

*dernière version, terminée
16 janvier 1997*

Mathesis universalis et intelligibilité chez Descartes

par

Michel PATY#

*en hommage à Imre Toth
décembre 1996*

*pour l'amour de la géométrie
et de la philosophie*

RESUMÉ

La question de l'intelligibilité, qui est au cœur de la philosophie de Descartes, voit son premier jaillissement dans les Règles pour la direction de l'esprit, rédigées neuf ans avant le Discours de la méthode. Les Regulæ sont comme le premier mouvement de sa pensée profonde sur les mathématiques et sur la question de la certitude de la connaissance en relation à la subjectivité. La mathesis universalis y résume, pour ainsi dire, sa philosophie de la connaissance dans ce qu'elle a d'essentiel.

Sommaire. 1. Introduction. 2. Les dimensions de la quête de Descartes. 3. Au centre du projet cartésien : l'intelligibilité. Le sens de la mathesis universalis. 4. Construction de courbes et résolutions d'équations. Les fondements de la Géométrie. 5. Lois du mouvement et géométrisation de la physique. 6. Conclusion. La lumière instantanée de la compréhension et le problème de la connaissance. - Bibliographie.

Equipe REHSEIS (UPR 318), CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot.

1

INTRODUCTION

Le thème fondamental de la philosophie de Descartes est celui de l'intelligibilité, c'est-à-dire de l'acquisition d'une connaissance vraie et de la possibilité de s'assurer de la vérité de cette connaissance. Les deux sont en relation étroite, et l'affirmation, par Descartes, de la recherche de la vérité est inséparablement cette recherche elle-même - concernant le monde et concernant l'homme - et la pensée réflexive sur elle. L'œuvre tout entière de Descartes peut être vue comme un essai d'approfondissement et de systématisation de cette idée fondatrice, dont il eut l'intuition ou la "révélation" dès ses premiers pas dans son aventure intellectuelle, lorsqu'il décida de se convertir à l'exercice de la pensée et de consacrer son existence à la recherche de la vérité.

La "puissance de bien juger", c'est-à-dire la raison, qui "est naturellement égale en tous les hommes", est l'unique critère auquel les connaissances doivent être rapportées. Le *Discours de la méthode* (1737) qui s'ouvre sur cette affirmation et la *Géométrie* qui l'accompagne, avec la *Dioptrique* et les *Météores*, comme autant d'applications de cette méthode¹, constituent la première mise en œuvre formalisée et quelque peu achevée de sa doctrine - du moins après la rédaction arrêtée du *Monde*². Mais c'est dans les *Règles pour la direction de l'esprit*, rédigées neuf ans auparavant³, que l'on trouve le premier jaillissement et comme le premier mouvement de la pensée profonde de Descartes, sur les mathématiques, sur la connaissance du monde et sur la question de la certitude de la connaissance en relation à la subjectivité.

De ce premier mouvement, la philosophie de Descartes devait garder l'impulsion fondamentale et la direction, à travers ses modifications ultérieures et sa mise en système dans le *Discours* puis dans les *Méditations métaphysiques*⁴ et dans les *Principes de la philosophie*⁵. Le suivre permet, plus directement que la figure accomplie de l'œuvre prise dans son ensemble, de se placer d'emblée selon l'axe central de sa pensée et de son projet et de nous faire mieux saisir le caractère novateur de ses intuitions qui confèrent tout son sens à ce projet. La direction des

¹ Descartes [1637a].

² Descartes [1633a et b]. Ayant appris en 1633 la condamnation de Galilée, Descartes renonça à publier son *Le Monde ou Traité de la lumière*, où il prenait parti, lui aussi, pour le mouvement de la Terre, contre le géocentrisme, et décida d'en abandonner la rédaction.

³ Descartes [1628].

⁴ Descartes [1641].

⁵ Descartes [1644].

développements ultérieurs de l'œuvre de Descartes se laisse déceler dès ses premiers travaux, en ce qui concerne aussi bien les mathématiques et la physique que la philosophie et la métaphysique.

Si nous voulons comprendre ce qui fait la nouveauté décisive de la pensée de Descartes dans la science et dans la philosophie de son temps, il nous faut aller droit à l'essentiel, que la richesse même de ces développements contribue à masquer, sans compter près de quatre siècles d'interprétations qui ont eu, certes, à chaque époque leur utilité, et qui d'ailleurs montrent la vitalité et la fécondité de cette pensée au fil du temps⁶. C'est pourquoi il est utile de se demander comment cette pensée a surgi, dans sa nouveauté - comment elle est née, vive, d'un être vivant, d'un sujet, René Descartes.

Avec la *mathesis universalis* telle qu'il l'expose dans les *Regulæ*, Descartes ne met pas tant en avant les certitudes mathématiques ou celles des sciences que l'aptitude de l'esprit à porter des "jugements solides et vrais sur tout ce qui se présente à lui"⁷, et cherche à fonder de la manière la plus générale l'intelligibilité. Les mathématiques ne sont prises pour exemplaires en ce qui concerne l'accession à la vérité qu'en un sens particulier : celui d'éclairer ce que l'on peut entendre par évidence et par certitude. En ce sens, la *mathesis universalis* permet de concevoir qu'il n'y a de connaissance et de science que par la subjectivité, lieu propre de l'intelligibilité. Chaque esprit fonde en lui-même sa compréhension et ses jugements, et le problème est de savoir ce qui fait qu'une subjectivité - c'est-à-dire toute subjectivité - peut acquérir une certitude, et, par là, la connaissance. La leçon s'adresse autant à la science qu'à la philosophie.

On peut reprendre ensuite, avec ce guide de lecture, les énoncés de la méthode et de ses applications aux différentes sciences. Descartes ne réalisa vraiment son projet de fonder une science certaine qu'avec la géométrie ; s'il échoua de fait pour le reste, et d'abord en physique, quelque chose cependant devait en rester qui marqua durablement les sciences, et que nous tenterons de circonscrire. Son idée inspiratrice s'épanouit dans sa philosophie, notamment dans les *Méditations*, avec le retour à l'*ego cogito* comme évidence première, susceptible de donner à la connaissance un fondement assuré, voire absolu : Edmund Husserl devait y voir l'inauguration d'"un type nouveau de philosophie", dans lequel "l'objectivisme naïf" se trouve remplacé par le "subjectivisme transcendantal"⁸. Toute l'histoire ultérieure de la philosophie devait en être marquée.

C'est donc ce premier mouvement de la pensée cartésienne que nous évoquerons dans ce qui suit, en partant de l'évocation de l'expérience singulière dans laquelle elle s'enracine et dont elle se nourrit. Le cheminement de la pensée de Descartes est celui d'une véritable quête, centrée autour de son projet d'intelligibilité et de *mathesis universalis*, qui prend forme dans ses différentes

⁶ Henri Gouhier exprime bien, dans l'introduction de son ouvrage sur *La jeunesse de Descartes*, ce souci de se libérer de la gangue des interprétations successives (Gouhier [1958]).

⁷ Descartes [1628].

⁸ Husserl [1934].

dimensions : celles-ci comprennent ses exercices et ses découvertes sur la construction de courbes, la résolution d'équations et les fondements de la Géométrie, ses considérations sur les lois du mouvement et la géométrisation de la physique, ainsi que ses conceptions et ses observations sur la physiologie de l'homme. Dans ces diverses directions des sciences, s'éprouvait sa philosophie qui posait elle-même, chemin faisant, ses propres problèmes qui contribuèrent à déterminer la forme définitive de son œuvre à partir du *Discours*. La garantie de la vérité de ces connaissances - et celle des réponses à ces questions -, se tient sous le signe de l'évidence, rapportée à la possibilité de les penser dans la lumière instantanée de la compréhension, première donnée intuitivement perçue dont il s'agit ensuite d'assurer les fondements.

2

LES DIMENSIONS DE LA QUÊTE DE DESCARTES

La pensée de Descartes se donne elle-même comme exemple vivant du lien constitutif entre la connaissance, dans sa vocation à l'universel - elle est accessible à tous par la raison -, et la subjectivité, qui se manifeste dans l'expérience singulière. L'homme qu'il fut, avec son expérience propre de la vie, qui fut avant tout celle d'une quête sur le chemin de la vérité, importe évidemment à l'élaboration et au contenu de sa pensée. Descartes lui-même nous invite à cette considération dans le *Discours de la méthode*. Non pas pour nous imposer la singularité de son cas, mais pour nous faire voir l'universel par-delà les contingences particulières, les caractères et les expériences des individus, de même que l'on trouve, par-delà la diversité des esprits et des pensées, l'universelle égalité de la raison en chaque être humain - affirmée dès la première phrase du *Discours*.

Avant d'évoquer quelques éléments significatifs de son expérience de vie, il est utile de souligner deux aspects de la situation propre de Descartes comme penseur, qui confèrent à la singularité de cette expérience la valeur emblématique attachée depuis lors à l'apparition de la modernité.

C'est, en premier lieu, la réunion, chez lui, du mathématicien et du philosophe - Descartes fut pleinement, et de manière éminente, l'un et l'autre -, qui renouait un lien instauré jadis par Platon et rompu ensuite puisque, dans la longue période qui va d'Aristote aux scolastiques, la logique, et non plus les mathématiques, avait servi de référence pour la notion de vérité. Le retour philosophique des mathématiques (en-dehors de tout néo-platonisme en ce qui concerne Descartes) était tout d'abord tributaire de l'expérience de l'évidence

mathématique, vécue à travers l'exercice de la raison mathématique dont la portée pouvait être mesurée par des résultats remarquables qui renouvelaient une partie importante de cette science, voire ses fondements eux-mêmes. La philosophie de Descartes porte la marque indélébile de sa "décision philosophique" de la *mathesis universalis* comme mode d'une connaissance certaine, affirmée au moment même où commençait l'élaboration de son œuvre en analyse, en algèbre et en géométrie. Le retour des mathématiques au premier rang des connaissances tenait également à la conjoncture de l'époque, qui les voyaient descendre du ciel des objets idéaux et permettre la pénétration des phénomènes de la nature, comme Galilée le montrait de son côté en les faisant passer de l'astronomie aux mouvements des corps physiques terrestres⁹.

En second lieu, la direction des nouveautés inaugurées par Descartes, dans son œuvre scientifique aussi bien que dans sa philosophie, opérait une rupture non seulement avec la scolastique, dont la rhétorique et l'érudition lui paraissaient vides, mais également avec bien des idées de la Renaissance, et notamment sa célébration du savoir livresque et de l'autorité des Anciens¹⁰. Henri Gouhier a caractérisé comme "anti-Renaissance", au dix-septième siècle, le mouvement que représentent d'un côté la Réforme religieuse et, de l'autre, les nouvelles conceptions scientifiques de Galilée et Descartes développées autour d'une pensée spécifique de la nature. Descartes aurait ainsi été "la conscience vivante et lucide de cette réaction", sa rupture étant caractérisée par "une philosophie de la nature qui serait la métaphysique de la physique mathématique", ainsi que par "une philosophie de l'esprit dont la méthode exclut l'érudition"¹¹.

Un élément décisif de cette opposition, qui prend une force et une signification particulière chez Descartes en raison de son affirmation de la subjectivité comme le lieu propre de la connaissance, paraît être celui qui comprend d'un côté (avec la pensée de la Renaissance) l'union organique - et, en fait, anthropocentrique - de l'homme avec la nature et, de l'autre (notamment avec Galilée, Descartes, mais aussi Pascal), la nature autonome sous le regard d'un être qui s'en est détaché, un être libre et souverain - l'homme avec sa pensée. On ne saurait pour autant sous-estimer la continuité qui relie l'humanisme et l'idée d'humanité (notamment à travers Montaigne) à la notion cartésienne de raison universelle¹².

L'image de Descartes dans son poêle est souvent prise comme évocatrice de la solitude du penseur. Pourtant, s'il recherchait assurément la tranquillité pour poursuivre ses réflexions et ses travaux, cela n'empêchait nullement Descartes d'apprécier aussi la compagnie de ses semblables, sans

⁹ Koyré [1939], Geymonat [1957], Clavelin [1958], Shea [1972], Drake [1980]. Voir Paty [1996a].

¹⁰ Cette double opposition est clairement énoncée, plus d'un siècle après, dans le *Discours préliminaire de l'Encyclopédie*, qui se situe indéniablement dans l'héritage cartésien tout en évaluant ce dernier de manière critique (D'Alembert [1751], première partie).

¹¹ Gouhier [1958].

¹² Paty [1996b].

distinction de conditions : pourquoi d'autre apprit-il plusieurs langues et parcourut-il l'Europe, après avoir fait au début l'expérience de l'engagement dans les armées, sinon pour connaître la vie, le monde et les hommes dans la diversité de leurs coutumes et de leurs comportements ? Il en tirait des enseignements utiles à la conduite de sa vie. Il goûtait le commerce de ses contemporains, comme il avait aimé dans ses années de collège - et sans doute ensuite, malgré sa défiance affirmée des livres - la rencontre des auteurs du passé, et il entretenait des amitiés profondes - avec Isaac Beeckman, avec le Père Marin Mersenne, avec Constantin Huygens et d'autres encore, comme la jeune princesse Elisabeth de Bohême. Il ne refusait ni son enseignement à qui le demandait, fût-il paysan, valet¹³ ou roi (il se décida, comme on sait, à se rendre à Stockholm sur les instances de la reine Christine de Suède) ni les débats d'idées. On peut voir dans le temps considérable qu'il passa à se confronter aux objections (en particulier celles opposées à sa métaphysique¹⁴) et dans les controverses (avec les docteurs de l'Université d'Utrecht notamment¹⁵) un autre indice d'une pensée préoccupée de dialogue.

Descartes, un solitaire ? Toute sa vie nous dit le contraire : elle fut, certes, recherche personnelle, mais aussi rencontres, débats et confrontations d'idées, sous la condition de ne rien abandonner de sa liberté de penser, de ne rien devoir à aucune autorité sinon celle de son propre jugement - à l'unique exception revendiquée des matières de foi¹⁶.

La rencontre à Bréda, en Brabant, à l'automne 1618, d'Isaac Beeckman¹⁷ fut, de l'aveu de Descartes lui-même, l'un des premiers jalons décisifs de sa vie intellectuelle. Leurs discussions stimulèrent son intérêt pour les mathématiques, vers lesquelles il s'était déjà senti attiré lors de ses études au Collège de La Flèche, avec l'enseignement de ses maîtres Jésuites et probablement la lecture de l'*Algèbre* de Christophore Clavius¹⁸ ("Je me plaisais surtout aux mathématiques, à cause de la certitude et de l'évidence de leurs raisons"¹⁹). Beeckman (qui avait peut-être eu vent de recherches de Galilée, encore inédites) lui fit part de la possibilité de traiter mathématiquement les problèmes de la physique²⁰.

Pour les fêtes de fin d'année, Descartes offrit son premier traité, le *Compendium Musicae* (*Abrégé de musique*)²¹, à son ami et celui-ci lui fit présent

¹³ Son valet, Jean Gilot, qu'il enseigna et recommanda à Wilhelm Huygens (père de Christiaan), devint mathématicien du roi du Portugal. Un artisan néerlandais, qui demanda à recevoir ses leçons, devint l'un des principaux astronomes des Pays-Bas de l'époque. Cf. Rodis-Lewis [1995].

¹⁴ Descartes [1741].

¹⁵ Descartes et Schook [1988]. Voir la préface de Jean-Luc Marion à cette édition.

¹⁶ Il y a tout lieu de penser que Descartes fut un catholique convaincu et sincère.

¹⁷ Beeckman venait de soutenir son diplôme de docteur en médecine à l'Université de Caen

¹⁸ Clavius [1608].

¹⁹ Descartes [1737b].

²⁰ Isaac Beeckman écrit dans son *Journal* : "Cependant il [Descartes] dit qu'il n'a jamais rencontré personne, à part moi, qui unisse *accurate* la physique à la mathématique", et qu'il n'avait lui-même jamais pu parler jusqu'alors à personne de ce genre d'études (cité par Gouhier [1958], p. 21).

²¹ Descartes [1618]. Rédigé à Bréda à la fin décembre 1618, le *Compendium* fut édité pour la

du cahier relié en parchemin dans lequel il écrivit ses premières idées de mathématiques et de physique d'un côté, ses réflexions personnelles de l'autre²². Ce registre, trouvé parmi les papiers de Descartes à sa mort, à Stockholm, le 11 février 1650, portait la mention, au revers de la page de couverture : “Anno 1619, Kalendis Januarii”²³. Gardé par Clerselier, exécuteur testamentaire de Descartes (et beau-frère de Chanut, ami de ce dernier et ambassadeur de France en Suède quand Descartes s'y trouva), il fut consulté et copié en partie par Leibniz à Paris en 1675-1676, utilisé par Baillet dans sa biographie de Descartes, et perdu ensuite²⁴. Ce que nous savons des premières réflexions du jeune Descartes nous vient de ces fragments²⁵, de sa correspondance, et des *Règles pour la direction de l'esprit*, qui ont fait l'objet de publications d'abord partielles (notamment dans la seconde édition de la *Logique de Port Royal*), puis complète, en 1701²⁶.

Durant l'hiver 1618-1619, Descartes rédigea un mémoire sur la chute des corps, un autre sur la pression des liquides²⁷ et le mémoire de musique mentionné. Le 20 mars 1619, il connut trois jours d'inspiration intense, découvrant quatre démonstrations remarquables, l'une concernant la division d'un angle en autant de parties que l'on veut, et les autres la résolution de trois genres d'équations cubiques²⁸. Ses notes adressées à Beeckman dans cette période font état d'un travail complet et nouveau sur la représentation géométrique des mouvements, à titre de partie de son “Algèbre géométrique” qu'il projette d'écrire - ainsi qu'une

première fois à Utrecht, en 1650. Cf. Adam et Tannery [1896-1913], vol. 10, Avertissement, p. 79-88.

²² Les différentes sections du registre de Descartes sont intitulées : “Parnassus” (pour les mathématiques et la physique), “Præambula”, “Experimenta” (sur ses expériences de vie, qui lui suggèrent des pensées, par exemple sur la force de l'âme), enfin “Olympica” (qui contiennent notamment les rêves de la nuit du 10 au 11 novembre 1619). H

²³ Il est décrit dans l'inventaire des papiers de Descartes à Stockholm. Cf. AT, vol 10, p.1-14 et Gouhier [1958].

²⁴ Voir Baillet [1691]: de nombreux extraits sont donnés dans AT, vol. 10. Les copies du registre faites par Leibniz - mais dans un ordre différent de celui du manuscrit original - ont été retrouvées plus tard dans les papiers de ce dernier. Voir la publication par Foucher de Careil (Descartes [1859-1860]). L'édition par Adam et Tannery des *Oeuvres* de Descartes (indiquée AT dans la suite des notes) donne les parties qui ont pu être reconstituées (AT, vol. 10, p. 204-348). La description précise du registre et son analyse sont données dans Gouhier [1958].

²⁵ Auxquels il faut ajouter les copies et les informations contenues dans le *Journal de Beeckman*, retrouvé en 1905: cf. l'avertissement rédigé cette même année par Ch. Adam, in AT, vol. 10, p. 17-39.

²⁶ Sur l'histoire des copies du manuscrit de Descartes (qui figurait dans ses papiers de Stockholm, remis à Clerselier et plus tard perdus), voir les notes de Adam et Tannery, in AT, vol. 10, p. 351-357 et 470-475. Des copies du texte furent communiquées à diverses personnes. Une partie des règles 13 et 14 figurent en français dans Arnaud et Nicole [1664], 4ème partie, chapitre 2, p. 391-397. Baillet reproduisit des passages traduits des *Regulæ* dans son livre *La vie de M. Descartes* (Paris, 1691, 2 vols.), et une traduction en néerlandais fut publiée en 1684.

²⁷ Voir les textes regroupés sous le titre “Physico-mathematica”, in AT, vol. 10, respectivement p. 67-74 et 75-78, d'après la transcription du *Journal de Beeckman*, et qui furent vraisemblablement composés en décembre 1618.

²⁸ Descartes, lettre à Beeckman, 26 mars 1619, in AT, vol. 10, p. 154-160.

Mécanique - et ses lettres parlent du succès obtenu dans ce travail²⁹. Il évoque son projet de fonder “une science toute nouvelle, qui permette de résoudre en général toutes les questions qu'on peut se proposer en n'importe quel genre de quantité, continue ou discontinue, chacune suivant sa nature”³⁰. Nous reviendrons plus loin sur ces problèmes de géométrie et d'algèbre, qui témoignent de la créativité du jeune Descartes dès ses premiers pas dans l'activité intellectuelle. Il quitta peu après, en avril, la Hollande, voyagea au Danemark et en Allemagne et s'engagea dans l'armée de Maximilien de Bavière à la veille de la “Guerre de Trente ans”³¹.

En novembre de la même année, dans la nuit du 10 au 11, il eut une série de trois rêves, liés aux réflexions qui occupaient alors fiévreusement sa pensée à la suite des “illuminations” précédentes, correspondant à sa décision de se consacrer à la recherche de la vérité - qui opéra en lui comme une véritable conversion. Dans l'interprétation qu'il en donna, ces rêves étaient une invitation à changer de vie. Le troisième et dernier rêve, avec l'inscription lue dans un dictionnaire ouvert, “Quod vitae sectabor iter ?” (“Quel chemin de la vie choisirai-je?”), premier vers d'un poème d'Ausone, lui parut donner leur sens aux deux premiers et être un conseil sur la direction à prendre. Le dictionnaire indiquait les sciences ramassées ensemble, et un recueil de poésies, la philosophie et la sagesse jointes (avec une grande place faite à l'enthousiasme et à l'imagination)³². Et dès lors, en effet, sa vie changea, du moins quant à ce qu'il cultivait désormais en lui, habité par une vocation qu'il maintint secrète au long de ses voyages dans l'Europe de l'époque (il renonça bientôt à la vie militaire, mais non pas à voyager). Telle est peut-être la signification réelle de ce “larvatus prodeo”, “j'avance masqué”, qui a suscité bien des interprétations, sans doute exagérées : du moins celle-ci, proposée par Gouhier³³, apparaît-elle simple et somme toute naturelle.

L'année suivante, jour pour jour, le 10 novembre 1620, il entrevoyait “les fondements d'une science [ou plus exactement: d'une *invention*] admirable”, ou “merveilleuse”, selon la copie de son cahier recueillie par Leibniz³⁴. On peut y voir, par-delà l'invention mathématique, la révélation d'un nouveau mode de

²⁹ AT, vol. 10, p. 72, 78. Descartes, lettre à Beeckman, 23 avril 1619, in AT, vol. 10, p. 162-164. Voir la section “Cogitationes” de son cahier (AT, vol. 10, p. 220).

³⁰ Descartes, lettre à Beeckman, 23 avril 1619, in AT, vol. 10, p. 162-164.

³¹ Gouhier [1958], p. 31.

³² Les rêves de Descartes sont décrits par son premier biographe Baillet (reproduit dans AT, vol. 10, p. 180-188), qui les lut dans le cahier manuscrit perdu, à la rubrique “Olympica”. Descartes en fait lui-même l'évocation précise dans le *Discours de la méthode* : Descartes [1637b], deuxième partie et début de la troisième partie. Voir la discussion de la réalité des songes et leur reconstitution dans Gouhier [1958], p. 34-50, et dans Rodis-Lewis [1995], p.68 et suiv. Dans son cahier de notes, Descartes parle de ses Muses, la Géométrie, l'Algèbre et la Mécanique, qui occupent la section “Parnassus” du registre.

³³ Gouhier [1958], p. 29-30. Selon Gouhier, le masque, ce serait la vie intérieure: le soldat qu'il était porte en lui un monde que lui seul explore. Il ressemble à tous les autres, et pourtant c'est lui qui fera connaître “une science entièrement nouvelle”.

³⁴ “Anno 1620, intelligere cœpi fundamentum inventi mirabilis” (texte des “Cogitationes privatae” (fragment manuscrit du cahier, dont le titre n'est pas de Descartes, datant de 1619 et 1620).

raisonnement, tel que devaient le développer les *Regulæ*, celui de la *mathesis*, capable d'assurer la vérité de ses énoncés. Descartes occupa les années suivantes³⁵ à ses voyages et à ses exercices mathématiques et méthodiques d'où allait sortir son œuvre écrite, élaborée en plusieurs étapes. Il ne se pressait pas de les publier, jaloux de ses deux biens, “la liberté et le loisir”, que menacerait une célébrité prématurée, et préférant, dans ses propres termes, “apprendre ce qui m'est nécessaire pour la conduite de ma vie” à publier “le peu que j'ai appris”³⁶.

C'est probablement au cours de l'hiver 1627-1628, en Bretagne où il s'était retiré pour travailler en paix, que Descartes composa les *Regulæ*, restées inachevées. Les vingt et un règles rédigées³⁷ préparent la voie des mathématiques tout en débutant avec une intention plus vaste, puisqu'elles s'adressent à l'“esprit”, l'“ingenium”, défini à la Règle 12 par les facultés qui permettent de connaître, à savoir l'entendement, l'imagination, les sens et la mémoire. La puissance qui réside dans la *mathesis universalis* qui y est invoquée ne se limite pas au domaine des seules sciences mathématiques, et d'abord à l'arithmétique et à la géométrie telles qu'elles étaient conçues alors, ni aux applications des mathématiques (ou “mathématiques mixtes”). Ce que Descartes affirme d'emblée avec ses *Règles*, c'est la possibilité d'orienter cette puissance non pas seulement vers les mathématiques ou les sciences en particulier, mais plus généralement vers la formation ou l'acquisition, par l'esprit, de l'aptitude à porter des “jugements solides et vrais sur tout ce qui se présente à lui” (Règle 1).

C'est d'abord, il est vrai, aux mathématiques elles-mêmes qu'il avait donné une extension universelle dans leurs méthodes unificatrices et dans leurs opérations, avec l'invention de la géométrie algébrique et de l'analyse. Mais la *mathesis universalis* recélait aussi une dimension plus générale, en révélant les facultés de l'intelligence elle-même. Descartes la concevait comme directement adaptée à la connaissance du monde réel (physique), par l'application des mathématiques aux différents domaines de la physique. Mais il la voyait également comme l'indication d'un nouveau moyen de raisonner - de raisonner juste -, “science admirable” en ceci qu'elle pouvait garantir la certitude de ses propositions.

En ce sens, il est possible de voir dans les *Regulæ* l'aboutissement d'une transformation des préoccupations de Descartes qui, d'une “Algèbre géométrique” à la fin de 1618, passent vers la mi-1619 à “une science totalement nouvelle” (qui comprend une géométrie capable de résoudre tous les problèmes de construction de toutes les courbes [géométriques] de n'importe quel degré), premières étapes de ce qui se révèle comme “une science admirable” perçue intuitivement dès la fin 1619, affirmée un an après et en partie développée ensuite,

³⁵ Sur ses pérégrinations de l'hiver 1620 à l'automne 1628, voir Rodis-Lewis [1995], p. 77 et suiv. Revenu en France en 1622, Descartes entretenait des relations scientifiques avec le cercle du Père Mersenne. Il fit un voyage en Italie en 1625. Au printemps de 1629, il retourna en Hollande, où il s'établit en “exil volontaire”, tout en changeant souvent de domicile.

³⁶ Descartes, lettre à Mersenne, 15 avril 1630, in AT, vol. 1, p. 136-137.

³⁷ Sur une quarantaine initialement prévues.

capable de traiter non seulement les mathématiques et la physique, mais aussi la métaphysique, avec une égale certitude³⁸.

Il apparaît, de fait, que, dès les premières idées de sa jeunesse, les mathématiques n'étaient vraiment ni le véritable objectif ni le cadre de sa recherche. Il devait lui-même l'indiquer dans le *Discours de la méthode* : "Ce qui me contentait le plus de cette méthode, était que, par elle, j'étais assuré d'user en tout de ma raison"; et "ne l'ayant point assujettie à aucune matière particulière, je me promettais de l'appliquer aussi utilement aux difficultés des autres sciences que j'avais fait à celles de l'Algèbre"³⁹. Comme le remarque Jules Vuillemin dans *Physique et métaphysique chez Descartes*, "L'invention de la géométrie analytique paraît secondaire par rapport à l'invention d'une méthode universelle de pensée", celle qui est impliquée dans l'analyse des proportions⁴⁰.

La conscience de la portée de cette méthode fondée sur la *mathesis universalis* devait par ailleurs aboutir à une autre transformation de son projet, qui lui fit abandonner la rédaction des *Regulæ* pour organiser ses recherches d'une autre manière, dirigée plus directement vers la métaphysique: il s'agissait d'établir les fondements de la certitude⁴¹, ce qui devait aboutir au "Cogito ergo sum". Descartes n'exprima-t-il pas en public, en novembre 1628, quelques mois après la rédaction des *Regulæ*, l'idée "qu'il est possible d'établir dans la philosophie des principes plus clairs et plus certains par lesquels on rendrait raison de tous les effets de la nature" ? Il parla également alors avec le cardinal de Bérulle, qui l'encouragea à développer ses idées, de son projet de montrer que l'homme ne peut avoir de certitude sans Dieu⁴². Ces propos annoncent, au-delà des *Règles pour la direction de l'esprit*, le *Discours de la méthode*, les *Méditations métaphysiques* et les *Principes de la philosophie* et la mise en système des intuitions philosophiques de Descartes.

³⁸ Voir la partie autobiographique de la Règle 4, qui correspond à cette période.

³⁹ Descartes [1637b], *Discours*, 2ème partie, in AT, vol. 6, p. 21. Cf. Gouhier [1958], p. 62.

⁴⁰ Vuillemin [1960], p. 10.

⁴¹ Descartes invoque pour raison de cet abandon un élargissement de son projet initial : voir sa lettre à Mersenne du 15 avril 1630, in AT, vol. 1, p. 138. Dans la même lettre, il fait état de sa lassitude à l'égard des mathématiques (p. 139), et de démonstrations concernant les "vérités métaphysiques" (p. 144).

⁴² Rodis-Lewis [1995], p. 103.

3

AU CENTRE DU PROJET CARTÉSIEN : L'INTELLIGIBILITÉ. LE SENS DE LA *MATHESIS UNIVERSALIS*

Considérons les *Regulæ*, premier texte important qui énonce l'intention philosophique de Descartes, et dont on a pu dire qu'elles "constituent la charte de toute son œuvre"⁴³. En affirmant, dès la Règle 1, l'aptitude de l'esprit à porter des jugements vrais, il pose l'unité de l'esprit et de la connaissance pour chaque individu - et pour tous les individus - : "Car, toutes les sciences n'étant rien d'autre que *la sagesse humaine, qui reste toujours une et la même*, quelle que soit la différence des sujets auxquels on l'applique, et qui ne leur emprunte pas plus de distinctions que la lumière du soleil n'en emprunte à la variété des choses qu'il éclaire, il n'est besoin d'imposer aux esprits aucune limite"⁴⁴. Il s'agit d'accroître l'"universelle Sagesse", "la lumière naturelle de la raison" qui éclaire le monde et nous le rend intelligible. L'unité des sciences les met dans une mutuelle dépendance, de telle sorte qu'il est plus aisé de les apprendre toutes ensemble que que chacune séparément, et que la connaissance d'une vérité aide à celle des autres⁴⁵.

Nous tenons ici la dimension du projet de Descartes dans toute son ampleur : un projet qui porte sur la connaissance (la connaissance assurée ou "certaine", quelque chose comme ce que l'on appellerait de nos jours "connaissance scientifique", mais dans une acception plus large) dans sa totalité, mathématique, physique, philosophique, métaphysique, dans la mesure où cette connaissance est nôtre, correspondant à l'aptitude de l'esprit, à la possibilité d'illumination par la raison de ce qui est du monde et de l'homme.

La seule connaissance qui importe est celle qui est marquée au sceau de la certitude et de l'évidence. C'est ce qu'affirme la Règle 2 : "Les objets dont il faut nous occuper sont ceux-là seuls que nos esprits paraissent suffire à connaître d'une manière certaine et indubitable", et l'on ne doit pas se préoccuper des "connaissances qui ne sont que probables", ramenées à une affaire d'opinion. De toutes les sciences connues, seules l'Arithmétique et à la Géométrie répondent à strictement parler à cette règle: telle est la particularité exemplaire de ces sciences, et il faut donc trouver pourquoi il en est ainsi, non pas pour ne considérer qu'elles, mais pour comprendre quelles sont les conditions d'une connaissance assurée, et s'en servir pour d'autres directions de la connaissance.

⁴³ Costabel [1982], p. 2.

⁴⁴ Descartes [1628].

⁴⁵ Les sciences sont "toutes unies entre elles et dépendent les unes des autres". "Il faut croire que toutes les sciences sont tellement liées entre elles qu'il est beaucoup plus facile de les apprendre toutes ensemble que d'en séparer une seule des autres".

Cette certitude est due à la nature de l'objet de l'Arithmétique et de la Géométrie, dans son rapport aux deux voies de la connaissance des choses, qui sont l'*expérience* et la *déduction*, indique Descartes dans le commentaire de la Règle 2. L'expérience porte sur les choses extérieures, ainsi que sur la connaissance réfléchie que l'entendement a de lui-même (selon une stipulation de la Règle 12): c'est, dans cette définition large qui n'est pas limitée à ce que nous appelons l'expérimentation, aussi bien l'expérience de vie que l'expérience de pensée, et même la réflexion sur l'acquisition de la connaissance. L'erreur vient d'une mauvaise compréhension de l'expérience. Quant à la déduction, c'est une "opération pure" de l'entendement, qui n'est pas susceptible d'erreur. Or l'Arithmétique et la Géométrie sont, parmi les sciences connues, "les seules à porter sur un objet si pur et si simple qu'elles n'ont à faire absolument aucune supposition que l'expérience puisse rendre douteuses et qu'elles sont tout entières composées de conséquences à déduire rationnellement". D'où leur caractère exemplaire, qui nous fixe un idéal de vérité.

La Règle 3 traite des fonctions de l'esprit (des "actes de notre entendement") en ce qui concerne l'accès à la vérité, et qui sont l'*intuition*, qui va avec les notions de *clarté* et d'*évidence*, et la *déduction*, qui s'accompagne de celle de *certitude* : il faut chercher "ce que nous pouvons voir par intuition avec clarté et évidence, ou ce que nous pouvons déduire avec certitude". C'est ainsi "que s'acquiert la science": ces actes de l'entendement, l'intuition et la déduction, nous permettent de parvenir à la connaissance des choses sans aucune crainte de nous tromper. On note l'opposition, ou du moins la distinction, sous-jacente à celle des deux fonctions, entre quelque chose de l'ordre de l'immédiat, de "ce qui se voit" (l'intuition et l'évidence), et ce qui relève d'une suite différée - faisant par là intervenir la mémoire - de raisonnements sûrs (la déduction et la certitude).

L'*intuition*, dans les *Regulæ*, est conçue comme purement *intellectuelle*, dans un sens que Descartes revendique comme nouveau - avec le droit d'en user ainsi - selon la définition donnée dans le commentaire de la Règle 3 : "Par intuition, j'entends [écartant les sens ou l'imagination] le concept que l'intelligence [*mentis*] pure et attentive forme avec tant de facilité et de distinction qu'il ne reste absolument aucun doute sur ce que nous comprenons (...), concept qui naît de la seule lumière de la raison et dont la certitude est plus grande, à cause de sa plus grande simplicité, que celle de la déduction elle-même". "Ainsi, poursuit-il, chacun peut voir par intuition intellectuelle qu'il existe, qu'il pense, qu'un triangle est limité par trois lignes seulement, un corps sphérique par une seule surface", etc."⁴⁶.

Bien que l'on sache "la plupart des choses d'une manière certaine sans qu'elles soient évidentes", l'assurance de la vérité d'une connaissance réside en fait, pour Descartes, dans la possibilité de la ramener (par une chaîne continue de déductions) à ce qui se voit avec évidence par l'intuition. L'"intuition intellectuelle" correspond à une "évidence actuelle", qui se donne dans l'instant présent, pour

⁴⁶ Descartes [1728].

ainsi dire comme la fulguration instantanée de la lumière, tandis que la déduction “emprunte en quelque manière sa certitude à la mémoire”. Et les choses, en particulier “les propositions qui sont la conséquence immédiate des premiers principes”, peuvent être connues “tantôt par intuition, tantôt par déduction”, alors que les premiers principes “sont connus seulement par intuition”. Quant à la déduction, Descartes entend par là “toute conclusion nécessaire tirée d'autres choses connues avec certitude”.

L'intuition est une faculté qui s'acquiert à travers l'exercice qu'on en fait : il faut, comme il est prescrit à la Règle 9, prendre “l'habitude de voir la vérité par intuition d'une manière distincte et nette”. Cette conception d'une intuition intellectuelle (où l'entendement, “seul (...) capable de percevoir la vérité” s'aide des autres facultés de l'esprit, qui sont l'imagination, les sens et la mémoire⁴⁷) devait plus tard être modifiée pour tenir compte d'autres facteurs, notamment d'effets dus à la volonté. Il serait intéressant d'analyser plus en détail la conception cartésienne de l'intuition, en la confrontant notamment avec d'autres, antérieures comme celle de Guillaume d'Ockham par exemple⁴⁸, ou postérieures comme celle de Kant.

Ces attendus des trois premières Règles laissent assez voir la visée et l'ampleur du problème de la connaissance auquel Descartes se confronte. En voulant assurer la certitude à partir de l'illumination de l'évidence, il pose que le fondement de la connaissance réside dans le sujet qui pense⁴⁹, en dehors de toute autorité extérieure. Descartes devait proposer plus tard de le soutenir sur la vérité divine.

Une conscience semblable de l'enracinement des jugements de vérité dans la raison individuelle fit, quelque temps plus tard, dénoncer à Pascal, dans sa Préface au *Traité du vide*, l'argument d'autorité faisant prévaloir les conceptions des Anciens dans les matières qui relèvent du témoignage de nos sens ou du raisonnement. “L'autorité y est inutile”, écrit-il, et “la raison seule a lieu d'en connaître”⁵⁰. Avec Descartes et Pascal, cependant, ce sont deux solutions différentes de l'établissement de la pensée rationnelle, prise dans toute sa force et dans son autonomie, qui se dessinent. L'un (Descartes) veut assurer la connaissance sur une certitude que la raison elle-même peut fonder absolument, tandis que l'autre (Pascal) considère la finitude de la raison et son incapacité à fonder une certitude en allant jusqu'au bout des interrogations sur nos savoirs et sur les définitions qui les soutiennent. Nos connaissances sont, pour Pascal, seulement probables et se tiennent suspendues dans l'entre-deux des régressions infinies de nos questions possibles ; la clarté de nos raisonnements se donne toujours sur un fond d'obscurité que rien jamais ne pourra complètement

⁴⁷ Voir le commentaire de la Règle 12, qui décrit les opérations de l'esprit dans la connaissance.

⁴⁸ Voir Alanen et Yrjönsuuri [1996].

⁴⁹ “Dans la connaissance il n'y a que deux points à considérer, savoir: nous qui connaissons et les objets qui sont à connaître”. Et encore: “Il n'y a pas de voies ouvertes à l'homme pour connaître certainement la vérité en dehors de l'intuition évidente et de la déduction nécessaire” (Commentaire de la Règle 12).

⁵⁰ Pascal [1647].

dissiper⁵¹. Mais cet établissement de la connaissance par la raison n'en est pas moins nôtre, et nul ne peut nous y substituer.

Considérons encore la Règle 4, où est invoqué expressément le rôle de la *mathesis universalis*. Il y est question de la méthode, “nécessaire pour la recherche de la vérité”, et Descartes s'y réfère à une discipline qui diffère des “mathématiques ordinaires”, tout en prenant ses exemples dans ces dernières⁵², lesquelles “(en) sont le vêtement plutôt que les parties”. Cette discipline, intuitivement perçue pour ainsi dire, “doit (...) contenir les premiers rudiments de la raison humaine et étendre son action jusqu'à faire jaillir les vérités de n'importe quel sujet”; “elle est préférable à toute autre connaissance transmise humainement, vu qu'elle est la source de toutes les autres”.

Cette discipline est la *Mathesis universalis*, qu'il infère de la nécessité de transcender les mathématiques, et dont il donne donc, en fait, une acception nouvelle, tout en gardant l'ancienne dénomination. S'étant demandé pourquoi non seulement l'Arithmétique, la Géométrie, l'Algèbre, “mais encore l'Astronomie, la Musique, l'Optique, la Mécanique, et un grand nombre d'autres sont dites faire partie des Mathématiques”, il lui apparut clairement qu'il faut “rapporter à la Mathématique tout ce en quoi on examine l'ordre et la mesure”, sans spécifier l'objet particulier de cette mesure. “Il en résulte, conclut-il, qu'il doit y avoir une science générale qui explique tout ce qu'on peut chercher concernant l'ordre et la mesure, sans les appliquer à une matière spéciale : cette science se désigne, non par un nom d'emprunt [*non ascititio vocabulo*], mais par le nom déjà ancien et reçu par l'usage de Mathématique universelle, parce qu'elle renferme tout ce qui a fait donner à d'autres sciences l'appellation de parties des Mathématiques”⁵³.

Il indique comment il s'y est, pour sa part, exercé, en s'appliquant par ordre “dans la recherche des connaissances”, “débutant toujours par les objets les plus simples et les plus faciles” susceptibles de donner une certitude complète, et seulement alors passant à d'autres plus complexes⁵⁴: “C'est pourquoi, j'ai cultivé jusqu'ici cette Mathématique universelle, autant qu'il était en moi, en sorte que je crois pouvoir dans la suite traiter de sciences plus élevées, sans m'y appliquer prématurément”.

⁵¹ Tel est le paradoxe de l'activité du géomètre, selon Pascal: qu'il puisse définir et démontrer ce qui est second et dérivé, et qu'il soit dans l'incapacité de définir ses principaux objets (le temps, l'espace, le mouvement, le nombre) (*ibid.*). Ceci est à rattacher à ce qui est dit dans les *Pensées* sur la condition de l'homme et de l'intelligence, pris entre les deux infinis, l'infiniment grand de l'univers et l'infiniment petit du néant : “Notre intelligence tient dans l'ordre des choses intelligibles le même rang que notre corps dans l'étendue de la nature”, c'est-à-dire “un milieu entre rien et tout”, et “c'est ce qui nous rend incapables de savoir certainement et d'ignorer absolument” (Pascal [1670]).

⁵² “Bien que je parle de figures et de nombres [exemples évidents et certains] (...) j'expose une autre discipline”.

⁵³ Commentaire de la Règle 4, in AT, vol. 10, p. 378.

⁵⁴ D'Alembert s'inspirera de ce rapport du plus simple - plus évident - au plus complexe, en superposant à cet ordre structurel un ordre génétique de l'acquisition des connaissances (d'Alembert [1751]).

On voit notamment par là comment, pour Descartes, le rapport des mathématiques aux autres sciences n'est pas vraiment un rapport d'application, ni de construction de ces sciences à partir d'elles ; il semble plutôt que les sciences - y compris les mathématiques elles-mêmes - s'enracinent autour d'un tronc commun, la *mathématique universelle* (sorte d'essence des mathématiques mais aussi de toute science), qui permet de les concevoir chacune dans sa spécificité, selon une intelligibilité intuitive-déductive. Dans cette perspective, les mathématiques, par la nature de leurs objets, peuvent servir de propédeutique à l'acquisition du jugement en matière de sciences. Quant au programme de Descartes, il n'est pas fondamentalement de constituer, par exemple, une physique, ou une mécanique, à partir des mathématiques, mais de penser l'intelligibilité des objets de ces sciences. (Intelligibilité qui amène, il est vrai, dans le cas de la mécanique, ou de l'optique, etc., à les traiter mathématiquement dans la mesure où elles se rapportent à des grandeurs, et la géométrisation de la physique résultant, quant à elle, de l'identification de la matière et de l'étendue).

Bien que la Mathématique universelle et la méthode soient élaborées en même temps, dans le même commentaire de la Règle 4, elles ne se confondent pas, si l'on admet ce qui précède. Si la "science admirable" de l'intuition inspirée de jeunesse ne se réduit assurément pas à la méthode, doit-on l'identifier à la première, à la *Mathesis* ? Henri Gouhier en récuse l'idée, parce que l'idée de *mathesis* lui paraît trop étroite et trop proche de la méthode, alors que Descartes s'était proposé dès ses années de jeunesse - comme nous l'avons indiqué - un but plus large que les seules mathématiques⁵⁵. Mais il paraît cependant que l'*intelligibilité*, comme *possibilité de connaître en vérité*, problème tôt rencontré par Descartes et qui détermina la direction de sa science comme celle de sa philosophie, avait trouvé pour lui sa solution dans la *mathesis universalis* selon la nouvelle acception qu'il en donnait, désignant, au-delà des seules sciences mathématiques, toutes les sciences de la certitude - accessibles par l'exercice de la méthode -, auxquelles appartient aussi, comme il en avait déjà l'idée et comme il s'efforcera de le montrer, la métaphysique.

La mathesis universalis ne serait-elle pas, en réalité, tout simplement le langage propre de la raison ?

⁵⁵ Gouhier [1958], p. 62. Voir plus haut.

4

CONSTRUCTION DE COURBES ET RÉSOLUTIONS D'ÉQUATIONS. LES FONDEMENTS DE LA GÉOMÉTRIE

Revenons aux premiers travaux mathématiques du jeune Descartes, en mars-avril 1619, sur l'équipartition de l'angle et la résolution d'équations cubiques à l'aide de constructions géométriques. Ces constructions sont simples, dans le cas du second degré, où elles se font avec la règle et le compas. Mais pour le troisième degré, abordé par Descartes, les constructions sont plus compliquées, et il inventa, du moins en pensée, des compas mécaniques complexes en démultipliant les mouvements engendrés par celui d'un point sur une droite ou un cercle. Il découvrit, ce faisant, la possibilité d'engendrer de cette manière des courbes de degré élevé - jusqu'à l'infini.

Selon Jean Itard, les idées majeures de Descartes sur la Géométrie étaient prêtes dès 1618⁵⁶. Descartes, en 1618, signalait “la courbe des intérêts composés”, la courbe logarithmique, que personne n'avait encore étudiée⁵⁷, et il l'exclut aussi des courbes géométriques, les deux mouvements qui l'engendrent ne pouvant se régler l'un sur l'autre. Dès le printemps 1619, il manifestait le désir de développer la “science toute nouvelle”, capable de résoudre toutes les questions sur des grandeurs de toute sorte, continue ou discontinue, et de 1619 à 1622, il rédigeait les textes mathématiques des *Cogitationes privatae* de son registre et de sa correspondance d'alors, évoqués plus haut, et dont on voit bien qu'ils sont très antérieurs à celle-ci aux caractères “cossiques” (d'usage courant chez les algébristes italiens à la fin du XVI^{ème} siècle) qu'il y utilise pour représenter la racine de l'équation, son carré et son cube, avant les notations en x et ses puissances : Descartes ne connaissait pas encore, à cette époque, les notations littérales de l'algèbre de Viète⁵⁸. On y trouve, avec le problème de l'équipartition de l'angle, la résolution de problèmes d'équations cubiques dont certains seront repris dans sa *Géométrie*: il dénombrait seize cas moins trois “impossibles”, c'est-à-dire n'admettant pas de racine positive (indiqués antérieurement par Omar Khayyam, au XI^è-XII^è siècle et par Jérôme Cardan - Girolamo Cardano - dans son *Ars Magna* de 1545). On y trouve aussi des constructions géométriques effectuées à

⁵⁶ Jean Itard, La Géométrie de Descartes, in Itard [1984], p. 268-278.

⁵⁷ J. Neper avait donné peu de temps auparavant, en 1614, dans sa *Descriptio*, la première théorie des logarithmes.

⁵⁸ Utilisées aussi par Ramus (La Ramée). Les caractères cossiques étaient employés par C. Clavius. Le mot “cossique” vient de l'italien *cosa*, “la chose”, c'est-à-dire l'inconnue. Cf. la note de Gustav Eneström, directeur de la Bibliotheca Mathematica de Stockholm, à l'édition AT, vol. 10, p. 156, et le commentaire de Charles Adam, p. 257-263.

l'aide du compas⁵⁹, qui lui donna l'idée de la classification des courbes géométriques, et la considérations de divers problèmes, notamment celui de la chaînette, posés à Descartes par Beeckman⁶⁰.

Les constructions de courbes au moyen du “compas” complexe de son invention, consistant en un ensemble de tiges articulées qui transforment un mouvement rectiligne ou circulaire en mouvements courbes de différentes natures (appareil pensé et dessiné, mais sans doute non réalisé dans la pratique), lui fit définir comme géométriques les courbes qui pouvaient être construites à partir d'un seul mouvement. En étaient exclues les “courbes mécaniques”, c'est-à-dire celles qui sont engendrées par des mouvements de points indépendants, circulaire et linéaire, comme la spirale d'Archimède, la courbe logarithmique et la chaînette⁶¹.

Entre 1618 et 1628, Descartes parvint par son propre travail à la maîtrise parfaite de son outil analytique. On ne sait pas trop quelles furent exactement les influences de mathématiciens sur sa pensée: il avait lu Pappus et sans doute aussi Clavius⁶². Mais il était surtout autodidacte en ce qui concerne les mathématiques modernes de son temps, s'exerçant continuellement sur des problèmes mathématiques.

Avant 1628, il était déjà en possession de la construction des équations solides (c'est-à-dire du troisième degré) et sursolides (du quatrième degré) par l'intersection d'un cercle et d'une parabole, qu'il exposa à Beeckman, et qu'il reprit dans le livre 3 de la *Géométrie*. Il indiquait qu'une équation du quatrième degré a quatre racines, dont le signe était donné par les constructions, et que ces racines peuvent être parfois imaginaires. On fera ici une parenthèse sur l'intérêt de Descartes pour les grandeurs imaginaires, bien qu'il les rejetât en-dehors des solutions. C'est lui qui dénomma “imaginaires” les nombres que R. Bombelli⁶³ appelait “piu di meno” (autrement dit $\sqrt{-1}$, c'est-à-dire dans la notation actuelle due à Leonhard Euler, $+i$) et “meno di meno” ($-\sqrt{-1}$, $-i$). Il avait parlé, dès 1618, de mouvements purement imaginaires, c'est-à-dire pouvant être conçus mais non représentés, à propos des courbes non géométriques (qu'on appelle aujourd'hui transcendentes). De même, par le fait que l'équation est posée, les racines sont concevables mais sans avoir une existence réelle⁶⁴.

Les résultats sur l'inscription des polygones que l'on trouve dans l'ensemble de textes recueillis sous la rubrique “Excerpta mathematica” (publiés en 1701) remontent aux débuts de 1620⁶⁵. La composition du fragment 6, sur la quadrature du cercle, qui donne le principe de la méthode des isopérimètres pour le

⁵⁹ Voir Descartes, lettre à I. Beeckman du 26 mars 1619, in AT, vol. 10, p..

⁶⁰ AT, vol. 10, p. 219-248.

⁶¹ Et plus tard la roulette, ou cycloïde.

⁶² Descartes séjourna quelque temps, en 1620, à Ulm, en Allemagne, où il fréquenta l'algébriste J. Faulhaber (1580-1635): cf. Itard [1984].

⁶³ R. Bombelli (né vers 1530-).

⁶⁴ A. Girard (1595-1632) exposa en 1629 des idées voisines. Cf. Itard [1984].

⁶⁵ Fragments 1 et 2, in AT, vol. 10, p. 284-297.

calcul du rapport de la circonférence au diamètre remonte probablement aux années 1620⁶⁶.

Si Descartes eut l'idée des éléments essentiels de sa Géométrie dès la fin de l'année 1618, c'est progressivement qu'il mit au point sa méthode analytique. Vers 1625-1626, et en tout cas avant 1629, il disposait désormais d'une notation algébrique - qui est dans son ensemble aujourd'hui la nôtre -, transformée de celle dont Viète avait posé les rudiments, ainsi que de son "calcul géométrique" où les constructions qui correspondent aux solutions des équations sont placées en tête de l'analyse, opérant un changement décisif par rapport à Viète⁶⁷. Il construisait tous les problèmes solides, en les ramenant aux problèmes algébriques du troisième degré par l'intersection de coniques. La géométrie algébrique (ou géométrie analytique) de Descartes était fondée.

Indiquons un autre résultat peu connu de Descartes en géométrie, obtenu avant 1628, et qui nous est parvenu grâce à la transcription du manuscrit "De solidorum elementis", trouvé dans les papiers de Descartes, par Leibniz. Il s'agit de la relation sur les polyèdres convexes, connue comme "théorème d'Euler sur les solides" entre le nombre S des sommets, celui, F , des faces, et celui des arêtes, A : $F+S = A+2$ ⁶⁸. L'importance de ce résultat et l'antériorité de Descartes - on doit parler de théorème de Descartes-Euler - n'ont été relevés qu'en 1860⁶⁹.

En 1625 ou 1626, indépendamment de Snell, Descartes découvrait par le raisonnement (tandis que Snell obtenait son résultat par l'expérience⁷⁰) la loi des sinus pour la réfraction des rayons de lumière, qu'il publia plus tard dans sa *Dioptrique*. L'étude de l'anacastique, c'est-à-dire de la courbe sur laquelle des rayons issus d'un point donné sont brisés par réfraction et convergent vers un second point donné, lui donna l'occasion de perfectionner sa technique analytique. Les trois fragments importants des "Excerpta mathematica" de Descartes sur les ovales (courbes du quatrième degré) remontent probablement à 1629⁷¹. Ils sont reliés à ses recherches sur la forme des lunettes (liées aux problèmes de réfraction), et seront repris dans la *Dioptrique* et dans le livre 2 de la *Géométrie*, sur la théorie des ovales. La richesse d'invention de Descartes se montre ici à l'évidence : il étudie les ovales non par leurs équations "cartésiennes" dont il avait déjà la maîtrise, mais par des équations paramétriques. Les propriétés des ovales demandaient une méthode algébrique de construction des tangentes: celle

⁶⁶ Fragment 6, in AT, vol. 10, p. 304-305.

⁶⁷ F. Viète (1540-1603) plaçait, quant à lui, ces constructions à la fin de sa propre analyse, comme un aboutissement. La différence par rapport à Viète, comme le souligne Jean Itard, "c'est le choix d'une longueur unité, l'adoption d'un langage purement arithmétique, l'utilisation systématique des seules longueurs rectilignes" (cf. Itard [1984], p. 273).

⁶⁸ In Descartes [1964-1974], vol. X, p. 257-276.

⁶⁹ Voir la notice de Ch. Adam, in AT, vol. 10, p. 257-263.

⁷⁰ Willebrord Snellius. Son résultat fut publié après sa mort, en 1626, par son disciple J. Gool, ou Golius. La proportionnalité constante du rapport (du sinus) de l'angle réfracté par rapport à l'angle incident pour un milieu transparent donné fut proposée six siècles auparavant, sur une base expérimentale, par Ibn Sahl (cf. Rashed [éd., 1993], p. xxxi-xxxiv).

⁷¹ Fragments n°10, 11, 12, in AT, vol. 10, p. 310-324.

de Descartes, qui s'apparente à celles de Roberval et de Fermat tout en étant conçue indépendamment, préfigurait et préparait, sur les traces d'Archimède et avec ces derniers, le calcul différentiel.

C'est à Leyde, en 1631, que Descartes eut connaissance, par l'orientaliste J. Gool, ou Golius⁷², qui venait d'être nommé professeur à l'Université, et qui rapportait d'Orient des manuscrits arabes, du problème de Pappus relatif à des segments de droites liés par des relations de proportions⁷³. Descartes le résolut en quelques semaines, par sa géométrie algébrique, donnant là l'un des tout premiers exemples de résolution purement analytique d'un problème de géométrie.

Sa solution, qui se trouve dans les livres 1 et 2 de la *Géométrie*, lui fournit une classification des problèmes et des courbes géométriques, dans la ligne du programme qu'il avait indiqué dès 1619, mais modifié en forme d'une véritable théorie des équations algébriques⁷⁴, de portée plus générale : l'équation des courbes (géométriques) est obtenue par le lieu des points définis par des relations algébriques (des proportions), et tous ces points peuvent être construits "par la solution d'un nombre fini de problèmes de degré inférieur à celui de la courbe" (les conique par la règle et le compas, les courbes des troisième et quatrième degrés par l'intersection d'un cercle et d'une parabole, etc.)⁷⁵. Encore imparfaite⁷⁶, la classification obtenue lui fournit la différence profonde entre les courbes géométriques (qu'on appelle aujourd'hui algébriques) et les autres (mécaniques ou, selon la dénomination actuelle, transcendentes). Les courbes mécaniques ne peuvent donner lieu à des proportions et résistent à la construction systématique de tous les points⁷⁷ : on ne peut en construire que des points particuliers.

La rencontre par Descartes de textes mathématiques de la tradition de langue arabe⁷⁸ suggère une comparaison entre les réalisations des programmes respectifs de Descartes et de al-Hayyam (Omar Khayam)⁷⁹ : la conclusion est celle de l'inscription dans une continuité de tradition d'une part, et d'une nouveauté radicale, d'autre part.

La continuité concerne la construction des problèmes solides, que al-Hayyam ramenait déjà aux problèmes algébriques du troisième degré par l'intersection de coniques, ainsi que la question de l'existence de solutions de

⁷² J. Gool ou Golius (1596-1667).

⁷³ Pappus (première moitié du 4^{ème} siècle).

⁷⁴ Rashed [1996].

⁷⁵ Itard [1984].

⁷⁶ C'est à Fermat qu'il reviendrait plus tard, vers 1659, à partir d'une réflexion sur la géométrie de Descartes, de donner la classification des courbes algébriques selon le degré de l'équation (cf. Itard [1984]).

⁷⁷ Descartes, *Géométrie*, livre 2.

⁷⁸ Nous n'en savons rien d'autre, en ce qui concerne Descartes, que la transmission du problème de Pappus. L'originalité de l'œuvre des mathématiciens de la civilisation islamique nous est peu à peu révélée par des travaux fondamentaux récents d'histoire des sciences, notamment ceux de Roshdi Rashed sur al-Tusi, al-Khayyam, Ibn al-Haytham, etc.

⁷⁹ Voir Rashed [1996].

points, avec le passage d'un point à un autre par un mouvement continu, traitée chez al-Hayyam et chez al-Tusi, y compris avec des tentatives d'approches infinitésimales⁸⁰. Même si elle n'était pas alors connue de Descartes, une géométrie algébrique à proprement parler avait existé bien avant lui, dès le XI^{ème} siècle, développée au long de la tradition mathématique arabe⁸¹. C'était une algèbre sans l'écriture symbolique, mais dont la fonction de généralisation des opérations de l'arithmétique était pleinement opératoire, et en particulier dans l'application aux problèmes de géométrie. En Descartes se rencontrent donc deux traditions mathématiques, celle de l'étude des courbes algébriques engendrées par un mouvement continu et celle des problèmes de procédures infinies pour la construction des tangentes, traditions venues des mathématiciens grecs, transmises et renouvelées par le Moyen-âge arabe.

Quant à la nouveauté radicale de sa géométrie, elle réside dans sa distinction proprement originale entre les courbes géométriques ou algébriques et les courbes mécaniques : cette distinction, qui résulte de sa classification des courbes et des types d'équations, permet d'établir, en fait, la différence entre les deux traditions mentionnées. Mais, surtout, cette idée fut féconde et constitua une "révolution mathématique" - elle rompait, en particulier, avec Clavius - qui connaîtrait son aboutissement avec la création, par Newton et Leibniz, qui la reprendraient, "d'un nouvel algorithme dépassant celui de Descartes tout en s'en inspirant"⁸², celui du calcul différentiel et intégral. En fait, elle était grosse de ce nouveau calcul : c'est seulement l'analyse différentielle qui permettrait de formuler l'équation des courbes mécaniques. Gauss devait écrire, en 1813, que la source des fonctions transcendentes est le calcul des processus infinis⁸³.

Jules Vuillemin souligne, dans *Physique et métaphysique chez Descartes*, le rôle de la métaphysique en liaison à la préoccupation d'étendre la *mathesis universalis* à des problèmes qui sont en fait ceux de l'analyse infinitésimale, et relève dans ce sens la nouveauté de thèmes comme la fonction logarithmique et la spirale⁸⁴. Descartes a effectivement considéré plusieurs exemples de courbes mécaniques (transcendentes), qu'il traite dans sa correspondance. Mais ce qui le préoccupait surtout, c'était la clarté avec laquelle on peut les concevoir. Il fondait sa géométrie sur la possibilité de la construction de points, fondée en termes de connaissance certaine. Or la construction géométrique des courbes mécaniques se heurte à un obstacle: on ne peut construire que des points particuliers, non tous les points. On ne peut construire les points que par approximation: la solution complète exigerait de pousser à l'infini cette approximation, ce qui passe la compréhension, car les processus infinis ne répondent pas à l'exigence des idées claires et distinctes. Cependant, quand il s'y

⁸⁰ Rashed [1986].

⁸¹ Rashed [1984]. Cf. Paty [1990], chapitre 6.

⁸² Itard [1984], p. 271.

⁸³ Houzel [1996].

⁸⁴ Vuillemin [1960].

employait, Descartes les maniait avec une grande virtuosité⁸⁵: traitant le problème de la cycloïde dans une lettre à Mersenne, il utilisa les méthodes infinitésimales (celle des indivisibles). Pour le problème de la tangente à la cycloïde, il introduisit l'idée de *centre instantané de rotation*. Pour le cas de la spirale logarithmique, il exposa à Mersenne ce résultat que l'arc de la courbe est proportionnel au rayon vecteur, et que l'angle de la tangente avec le rayon vecteur est constant.

Descartes concevait son travail en géométrie algébrique comme une rectification de la classification des Anciens, qui n'avaient pas l'algèbre, et qui considéraient l'engendrement des courbes par le mouvement. Ses recherches en Analyse, facilitées par l'usage d'une symbolique nouvelle claire et maniable (celle qui a cours depuis lors) lui permettait de résoudre rapidement des problèmes complexes et de reconnaître les traits qui mènent à la classification.

Au chapitre de la nouveauté au sein de la tradition, on peut assurément inscrire le renouvellement de l'algèbre opéré par Descartes, marqué par ses propres exigences, en simplifiant et rationalisant les nomenclatures inutilement compliquées des ouvrages antérieurs, et en dégagant les règles qui permettent d'effectuer des opérations sur des grandeurs finies, les inconnues au même titre que les connues : en refondant, de fait, la structure des traités antérieurs des proportions⁸⁶. Les notations nouvelles qu'il introduisit pour désigner les grandeurs lui permettaient d'établir facilement la correspondance entre les problèmes géométriques et la résolution des équations algébriques⁸⁷.

Cependant, son innovation ne consista pas tant dans l'utilisation des coordonnées pour représenter des éléments de figures géométriques - également pratiquée par d'autres, dont Fermat -, que dans l'identification qu'il effectuait de fait entre la structure de l'algèbre et celle de la géométrie, par une extension conceptuelle et théorique des opérations arithmétiques, et qui correspond à l'établissement de la géométrie analytique, réalisant une véritable unification des mathématiques. A cet égard, le code symbolique n'est qu'un moyen, tant pour la définition de l'algèbre que pour celle de la géométrie algébrique, et ne vient que pour simplifier le langage qui exprime ces propriétés et en amplifier la puissance. Ce serait voir les choses par le petit bout de la lorgnette que de lui attribuer toute l'importance dans ce qui est bien une révolution conceptuelle⁸⁸, et cela reviendrait par ailleurs à dénier l'existence plus ancienne d'une algèbre et d'une géométrie algébrique au sens propre, sans l'usage de symboles, telle qu'on la constate dans la tradition mathématique arabe⁸⁹.

On ne peut réduire la pensée de la *mathesis universalis* à un code, et la

⁸⁵ Houzel [1996].

⁸⁶ Cf. Costabel [1982], Itard [1983].

⁸⁷ Voir le livre I de la *Géométrie*.

⁸⁸ Selon le R.P. Pierre Costabel, "c'est le caractère de 'code' qui fait la profonde originalité de l'apport cartésien" (Costabel [1982]).

⁸⁹ Ce refus transparait dans une controverse publiée par la revue *La Recherche*, en 1985 (n°167, juin 1985, p. 820-821; n°169, septembre, p. 1103-1104).

révolution des mathématiques cartésiennes est autrement plus riche : elle unifie les mathématiques et révèle le point sur lequel le programme d'unification est encore impossible, qui porte en creux une généralisation ultérieure de l'algébrisation de la géométrie par la définition d'un nouvel algorithme pour définir les courbes et poser et résoudre les équations (l'algorithme différentiel).

Il faut, maintenant, renvoyer à l'examen de la *Géométrie*, où les différents problèmes qui occupaient Descartes - et notamment celui de Pappus - sont distribués dans les trois parties, en conformité avec la méthode exposée dans le *Discours*, mais il excède les limites de ce travail⁹⁰.

Je voudrais faire ici une remarque sur la place de l'infini chez Descartes, souvent considérée comme l'un des "points faibles" de sa pensée mathématique et physique. On sait que les fondements de la géométrie comme ceux de la physique de Descartes ne font pas de place à l'infini : les courbes algébriques sont définies à partir de procédures finies; la matière, dont l'essence est l'étendue, ne fait pas de place au vide, qui est, en quelque sorte, un infiniment petit de densité de matière. "Les limites du fini conditionnent toute la science cartésienne, de la mathématique au système du monde bâti sur une physique du plein, excluant le vide", écrit par exemple Pierre Costabel⁹¹. Un tel jugement demande cependant à être nuancé, et le refus de l'infini de Descartes situé à sa juste place: la notion d'infini n'est pas absente de ses élaborations en mathématiques et en physique, mais il ne la retient pas parmi les éléments qui permettent de fonder une connaissance.

D'une part, Descartes utilise, comme on l'a vu, des méthodes archimédiennes ou infinitésimales pour traiter les courbes "mécaniques", qui occupent une place importante dans son travail mathématique sur la géométrie algébrique. La notion d'infini est, à cet égard, attachée à un caractère de procédure, et non d'existence réelle - un peu comme les entités imaginaires. Descartes n'ignore pas, d'autre part, que les coordonnées vont à l'infini, comme d'ailleurs les branches des courbes géométriques non fermées (asymptotes ou directions asymptotiques), et il indique lui-même que rien ne limite l'augmentation des degrés des polynômes qui, dans la classification des équations et des courbes algébriques, peut aller jusqu'à l'infini. A une question de Mersenne, Descartes répond qu'un infini peut être plus grand qu'un autre, notamment selon un rapport fini (par exemple, selon deux unités différentes de mesure pour une droite). Il tempère aussitôt, il est vrai, cette considération en relativisant tout jugement sur des quantités infinies, comme échappant à notre compréhension : "Quelle raison avons-nous de juger si un infini peut être plus grand que l'autre, ou non ? vu qu'il cesserait d'être infini, si nous le pouvions comprendre"⁹².

L'infini qui intervient dans les sciences n'est défini que de manière en quelque sorte pragmatique et, d'un point de vue fondamental, négative, puisqu'il

⁹⁰ Cf., p. ex., Vuillemin [1960], Itard [1983], Vincent [1996], Houzel [1996].

⁹¹ Costabel [1982], p. 8.

⁹² Descartes, lettre à Mersenne, 15 avril 1630, in AT, vol. 1, p. 146-147.

ne peut être directement compréhensible. Le statut de l'infini dans la pensée de Descartes est directement tributaire de ses exigences sur l'intelligibilité. L'infini est utilisé dans la connaissance, mais sans que l'on en comprenne la nature. Du point de vue de l'intelligibilité, il n'y a pas d'infini, mais seulement de l'indéfini : Descartes exprime cette négativité de l'indéfini dans son traité *sur le Monde* et dans les *Méditations métaphysiques*, en l'opposant à la perfection positive d'une autre notion de l'infini, relative à Dieu, soulignée avec l'énoncé des preuves de l'existence de ce dernier. "Comprendre [ou concevoir], écrit-il déjà en 1630, c'est embrasser de la pensée; mais pour savoir une chose, il suffit de la toucher de la pensée"⁹³. Bien que la remarque soit faite à propos de la connaissance de l'infinité et de la toute-puissance de Dieu, elle semble bien valoir aussi pour la comparaison des infinis et l'utilisation des procédures infinies...

Nous trouverons - en terminant - dans la conception cartésienne de la lumière une indication, renvoyant aussi bien au problème de l'infini qu'à l'intelligibilité, qui est peut-être le symptôme de la difficulté de la science et de la philosophie de Descartes à considérer ensemble ces deux aspects qui relèvent respectivement de l'une et de l'autre.

5

LOIS DU MOUVEMENT ET GÉOMÉTRISATION DE LA PHYSIQUE

La *Géométrie*, la *Dioptrique* et les *Météores* sont présentés par leur auteur comme des essais de la Méthode. Cependant, ils correspondent à des recherches entreprises dix années au moins avant la rédaction du *Discours de la méthode*. Nous avons déjà évoqué plus haut les premiers écrits sur la physique, entre 1618 et 1620 et quelques uns des années postérieures. Un dizaine d'années plus tard, *Le Monde ou Traité de la lumière* constitue une étape importante de l'élaboration de la physique de Descartes, reprise ensuite autrement dans les *Essais de la Méthode* et dans les *Principes de la philosophie*.

En voulant porter la *mathesis universalis* dans la physique, Descartes ne mathématisait pas tant celle-ci qu'il n'affirmait pour elle la nécessité de lois. Nous ne parlerons pas ici de sa physiologie, à laquelle s'étend la remarque, sinon pour rappeler son souci de se familiariser avec la connaissance expérimentale en pratiquant observations et dissections. Peut-être s'y intéressait-il surtout en vue de mieux connaître les processus qui mènent, chez l'homme (le traité sur *l'Homme* était conçu pour être le huitième chapitre du *Monde*) à la connaissance, des sens au

⁹³ Descartes, lettre à Mersenne, 27 mai 1630, in AT, vol. 1, p. 152.

cerveau.

La physique est une science des grandeurs qui se ramènent à des proportions et justifie ainsi d'elle-même sa mathématisation, sous le signe de l'exigence d'intelligibilité, en rapport à la *mathesis universalis*. Dans ce sens, c'est d'abord la démarche de connaissance qui mène à la mathématisation de grandeurs qui concernent le monde réel (à la différence des raisons néo-platoniciennes gouvernant la mathématisation de la physique de Newton); elle est ensuite confortée puis fondée sur la métaphysique, et la physique sera géométrisée en principe parce que l'essence de la matière s'identifie à l'étendue. (C'est un programme, soit dit en passant, que la physique contemporaine se plairait à reprendre, avec la Relativité générale, mais aussi avec les théories de symétries de jauge. Dans cette perspective, le refus du vide par Descartes peut être vu comme l'affirmation du caractère physique de l'espace⁹⁴.)

L'idée de lois de la physique concerne d'abord la *Dioptrique*, où Descartes formule la loi des sinus dans la réfraction de la lumière, et sa portée est générale. Le titre complet de l'ouvrage *Le Monde* est assez révélateur : *Le Monde ou Traité de la lumière*. C'est la transmission de la lumière qui nous permet de connaître le monde, et l'objet de la connaissance, ici encore, est pensé en même temps que la connaissance elle-même, selon un mouvement réflexif et critique de la pensée qui tient à s'assurer de la certitude de ses propositions.

L'adéquation du monde physique et de la lumière, malgré leurs différences en ce qui concerne la matière - la lumière étant pour lui immatérielle - et la vitesse - il concevait la transmission de la lumière comme instantanée⁹⁵ - est une identité de structure, qui entraîne une parenté entre le mouvement des corps et la transmission de la lumière par l'intermédiaire d'un éther matériel. "Ce que je prétends avoir démontré touchant la réfraction, écrit Descartes à Mersenne, ne dépend point de la vérité de la nature de la lumière, ni de ce qu'elle se fait ou ne se fait pas en un instant, mais seulement de ce que je suppose qu'elle est une action, ou une vertu qui suit les mêmes lois que le mouvement local, en ce qui est de la façon dont elle se transmet d'un lieu en un autre, et qui se communique par l'entremise d'une liqueur très subtile, qui est dans les pores des corps transparents"⁹⁶.

On peut considérer, avec Alexandre Koyré, qu'avec Descartes émerge une physique nouvelle, dont il relève les traits principaux dans un important chapitre de ses *Etudes newtoniennes*⁹⁷: une identification totale de la physique

⁹⁴ Cf. Einstein [1954], p. 350-351, 365. Voir Paty [1987, 1993]. Si Descartes refusa le vide, qu'il remplaçait par une "matière subtile", on se souviendra du moins que l'expérience de Pascal au Puy de Dôme ne fut réalisée qu'en 1648, que Descartes la lui suggéra peut-être et l'y encouragea, marquant pour elle son intérêt encore peu avant sa mort, en 1650. Cf., p. ex., Nourisson [1885], p. 99-103.

⁹⁵ Ce n'est qu'en 1676 que serait déterminé, par Rømer, le caractère fini de la vitesse de la lumière. Voir Taton [1978].

⁹⁶ Descartes, lettre à Mersenne, 27 mai 1638, in AT, vol. 2, p. 143.

⁹⁷ Koyré [1968].

céleste et de la physique terrestre; la première formulation complète du principe d'inertie, dégagé de la pesanteur (ce qu'il n'était pas encore chez Galilée); l'énoncé d'un principe de conservation; et enfin, la notion de mouvement comme état, mis sur le même pied que le repos, en rupture avec les conceptions aristotéliennes, la pensée de la persévérance dans l'état permettant de concevoir le principe d'inertie.

Même si l'on ne trouve pas, chez Descartes, la notion de mouvement-état totalement explicite⁹⁸, il est clair que sa conception du mouvement le conduisit directement à la formulation du principe d'inertie. Il écrit, dans son traité *Le Monde*, que le mouvement droit est le seul mouvement entièrement simple, dont la nature puisse être comprise en un instant⁹⁹, ce qui marque une différence importante avec Galilée, pour lequel le mouvement droit et le mouvement circulaire sont aussi naturels l'un que l'autre. L'argumentation de Descartes est géométrique - l'argument vaut pour le principe d'inertie comme pour la rectilinéarité de la lumière -, tout en faisant intervenir la notion d'instant. Pour concevoir le mouvement circulaire, "il faut au moins considérer deux de ses instants, ou plutôt deux de ses parties et le rapport qui est entre elles"¹⁰⁰.

D'ailleurs, tout ce qui est requis pour produire le mouvement "se trouve dans les corps en chaque instant qui puisse être déterminé pendant qu'ils se meuvent"¹⁰¹. Il faut donc l'instant et le mouvement - il y a, à chaque instant, la tendance au mouvement, le "conatus" ou inclination instantanée, que le corps suivrait s'il n'en était empêché. Nous trouvons ici, d'une certaine manière, une pensée de l'infinitésimal, pour le temps comme pour la matière-espace et pour le mouvement. Le mouvement tend sans cesse à se rapprocher de l'instantanéité de l'action jusqu'à s'identifier à elle à la limite¹⁰²: ce qui marque une autre différence avec la pensée aristotélienne qui fait une distinction entre la puissance et l'acte.

Retenons l'idée d'instantanéité, qui est au centre de la pensée du mouvement chez Descartes, bien que, par ailleurs, celui-ci ne se soit pas expressément préoccupé d'exprimer les lois du mouvement en fonction du temps. D'ailleurs, sa conception de la causalité échappe au temps. L'expression de la loi du mouvement en fonction du temps est une découverte qui revient à Galilée, à propos de la chute des corps¹⁰³. Toutefois, ce dernier ne considérait pas lui-même le temps instantané, se préoccupant de vitesses moyennes dans des intervalles finis de temps. (C'est seulement à partir de Newton que les lois de la mécanique feraient intervenir, de fait, le temps instantané comme variable du mouvement, sans

⁹⁸ Cette interprétation proposée par Koyré a, en effet, été tempérée par Etienne Gilson, remarquant que le vocabulaire de Descartes emploie des termes scolastiques comme "modus" (remarque reprise par Costabel [1982], p. 10).

⁹⁹ L'idée de lumière est étroitement liée à celle de ligne droite. "C'est ce seul poussement en ligne droite qui se nomme lumière" (*Principia*, II, p. 469).

¹⁰⁰ *Monde*, p. 44, 45 ; *Principia*, II, 39 et III, 57.

¹⁰¹ *Principia*, II, 39.

¹⁰² *Principia*, II, p. 143.

¹⁰³ Paty [1996a].

toutefois le conceptualiser encore complètement¹⁰⁴).

Au sujet des lois du mouvement, Descartes exprime, dans les *Principes*, l'idée qu'il faudra toujours croire à la régularité dans la nature plutôt qu'à l'irrégularité (en partant de l'immutabilité de Dieu, l'on parviendra aux lois de la nature). Et, quant à la conservation du mouvement (par Dieu), dans le passage du mouvement d'un corps à un autre, elle résulte de l'absence d'opposition entre le changement perpétuel des choses et la constance de Dieu¹⁰⁵. A propos des lois de la mécanique, d'Alembert, par ailleurs plus héritier de Descartes qu'il ne voudrait lui-même l'admettre, dirait un siècle plus tard: "s'il [Descartes] s'est trompé sur les lois du mouvement, il a du moins deviné le premier qu'il devait y en avoir"¹⁰⁶. Newton et ses successeurs, parmi lesquels d'Alembert lui-même, ne se sont pas fait faute de critiquer Descartes, tout en s'avancant dans la direction qu'il avait indiquée (et telle était sans doute la condition pour progresser dans cette voie). Le titre même des *Principia Mathematica (Naturalis Philosophiae)* de Newton proclame son intention polémique, mais fait en même temps, l'aveu d'une inspiration originaire: on trouve dans les *Principes de philosophie* - et dans d'autres ouvrages de Descartes - des éléments essentiels d'où est partie la réflexion de Newton et de ses successeurs¹⁰⁷.

L'œuvre de Descartes en physique est, plus que sa *Géométrie*, largement inachevée: tels sont la *Dioptrique* et les *Météores*, essais de la méthode et, comme tels, "témoins d'une science en train de se faire"¹⁰⁸, souvent riches d'innovations et montrant de nouveaux chemins. Les *Météores* contiennent, par exemple, l'exposé d'une explication de l'arc-en-ciel, dont la théorie est quantitative et exacte en ce qui concerne la disposition des arcs en fonction des chemins de la lumière (réfractions et réflexions) dans les gouttes d'eau en suspension dans l'atmosphère; mais ce qui concerne les couleurs y est purement qualitatif, et cette partie de la théorie devra attendre Newton¹⁰⁹.

La richesse d'intuition et la fécondité de la pensée de Descartes en ce qui concerne la physique est souvent sous-estimée parce qu'on la juge en fonction des renouvellements qui ont suivi. Sa pensée du temps, de son rôle et de sa nature, est peut-être la plus riche et la plus féconde de toutes ses conceptions physiques, sans doute parce qu'elle commande la plupart des autres.

Descartes énonce et souligne, à ma connaissance pour la première fois, l'équivalence de tous les instants, et c'est encore la lumière qui lui inspire cette idée. Il écrit qu'il n'y a pas de priorité du temps, l'entendant en ce sens que toutes

¹⁰⁴ Cf. Paty [1994a et b].

¹⁰⁵ Wahl [1920], p. 83. Descartes, *Principia*, II, 42.

¹⁰⁶ D'Alembert [1751].

¹⁰⁷ Ch. Huygens, et plus tard L. Euler et les Bernoulli se disaient eux-mêmes cartésiens.

¹⁰⁸ Costabel [1982], p. 5.

¹⁰⁹ Sur la théorie de l'arc-en-ciel de Descartes, cf. Blay [198?]. Avant Descartes, des explications de l'arc-en-ciel sur le même principe avaient été suggérées par Ibn al-Haytham (Alhazen), puis par al-Fârisî (14ème siècle), qui réalisa des expériences sur un globe rempli d'eau (cf. Rashed [1992], p. 109-140).

les parties de lumière à tous les instants successifs sont dépendantes des précédentes, et cette dépendance est la même d'un instant à un autre (ce qui, dans notre compréhension actuelle, paraît une sorte de préfiguration de la loi différentielle). Précisant à Mersenne ce qu'il entend par transmission de la lumière en un instant, Descartes indique : "Le mot d'instant n'exclut que la priorité du temps, et n'empêche pas que chacune des parties inférieures du rayon [provenant du Soleil] ne soit dépendante de toutes les supérieures, en même façon que la fin d'un mouvement successif dépend de toutes ses parties précédentes"¹¹⁰. Et, dans les *Méditations*¹¹¹ : "Le temps présent ne dépend point de celui qui l'a immédiatement précédé ; c'est pourquoi il n'est pas besoin d'une moindre cause pour conserver une chose, que pour la produire la première fois" (autrement dit, il y a un lien entre la conservation du mouvement et sa communication). On ne peut s'empêcher de penser que la conception cartésienne du temps physique correspond à une intuition profonde qui n'avait pas à sa disposition l'outil conceptuel et mathématique qui permettrait de dépasser l'apparente contradiction d'un mouvement qui est à la fois soumis à une propagation réglée et conçu comme instantané. Cette intuition, c'est, pour ainsi dire, celle de l'instant (sans durée) différé...

L'instant - l'instantanéité du temps - occupe chez Descartes un rôle remarquable, en ce qui concerne tant l'expérience humaine que la physique : il s'agit, pour la première, de l'acte conscient volontaire, pour la seconde, de l'instant dans la durée qui appelle invinciblement à nos yeux le calcul différentiel.

Le lien de la physique à la métaphysique qui s'exprime dans la conception cartésienne du temps révèle à la fois une continuité et une rupture avec l'aristotélisme¹¹². Pour Descartes, selon Jean Wahl, "la doctrine de la causalité instantanée se manifeste en physique par la théorie de l'instantanéité de la lumière comme elle se manifeste en métaphysique par la théorie de Dieu "cause de soi", "*causa sui*"¹¹³. Cette causalité n'implique pas le temps et s'applique aussi bien à l'essence qu'à l'existence (ce qui est d'ailleurs cohérent avec le choix de la méthode, de ramener les choses aux idées que l'on en a et d'analyser les idées). La cause est devenue la raison ("*causa sive ratio*"¹¹⁴), la cause efficiente (relative à l'existence) est devenue cause formelle (relative à l'essence) : en fait, elles se confondent en Dieu ("*causa sui*"), dont l'idée est étroitement unie à celle de création continuée"¹¹⁵. Et Wahl se demande si l'œuvre de Descartes n'aurait pas "consisté ici à unir profondément à l'idée de création continuée, telle qu'elle se présentait dans la scolastique, l'idée de temps discontinu, telle qu'elle se formait dans la

¹¹⁰ Lettre à Mersenne, 27 mai 1638, n AT, II, p. 143.

¹¹¹ *Secondes réponses*, dans les "Axiomes ou notions communes", in AT, vol. 7, p. 165 (trad. fr., vol. 9, p. 127).

¹¹² Voir, en particulier, Buzon et Carraud [1994].

¹¹³ Wahl [1920], p. 74.

¹¹⁴ Descartes, *Méditations*, AT, 7, p. 165, 236.

¹¹⁵ Wahl [1920], p. 68.

mécanique et dans la physique de la Renaissance”¹¹⁶.

6

CONCLUSION. LA LUMIÈRE INSTANTANÉE DE LA COMPRÉHENSION ET LE PROBLÈME DE LA CONNAISSANCE

La question du temps et de l'instantanéité, qui rend manifeste le passage continu, chez Descartes, des mathématiques et de la physique d'une part à la philosophie et à la métaphysique d'autre part - les premières sont les indicateurs des secondes, qui se tiennent à leur soubassement -, nous ramène au problème fondamental de la connaissance selon lui, qui porte sur l'évidence, l'intuition et la mémoire, et fait intervenir le doute pour retrouver ou fonder la certitude. Dans sa thèse complémentaire déjà citée de 1920 *Sur le rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, Jean Wahl propose l'idée que “l'existence de la mémoire, et d'une façon plus profonde la réalité du temps, est un des motifs les plus importants du doute cartésien”¹¹⁷. L'un des principaux problèmes que se pose Descartes n'est-il pas, en effet, de savoir si, lorsque nous avons oublié l'enchaînement du raisonnement par lequel nous sommes arrivés à des conclusions dont nous ne pouvons plus douter, nous pouvons encore nous fier à ces conclusions ? Il s'agit de trouver “une certitude instantanée, une vérité qui enferme sa certitude, qui soit essentiellement différente d'un raisonnement ou d'un souvenir”. Pour Descartes, nous possédons une telle vérité en nous : le “Je pense donc j'existe” (ou “je suis” : “Cogito, ergo sum”). Cette certitude existentielle (produite dans une subjectivité) immédiate, “nécessairement vraie chaque fois que je la prononce ou que je la conçois dans mon esprit”¹¹⁸, est instantanée. “Autrement, elle serait hors du temps”, indique Jean Wahl, qui parle à ce propos de

¹¹⁶ Wahl [1920], p. 70.

¹¹⁷ Wahl [1920], p. 51. Le point de vue structural adopté par Jean Wahl met en valeur une cohérence profonde dans la philosophie de Descartes sous le signe de l'idée d'instantanéité du temps, aussi bien pour la connaissance, que pour l'idée de Dieu, et pour le monde. Si cette interprétation, soutenue par les uns (Guérault [1953]), et critiquée par d'autres (Bayssade [1979]), est tributaire d'une influence de Bergson (soulignée par F. Worms dans sa préface à la ré-édition), par le choix du temps de la conscience comme donnée première, on observera toutefois que Descartes selon Wahl réunit le temps de la conscience et celui de la science - du moins de la physique - au contraire de Bergson qui les oppose.

¹¹⁸ Descartes, *Méditations*, in AT, vol. 7, p. 25, 27, 36; vol. 9, p. 19, 21, 28. Cf. Wahl [1920], p. 53.

“la simultanéité nécessaire de notre existence et de notre pensée”¹¹⁹.

Le fondement de la connaissance, dans la conception de Descartes, est le fait de la réflexivité de la pensée, de la conscience : “C'est sur la certitude de notre conscience que sera fondée toute notre science”. Ce fondement possède lui-même un fondement, pour Descartes, puisque “la pensée fait pressentir la toute-puissance, l'éternité et l'unité de Dieu”¹²⁰. C'est, en quelque sorte, un point d'appui pris sur l'infini : on peut toutefois tenter de laïciser cette intuition de Descartes (qui n'est d'ailleurs pas sans rappeler Pascal, sur l'homme situé entre deux infinis, celui du néant et celui de Dieu). Quand nous considérons la conscience de la pensée (*je pense*, puis, soudain, *je pense que je pense*, pour *penser que je suis*) comme fonction, c'est de la pensée que nous partons, non de l'idée de Dieu ou de l'infini, qui ne sont pas nécessaires à cette fonction, à son niveau de réflexivité de la pensée. On pourrait dire, en d'autres termes, que le “cogito”, cette intuition (“simplici mentis intuitu”)¹²¹, est conscience et affirmation de ce que la pensée constitue sa propre référence en tant qu'elle est pensée, à son niveau de signification et, pour ainsi dire - en termes de problématiques actuelles -, à son niveau d'émergence. A la réflexivité de la pensée correspond la conscience d'être, qui s'exprime dans l'énoncé “je suis” - qui repose, en fait, sur un “infini” ontologique, dont la difficulté surgit dès que l'on veut expliciter la nature de ce que nous saisissons dans l'intuition.

Certes, les notions cartésiennes forment système: il y a un lien de nécessité entre leurs significations, qui limite les possibilités de leur réactualisation pour notre propre intuition, aujourd'hui. Pour Descartes, nous saisissons dans l'intuition des natures bien déterminées, dont l'analyse renvoie aux natures simples, qui correspondent aux idées innées dont la pensée est en quelque sorte éternelle. Mais, pour Descartes aussi bien que pour nous - dans notre formulation agnostique -, l'intuition se trouve au point d'arrivée comme au point de départ : l'intuït, come intellection par la pensée subjective, mais comprise (partiellement) selon des contenus explicites différents pour Descartes et pour nous.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAM, Charles et TANNERY, Paul [1896-1913]. Commentaires et notes de l'édition critique des *Oeuvres de Descartes*, édition mise à jour, in Descartes [1964-1974], 11 vols.
- ALANEN, Lily et YRJÖNSUURI, Mikko [1996]. Intuition, jugement et évidence

¹¹⁹ Wahl [1920], p. 51-54.

¹²⁰ Wahl [1920], p. 55.

¹²¹ Descartes, *Méditations*, in AT, vol. 7, p. 140.

chez Ockham et Descartes, Communication au *Colloque Descartes et le Moyen Age*, Paris, Sorbonne, 4-7 juin 1996.

ALEMBERT, Jean Le Rond d' [1751]. *Discours Préliminaire de l'Encyclopédie*, Paris, 1751.

ARNAULD, et NICOLE, [1662]. *La Logique ou l'Art de penser*, 2ème édition, Paris, 1664 [1ère éd.: 1662].

BAILLET, A. [1691]. *Vie de Monsieur Des Cartes*, Paris, 1691, 2 vols.

BAYSSADE, Jean Marie [1979]. *La philosophie première de Descartes*, Flammarion, Paris, 1979.

BUZON, Frédéric de, CARRAUD, Vincent [1994]. *Descartes et les Principia II, Corps et mouvement*, Presses Universitaires de France, Paris, 1994.

CLAVELIN, Maurice [1968]. *La philosophie naturelle de Galilée*, A. Colin, Paris, 1968.

CLAVIUS, Christophorus [1608]. *Algebra*, Rome, 1608. 2ème éd., Orléans, 1609; 3ème éd., Mayence, 1612.

COSTABEL, Pierre [1982]. *Démarches originales de Descartes savant*, Vrin, 1982.

DESCARTES, René [1618]. *Musicae Compendium*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 10, p. 79-141. Première publication, Utrecht, 1650. Trad. en français par le P. N. Poisson, *Abrégé de la musique*, in Descartes, *Traité de la Méchanique*, Ch. Angot, Paris, 1668, p. 53-98.

- [1619-1621]. *Premiers opuscules, 1619-1621* (restés inédits jusqu'en 1859), in Descartes [1859-1860]. Egalement in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 10, p. 204-348.

- [vers 1628]. *Regulae ad directionem ingenii*, in Descartes, *Opuscula Posthuma*, Amsterdam, 1701; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 10, p. 349-486 ; trad. en Français par : , *Règles pour la direction de l'esprit*.

- [1633a]. *Le monde, ou Traité de la lumière*, première éd.posth., Le Gras, Paris, 1664; édition Clerselier, Paris 1677, repris in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 11, p. 1-118. [Date probable de composition.]

- [1633b]. *Traité de l'homme*, première éd.posth., Le Gras, Paris, 1664; édition Clerselier, Paris 1677, repris in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 11, p. 119-215. (Chapitre VIII du *Monde*). [Date probable de composition.]

- [1637a]. *Discours de la méthode*, et "Essais de cette méthode": *La Dioptrique, Les Météores, La Géométrie*, Leyde, 1637; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 6.

- [1637b]. *Discours de la méthode*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 6, p. 1-78.

- [1637c]. *La Géométrie*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 6, p. 367-486.

- [1637d]. *La Dioptrique*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 6, p. 79-228.

- [1637e]. *Les Météores*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 6, p. 229-366.

- [1641]. *Meditationes de Prima philosophia*, 1ère éd., Michel Soly, 1641 ; 2ème éd. augm., Louis Elzevier, Amsterdam, 1642; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 7, p. 1-612. Trad. en Français (1647), *Méditations*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 9, p. 1-254.

- [1644]. *Principia philosophiae*, 1ère éd. princeps, Louis Elzevier, Amsterdam,

1644 ; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 8, p. 1-353. Trad. en français (1647), *Principes de la philosophie*, in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 9, p. 1-362.

- [1648]. *La description du corps humain*, première éd.posth., Le Gras, Paris, 1664 ; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 11, p. 219-290.

- [1649]. *Les passions de l'âme*, Le Gras, Paris, 1649 et Elzevier, Amsterdam, 1649 ; in Descartes [1964-1974] (AT), vol. 11, p. 291-498.

- [1657-1667]. *Lettres de Descartes*, éditées par Clerselier, 3 vols., Charles Angot, Paris, 1657, 1659, 1667.

- [1859-1860]. *Oeuvres inédites de Descartes*, éditées par Foucher de Careil, 2 vols., Auguste Durand, Paris, 1859-1860.

- [1964-1974]. *Oeuvres de Descartes*, publiées par Charles Adam et Paul Tannery, 11 volumes (1ère éd., 1896-1913) ; nouvelle édition révisée, 1964-1974 ; ré-éd., 1996. [Edition indiquée AT dans les notes].

DESCARTES, René et SCHOOK, Martin [1988]. *La querelle d'Utrecht*, Textes établis et annotés par Theo Verbeek, Préface de Jean-Luc Marion, Les Impressions nouvelles, Paris, 1988.

DRAKE, Stilman [1980]. *Galilée*, trad. de l'anglais par Jean-Paul Sheidecker, Actes Sud, 1986.

EINSTEIN, Albert [1954]. *Relativity and the problem of space*, in *Ideas and opinions*, New translations revised by Sonja Bargmann, Crown. New York, 1954 ; Laurel edition, 1981.

KOYRÉ, Alexandre [1939]. *Etudes galiléennes* (1935-1939), Hermann, Paris, 1966.

GEYMONAT, Ludovico [1957]. *Galilée* (1957), trad. de l'italien par François-Marie Rosset, Laffont, Paris, 1968 ; Seuil, Paris 1992.

GOUHIER, Henri [1958]. *Les premières pensées de Descartes. Contribution à l'histoire de l'anti-Renaissance*, Vrin, 1958.

GUÉROULT, Martial [1953]. *Descartes selon l'ordre des raisons*, Aubier, Paris, 1953, 2 vols.

HOUZEL, Christian [1996]. *Descartes et les courbes transcendantes*, Communication au *Colloque Descartes et le Moyen Age*, Paris, Sorbonne, 4-7 juin 1996.

HUSSERL, Edmund [1934]. *Méditations cartésiennes*, trad.fr. par Gabrielle Peiffer et Emmanuel Lévinas, Armand Colin, Paris, 1934 ; ré-éd., Vrin, Paris, 1992.

ITARD, Jean [1984]. *Essais d'histoire des mathématiques*, réunis et introduits par Roshdi Rashed, Blanchard, Paris, 1984. (Chapitre sur "La géométrie de Descartes", p. 269-279.)

KOYRÉ, Alexandre [1939]. *Etudes galiléennes*, Hermann, Paris, 1966.

- [1968]. *Etudes newtoniennes* (édition française), Gallimard, Paris, 1968.

MARION, Jean-Luc [1988]. Préface à Descartes et Schook [1988], p. 7-17.

NOURISSON [1885]. *Pascal, physicien et philosophe*, Emile Perrin, Paris, 1885.

PASCAL, Blaise [vers 1647]. Préface au *Traité du vide*, in Pascal [1963], p. 230-232.

- [1670]. *Pensées*, in Pascal [1963], p. 493-649.
- [1963]. *Oeuvres complètes*, Préface d'Henri Gouhier, Présentation et Notes de Louis Lafuma, Seuil, Paris, 1963.
- PATY, Michel [1987]. Einstein et la pensée de Newton, *La Pensée*, n° 259, 1987, 17-37.
- [1990]. *L'analyse critique des sciences, ou le tétraèdre épistémologique (sciences, philosophie, épistémologie, histoire des sciences)*, L'Harmattan, Paris, 1990.
- [1993a]. *Einstein philosophe. La physique comme pratique philosophique*, Presses Universitaires de France, Paris, 1993
- [1994a]. Le caractère historique de l'adéquation des mathématiques à la physique, in Garma, Santiago; Flament, Dominique; Navarro, Victor (eds.), *Contra los titanes de la rutina.- Contre les titans de la routine*, Comunidad de Madrid/C.S.I.C., Madrid, 1994, p. 401-428.
- [1994b]. Sur l'histoire du problème du temps: le temps physique et les phénomènes, in Klein, Etienne et Spiro, Michel (éds.), *Le temps et sa flèche*, Editions Frontières, Gif-sur-Yvette, 1994, p. 21-58; 2^e éd., 1995; Collection Champs, Flammarion, Paris, 1996, p. 21-58.
- [1996a]. Galilée et la mathématisation du mouvement, *Passages*, n°76, avril-mai 1996, 49-53.
- [1996b]. L'idée d'universalité de la science et sa critique philosophique et historique, Conférence au *IV Congreso de la Sociedad Latino-Americana de Historia de la Ciencia y la Tecnología*, Cali (Colombie), 24-27 janvier 1995. A paraître dans les Actes; à paraître également dans *Asclepio* (Madrid).
- RASHED, Roshdi [1984]. *Entre Arithmétique et algèbre. Recherches sur l'histoire des mathématiques arabes*, Les Belles Lettres, Paris, 1983.
- [éd., 1986]. *Sharaf-al-Din al-Tusi. Oeuvres mathématiques. Algèbre et géométrie au XII^e siècle*, Texte établi et traduit par R. Rashed, Les Belles Lettres, Paris, 1986, 2 vols.
- [1992]. *Optique et mathématiques. Recherches sur l'histoire de la pensée scientifique en arabe*, Variorum, Aldershot (HR, UK), 1992.
- [1993]. *Géométrie et dioptrique au X^e siècle. Ibn Sahl, al-Quhi et Ibn al-Haytham*, Les Belles Lettres, Paris, 1993.
- [1996]. Al-Hayyam, al-Tusi et Descartes, Communication au *Colloque Descartes et le Moyen Age*, Paris, Sorbonne, 4-7 juin 1996.
- RODIS-LEWIS, Geneviève [1995]. *Descartes. Biographie*, Calmann-Lévy, 1995.
- SHEA, William [1972]. *La révolution galiléenne* (1972), trad. de l'anglais, Seuil, 1992.
- TATON, René [éd, 1978]. *Roemer et la vitesse de la lumière*, Vrin, Paris, 1978.
- VINCENT, Julien [1995]. *Descartes et la Géométrie*, Presses Universitaires de France, Paris, 1995.
- VUILLEMIN, Jules [1960]. *Physique et métaphysique chez Descartes*, Paris, 1960; ré-éd., 1987.
- WAHL, Jean [1920]. *Du rôle de l'idée de l'instant dans la philosophie de Descartes*, Thèse complémentaire de Doctorat ès-Lettres, Paris, 1920. Ré-éd. avec une

introduction de Frédéric Worms, Descartes et Cie, Paris, 1994.