais que doit prendre la procréation humaine quand celle-ci, pour une raison ou une autre, s'avère impossible selon les voies normales, alors que tant d'enfants du Tiers Monde attendent d'être adoptés par des couples sans enfant. Il s'agit de savoir enfin face aux situations qui se situent entre la vie et la mort (physique ou cérébrale), s'il est convenable de prolonger la vie à tout prix, ou, au contraire, de l'interrompre brutalement, comme de modifier le cerveau qui est l'organe de la personnalité, et pas seulement de la pensée ou du comportement. Rien ne peut empêcher que ces problèmes-là nous émeuvent, au même titre que les dons d'organes, à propos desquels nous n'éprouvons rien de honteux, seulement la joie de savoir que la solidarité humaine a gagné, quand ils ont réussi. En éthique, ce n'est pas la faisabilité qui importe d'abord ; il faut laisser ce critère à la technique. Ce qui importe, c'est un mieux-vivre qui soit moralement et socialement acceptable. Nous ne sommes pas réduits, en effet, en cet âge de la science, à offrir le menu de morales arbitraires, qui pourraient convenir à des modes et à des intérêts égoïstes du moment. Nous devons assumer pour l'honneur de l'humanité ou pour toute autre conviction religieuse respectable,

l'éthique qui donne à la vie humaine le sens le plus universellement humain, compte tenu des leçons du passé, des exigences du présent et de nos responsabilités concernant l'avenir. Il serait attristant pour l'espèce humaine que la science qui, depuis plus de vingt siècles, a constitué pour l'esprit humain l'accès aux connaissances les plus difficiles, n'ait d'autre justification aujourd'hui que de rendre la vie la plus facile possible, c'est-à-dire, quand il s'agit de questions importantes, et dans la grande majorité des cas, la moins humaine, la moins digne d'être vécue. On peut penser que les transformations sociales et politiques qui nous attendent, et qui doivent nous permettre de survivre en surmontant les dangers d'explosion, ne seront possibles ni même envisageables à court terme que si la culture, et l'éthique qui lui sert de boussole, assurent à la vie humaine le courage dont elle a besoin dans les grandes transitions. Or, ce courage est à portée de main pour tous ceux qui reconnaissent dans la vie humaine la révélatrice de la finalité inscrite dans l'Univers.

---

## 8 Conclusion

L'épistémologie est l'étude des sciences et des activités scientifiques, comme les six chapitres de ce volume ont essayé de le montrer, mais ce n'est pas une science elle-même, si exacte et rigoureuse que soit la méthode qu'elle suive, que ce soit sous l'angle historique ou sous l'angle conceptuel. Comment pourrait-elle se constituer en science, avec des principes et des règles arrêtés, alors qu'elle doit s'adapter avec souplesse à la multiplicité des sciences telles qu'elles se sont développées, et s'intéresser non seulement aux mathématiques et à la physique, mais à la biologie et aux sciences qui ont l'homme et la société pour objets ?

Il est vrai qu'un thème récurrent a traversé la théorie de la connaissance et l'épistémologie depuis Descartes, celui de l'unité de la science. Ne serait-ce pas la tâche spécifique que l'épistémologie devrait se donner ? Mais ce thème, qui avait d'abord une saveur idéaliste, quand l'esprit humain était conçu comme pouvant déterminer a priori les caractères que devait avoir tout objet pour être admis dans l'édifice de la connaissance vraie, n'a pris une saveur matérialiste, quand on a voulu que tout objet de la science puisse être réduit à ses composants matériels, que pour se révéler un rêve, que la physique elle-même était incapable de mettre en œuvre dans la sphère qui lui est propre. Quand un objet physique n'existe qu'à l'intérieur de ses conditions d'apparition et de maintien dans l'existence, qui ont pour effet de le faire passer de la potentialité à l'actualité, alors l'attribution qu'on pourrait lui faire de quelque propriété permanente, et d'abord de l'existence, apparaît comme le transfert indu des caractéristiques que possèdent les objets matériels à notre échelle à des conditions d'existence qui sont tout autres et que seule la représentation mathématique, qui se rend indépendante des idées du sens commun, peut, dans une certaine mesure, maîtriser. D'ailleurs, comment la physique qui n'acquiert qu'avec peine son unité, comme on le voit avec la résistance que la théorie relativiste de la gravitation oppose encore à la théorie quantique, pourrait-elle étendre cette unité hypothétique aux phénomènes biologiques et aux phénomènes humains ?

Cependant, l'unité de la science, qui est un rêve de la raison, peut céder la place à l'unité des sciences, qui serait une des tâches de la philosophie, aidée de l'épistémologie. Cette dernière forme d'unité des sciences est réalisée, comme on l'a vu, d'une certaine manière, dans les quatre massifs que nous avons distingués et à l'intérieur desquels certaines réductions conceptuelles sont possibles, si bien que nous avons des sciences mathématiques, des sciences physico-chimiques, des sciences du vivant, des sciences de l'homme. Mais nous avons vu aussi que cette unité des sciences pouvait

être réalisée autrement, à condition de se donner des hypothèses plus philosophiques que scientifiques, comme on le voit en cosmologie qui, nous plaçant à l'origine de cet Univers-ci, nous fait assister en quelque sorte à la naissance des objets de la physique, de la chimie, et même de la biologie. Nous pouvons nous représenter l'apparition du temps et de l'espace, des microstructures que sont les particules dites élémentaires et des macrostructures que sont les étoiles et les galaxies, des molécules qui vont s'agglomérer en cristaux et de celles qui vont s'organiser en cellules vivantes, du moins sur la planète Terre, où plantes et animaux se sont développés, tandis que peut-être d'autres formes de vie peuplaient d'autres planètes... Quand l'esprit humain entrevoit comment tous ces processus ont pu se mettre en route et se maintenir, alors il ne se sent plus étranger à cet Univers et acquiert davantage de confiance en ses propres pouvoirs qui doivent lui faire prendre conscience de sa responsabilité concernant l'avenir de l'espèce humaine et de la vie sur sa planète.

La philosophie, qui prend ainsi le relais de la science, ne peut que se sentir tributaire des acquisitions, plus ou moins assurées, plus ou moins importantes, que cette dernière lui livre. C'est pourquoi il lui revient d'examiner, avec l'épistémologie, la portée des théories scientifiques, la limite de validité de leurs lois, la puissance d'extension de leurs concepts. Ce faisant, elle peut rendre service sinon à la science elle-même, du moins à la pédagogie de la science. Il est frappant que beaucoup de scientifiques n'ont pris conscience de la philosophie de leur discipline que parce qu'ils se trouvaient dans l'obligation soit de faire partager leurs découvertes à leurs pairs, soit de l'enseigner à leurs élèves. De leur côté, les philosophes qui se sont mis à l'école de la science, l'ont fait le plus souvent soit pour assurer leur théorie de la connaissance, que le scepticisme instruit menace toujours de ruiner, soit pour constituer une ontologie, ou doctrine de l'être, qui soit en résonance avec la culture scientifique quand elle embrasse la variété des phénomènes et leur possible bien qu'incertaine mise en ordre.

De cette façon, l'épistémologie peut se prolonger en philosophie de la Nature et même en philosophie de l'Histoire. Cela dépend de l'ambition et de la compétence des philosophes qui s'en emparent. Il n'est guère raisonnable de tracer entre ces domaines des frontières que l'évolution historique se charge le plus souvent d'effacer. Mais il est utile, à chaque époque, de distinguer ce qui appartient à la science et ce qui relève de la spéculation. L'épistémologie est la mieux placée pour s'acquitter de ce travail. Elle est un œil placé entre l'édifice toujours en construction des connaissances et les aspirations toujours renouvelées de l'esprit en quête du savoir. C'est pourquoi il ne lui revient pas, en tant que telle, de prononcer des interdits. Mais elle n'a pas le droit de se

désintéresser soit des orientations de la recherche, soit du contenu des enseignements, soit de la diffusion de la culture scientifique. Elle ne peut jamais oublier que la science est une aventure qui, au même titre que toute autre aventure humaine, n'est en définitive justifiée que par la noblesse évidente de ses buts.