Le commentaire de texte en histoire des sciences

Erwan Penchèvre

Master LOPHISS 2007–2008

L'histoire des sciences est une discipline ancienne. Aussi loin que l'on remonte, ou presque, les premiers témoins d'une recherche scientifique s'accompagnent d'un retour sur son passé (par exemple dans la science grecque, ne serait-ce que lorsqu'un savant énumère les contributions de ses prédécesseurs pour mieux mettre en valeur la sienne propre). La discipline « histoire des sciences » n'est alors pas encore constituée en tant que discipline – pas de communauté d'historiens des sciences, ni de « livre d'histoire des sciences » – mais il y a pourtant des textes d'histoire des sciences. Un peu plus tard – dès le XVIII^{e} siècle au moins – va naître une véritable discipline.

Cette ancienneté implique certaines contraintes formelles comme dans toute discipline transmise. On reconnaît facilement, en un clin d'œil parfois – et parfois au risque de se tromper – un ouvrage d'histoire des sciences ; on ne peut le confondre avec un manuel de mathématiques, un ouvrage de métaphysique, un ouvrage de vulgarisation scientifique.

Cette forme traditionnelle contraignante n'empêche pas toutefois (et n'a jamais empêché) des échanges entre disciplines. Un même auteur peut faire à la fois :

- un bon philosophe et un bon savant (Descartes, Leibniz,...)
- un bon philosophe et un bon historien des sciences (Jules Vuillemin par exemple)
- un bon savant et un bon historien des sciences (André Weil...)

Au nombre de ces contraintes, sans vouloir être exhaustif, il faut tout d'abord mentionner l'existence d'un style propre à l'histoire des sciences ; il y a aussi l'exigence d'une certaine rigueur scientifique (l'historien doit parfois se substituer au savant afin de vérifier ou d'achever certains raisonnements) ; enfin l'exigence d'un renvoi explicite aux sources textelles (exigence qui comprend certaines normes bibliographiques, l'importance du nombre et de la qualité des citations, etc.). Mais j'insisterai ici plus spécialement sur la forme que revêt bien souvent le texte d'histoire des sciences : ce texte est lui-même un commentaire de textes [1].

L'unité textuelle, c'est le livre, ou bien l'article. Rédiger quelques pages de commentaire sur un court paragraphe, comme on pourrait le faire lors d'un examen, semble artificiel. Et si j'ai, au cours de ma formation, appris certaines « recettes », je n'en connaît pas pour ce genre de commentaire (dans un commentaire philosophique, l'immanence du langage supplée peut-être à l'absence d'un contexte – mais l'histoire des sciences n'est pas toujours pure philosophie).

Or aux contraintes formelles (en particulier à la forme même du texte d'histoire des sciences, comme commentaire), contraintes quant au résultat, on oppose une liberté quant à la méthode. Liberté oblige, dès qu'il est question de méthodologie, le débat se transforme souvent en querelle, et il vaut mieux choisir son camp si l'on veut avoir des amis. Pourtant, cette liberté recouvre un fait plus profond. Il y a – il doit y avoir – dans tout travail d'histoire des sciences un *instant créatif*, indépendant voire antérieur au commentaire de texte. Je vais m'expliquer.

Supposons que je doive commenter un texte (un article d'un savant du XIX^e^ par exemple, ou bien justement un livre sur l'histoire des sciences, etc.). Au début, ce texte est pour moi l'inconnue $= X$. Je le lis. Peut-être le texte répond-il d'emblée à certaines questions que je m'étais posées auparavant. Alors l'esprit reste passif, il est content d'avoir trouvé une réponse, il peut simplement rapporter à autrui son questionnement et cette réponse. Mais en général, ce n'est pas si simple, et parfois même le texte reste complètement hermétique : je n'y comprends rien. C'est là qu'intervient en premier lieu la méthode, qui consiste à déterminer les inconnues et les significations. Là je peux avoir recours au contexte ; parfois pour comprendre un texte il faut en lire d'autres. Il faut aussi souvent faire preuve d'une adresse particulière dans la lecture d'un texte philosophique, où des relectures plus attentives révèleront certaines notions dont la définition, circulaire, se laisse « deviner » avant d'être bien comprise.

Après que la connaissance du texte est ainsi atteinte, il faut soi-même écrire. Cette tâche peut contenir une sorte de reconstruction ou de restitution du texte commenté. Ici à nouveau intervient la méthode. Une fois connues les intentions de l'auteur et les sources de sa réflexion, il est en effet possible de parcourir à nouveau le chemin qu'il a parcouru, mais ce chemin n'est jamais tout à fait identique (si-

1. Pourquoi, me direz-vous, pourquoi vouloir se soumettre à toutes ces contraintes ? Encore une fois, ce sont elles qui donnent au travail de l'historien des sciences ce goût caractéristique et qui permettent à l'historien de s'affirmer lui-même dans sa vocation ainsi que de se reconnaître au sein d'une communauté de pairs, de se reconnaître leur égal c'est-à-dire de les reconnaître ses égaux. Bien qu'il ne s'agisse là que d'une fondation, indépendante de la qualité intrinsèque de son travail, il s'agit d'une mise en confiance mutuelle. Mais rassurons-nous, la maîtrise du moule disciplinaire s'apprend facilement, par la pratique, et beaucoup je crois – comme pour tout autre forme traditionnelle – par l'imitation. Il en va tout autrement de la *méthode*

non, paraphrase littérale), quand bien même l'œuvre étudiée serait parfaitement comprise, puisque s'y mêlent mes intentions propres. Or mes intentions sont certainement différentes de celles de l'auteur du texte étudié, surtout lorsque j'agis en historien pour commenter un texte scientifique (l'auteur étudié vise alors seulement, disons, la vérité scientifique ; moi sans doute pas, sinon je ne serais pas historien mais savant moi-même).

Enfin, n'oublions jamais qu'il est impossible de séparer les intentions de l'historien des outils qu'il met en œuvre : impossible de séparer les fins de la méthode pour les atteindre, car la méthode comporte une liberté de choix. Or les fins ne sont pas entièrement dictées par la discipline et ses contraintes. Par exemple, un historien souhaitant découvrir la beauté cachée dans un texte de science n'agit pas comme celui qui se donne le but d'aider un pays en voie de développement à comprendre les conditions d'émergence d'une tradition de recherche scientifique. En ce qui me concerne, je vois en l'histoire des sciences une part importante de vie spirituelle. C'est-à-dire que lorsque je rencontre un historien des sciences, j'attends autre chose qu'une simple curiosité intellectuelle. On part du constat d'une faiblesse humaine – faiblesse de la mémoire (l'histoire des sciences est très courte, deux mille ans ou guère plus, et encore car l'histoire des sciences dans l'antiquité reste confinée à ce qui n'était sûrement que la surface d'un édifice bien plus vaste – on connaît très peu), faiblesse de la faculté de synthèse face à la variété des savoirs (combien flagrande à notre époque). On part du constat d'une faiblesse, *puis* l'on tente de la dépasser [2] ; la conscience de cette faiblesse donne une riche profondeur spirituelle à cette recherche.

Premier TD – 22/10/2007 : Jules Vuillemin

Dans *La philosophie de l'algèbre*, Jules Vuillemin (philosophe français 1920–2001) étudie la possibilité d'une inspiration commune aux méthodes en mathématiques et en philosophie (cf. **texte n°1**). Cet ouvrage déborde ainsi la question de la philosophie de la connaissance en s'adressant à la philosophie générale ; mais plus qu'un discours *a priori*, Vuillemin entrelace dans ces recherches l'étude de grands systèmes philosophiques (de Platon à Husserl en passant par Descartes, Leibniz ou Fichte) d'une part, et le commentaire historique et épistémologique des grands moments de l'histoire de l'algèbre à partir de la fin du XVIIIe d'autre part, à partir de la naissance d'une théorie de la résolution algébrique des équations chez Lagrange (cf. **texte n°2**), jusqu'au développement d'une *théorie des structures* qu'il voit affleurer dans les travaux de Gauss (cf. **texte n°3**).

2. Mais peut-être la curiosité intellectuelle est-elle une étape nécessaire vers ce constat de faiblesse ?

Texte n°1

[3][...] il existe un rapport plus intime quoique moins apparent et plus incertain entre les Mathématiques pures et la Philosophie théorique. L'histoire des Mathématiques et de la Philosophie montre qu'un renouvellement des méthodes de celles-ci a, chaque fois, des répercussions sur celle-ci. L'occasion du platonisme a été fournie par la découverte des irrationnelles. Mais il suffit de lire le *Politique* pour apercevoir comment la méthode inventée par les mathématiciens grecs pour donner par les fractions continues une approximation satisfaisante des irrationnelles a trouvé son écho dans la politique platonicienne, où les Etats empiriques se mesurent à l'excès et au défaut de leur ressemblance avec l'Etat idéal. Même lorsque Platon critique les mathématiques et, plus généralement, la connaissance symbolique en l'opposant à la dialectique du philosophe, il anime toutefois cette dialectique même d'emprunts faits aux méthodes mathématiques les plus récentes. Bien plus, ces emprunts mesurent souvent sa propre évolution philosophique. Dans la *République*, il presentait l'Etat idéal comme s'il était susceptible d'être réalisé sur terre. Dans le *Politique*, au contraire, il montre comment l'Etat réel, tout en cherchant à se rapprocher de l'Etat idéal, trouve en lui-même des limites qui empêchent toute confusion et, par là, il assigne par avance ces mêmes limites aux pouvoirs d'un tel Etat, par essence imparfait, comme on assigne des limltes à l'approximation d'un nombre irrationnel.

Il est également connu que la méthode métaphysique de Descartes emprunte sans discontinuer à l'invention mathématique de la Géometrie algébrique. Lorsque Leibniz montre les défauts de cette métaphysique, il se sert sans doute souvent d'arguments tirés de la physique, mais le principe de continuité, qui est l'âme de sa méthode, est également emprunté à l'invention du Calcul infinitésimal.

De tels emprunts ne vont naturellement pas sans une transformation radicale de la méthode. Même si avec Kant, on pense que la méthode philosophique ne doit rien recevoir de la méthode mathématique, cette assertion, outre qu'elle se fonde sur une conception rudimentaire des constructions géométriques, implique qu'on examine critiquement le problème d'un rapport plus étroit et, pour ainsi dire, d'une affinité d'inspiration entre les Mathématiques pures et la Philosophie théorique.

Texte n°2

[4]De Descartes à Lagrange, l'Algèbre a surtout progressé dans les problèmes de résolution numérique des équations. Comme on ne pouvait, la plupart du temps, obtenir la formule qui exprime l'inconnue en fonction explicite des coefficients de

3. Jules Vuillemin, *La philosophie de l'algèbre*, PUF, Paris, 1962, p. 4–5.
4. Jules Vuillemin, *La philosophie de l'algèbre*, PUF, Paris, 1962, p. 71–73.

l'équation proposée, résolution qui est la seule véritablement algébrique, on a cherché à déterminer, indépendamment de cette formule, la valeur de chaque inconnue pour tel ou tel système désigné de valeurs particulières attribuées aux coefficients. Quant à la résolution proprement algébrique, Auguste Comte fait en 1828 le bilan suivant des travaux qui la concernent : « La complication toujours croissante que doivent nécessairement présenter les formules pour résoudre les équations à mesure que le degré augmente, l'extrême embarras qu'occasionne déja l'usage de la formule du quatrième degré, et qui la rend presque inapplicable, ont déterminé les analystes à renoncer, par un accord tacite, à poursuivre de semblables recherches, quoiqu'ils soient loin de regarder comme impossible d'obtenir jamais la résolution des équations du cinquième degré, et de plusieurs autres degrés supérieurs. La seule question de ce genre, qui offrirait vraiment une grande importance, du moins sous le rapport logique, ce serait la résolution générale des équations algébriques d'un degré quelconque. Or, plus on médite sur ce sujet, plus on est conduit à penser, avec Lagrange, qu'il surpasse réellement la portée effective de notre intelligence ».

Le pessimisme de Comte s'oppose à la confiance naïve de Descartes. L'autorité de Lagrange est d'ailleurs alléguée pour justifier une théorie des facultés, selon laquelle nos moyens de concevoir de nouveaux problèmes sont beaucoup plus puissants que nos ressources pour les résoudre, notre esprit étant plus apte à imaginer qu'à raisonner. Comte a le sentiment juste que le raisonnement algébrique est irreductible à la construction synthétique cartésienne. A juste titre encore et si paradoxal que semble ce mot, il qualifie d'imaginative cette construction, mais aveuglé par ses préjugés philosophiques il ne soupçonne pas que l'écart entre imagination et raison puisse provenir d'une conception trop étroite de la raison, – celle-là permettant d'etendre le champ d'app1ication de celle-ci et lui révélant à elle-même sa propre puissance – et il méconnait ainsi l'utilité des échecs intellectuels dont la raison parvient à apercevoir la nécessité, et, par conséquent, 1'importance des démonstrations d'impossibilité, par lesquelles les créations imaginatives des mathématiciens reçoivent du raisonnement un statut déterminé. Pourtant, des 1824, Abel avait démontré l'impossibilité de résoudre algébriquement l'équation générale du cinquième degré, et en 1830, Galois publiera trois Mémoires sur la théorie des équations, que Fourier, l'un des deux dédicataires du *Cours de Philosophie positive* égarera dans ses papiers, avant de mourir. Ainsi Comte manquait de bonheur, lorsqu'il décrivait l'accord des analystes à oublier le problème de la résolution algébrique des équations.

Texte n°3

[5][...] « le génie est la disposition innée de l'esprit (*ingenium*) par laquelle la nature donne ses règles à l'art ».

Le génie ne peut donc pas indiquer scientifiquement comment il réalise son œuvre. C'est la nature qui parle en lui : il est inspiré. Il ne peut lui-même assigner les règles de sa propre production, mais il les reçoit de la nature comme un don gratuit. Vient-il à réfléchir sur son œuvre, cette critique, quelle que soit sa valeur, tombe en dehors de l'œuvre elle-même ; elle énumère un certain nombre de recettes, un Art poétique, qui ne fournit aucun moyen d'écrire un beau poème. Cette inspiration naturelle n'est pas seulement un trait psychologique particulier aux artistes ; elle appartient aux conditions de possibilité de toute œuvre d'art.

De même que le beau plaît sans concept, de même le génie crée sans que sa réflexion puisse être adéquate à son œuvre.

[...] Le génie est par conséquent l'harmonie inconsciente entre l'imagination et l'entendement. Or on pourrait croire que la connaissance mathématique est susceptible d'appartenir au génie. Felix Klein définit l'originalité de Gauss, *princeps mathematicorum*, comme « l'équilibre parfait entre l'imagination mathématique, la rigueur de la mise en œuvre et le sens pratique pour l'application poussé jusqu'à l'observation et la mesure les plus soigneuses, et comme la présentation des immenses richesses de la création dans une forme absolument parfaite ». Ce langage fait penser à la création artistique et l'analogie se précise si l'on évoque le caractère enveloppé de l'invention chez Gauss, et 1'affleurement parfois inconscient des structures algébriques encore enfouies dans la gangue des cas particuliers.

Cependant, si l'on fait abstraction des traits psychologiques singuliers d'une découverte pour ne retenir que le rapport de notre conscience à la possibilité de l'objet, nous constatons qu'on doit refuser le génie au savant. En effet, en droit, une œuvre scientifique fait toujours apercevoir les règles, parfois cachées à l'inventeur, qui l'ont rendue possible, tandis qu'une telle illumination rétrospective fait *a priori* défaut aux œuvres d'art. Aussi les plus belles découvertes scientifiques sont-elles destinées à grossir les connaissances anonymes qu'on rassemble dans les manuels ; elles cessent d'appartenir à leur auteur, qui ne peut être dit génial que psychologiquement ou provisoirement, par suite d'un simple défaut dans la réflexion, auquel remédie toujours la postérité. Ainsi ce qui paraît illusoirement dû au génie de Gauss dans les *Disquisitiones arithmeticae* est transformé en simple méthode uniforme, suivant le vœu de Descartes, par Lejeune-Dirichlet. Ce mouvement rétrograde de la réflexion destructrice du génie est lié à l'essence même de la connaissance scientifique.

5. Jules Vuillemin, *La philosophie de l'algèbre*, PUF, Paris, 1962, p. 150–153.

Deuxième TD : Pierre Duhem

Duhem (1861–1916), grand savant, a étudié la chimie physique et la thermodynamique, mais était aussi un grand historien, hélas nationaliste et antisémite. Détracteur des explications mécanistes en chimie, ainsi que de la relativité restreinte, il soutient, avec Quine, qu'« une expérience de physique ne peut jamais condamner une hypothèse isolée, mais seulement tout un ensemble théorique ».

Dans le premier volume du *Système du monde* (grand ouvrage dont les cinq premiers volumes furent publiés de son vivant, après 1913), Duhem donne une description fidèle de la cosmologie aristotélicienne. La théorie de la science d'Aristote justifie l'existence d'une physique et lui garantit sa spécificité vis-à-vis d'une mathématique ou d'une théologie. Une physique « qui étudie l'être en tant qu'il est sujet au changement, en tant qu'il réside dans la matière » ; il fallait alors établir et expliquer la réalité et la possibilité du changement, en distinguant deux manières d'être, l'existence en acte et l'existence en puissance, puis en posant l'existence, en toute substance susceptible de changement, de deux principes distincts, matière et forme.

Dans cette physique, le *mouvement local* (mouvement par lequel un corps change de lieu) reçoit un rôle primordial ; le changement de lieu est le seul changement dont soient susceptibles les corps célestes (portés par les sphères homocentriques) ; le mouvement des corps célestes est composé de mouvements circulaires uniformes et régit tous les autres mouvements (cf. **textes nos1** et **2**).

Cette théorie est intimement liée à la représentation d'un univers fini (cf. **texte no3**) et sphérique. La cavité de la dernière sphère homocentrique (la sphère de la lune) est le lieu de la Terre et des substances « soumises à la génération et à la corruption » dont le mouvement naturel, rectiligne, suit la direction du centre de l'Univers.

Duhem insiste sur la cohérence et la pérennité du système aritotélicien, mais aussi sur ses défauts (cf. **texte no4**).

Texte no1

[6]Aux sphères nouvelles que Calippe avait déjà introduites dans l'Astronomie d'Eudoxe, Aristote proposa d'en adjoindre un grand nombre d'autres ; mais les raisons qui le guidaient en cette intention étaient toutes différentes de celles qui avaient conduit Calippe. Calippe, pur astronome, s'était contenté d'imaginer des combinaisons de rotations uniformes qui fussent propres à sauver les mouvements apparents des planètes. Aristote, philosophe, voulait que ces combinaisons fussent telles que les principes de sa physique en permissent la réalisation dans la nature.

6. Pierre Duhem, *Le système du monde : histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, Paris : Hermann, 1913–1959, vol. 1.

Ainsi fut donc achevée, au gré d'Aristote, cette Astronomie des sphères homocentriques, appelée à être la première des théories physiques. Pour la première fois, en effet, dans la constitution de cette théorie, on vit le géomètre partir d'un certain nombre de principes simples qui lui étaient donnés d'ailleurs et, conformément à ces principes, construire un système mathématique hypothétique, retoucher, compliquer ce système jusqu'à ce qu'il sauvât avec une exactitude suffisante les apparences décrites par les observateurs.

Lorsque l'observation eût fait connaitre des phénomènes que tout système de sphères homocentriques était, à tout jamais, impuissant à sauver, les astronomes géomètres acceptèrent d'autres principes et, à l'aide de ces nouveaux principes, combinèrent de nouvelles hypothèses ; mais la méthode qu'ils suivirent pour construire de nouveaux systèmes astronomiques ne différa pas de celle qui avait servi à édifier le système des sphères homocentriques.

Cette méthode, on ne tarda guère à la transporter de l'Astronomie aux autres parties de la Physique ; l'auteur des *Questions mécaniques* attribuées à Aristote tenta de l'appliquer à l'équilibre des corps solides pesants et, à cette science de l'équilibre des solides pesants, Archimède donna une forme rationnelle d'une rare perfection ; cette forme admirable, il l'étendit, en suivant toujours la même méthode, à l'équilibre des liquides et à celui des corps flottants.

Euclide montra de son côté comment la seule hypothèse de l'égalité entre l'angle d'incidence et l'angle de réfraction suffisait à sauver les phénomènes que présentent les miroirs plans, concaves ou convexes.

Ainsi, deux siècles avant notre ère, l'Astronomie, la Science de l'équilibre des poids, une partie de l'Optique avaient pris la forme de théories mathématiques précises, désireuses de satisfaire aux exigences du contrôle expérimental ; beaucoup de parties de la Physique n'ont, à leur tour, revêtu cette forme qu'après de longs siècles de tâtonnements ; mais, pour le faire, elles n'ont eu qu'à suivre la méthode par laquelle les premières étaient parvenues à l'état de théories rationnelles.

L'attribution du titre de créateur de la méthode des sciences physiques a donné lieu à bien des querelles ; les uns ont voulu le donner à Galilée, les autres à Descartes, d'autres encore à François Bacon, qui est mort sans avoir jamais rien compris à cette méthode. En vérité, la méthode des sciences physiques a été définie par Platon et par les Pythagoriciens de son temps avec une netteté, une précision qui n'ont pas été surpassées ; elle a été appliquée pour la première fois par Eudoxe lorsqu'il a tenté, en combinant des rotations de sphères homocentriques, de sauver les mouvements apparents des astres.

Les sphères d'Eudoxe

[7]Eudoxe expliquait le mouvement du soleil et celui de la lune, en admettant trois sphères pour chacun de ces deux astres. La première était celle des étoiles fixes ; la seconde suivait le cercle qui passe par le milieu du zodiaque ; la troisième, celui qui est incliné dans la largeur du zodiaque. Le cercle que suit la troisième sphère de la lune est plus incliné que celui de la troisième sphère du soleil. Il plaçait le mouvement des planètes chacune dans quatre sphères. La première et la seconde étaient Ies mêmes que la première et la seconde du soleil et de la lune ; car la sphère des étoiles fixes imprime le mouvement à toutes les sphères, et la sphère qui est placée au-dessous de celle-là, et dont le mouvement suit le cercle qui passe par le milieu du zodiaque, est commune à tous les astres. La troisième sphère des planètes avait ses pôles dans le cercle qui passe par le milieu du zodiaque, et le mouvement de la quatrième suivait un cercle oblique au cercle du milieu de la troisième. La troisième sphère avait des pôles particuliers pour chaque planète ; mais ceux de Vénus et de Mercure étaient les mêmes.

La position des sphères, c'est-à-dire l'ordre de leurs distances respectives, était la même dans le système de Callippe que dans celui d'Eudoxe. Quant aux nombre des sphères, ces deux mathématiciens sont d'accord pour Jupiter et pour Saturne ; mais Callippe pensait qu'il faut ajouter deux autres sphères au soleil et deux à la lune, si l'on veut rendre compte des phénomènes, et une à chacune des autres planètes.

Mais pour que toutes ces sphères ensemble puissent rendre compte des phénomènes, il est nécessaire qu'il y ait, pour chacune des planètes, d'autres sphères en nombre égal, moins une, au nombre des premières, et que ces sphères tournent en sens inverse, et maintiennent toujours un point donné de la première sphère, dans la même position relativement à l'astre qui est placé au-dessous. C'est à cette condition seulement que tous les phénomènes se peuvent expliquer par le mouvement des planètes.

Texte n°2

[8]La primauté et la priorité, admises par Aristote, du mouvement local sur tous les autres mouvements l'ont ainsi conduit a cette conclusion : Toutes les transformations qu'éprouvent les choses sujettes à la génération et à la corruption sont sous la dépendance des mouvements purement locaux des êtres impérissables et immuables ; elles sont toutes régies par les circulations célestes.

7. Aristote, *La Métaphysique*, livre Λ, trad. Pierron et Zévort

8. Pierre Duhem, *Le système du monde : histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, Paris : Hermann, 1913–1959, vol. 1.

La conclusion qui se tire de ces principes est assez indiquée : Si les périodes des révolutions célestes sont toutes des sous-multiples d'une même durée, non seulement, a l'expiration de cette durée, les astres reprendront exactement les positions qu'ils occupaient au début, mais encore le monde des choses corruptibles se retrouvera précisément en l'état où il était lorsque cette durée a commencé ; la vie de l'Univers entier sera une vie périodique, par laquelle des choses de même espèces et des événements semblables se reproduiront une infinité de fois ; la durée de cette période sera le plus petit commun multiple de toutes les périodes des divers mouvements célestes ; ce sera la Grande Année de Platon.

Aristote admet pleinement l'existence de cette Grande Année au terme de laquelle la configuration des terres et des mers, après mainte alternative, redevient ce qu'elle était au début.

Il est un point, dans la doctrine des philosophes pythagoriciens et de Platon, qu'Aristote ne parait pas disposé a recevoir ; c'est l'affirmation que chaque période cosmique doit, par la réincarnation d'une âme éternelle, ramener à la vie des hommes numériquement identiques à ceux qui ont existé ; le retour d'hommes spécifiquement semblables à ceux-la, mais numériquement différents, paraît, au Stagirite, la seule hypothèse acceptable.

« De quelle façon écrit-il, doit-on comprendre ces mots *avant* et *après* ? Faut-il les entendre de la façon suivante : Ceux qui ont vécu au temps de la guerre de Troie nous sont antérieurs ; à ceux-ci, sont antérieurs ceux qui ont vécu plus anciennement, et ainsi de suite à l'infini, les hommes qui se trouvent plus haut dans le passé étant toujours tenus pour antérieurs aux autres ? Ou bien, s'il est vrai que l'Univers ait un commencement, un milieu et une fin ; que ce qui, en vieillissant, est parvenu a sa fin, soit, par là-même, revenu de nouveau à son commencement ; s'il est vrai, d'ailleurs, que les choses antérieures soient celles qui sont les plus proches du commencement ; qui empêche alors que nous ne soyons plus voisins du commencement [que les hommes qui vécurent au temps de la guerre de Troie] ? S'il en était ainsi, nous leur serions antérieurs. Puisque, par son mouvement local, chaque ciel et chaque astre parcourt un cercle, pourquoi n'en serait-il pas de même de la génération et de la destruction de toute chose périssable, de telle sorte que cette même chose puisse, elle aussi, naître et périr de nouveau ? Ainsi dit-on également que les choses humaines parcourent un cercle. Croire que les hommes qui naissent sont toujours numériquement les mêmes, c'est une sottise ; mais on émettrait une meilleure opinion en disant qu'ils sont conservés spécifiquement (...). ll peut donc se faire que nous soyons antérieurs même [aux contemporains de Troie]. A la série des événements, on assignera donc une telle disposition qu'il faille revenir et l'état qui a servi de point de départ et reprendre sans discontinuité une marche qui repasse par les mêmes choses. Alcméon a dit que les hommes sont périssables parce qu'ils ne peuvent souder leur fin à leur commencement. ll a fort joliment dit, pourvu qu'on entende qu'il s'est exprimé d'une manière figurée et que l'on ne veuille pas prendre ce propos au pied de la lettre. Si la suite des événements est un cercle, comme le cercle n'a ni commencement ni fin, nous ne pouvons, par une plus grande proximité à l'égard du commencement, être antérieurs à ces gens-là, et ils ne peuvent pas non plus nous être antérieurs. ».

Il n'est guère possible de souhaiter un texte ou la forme cyclique et périodique de la vie du Monde soit plus nettement affirmée ; il n'est guère possible, non plus, d'en trouver ou l'on marque plus exactement à quel point une telle théorie bouleverse l'idée que le commun des hommes se fait de la succession dans le temps.

Texte n°3

[9]Celui-là, parmi les mouvements locaux, méritera d'être considéré comme premier qui, indéfiniment, pourra se poursuivre identique a lui-même. Or, il existe – c'est encore un principe essentiel de la Physique d'Aristote – trois sortes de mouvements locaux, que nous devrons examiner ; ce sont le mouvement rectiligne, le mouvement circulaire, et le mouvement mixte qui tient de chacun des deux premiers.

Ce qu'Aristote nomme mouvement en ligne droite, c'est ce que les géomètres modernes nomment mouvement de translation ; tous les points du corps mû décrivent, en même temps, des droites égales et parallèles. Le mouvement en cercle considéré par le Stagirite, c'est ce que nous appelons le mouvement de rotation autour d'un axe. Que tout autre mouvement ait été regardé par Aristote comme un mélange du droit et du circulaire, on serait peut-être tenté d'y voir une marque de connaissances géométriques bien superficielles ; mais si l'on veut bien observer que l'un des théorèmes les plus féconds de la Cinématique se formule ainsi : le mouvement infiniment petit le plus général d'un corps solide se compose d'une rotation infiniment petite autour d'un certain axe et d'une translation infiniment petite parallèle à cet axe, on avouera, croyons-nous, que l'intuition du Philosophe avait singulièrement devancé, en cette circonstance, la science déductive des géomètres.

Des trois mouvements qu'il a distingués, Aristote analyse seulement les deux premiers, les mouvements simples dont la composition fournit le troisième. « Ce dernier, en effet, ne saurait être perpétuel si l'un ou l'autre des deux premiers ne peut l'être. Or il est manifeste qu'un mobile mû suivant une ligne droite limitée ne peut être mû d'un mouvement qui se continue perpétuellement identique a lui-même ; il faut bien que ce corps revienne sur ses pas ; et un mobile qui décrit une ligne droite, puis revient en arrière, se meut de deux mouvements contraires ».

Un seul mouvement, donc, peut se poursuivre indéfiniment identique à lui-même, et c'est le mouvement circulaire, le mouvement de rotation. Il apparaît, dès lors, « qu'aucune transformation ne peut être perpétuelle et toujours identique à elle-même, si ce n'est le mouvement local circulaire [...] ».

« Tous les corps de la Nature sont mobiles de mouvement local. La nature de chacun de ces corps est, en lui, un principe de mouvement. » En un corps simple, la nature simple ne peut produire qu'un mouvement simple ; « à chaque corps simple correspondra donc un mouvement naturel déterminé [...] ». En ces quelques mots, se trouve formulé l'un des principes essentiels de la Physique péripatéticienne, l'un de ceux qui fourniront, à l'encontre des hypothèses copernicaines, les plus fermes objections.

9. Pierre Duhem, *Le système du monde : histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, Paris : Hermann, 1913–1959, vol. 1.

Texte n°4

[10][...] L'humanité n'a jamais vu aucune synthèse dont l'ensemble ait autant d'unité, dont les diverses parties fussent aussi intimement reliées les unes aux autres. La partie logique de l'œuvre d'Aristote étudie, avec une puissance de pénétration et une délicatesse d'analyse que l'on n'a pas dépassées, les règles selon lesquelles la Science doit être construite ; puis, selon ces règles, le reste de l'œuvre du Stagirite bâtit le prodigieux édifice ou trouvent place les doctrines spéculatives, Mathématique, Physique et Métaphysique, et les doctrines pratiques, Ethique, Economique et Politique. Le monument a l'inébranlable solidité d'un bloc et la pureté de lignes de la plus belle œuvre d'art.

De la Physique d'Aristote, cependant, il ne restera pas pierre sur pierre. La Science moderne, pour se substituer à cette Physique, en devra démolir successivement toutes les parties ; sans doute, maint fragment, emprunté au monument antique, sera repris pour bâtir les murs du nouvel édifice ; mais avant de trouver place dans cet appareil pour lequel il n'avait pas été taillé, il lui faudra recevoir une figure toute différente de celle qu'il affectait jadis ; et, bien souvent, il serait fort malaisé de le reconnaître à qui n'aurait pas suivi le travail de retouches successives auquel on l'a soumis.

Dans cette Physique, nous avons distingué deux théories essentielles ; de ces deux théories, l'une ordonne le mouvement des corps éternels, l'autre régit le mouvement des corps sujets à la naissance et a la mort. La première repose sur ce dogme fondamental : Tous les mouvements de la substance céleste sont des mouvements circulaires et uniformes qui ont pour centre le centre du Monde. La seconde est dominée par la notion du lieu naturel ; elle précise les lois des mouvements naturels par lesquels les corps graves ou légers tendent à leurs lieux propres.

Aussitôt après sa naissance, la Mécanique céleste d'Aristote se trouvera combattue ; elle sera contestée au nom de la règle à laquelle doit, selon les principes mêmes que le Stagirite a posés, se soumettre toute théorie physique ; elle sera niée parce qu'elle ne s'accorde pas avec les faits. Hors d'elle et contre elle, on verra se dresser d'autres Mécaniques célestes, d'abord le système héliocentrique, puis le système des excentriques et des épicycles. Avec Hipparque et Ptolémée, ce dernier triomphera parmi les astronomes ; mais jusqu'à la Renaissance, cette victoire sera contestée par les philosophes péripatéticiens, conservateurs obstinés du principe des mouvements homocentriques ; et cette contestation ne prendra fin qu'au jour où la révolution copernicaine, exhumant la Mecanique céleste héliocentrique, rejettera à la fois le système des sphères homocentriques à la terre et le système des excentriques et des épicycles.

Plus longtemps, la Mécanique des mouvements sublunaires gardera la forme

10. Pierre Duhem, *Le système du monde : histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, Paris : Hermann, 1913–1959, vol. 1.

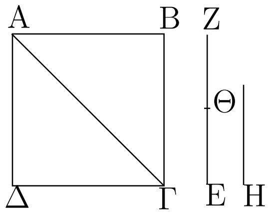
qu'Aristote lui a donnée. Un jour viendra, cependant, où elle devra céder à son tour. Dans la pesanteur, on cessera de voir une puissance par laquelle chaque corps grave se porte au centre du Monde, avec une intensité que l'accroissement de la distance n'affaiblit pas. On y verra, d'abord, une action, analogue à une attraction magnétique, par laquelle chaque astre retient ses diverses parties et les ramène à lui lorsqu'elles en ont été écartées ; c'est une telle hypothèse que le système de Copernic mettra en faveur. Plus tard, on commencera d'y voir, avec Kepler, l'effet d'une attraction universelle par laquelle toute masse matérielle se porte vers toute autre masse matérielle ; et deux mille ans après Aristote, cette hypothèse triomphera dans l'œuvre de Newton. Mais alors la Mecanique des mouvements sublunaires et la Mécanique des mouvements célestes se seront fondues en une doctrine unique, en une Science de la gravitation universelle.

Antiquité grecque : l'irrationnalité

Euclide, *Le dixième livre des Éléments*, prop. 117

> Qu'il nous soit proposé de démontrer que dans les figures carrées la diagonale est incommensurable en longueur avec le côté.
>
> Soit le carré ΑΒΓΔ, et que ΑΓ soit sa diagonale ; je dis que la droite ΑΓ est incommensurable en longueur avec ΑΒ.
>
> Qu'elle lui soit commensurable, si cela est possible ; je dis qu'il s'en suivrait qu'un même nombre serait pair et impair. Or, il est évident que le carré de ΑΓ est double du carré de ΑΒ ; mais ΑΓ est commensurable avec ΑΒ ; la droite ΑΓ a donc avec la droite ΑΒ la raison qu'un nombre a avec un nombre. Que ΑΓ ait avec ΑΒ la raison que le nombre ΕΖ a avec le nombre Η, et que les nombres ΕΖ, Η soient les plus petits de ceux qui ont la qui ont la même raison avec eux ; [...] Et puisque ΓΑ est à ΑΒ comme ΕΖ est à Η, le carré de ΓΑ sera au carré de ΑΒ comme le carré de ΕΖ est au carré de Η. Mais le carré de ΓΑ est double du carré de ΑΒ ; le carré de ΕΖ est donc double du carré de Η ; le carré du nombre ΕΖ est donc pair. Le nombre ΕΖ est donc pair ; car s'il était impair, son carré serait impair ; parce que si l'on ajoute tant de nombres impairs que l'on voudra, leur quantité étant impaire, leur somme est un nombre impair ; le nombre ΕΖ est donc un nombre pair. Partageons le nombre ΕΖ en deux parties égales en Θ. Puisque les nombres ΕΖ, Η sont les plus petits de ceux qui ont la même raison avec eux, ces nombres seront premiers entre eux. Mais le nombre ΕΖ est pair ; le nombre Η est donc impair. Car s'il était pair, les nombres ΕΖ, Η, qui sont premiers entre eux, seraient mesurés par deux ; parce que tout nombre pair a une partie qui en est la moitié, ce qui est impossible. Le

nombre H n'est donc pas un nombre pair ; il est donc impair. Mais EZ est double de EΘ ; le carré de EZ est donc quadruple du carré de EΘ. Mais le carré de EZ est double du carré de H ; le carré de H est donc double du carré de EΘ ; le carré de H est donc pair ; le nombre H est donc pair, d'après ce qui a été dit. Mais il est aussi impair, ce qui est impossible ; la droite AΓ n'est donc pas commensurable en longueur avec AB ; elle lui est donc incommensurable. Ce qu'il fallait démontrer.



Georg Cantor (1872)

Un nombre n'est pas une chose objective en soi, il ne fait qu'apparaître comme constituant de propositions qui, elles, atteignent une certaine objectivité. Par exemple la proposition qui affirme que telle suite a pour limite cette quantité numérique.

Galilée et la Lune

[11]Parlons en premier lieu de la face de la lune tournée vers notre regard que, pour faciliter la compréhension, je distingue en deux parties, l'une plus claire, l'autre plus obscure : la plus claire semble entourer tout l'hémisphère et l'inonder [de lumière] tandis que la plus obscure s'étend sur cette face comme le feraient des nuages et la rend tachée ; or ces taches sombres et assez étendues se présentent à chacun et on les a observées de tout temps ; c'est pourquoi nous les appellerons grandes ou anciennes, pour les différencier d'autres taches de moindre étendue, mais répandues avec une telle abondance qu'elles parsèment toute la surface lunaire, quoique surtout la plus lumineuse. Or ces taches-ci n'avaient été observées par personne avant nous ; leur examen répété nous a conduit à cette pensée : nous comprenons avec certitude que la surface de la lune n'est pas polie, régulière et d'une sphéricité parfaite comme la grande cohorte des philosophes l'a estimé, à son sujet et à celui des autres corps célestes, mais au contraire irrégulière, rugueuse, pourvue de cavités et de gonflements, tout comme la surface de la terre elle-même qui est rendue partout différente par les hauteurs des montagnes et les profondeurs

11. Galilée, *Sidereus Nuncius*, Venise 1610.

des valées. Mais les apparences d'après lesquelles il a été possible de le conclure sont telles que voici.

Le quatrième ou le cinquième jour après la conjonction, quand la lune s'offre à nous avec ses cornes brillantes, alors la limite qui sépare la partie obscure de la lumineuse n'est pas tracée régulièrement, suivant une ligne ovale, comme cela se produirait dans un corps parfaitement sphérique, mais elle est dessinée par une ligne irrégulière, avec des aspérités et tout à fait sinueuse [...] ; en effet, des sortes d'excroissances lumineuses, assez nombreuses, dépassent, vers la partie obscure, la limite de la lumière et des ténèbres, et en retour des parcelles ténébreuses s'avancent à l'intérieur de la lumière. Bien plus, une grande quantité de petites taches noirâtres, entièrement séparées de la partie ténébreuse, parsème aussi partout presque toute la zone déjà inondée par la lumière du soleil, à l'exception toutefois de la partie affectée par les grandes et anciennes taches, or nous avons noté que les petites taches dont nous venons de parler ont toutes et toujours ce trait commun que leur partie qui regarde le lieu du soleil est noirâtre, tandis que du côté opposé au soleil elles se couronnent de bordures plus lumineuses, comme d'arêtes éclatantes. Or nous avons sur terre une vision très semblable au lever du soleil, quand nous regardons les vallées pas encore inondées par la lumière tandis que les montagnes qui les entourent resplendissent déjà du côté opposé au soleil ; et de même que les ombres des cavités terrestres diminuent quand le soleil s'élève, de même aussi ces taches lunaires perdent de leurs ténèbres tandis que s'accroît la partie lumineuse.

Troisième TD : Gilbert Simondon

Texte n°1

[12]Le moteur à essence n'est pas tel ou tel moteur donné dans le temps et dans l'espace, mais le fait qu'il y a une suite, une continuité qui va des premiers moteurs à ceux que nous connaissons et qui sont encore en évolution. A ce titre, comme dans une lignée phylogénétique, un stade défini d'évolution contient en lui des structures et des schèmes dynamiques qui sont au principe d'une évolution des formes. L'être technique évolue par convergence et par adaptation à soi ; il s'unifie intérieurement selon un principe de résonance interne.

On pourrait dire que le moteur actuel est un moteur concret, alors que le moteur ancien est un moteur abstrait. Dans le moteur ancien, chaque élément intervient à un certain moment dans le cycle, puis est censé ne plus agir sur les autres éléments ; les pièces du moteur sont comme des personnes qui travailleraient chacune à leur tour, mais ne se connaîtraient pas les unes les autres.

12. Gilbert Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, 1958, p. 20–22.

C'est d'ailleurs bien ainsi que l'on explique dans les classes le fonctionnement des moteurs thermiques, chaque pièce étant isolée des autres comme les traits qui la représentent au tableau noir, dans l'espace géométrique *partes extra partes*. Le moteur ancien est un assemblage logique d'éléments définis par leur fonction complète et unique. Chaque élément peut accomplir au mieux sa fonction propre s'il est comme un instrument parfaitement finalisé, orienté tout entier vers l'accomplissement de cette fonction. Un échange permanent d'énergie entre deux éléments apparaît comme une imperfection, si cet échange ne fait pas partie du fonctionnement théorique[...]

Alors apparaissent des structures particulières que l'on peut nommer, pour chaque unité constituante, des structures de défense : la culasse du moteur thermique à combustion interne se hérisse d'ailettes de refroidissement, particulièrement développées dans la région des soupapes, soumise à des échanges thermiques intenses et à des pressions élevées. Ces ailettes de refroidissement, dans les premiers moteurs, sont comme ajoutées de l'extérieur au cylindre et à la culasse théoriques, géométriquement cylindriques ; elles ne remplissent qu'une seule fonction, celle du refroidissement. Dans les moteurs récents, ces ailettes jouent en plus un rôle mécanique, s'opposant comme des nervures à une déformation de la culasse sous la poussée des gaz ; dans ces conditions, on ne peut plus distinguer l'unité volumétrique (cylindre, culasse) et l'unité de dissipation thermique ; si l'on supprimait par sciage ou meulage les ailettes de la culasse d'un moteur à refroidissement par air actuel, l'unité volumétrique constituée par la culasse seule ne serait plus viable, même en tant qu'unité volumétrique : elle se déformerait sous la pression des gaz ; l'unité volumétrique et mécanique est devenue coextensive à l'unité de dissipation thermique, car la structure de l'ensemble est bivalente.

Texte n°2

[13]Une grande partie de l'énergie employée au XVIIIe siècle provenait des chutes d'eau, des déplacements de l'air atmosphérique, et des animaux. Ces types de force motrice correspondaient à une exploitation artisanale ou en fabriques assez restreintes, dispersées au long des cours d'eau. De ces fabriques artisanales sont sorties les machines thermodynamiques à rendement élevé du début du XIXe siècle[...]

La coulisse de Stephenson et la chaudière tubulaire, éléments sortant de l'ensemble artisanal du XVIIIe siècle, entrent dans les individus nouveaux du XIXe siècle, sous la forme, en particulier, de la locomotive. Les transports de gros tonnages, devenus possibles à travers toutes les contrées et non plus seulement suivant les courbes de niveau et les méandres des voies navigables, conduisent à la concentration indus-

13. Gilbert Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, 1958, p. 67–69.

trielle du XIXe siècle, qui non seulement incorpore des individus dont le principe de fonctionnement est fondé sur la thermodynamique, mais qui est essentiellement thermodynamique dans ses structures ; ainsi, c'est autour des sources charbonnières d'énergie thermique et autour des lieux où l'on emploie le plus d'énergie thermique (les mines de charbon et les usines métallurgiques) que se concentrent les grands ensembles industriels du XIXe siècle à son apogée. De l'élément thermodynamique on a passé à l'individu thermodynamique et des individus thermodynamiques à l'ensemble thermodynamique.

Or, c'est comme éléments produits par ces ensembles thermodynamiques que les principaux aspects de l'électrotechnique apparaissent. Avant d'avoir leur autonomie, les applications de l'énergie électrique apparaissent comme des moyens très souples de transmettre de l'énergie d'un lieu à un autre au moyen d'une ligne de transport d'énergie. Les métaux à haute perméabilité magnétique sont des éléments produits par les applications de la thermodynamique en métallurgie. Les câbles de cuivre, les porcelaines à haute résistance des isolateurs sortent des tréfileries à vapeur et des fours à charbon. Les charpentes métalliques des pylônes, les ciments des barrages viennent des grandes concentrations thermodynamiques et entrent comme éléments dans les nouveaux individus techniques que sont les turbines et les alternateurs. Alors une nouvelle montée, une nouvelle constitution d'êtres s'accentue et se concrétise. La machine de Gramme laisse la place, dans la production d'énergie électrique, à l'alternateur polyphasé ; les courants continus des premiers transports d'énergie laissent la place aux courants alternatifs à fréquence constante, adaptés à la production par turbine thermique et par conséquent aussi à la production par turbine hydraulique. Ces individus électrotechniques se sont intégrés dans des ensembles de production, de répartition et d'utilisation de l'énergie électrique dont la structure diffère beaucoup de celle des concentrations thermodynamiques. Le rôle joué par les chemins de fer dans la concentration thermodynamique est remplacé par celui que jouent les lignes à haute tension d'interconnexion dans l'ensemble d'électricité industrielle.

Au moment où les techniques électriques atteignent leur plein développement, elles produisent à titre d'élément des schèmes nouveaux qui amorcent une nouvelle phase : c'est d'abord l'accélération des particules, réalisée initialement par des champs électriques, puis par des champs éléctriques continus et des champs magnétiques alternatifs, et qui conduit à la construction d'individus techniques ayant fait découvrir la possibilité d'exploiter l'énergie nucléaire ; c'est ensuite, et très remarquablement, la possibilité d'extraire, grâce à la métallurgie électrique, des métaux comme le silicium qui permettent une transformation de l'énergie radiante de la lumière en courant électrique, avec un rendement qui atteint déjà un taux intéressant pour des applications restreintes (6 %), et qui n'est pas beaucoup plus bas que celui des premières machines à vapeur.

Texte n°3

[14]L'attention des collaborateurs de Diderot se porte essentiellement sur les organes des machines. L'ensemble technique, au XVIIIe siècle, est encore à la dimension de l'atelier du bouchonnier et du balancier ; cet ensemble se raccorde aux éléments techniques par l'intermédiaire de l'artisan qui utilise des outils ou des machines-outils, plus que par l'intermédiaire des véritables individus techniques.

Or, le principe de groupement par ensembles techniques comportant une pluralité indéfinie d'éléments est très étroitement lié à l'idée de *progrès continu* telle qu'elle existe chez les Encyclopédistes. C'est lorsque la technicité est saisie au niveau des éléments que l'évolution technique peut s'accomplir selon une ligne continue. Il y a corrélation entre un mode d'existence moléculaire de la technicité et une allure continue de l'évolution des objets techniques. Un engrenage, un pas de vis étaient mieux taillés au XVIIIe siècle qu'au XVIIe siècle ; de la comparaison entre les mêmes éléments fabriqués au XVIIe et au XVIIIe siècle surgissait l'idée de la continuité du progrès comme marche en avant dans ce que nous avons nommé la concrétisation des objets techniques. Cette évolution de l'élément, qui s'accomplit à l'intérieur des ensembles techniques déjà constitués, ne suscite pas de bouleversement : elle améliore sans brutalité les résultats de la fabrication, et autorise l'artisan à conserver les méthodes habituelles, tout en ressentant une impression de facilitation dans le travail ; les gestes habituels, mieux servis par des instruments plus précis, donnent de meilleurs résultats. L'optimisme du XVIIIe siècle se dégage dans une assez large mesure de cette amélioration élémentaire et continue des conditions du travail technique.

Au contraire, l'aspect de l'évolution technique se modifie lorsqu'on rencontre, au XIXe siècle, la naissance des individus techniques complets. Tant que ces individus remplacent seulement des animaux, la perturbation n'est pas une frustration. La machine à vapeur remplace le cheval pour remorquer les wagons ; elle actionne la filature : les gestes sont modifiés dans une certaine mesure, mais l'homme n'est pas remplacé tant que la machine apporte seulement une utilisation plus large des sources d'énergie. Les Encyclopédistes connaissaient et magnifiaient le moulin à vent, qu'ils représentaient dominant les campagnes de sa haute structure muette. Plusieurs planches, extrêmement détaillées, sont consacrées à des moulins à eau perfectionnés. La frustration de l'homme commence avec la machine qui remplace l'homme, avec le métier à tisser automatique, avec les presses à forger, avec l'équipement des nouvelles fabriques ; ce sont les machines que l'ouvrier brise dans l'émeute, parce qu'elles sont ses rivales, non plus moteurs mais porteuses d'outils ; le progrès du XVIIIe siècle laissait intact l'individu humain parce que l'individu humain restait individu technique, au milieu de ses outils dont il

14. Gilbert Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, 1958, p. 113–116.

était centre et porteur. Ce n'est pas essentiellement par la dimension que la fabrique se distingue de l'atelier de l'artisan, mais par le changement du rapport entre l'objet technique et l'être humain : la fabrique est un ensemble technique qui comporte des machines automatiques, dont l'activité est parallèle à l'activité humaine : la fabrique utilise de véritables individus techniques, tandis que, dans l'atelier, c'est l'homme qui prête son individualité à l'accomplissement des actions techniques. Dès lors, l'aspect le plus positif, le plus direct, de la première notion de progrès, n'est plus éprouvé. Le progrès du XVIIIe siècle est un progrès ressenti par l'individu dans la force, la rapidité et la précision de ses gestes. Celui du XIXe siècle ne peut plus être éprouvé par l'individu, parce qu'il n'est plus centralisé par lui comme centre de commande et de perception, dans l'action adaptée. L'individu devient seulement le spectateur des résultats du fonctionnement des machines, ou le responsable de l'organisation des ensembles techniques mettant en œuvre les machines. C'est pourquoi la notion de progrès se dédouble, devient angoissante et agressive, ambivalente[...]

Quatrième TD : Claude Bernard

Texte nº1

[15]Les idées expérimentales, comme nous le verrons plus tard, peuvent naître soit à propos d'un fait observé par hasard, soit à la suite d'une tentative expérimentale, soit comme corollaires d'une théorie admise. Ce qu'il faut seulement noter pour le moment, c'est que l'idée expérimentale n'est point arbitraire ni purement imaginaire ; elle doit avoir toujours un point d'appui dans la réalité observée, c'est-à-dire dans la nature. L'hypothèse expérimentale, en un mot, doit toujours être fondée sur une *observation* antérieure. Une autre condition essentielle de l'hypothèse, c'est qu'elle soit aussi probable que possible et qu'elle soit vérifiable expérimentalement. En effet, si l'on faisait une hypothèse que l'expérience ne pût pas vérifier, on sortirait par cela même de la méthode expérimentale pour tomber dans les défauts des scolastiques et des systématiques.

Il n'y a pas de règles à donner pour faire naître dans le cerveau, à propos d'une observation donnée, une idée juste et féconde qui soit pour l'expérimentateur une sorte d'anticipation intuitive de l'esprit vers une recherche heureuse. L'idée une fois émise, on peut seulement dire comment il faut la soumettre à des préceptes définis et à des règles logiques précises dont aucun expérimentateur ne saurait s'écarter ; mais son apparition a été toute spontanée, et sa nature est tout individuelle. C'est un sentiment particulier, un *quid proprium* qui constitue l'originalité, l'invention

15. Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris : Librairie Ch. Delagrave, 1898, p. 54–56.

ou le génie de chacun. Une idée neuve apparaît comme une relation nouvelle ou inattendue que l'esprit aperçoit entre les choses. Toutes les intelligences se ressemblent sans doute, et des idées semblables peuvent naître chez tous les hommes, à l'occasion de certains rapports simples des objets que tout le monde peut saisir. Mais comme les sens, les intelligences n'ont pas toutes la même puissance ni la même acuité, et il est des rapports subtils et délicats qui ne peuvent être sentis, saisis et dévoilés que par des esprits plus perspicaces, mieux doués ou placés dans un milieu intellectuel qui les prédispose d'une manière favorable.

Si les faits donnaient nécessairement naissance aux idées, chaque fait nouveau devrait engendrer une idée nouvelle. Cela a lieu, il est vrai, le plus souvent ; car il est des faits nouveaux qui, par leur nature, font venir la même idée nouvelle à tous les hommes placés dans les mêmes conditions d'instruction antérieure. Mais il est aussi des faits qui ne disent rien à l'esprit du plus grand nombre, tandis qu'ils sont lumineux pour d'autres. Il arrive même qu'un fait ou une observation reste très longtemps devant les yeux d'un savant sans lui rien inspirer ; puis tout à coup vient un trait de lumière, et l'esprit interprète le même fait tout autrement qu'auparavant et lui trouve des rapports tout nouveaux. L'idée neuve apparaît alors avec la rapidité de l'éclair comme une sorte de révélation subite ; ce qui prouve bien que dans ce cas la découverte réside dans un sentiment des choses qui est non seulement personnel, mais qui est même relatif à l'état actuel dans lequel se trouve l'esprit.

Texte nº2

[16]On n'a pu découvrir les lois de la matière brute qu'en pénétrant dans les corps ou dans les machines inertes ; de même on ne pourra arriver à connaître les lois et les propriétés de la matière vivante qu'en disloquant les organismes vivants pour s'introduire dans leur milieu intérieur. Il faut donc nécessairement, après avoir disséqué sur le mort, disséquer sur le vif, pour mettre à découvert et voir fonctionner les parties intérieures ou cachées de l'organisme ; c'est à ces sortes d'opérations qu'on donne le nom de *vivisections*, et sans ce mode d'investigation il n'y a pas de physiologie ni de médecine scientifique possibles : pour apprendre comment l'homme et les animaux vivent, il est indispensable d'en voir mourir un grand nombre, parce que les mécanismes de la vie ne peuvent se dévoiler et se prouver que par la connaissance des mécanismes de la mort.

A toutes les époques on a senti cette vérité et, dès les temps les plus anciens, on a pratiqué, dans la médecine, non seulement des expériences thérapeutiques, mais même des vivisections. On raconte que des rois de Perse livraient les condamnés à

16. Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris : Librairie Ch. Delagrave, 1898, p. 157–159.

mort aux médecins afin qu'ils fissent sur eux des vivisections utiles à la médecine. Au dire de Galien, Attale III, Philométor, qui régnait cent trente-sept ans avant Jésus-Christ, à Pergame, expérimentait les poisons et les contrepoisons sur des criminels condamnés à mort. Celse rappelle et approuve les vivisections d'Hérophile et d'Erasistrate pratiquées sur des criminels, par le consentement des Ptolémées. Il n'est pas cruel, dit-il, d'imposer des supplices à quelques coupables, supplices qui doivent profiter à des multitudes d'innocents pendant le cours de tous les siècles. Le grand-duc de Toscane fit remettre à Fallope, professeur d'anatomie à Pise, un criminel avec permission qu'il le fît mourir ou qu'il le disséquât à son gré. Le condamné ayant une fièvre quarte, Fallope voulut expérimenter l'influence des effets de l'opium sur les paroxysmes. Il administra deux gros d'opium pendant l'intermission ; la mort survint à la deuxième expérimentation. De semblables exemples se sont retrouvés plusieurs fois, et l'on connaît l'histoire de l'archer de Meudon qui reçut sa grâce parce qu'on pratiqua sur lui la néphrotomie avec succès. Les vivisections sur les animaux remontent également très loin. On peut considérer Galien comme le fondateur des vivisections sur les animaux. Il institua ses expériences en particulier sur des singes ou sur des jeunes porcs, et il décrivit les instruments et les procédés employés pour l'expérimentation. Galien ne pratiqua guère que des expériences du genre de celles que nous avons appelées expériences pertubatrices, et qui consistent à blesser, à détruire ou à enlever une partie afin de juger de son usage par le trouble que sa soustraction produit. Galien a résumé les expériences faites avant lui, et il a étudié par lui-même les effets de la destruction de la moelle épinière à des hauteurs diverses, ceux de la perforation de la poitrine d'un côté ou des deux côtés à la fois ; les effets de la section des nerfs qui se rendent aux muscles intercostaux et de celle du nerf récurrent. Il a lié les artères, institué des expériences sur le mécanismes de la déglutition. Depuis Galien, il y a toujours eu, de loin en loin, au milieu des systèmes médicaux, des vivisecteurs éminents. C'est à ce titre que les noms des de Graaf, Harvey, Aselli, Pecquet, Haller, etc., se sont transmis jusqu'à nous. De notre temps, et surtout sous l'influence de Magendie, la vivisection est entrée définitivement dans la physiologie et dans la médecine comme un procédé d'étude habituel et indispensable.

Texte n°3

[17]En 1843, dans un de mes premiers travaux, j'entrepris d'étudier ce que deviennent les différentes substances alimentaires dans la nutrition. Je commençai, ainsi que je l'ai déjà dit, par le sucre, qui est une substance définie et plus facile que toutes les autres à reconnaître et à poursuivre dans l'économie. J'injectai dans

17. Claude Bernard, *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris : Librairie Ch. Delagrave, 1898, p. 260–262.

ce but des dissolutions de sucre de canne dans le sang des animaux, et je constatai que ce sucre, même injecté dans le sang à faible dose, passait dans les urines. Je reconnus ensuite que le suc gastrique, en modifiant ou en transformant ce sucre de canne, le rendait assimilable, c'est-à-dire destructible dans le sang.

Alors je voulus savoir dans quel organe ce sucre alimentaire disparaissait, et j'admis par hypothèse que le sucre que l'alimentation introduit dans le sang pourrait être détruit dans le poumon ou dans les capillaires généraux. En effet, la théorie régnante à cette époque et qui devait être naturellement mon point de départ, admettait que le sucre qui existe chez les animaux provient exclusivement des aliments, et que ce sucre se détruit dans l'organisme animal par des phénomènes de combustion, c'est-à-dire de respiration. C'est ce qui avait fait donner au sucre le nom d'*aliment respiratoire*. Mais je fus immédiatement conduit à voir que la théorie sur l'origine du sucre chez les animaux, qui me servait de point de départ, était fausse. En effet, par suite d'expériences que j'indiquerai plus loin, je fus amené, non à trouver l'organe destructeur du sucre, mais au contraire je découvris un organe formateur de cette substance, et je trouvai que le sang de tous les animaux contient du sucre, même quand ils n'en mangent pas. Je constatai donc là un fait nouveau, imprévu par la théorie et que l'on n'avait pas remarqué, sans doute, parce que l'on était sous l'empire d'idées théoriques opposées, auxquelles on avait accordé trop de confiance. Alors, j'abandonnai tout aussitôt toutes mes hypothèses sur la destruction du sucre, pour suivre ce résultat inattendu qui a été depuis l'origine féconde d'une voie nouvelle d'investigation et une mine de découvertes qui est loin d'être épuisée.

Dans ces recherches je me suis conduit d'après les principes de la méthode expérimentale que nous avons établis, c'est-à-dire qu'en présence d'un fait nouveau bien constaté et en contradiction avec une théorie, au lieu de garder la théorie et d'abandonner le fait, j'ai gardé le fait, que j'ai étudié, et je me suis hâté de laisser la théorie, me conformant à ce précepte que nous avons indiqué dans le deuxième chapitre : *Quand le fait qu'on rencontre est en opposition avec une théorie régnante, il faut accepter le fait et abandonner la théorie, lors même que celle-ci, soutenue par de grands noms, est généralement adoptée.*

Il faut donc distinguer, comme nous l'avons dit, les principes d'avec les théories et ne jamais croire à ces dernières d'une manière absolue. Ici nous avions une théorie d'après laquelle on admettait que le règne végétal avait seul le pouvoir de créer les principes immédiats que le règne animal doit détruire. D'après cette théorie, établie et soutenue par les chimistes contemporains les plus illustres, les animaux étaient incapables de produire du sucre dans leur organisme. Si j'avais cru à la théorie d'une manière absolue, j'aurais dû conclure que mon expérience devait être entachée d'erreur, et peut-être que des expérimentateurs moins défiants que moi auraient passé condamnation immédiatement et ne se seraient pas arrêtés plus longtemps sur une observation qu'on pouvait théoriquement accuser de renfermer des causes d'erreurs, puisqu'elle montrait du sucre dans le sang chez les animaux soumis à une alimentation dépourvue de matières amidonnées ou sucrées. Mais au lieu de me préoccuper de la validité de la théorie, je ne m'occupai que du fait, dont je cherchai à bien établir la réalité. Je fus ainsi amené par de nouvelles expériences, et au moyen de contre-épreuves convenables, à confirmer ma première observation et à trouver que le foie était un organe où du sucre animal se formait dans certaines circonstances données pour se répandre ensuite dans toute la masse du sang et dans les tissus et liquides organiques.

Histoire de l'algèbre

Al-Khwārizmī, *Traité d'algèbre*

> J'ai trouvé les nombres dont on a besoin dans les calculs d'*al-jabr wa al-muqābala*, selon trois sortes qui sont : les racines, les carrés, et le nombre simple qui n'est rapporté ni à une racine ni à un carré.
>
> La racine, parmi ces sortes, est toute chose qui se multiplie par elle-même, par l'unité, par les nombres qui sont au-dessus d'elle et les fractions qui sont au-dessous d'elle.
>
> Le carré est ce qu'on obtient lorsqu'on multiplie la racine par elle-même.
>
> Le nombre simple est un nombre qu'on exprime sans qu'il soit rapporté ni à une racine ni à un carré.
>
> [...] J'ai trouvé que ces trois sortes – les racines, les carrés, et le nombre – se composent. Et on aura les trois genres composés qui sont : des carrés plus des racines sont égaux à un nombre ; des carrés plus un nombre sont égaux à des racines ; des racines plus un nombre sont égaux à des carrés.
>
> [...] Si quelqu'un s'interroge en disant « tu divises dix en deux parties et tu multiplies l'une par l'autre, on a vingt-et-un », tu sais que l'une des deux parties de dix est une chose et l'autre dix moins une chose. Multiplie dix par dix moins une chose ; on a dix choses moins un carré égale vingt-et-un. Réduis les dix choses par le carré et ajoute-le à vingt-et-un ; on a dix choses égales à vingt-et-un dirhams plus un carré. Ôte la moitié du nombre des racines, il reste cinq ; multiplie-le par lui-même, on a vingt-cinq. Ôte de celui-ci le vingt-et-un qui est avec le carré, il reste quatre. Prends sa racine, qui est deux, et soustrais-la de la moitié du nombre des racines, qui est cinq ; il reste trois, ce qui est l'une des deux parties. Si tu veux, tu ajoutes la racine de quatre à la moitié du nombre des racines ; on a sept, qui est l'une des deux parties.

> Ce problème est de ceux qui se font à la fois par l'addition et par la soustraction.

Bombelli, *Algebra* (1572)

1 Più via più di meno fa più di meno.

2 Meno via più di meno fa meno di meno.

3 Più via meno di meno fa meno di meno.

4 Meno via meno di meno fa più di meno.

5 Più di meno via più di meno fa meno.

6 Più di meno via men di meno fa più.

7 Meno di meno via più di meno fa più.

8 Meno di meno via men di meno fa meno.

Cinquième TD : Roshdi Rashed

Texte nº1

[18]Au long de cette recherche sur les instruments ardents, le géomètre muni des lois de l'optique géométrique – propagation rectiligne, réflexion, réfraction, et retour inverse – s'attache surtout aux propriétés optiques des coniques, celles qui sont liées à la focalisation de la lumière. Ensuite, en s'aidant principalement des coniques, il s'emploie à façonner des instruments afin de produire une concentration de la lumière. Cette concentration ainsi obtenue – qui n'a pas lieu dans la nature – est à la fois géométriquement et techniquement contrôlée : elle est anticipée par la théorie des coniques, et produite par un instrument devant embraser à une distance donnée d'avance. Mais, pour que la concentration ait lieu selon les conditions requises, deux préalables doivent être observés ; le premier, dont Ibn Sahl est pleinement conscient, touche au choix des matériaux – cristal de roche pur et homogène par exemple – ainsi qu'aux formes géométriques ; le second est moins clairement saisi par Ibn Sahl – comme par ses prédécesseurs aussi bien que ses successeurs jusqu'au XVIII^e^ siècle, du reste : l'embrasement est supposé se produire dès que la concentration a lieu.

Ibn Sahl avait donc conçu ce domaine de recherche sur les instruments ardents, et, peut-on dire, la dioptrique de surcroît. Mais, obligé à penser d'autres coniques que la parabole et l'ellipse – l'hyperbole par exemple – comme courbe anaclastique, il a été tout naturellement conduit à la découverte de la loi de Snellius. On

18. Roshdi Rashed, *Géométrie et dioptrique au X^e^ siècle : Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham*, Paris, Les Belles Lettres, 1993, p. LXIX-LXX.

comprend dès lors que la dioptrique, lorsqu'elle voit le jour avec Ibn Sahl, traite uniquement de ce qui touche à la propagation de la lumière, indépendamment des problèmes de la vision, disons même avec indifférence à leur endroit. Dans cette dioptrique, l'œil n'a pas sa place au sein des instruments ardents, pas davantage du reste que le sujet de la vision. C'est un point de vue objectif qui est délibérément adopté dans l'analyse du phénomène lumineux. Riche en matériau technique, cette discipline est en fait très pauvre en contenu physique : il est évanescent, et se réduit à quelques considérations énergétiques. Par exemple, tout au moins dans ses écrits que nous connaissons, Ibn Sahl n'a jamais tenté d'expliquer pourquoi certains rayons changent de direction et se concentrent lorsqu'ils changent de milieu : il lui suffisait de savoir comment un faisceau de rayons parallèles à l'axe d'une lentille plan-convexe hyperbolique donne par réfraction un faisceau convergent. Comme réponse à la question de savoir pourquoi la concentration produit l'embrasement, Ibn Sahl se contente d'une définition du rayon lumineux par son action d'embraser, en postulant, comme d'ailleurs ses sucesseurs pour bien longtemps encore, que l'échauffement est proportionnel au nombre des rayons réunis.

Texte n°2

[19]Toujours à la suite d'Ibn Sahl – et en le citant – Ibn al-Haytham a poursuivi intensément la recherche sur la réfraction. Mais, au lieu de creuser la brèche par lui ouverte, en tenant compte de la loi de Snellius et en affinant sa formulation, Ibn al-Haytham revient aux rapports des angles pour augmenter et préciser les règles quantitatives de la réfraction telles que le rapport entre l'angle d'incidence et l'angle de déviation ou de réfraction, etc. Si l'on veut élucider, ou tenter d'élucider, ce qu'il faut bien appeler un pas en arrière, il convient d'estimer d'abord l'écart qu'il a creusé. Ibn al-Haytham ne s'occupe plus seulement des miroirs et des lentilles, mais aussi d'optique. Bien plus, il a réformé cette discipline en faisant clairement le départ, pour la première fois dans son histoire, entre conditions de propagation de la lumière, et conditions de la vision des objets. Sur cette réforme, nous nous sommes expliqué ailleurs. Rappelons simplement qu'elle le conduit d'une part à donner un support physique aux règles de la propagation – il s'agit d'une analogie mathématiquement assurée entre un modèle mécanique d'un mouvement d'une balle solide lancée contre un obstacle, et celui de la lumière – et d'autre part, à partout procéder géométriquement, et par observation et expérimentation. L'optique a perdu le sens qu'elle avait naguère ; elle comprend deux parties : une théorie de la vision, à laquelle sont également associées une physiologie et une psychologie ; et une théorie de la lumière et des modalités de sa propagation, etc. [...]

19. Roshdi Rashed, *Géométrie et dioptrique au X^e siècle : Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham*, Paris, Les Belles Lettres, 1993, p. LXXI-LXXII.

L'organisation du *Livre de l'Optique* reflète déjà la nouvelle situation. On y trouve des chapitres entièrement consacrés à la propagation – les trois premiers chapitres du livre I, la majorité des livres IV à VII – ; d'autres traitent de la vision et des problèmes afférents. Entre autres résultats de cette réforme, il faut noter l'émergence de problèmes neufs, jamais posés auparavant. Dans ce contexte, dioptres et lentilles ont été examinés non seulement comme instruments ardents, mais aussi en tant qu'instruments optiques. Il fallait dans ces conditions se pencher sur les problèmes de formation et de localisation des images par ces moyens ; ce à quoi Ibn al-Haytham n'a pas manqué.

Platon et la théorie des couleurs

[20]Il reste encore une quatrième espèce de sensations qui se produisent en nous et qu'il faut diviser, parce qu'elle embrasse de nombreuses variétés, que nous appelons du nom général de couleurs. C'est une flamme qui s'échappe des différents corps et dont les parties sont proportionnées à la vue de manière à produire une sensation. Nous avons expliqué précédemment les causes et l'origine de la vision. Maintenant il est naturel et convenable de donner une explication raisonnable des couleurs. Parmi les particules qui se détachent des autres corps et qui viennent frapper la vue, les unes sont plus petites, les autres plus grandes que celles du rayon visuel lui-même, et les autres de même dimension. Ces dernières ne produisent pas de sensation : ce sont celles que nous appelons transparentes. Les plus grandes et les plus petites, dont les unes contractent et les autres dilatent le rayon visuel, sont analogues aux particules chaudes et froides qui affectent la chair et aux particules astringentes qui affectent la langue et aux particules brûlantes que nous avons appelées piquantes. Ce sont les particules blanches et noires, dont l'action est identique à celle du froid et du chaud, mais dans un genre différent, et qui pour ces raisons se montrent sous un aspect différent. En conséquence, voici les noms qu'il faut leur donner : celui de blanc à ce qui dilate le rayon visuel, celui de noir à ce qui produit l'effet contraire. Lorsqu'une autre sorte de feu qui se meut plus rapidement heurte le rayon visuel et le dilate jusqu'aux yeux, dont il divise violemment et dissout les ouvertures, et en fait couler tout d'un coup du feu et de l'eau que nous appelons larme ; lorsque ce mouvement qui est lui-même du feu s'avance à leur rencontre, et que le feu jaillit au-dehors comme d'un éclair, tandis que l'autre feu entre et s'éteint dans l'humidité, alors des couleurs de toute sorte naissent dans le mélange. Nous appelons éblouissement l'impression éprouvée et nous donnons à ce qui la produit le nom de brillant et d'éclatant.

Il y a aussi la variété de feu intermédiaire entre ces deux-là ; elle arrive jusqu'à l'humidité des yeux et s'y mêle, mais n'a point d'éclat. Le rayonnement du feu

20. Platon, *Timée*.

au travers de l'humidité à laquelle il se mêle produit une couleur de sang, que nous appelons rouge. Le brillant, mêlé au rouge et au blanc, devient jaune. Quant à la proportion de ces mélanges, la connût-on, il ne serait pas sage de la dire, puisqu'on n'en saurait donner la raison nécessaire ni la raison probable d'une manière satisfaisante. Le rouge mélangé au noir et au blanc produit le pourpre, et le violet foncé, quand ces couleurs mélangées sont plus complètement brûlées et qu'on y mêle du noir. Le roux naît du mélange du jaune et du gris, le gris du mélange du blanc et du noir, et l'ocre du mélange du blanc avec le jaune. Le blanc uni au jaune et tombant dans du noir saturé donne une couleur bleu foncé ; le bleu foncé mêlé au blanc donne le pers, et le roux mêlé au noir, le vert. Quant aux autres couleurs, ces exemples font assez bien voir par quels mélanges on devrait en expliquer la reproduction pour garder la vraisemblance. Mais tenter de soumettre ces faits à l'épreuve de l'expérience serait méconnaître la différence de la nature humaine et de la nature divine. Et en effet Dieu seul est assez intelligent et assez puissant pour mêler plusieurs choses en une seule et, au rebours, dissoudre une seule chose en plusieurs, tandis qu'aucun homme n'est capable à présent et ne le sera jamais à l'avenir de réaliser aucune de ces deux opérations.

Texte n°3

[21]Qu'entend-on par « un géométre de premier rang » dans la seconde moitié du X^{e} siècle ? Le cas d'Ibn Sahl nous offre l'occasion d'aborder cette question si importante et, à notre grand étonnement, tant négligée par les historiens.

Pour une bonne partie, les travaux des géomètres, entre le IX^{e} et le XII^{e} siècle notamment, consiste à étendre la géométrie de leurs prédecesseurs hellénistiques, Euclide et Apollonius particulièrement, sur le même terrain que ceux-ci, et dans le même style. On pourrait alors parler de « mathématiciens hellénistiques arabes ». Mais, à s'arrêter à cette constation, on risquerait d'occulter une dimension tout aussi essentielle de la géométrie de ce temps. Les erreurs de perspectives ne sont alors pas rares dans la rédaction de l'un des chapitres de cette géométrie. En effet, un regard moins global, plus attentif aux rapports de la géométrie à d'autres disciplines, telles que l'algèbre et l'astronomie, repérera dans ce paysage hellénistique deux régions au moins qui échappent à cette qualification. La plus étudiée est la géométrie algébrique ; c'est celle qui, ici, nous occupe le moins. Nous vons retracé ailleurs la dialectique entre algèbre et géométrie engagée au X^{e} siècle précisément par une pléiade de mathématiciens, dont al-Khāzin, Ibn al-Layth, al-Qūhī..., et montré comment elle aboutit, avec al-Khayyām, à la fondation de cette discipline, pour ensuite se transformer profondément avec Sharaf al-Dīn al-Ṭūsī. La seconde

21. Roshdi Rashed, *Géométrie et dioptrique au X^{e} siècle : Ibn Sahl, al-Qūhī et Ibn al-Haytham*, Paris, Les Belles Lettres, 1993, p. LXXVI-LXXVII.

région est occupée par les transformations géométriques. L'intérêt porté à ces transformations n'a cessé d'attirer notre attention dans les travaux des géomètres ou des algébristes. A cela il faut ajouter l'étude des projections dont l'intérêt vient seulement d'être perçu. Les titres des écrits d'Ibn Sahl désignent non seulement un géomètre, mais plus précisément encore un géomètre de la tradition archimédienne et apollonienne arabe, et parmi ceux qui ont conçu d'autres chapitres non hellénistiques. Dans cette tradition archimédienne et apollonienne – dont nous retracerons l'histoire ailleurs – les mathématiciens s'intéressaient, à la suite d'Archimède, à la quadrature des figures curvilignes et aux questions afférentes ; ils s'occupaient aussi des problèmes du centre de gravité. A la suite d'Apollonius, ils étudiaient en même temps les sections coniques, non seulement théoriquement, mais aussi en vue de leur application. Cette application n'était pas réservée aux autres disciplines, telles que l'optique et l'astronomie, mais elle servait aussi à résoudre des problèmes géométriques, comme ceux de constructions géométriques. C'est du reste dans cette tradition et au sein de ce milieu que l'on a commencé à appliquer la théorie des coniques à la solution de problèmes algébriques.

Sixième TD : Jean Cavaillès

Texte n°1

[22]« Dès l'Antiquité on a disposé d'une langue parfaite pour la considération mathématique des groupes finis d'objets stables »[23]. La syntaxe de cette langue est la logique, avec ses trois principes de non contradiction, du tiers exclu, du syllogisme, qui permettent de passer mécaniquement de propositions à d'autres, sans souci de leur contenu : l'expérience ratifie toujours le résultat parce que ces opérations ne sont que le corrélat linguistique (la traduction) d'opérations intuitives effectuées sur un système d'objets finis. Or, pour l'expérience quotidienne, la considération d'un univers discret et fini est suffisante. D'où l'explication d'un succès constant par je ne sais quelle autorité supérieure attribuable aux principes logiques, d'où les difficultés et les paradoxes que provoque leur utilisation pour la langue de la mathématique infinie. Avec celle-ci une révision s'impose que supportent seuls les principes de non contradiction et du syllogisme, le tiers exclu disparaît.

De nombreux exemples peuvent en être donnés : d'une façon générale si on appelle *propriété fuyante* une propriété « dont on peut vérifier l'existence – ou l'absurdité – pour tout nombre naturel donné tandis que l'on n'a aucun moyen ni d'indiquer un nombre naturel qui la possède, ni de démontrer son absurdité

22. Jean Cavaillès, *Méthode axiomatique et formalisme*, Hermann, 1938, p. 35–36.
23. Brouwer

pour tous les nombres naturels (pairs ou impairs) » (par exemple la propriété pour un nombre naturel n que l'on puisse trouver deux nombres premiers x, y tels que $x+y=2n$) on désignera par *nombre résolvant* λ le plus petit entier (hypothétique) pour lequel la propriété est vraie : soit le nombre p_f défini comme limite de la suite convergente :

$$a_1, a_2 \ldots a_\nu \ldots$$

où $a_\nu = \left(-\frac{1}{2}\right)^\nu$ pour $\nu < \lambda_f$ et $a_\nu = \left(-\frac{1}{2}\right)^{\lambda_f}$ pour $\nu \geq \lambda_f$. On voit que p_f n'est ni nul, ni $\neq 0$, ni rationnel ni irrationnel contrairement au principe du tiers exclu. Si on pose encore n_f comme limite de la suite convergente :

$$b_1, b_2 \ldots b_\nu \ldots$$

avec $b_\nu = \left(\frac{1}{2}\right)^\nu$ pour $\nu < \lambda_f$ et $b_\nu = \left(\frac{1}{2}\right)^{\lambda_f}$ pour $\nu \geq \lambda_f$ et si l'on fait passer la droite l par les deux points respectivement de coordonnées $1, p_f$ et $-1, n_f$, l'axe des x et l « ne sont pas parallèles quoique leur parallélisme ne soit pas absurde... ne coïncident pas, quoique leur coïncidence ne soit pas absurde... ne se coupent pas quoique leur intersection ne soit pas absurde ».

Texte n°2

[24]Mais où situer les expériences, à quoi reconnaître l'existence effective des objets ? Le problème est insoluble si l'on conserve l'ontologie non critique admise implicitement dans la plupart des discussions, la dualité d'un monde sensible en soi et d'une pensée confondue avec des manifestations historiques. D'où le recours à Platon, la référence à un système intelligible, garantie objective de la conscience empirique : il y a plutot reconnaissance de l'impossibilité de s'en tenir au système des objets effectivement construits, affirmation d'une complexité de la notion d'existence mathématique, qu'indication vers une solution – à moins d'admettre une intuition intellectuelle qui, sans jouer de rôle dans le travail mathématique proprement dit, interviendrait pour rendre plausible un système d'axiomes, appréhender l'harmonie d'une théorie déjà construite et échappant à toute démonstration de non contradiction comme la théorie des ensembles dans l'axiomatique Zermelo-Fraenkel. Il semble plus sûr de ne pas rompre, même pour une justification, l'enchaînement avec les démarches de la conscience empirique depuis l'origine. « L'analyse mathématique – écrit L. Brunschvicg –... est une suggestion de l'expérience pour l'extension de l'expérience elle-même ». Il n'y a rien de si peu historique – au sens de devenir opaque, saisissable seulement dans une intuition artistique – que l'histoire mathématique. Mais rien d'aussi peu réductible, dans sa singularité radicale. Si la nécessité de la configuration des théories en un temps

24. Jean Cavaillès, *Méthode axiomatique et formalisme*, Hermann, 1938, p. 176–177.

donné est douteuse – même retranché le contingent sociologique de leur expression – s'il est possible de feindre actuellement une ou plusieurs théories absentes, tout le reste étant conservé – encore que ce ne soit peut-être que par ignorance de relations cachées entre problèmes, on ne peut envisager le tout comme un système arbitraire de théories juxtaposées, la place ou la présence de l'analyse, par exemple, ou de l'arithmétique étant indifférente. Il n'y a pas de définition et de justification d'objets mathématiques qui ne soit les mathématiques mêmes.

L'intuition ici en cause n'est que le prolongement de l'intuition sensible véritable non figée dans les premiers stades d'une conscience fragmentaire : l'élargissement de la conscience et le développement dialectique de l'expérience coïncident. Ils donnent lieu à l'engendrement indéfini des objets dans ce que nous appellerons le *champ thématique* : on a vu quelques-uns de ces processus d'engendrement, les différentes sortes de généralisations, les formalisations auxquelles s'ajoute la *thématisation* proprement dite : transformation d'une opération en élément d'un champ opératoire supérieur, exemple topologie des transformations topologiques (essentielles d'une façon générale en théorie des groupes). Trois sortes de moments dialectiques – d'après une classification obligatoirement grossière et non exhaustive – en réalité chacun incomparable aux autres, dans l'originalité de la situation mathématique où il naît.