# De l'interdisciplinarité

**Rudolf Bkouche**(*)

## Introduction

Depuis que le terme « interdisciplinarité » est devenu à la mode, on sait qu'il a une connotation morale et idéologique bien plus que scientifique ou pédagogique. Cette connotation morale apparaît avec le terme « décloisonnement » opposé à « l'enfermement disciplinaire », ou encore avec les accusations de corporatisme à l'encontre des enseignants qui défendent l'enseignement de leurs disciplines.
On retrouve cet aspect moral et idéologique dans le texte du Conseil Supérieur des Programmes sur les EPI (Enseignement Pratique Interdisciplinaire), ce « nouveau » gadget introduit sous prétexte de refondation de l'enseignement, mais gadget qui a déjà une longue histoire comme le rappelle l'invention des TPE et autres amusettes. L'intitulé pose déjà problème, l'interdisciplinarité est présentée comme un enseignement pratique, comme si la rencontre des disciplines ne présentait aucun caractère théorique. Il est vrai qu'on a cru, après la réforme dite des mathématiques modernes, devoir opposer à un enseignement dit traditionnel(1) jugé trop théorique une idéologie du concret, comme si le concret était le point de départ de toute connaissance et comme si l'abstraction pouvait constituer un obstacle. C'est cette conception idéologique qui conduit à mettre en avant l'aspect « projet » des EPI comme l'écrit le texte du CSP :

« *Ces enseignements ne sont pas interdisciplinaires au sens où ils mobiliseraient nécessairement des notions et concepts communs à des disciplines différentes. Ils permettent en revanche de s'appuyer sur des connaissances issues des disciplines mais appliquées à des objets communs au sein d'un projet porté par des équipes. Ils confortent donc les apprentissages en les mettant à l'épreuve de situations qui conduisent les élèves à ajuster leurs savoirs scolaires aux conditions complexes qui caractérisent les projets.* »(2)

La première phrase pose déjà problème. Qu'est-ce que cela veut dire qu'il ne s'agit pas de mobiliser des notions et concepts communs à des disciplines différentes ?

---

(*) IREM de Lille. rbkouche@wanadoo.fr

(1) L'enseignement dit traditionnel est une notion floue dans la mesure où il renvoie à un avant indifférencié qui aplatit le passé comme si celui-ci était uniforme ; ainsi s'entremêlent dans une supposée tradition l'enseignement des mathématiques issu de la réforme de 1902 et celui issu de la réforme dite des mathématiques modernes, comme s'y insèrera dans quelques années l'enseignement d'aujourd'hui. Autant dire que la notion d'enseignement traditionnel est une notion essentiellement changeante dont le seul objet est d'apparaître comme un repoussoir pour les adeptes d'un enseignement moderne, le terme moderne ayant perdu son sens chronologique pour n'être plus que l'expression d'une idéologie.

(2) Conseil Supérieur des Programmes, *Projet de programme pour le cycle 4*, avril 2015, p. 56.

Peut-être une façon de rappeler le refus de tout théorique ! On se contentera d'ajuster les savoirs scolaires aux conditions complexes qui caractérisent les projets. Une façon de dire que les savoirs scolaires sont sans rapport avec la réalité et qu'il faut ajuster ces savoirs pour étudier moins des situations complexes que les conditions complexes définies par les projets. En fait c'est la notion de projet qui importe, projet défini essentiellement par la volonté d'amener les élèves à travailler en groupe autour d'un projet. On retrouve ici la fonction des EPI, moins la rencontre de disciplines autour de problèmes communs, moins la confrontation des élèves à des problèmes exigeant le recours à plusieurs disciplines, que la mise en place d'équipes d'élèves dont l'objectif est de travailler en équipe, une forme d'œcuménisme pourrait-on dire. Mais les équipes ne concernent pas seulement les élèves, les enseignants sont aussi concernés comme l'explique le texte, avant de parler des élèves :

« *Ils (les EPI) contribuent à renforcer la cohésion et l'efficacité des équipes éducatives dont tous les membres sont invités à s'impliquer dans les projets et peuvent d'ailleurs donner lieu à des co-interventions*. »(3)

Retournement déjà ancien si on considère que loin d'être l'objet de l'enseignement, lequel est d'abord confrontation des élèves au savoir, le savoir n'est plus que prétexte à enseignement. On retrouve ici ce qu'on appelle l'éducation citoyenne, laquelle n'est qu'une forme de catéchisme. Il suffit d'entendre le discours sur l'enseignement des valeurs républicaines pour le comprendre(4). On peut résumer cela en disant que c'est la victoire de Jules Ferry contre Condorcet. L'école de la Troisième République mise en place par Jules Ferry présentait une double face, une face de reproduction sociale destinée à assurer la survie du système social, une face émancipatrice définie par le rôle de l'instruction. Que ces deux faces aient des aspects contradictoires ne les empêchait pas de coexister avec tous les problèmes que cela posait(5). Mais lorsque la formation du citoyen passe avant l'instruction, on peut dire que c'est la face sombre, celle de l'école de la reproduction sociale, qui est privilégiée. Ainsi exit l'école de l'instruction.
Pour éviter tout malentendu, précisons que la critique précédente porte sur les textes du Conseil Supérieur des Programmes, textes qui demandent aux professeurs de se prêter à un tel jeu, une forme de mépris envers les professeurs et les élèves pourrait-on dire.

## L'interdisciplinarité comme rencontre des disciplines

La question est moins celle de l'idéologie interdisciplinaire que celle de la rencontre des disciplines, ce qui suppose, d'une part de définir les disciplines, d'autre part d'expliciter ce que signifie leur rencontre.

(3) *ibid*.
(4) Nous renvoyons au grand discours de la ministre de l'Éducation Nationale au lendemain du 11 janvier prônant l'enseignement des valeurs républicaines et de la laïcité réduite à une morale.
(5) Jean-Michel Gaillard, *Un siècle d'école républicaine*.

**Des disciplines**

Le terme « discipline » désigne un domaine de la connaissance bien délimité à la fois par les objets étudiés et par les méthodes d'étude. Il faut préciser que cette définition peut varier dans le temps, soit parce qu'une discipline se divise en plusieurs parties, soit parce que des disciplines distinctes se regroupent pour former une nouvelle discipline.
Pour les Grecs, les mathématiques[(6)] comprenaient quatre parties, l'arithmétique, la géométrie, l'astronomie et la musique, l'astronomie étant liée à la géométrie, la musique étant liée à l'arithmétique. Cela pose la question : en quoi ces quatre domaines de la connaissance constituent-ils une seule science ? Le lien entre l'arithmétique et la musique vient de ce que la science des sons renvoie à la science des nombres comme le montrent les travaux attribués à Pythagore sur la gamme, travaux qui ont conduit les philosophes pythagoriciens à proclamer que « *tout est nombre* ». Quant au lien entre la géométrie et l'astronomie, il réside dans le fait que l'étude de l'astronomie renvoie à l'étude de la sphère comme le montre, par exemple, l'ouvrage de Théodose de Tripoli *Les Sphériques*. La question se pose alors des raisons qui conduisent à relier arithmétique et géométrie. Selon la tradition pythagoricienne du « *tout est nombre* », la mesure des grandeurs se réduit à la recherche de rapports d'entiers et dans ces conditions on peut concevoir que la géométrie se réduise à un chapitre de l'arithmétique ; cette conception a été contredite par la découverte des grandeurs incommensurables comme le montre l'exemple classique du côté et de la diagonale d'un carré. Cette découverte, attribuée aux pythagoriciens, a conduit à chercher à construire une théorie géométrique indépendante de la notion de nombre comme le montrent les *Éléments* d'Euclide. Euclide y développe une théorie des grandeurs indépendante de toute notion de mesure[(7)]. Quant à l'arithmétique, Euclide lui donnera une forme géométrique dans les Livres VII, VIII et IX des *Éléments*, forme géométrique au sens où Euclide représente les nombres par des droites (les segments de droite d'aujourd'hui) mais surtout au sens où il y développe une théorie déductive des nombres analogue à celle qu'il a développée pour la géométrie. En ce sens on peut considérer qu'Euclide développe une première théorie unifiée des mathématiques. Cette unification est loin d'être évidente si on considère la distinction, toujours actuelle, entre une mathématique du raisonnement qui serait issue de la géométrie et une mathématique du calcul qui comprendrait l'arithmétique et l'algèbre. On sait que, dans l'enseignement des mathématiques, il est nécessaire de relier ces disciplines souvent pensées comme distinctes par les élèves et les étudiants, et ce d'autant qu'un usage à tout va de l'informatique tend à réduire les mathématiques au calcul[(8)]. Quant à

(6) Rappelons que le terme grec *mathesis* désigne la science et que selon Aristote la science désigne le savoir acquis par la démonstration (Aristote, *Seconds Analytiques*, p. 66)
(7) C'est l'objet du Livre V des *Éléments*. Dans ce livre Euclide ne définit pas le rapport entre deux grandeurs, se contentant de dire qu'un rapport est une manière d'être entre deux grandeurs de même type. Ce qui importe, c'est la notion d'égalité de rapports définie par les proportions. Le Livre V permet de définir la notion de proportion géométrique dans le livre VI.
(8) Alors que le mathématicien Lejeune-Dirichlet expliquait qu'il faut « *substituer les idées au calcul* » comme le rappelle Bourbaki dans son article « *L'architecture des mathématiques* », se développe aujourd'hui une tendance à réduire les idées au calcul.

l'unification des mathématiques construite autour du point de vue structural(9) s'appuyant sur la théorie des ensembles ou plus tard la théorie des catégories, elle suppose une connaissance et une pratique des mathématiques déjà consistantes et ne saurait intervenir au début de l'enseignement des mathématiques comme nous l'ont appris les difficultés de la réforme des mathématiques modernes.
Nous pourrions aussi parler de la physique dont les divers chapitres peuvent apparaître indépendants les uns des autres. On peut rappeler que cette relative indépendance des chapitres de la physique a été renforcée, dans l'enseignement universitaire français, lorsqu'en 1958, on a remplacé le certificat de Physique Générale par des certificats distincts. Ici encore, cette division interne d'une discipline exige un travail de reconstruction de l'unité de ce domaine de la connaissance.
Ces remarques rappellent que la question de la rencontre des disciplines se pose déjà à l'intérieur des grandes disciplines constituées comme les mathématiques ou la physique.
Nous n'avons abordé ici que les seules disciplines des mathématiques et de la physique, il y aurait aussi à dire sur les autres disciplines, scientifiques ou littéraires. On pourrait par exemple parler des disciplines comme la psychologie et la sociologie qui ont quitté le giron de la philosophie. On pourrait parler aussi de certaines disciplines-carrefours, comme par exemple l'écologie dont on oublie trop qu'elle est une science avant que d'être une idéologie, science qui se situe au carrefour de plusieurs disciplines (physique, chimie, biologie, géologie)(10).
On voit ici combien est difficile la question de la définition des disciplines, définition qui peut varier au cours du temps, autant pour des questions liées à l'évolution des connaissances que pour des questions d'enseignement.

**De la rencontre des disciplines**

Nous commencerons par un rappel historique. Nous avons dit plus haut comment chaque époque redéfinit l'enseignement traditionnel, ce qui permet pour les uns de mieux affirmer ce qu'ils pensent être un enseignement moderne et pour les autres de mieux rêver un passé reconstruit selon leurs vœux. L'invention du terme « interdisciplinarité » participe de cette réinvention de la tradition. Dans la volonté de promouvoir une interdisciplinarité présentée comme novatrice, on a oublié la place que tenait la rencontre des disciplines dans l'enseignement dit traditionnel.
Nous rappellerons d'abord comment certaines disciplines se rencontraient dans l'enseignement dans les années cinquante. Alors que l'enseignement de la physique et de la chimie commençait en seconde, les élèves rencontraient des éléments de chimie dans le cours de géologie (classe de quatrième) et dans le cours de physiologie humaine (classe de troisième) ; il ne s'agissait pas d'interdisciplinarité au sens que l'on donne aujourd'hui à ce mot mais du fait que l'étude des roches amenait à parler de leurs propriétés chimiques et que l'étude du corps humain

(9) Sur le point de vue structural nous renvoyons à l'article de Nicolas Bourbaki, « *L'architecture des mathématiques* ».
(10) Lovelock, *La Terre est un Être Vivant*.

amenait à s'intéresser à certaines réactions chimiques soit internes à l'organisme, soit provenant de l'action de corps extérieurs sur le corps humain. Si cette intervention de la chimie ne faisait l'objet d'aucune systématisation, elle permettait aux élèves de comprendre le rôle de la chimie dans l'étude de certains phénomènes. Ce qu'il est important de signaler, c'est que cette rencontre entre disciplines se plaçait dans le cadre d'un cours et non d'activités de complément ; en ce sens le discours actuel sur l'interdisciplinarité apparaît comme une régression. On pourrait aussi rappeler que le cours de mathématiques de la classe de Mathématiques Élémentaires comprenait un chapitre de mécanique et un chapitre de cosmographie, et que certains ouvrages de géométrie de cette classe comprenaient un chapitre sur la topographie et l'arpentage(11) ; notons que les élèves rencontraient des notions de mécanique du point dans le cours de mathématiques et dans le cours de physique, ce qui ne pouvait que montrer comment ces deux domaines de la connaissance se rencontrent.

Cela rappelé, la rencontre des disciplines ne concerne pas seulement l'enseignement, elle concerne le développement de la science lorsque deux ou plusieurs domaines de la connaissance se rencontrent autour de problèmes communs. C'est parce que la rencontre des disciplines participe de l'activité scientifique qu'elle a sa place dans l'enseignement.

Le cas emblématique est celui de la rencontre entre les mathématiques et la mécanique, rencontre qui constitue le point de départ de la Révolution Scientifique du XVIIe siècle et qui a marqué le développement de ces deux domaines de la connaissance jusqu'à aujourd'hui. Pourtant cette rencontre a des origines bien plus anciennes. Il faudrait parler de la géométrie dont Clifford expliquait qu'elle est une science physique(12) ; il faut ici entendre le terme « physique » non au sens d'Aristote pour qui le terme « *physis* » signifie « nature » mais au sens issu de la Révolution Scientifique du XVIIe siècle. Comme l'explique Galilée, « *le grand livre de la nature est écrit en termes mathématiques* » et il renvoie ainsi au langage de la géométrie tel qu'il a été codifié par les Grecs. Mais la géométrie élémentaire renvoie à des objets du monde, essentiellement les corps solides, et on peut considérer la géométrie élémentaire comme une physique des corps solides au sens actuel du terme « physique », celui d'une théorie hypothético-déductive portant sur une part du monde. En ce sens la Révolution Scientifique continue l'œuvre euclidienne, y ajoutant, ce qui constitue sa nouveauté, ce que l'on peut appeler la géométrisation du temps ; le temps n'est plus le devenir des Grecs comme le représente Aristote dans sa *Physique*(13), le temps devient une idéalité mathématique qui permet de développer une théorie hypothético-déductive du mouvement. Ainsi disparaît le blocage langagier signalé par les paradoxes de Zénon et on peut développer ce qu'on appelle aujourd'hui la mécanique rationnelle.

Après la Révolution Scientifique la physique sera de plus en plus mathématisée jusqu'à pouvoir être considérée comme un chapitre des mathématiques. On pourrait dire que si les mathématiques contribuent à la connaissance du monde, comme le

(11) Ainsi les *Leçons de Géométrie Elémentaire* de Hadamard, tome 2, p. 283-313.
(12) Clifford, *The commun sense of the exact sciences*, p. 43.
(13) Aristote, *Physique*, p. 245-271.

montre la géométrie élémentaire dont nous avons déjà dit qu'elle constitue la science des corps solides, c'est qu'elles se sont construites dans le monde comme le rappelle Carlo Bourlet(14).

Pour se développer, la géométrie avait besoin d'une théorie des grandeurs. Nous avons déjà parlé de la partie des *Éléments* qui porte sur la notion de grandeur. D'une certaine façon la mesure des grandeurs, laquelle n'apparaît pas dans les *Éléments* d'Euclide comme nous l'avons déjà remarqué, exigeait d'étendre la notion de nombre ce qui a conduit aux notions de nombre rompu (les fractions d'aujourd'hui) et de nombre sourd (les nombres irrationnels) et en fin de compte à la notion de nombre réel mise en place au XIXe siècle. La théorie des ensembles a permis de donner une construction formelle de ces nombres indépendante de toute mesure et par conséquent de tout renvoi aux grandeurs ; on peut alors, une fois les nombres réels définis, reconstruire une théorie de la mesure mettant en correspondance nombres et grandeurs d'un type donné comme l'explique Jules Tannery dans ses *Leçons d'Arithmétique*(15), procédé courant dans le développement des mathématiques qui conduit à reconstruire les relations entre les notions, mais c'est la mesure des grandeurs qui a conduit à étendre la notion de nombre ; nous pouvons ici citer Hermann Weyl qui écrivait :

« *Historically **fractions** owe their creation to the transition from counting to **measuring*** » (16)

On peut ajouter que la question se pose dans l'enseignement où c'est encore la mesure des grandeurs qui donne son sens à l'extension de la notion de nombre avant de retrouver cette extension de façon formelle.
Quant à l'algèbre que l'on peut considérer comme une science générale du calcul, nous pouvons rappeler qu'elle s'est construite sur le calcul des grandeurs, que ce soit *via* le traité fondateur d'Al Khwarizmi ou que ce soit *via l'Introduction à l'Art Analytique* de Viète. Les grandeurs sont ainsi un point central des mathématiques. C'est pour développer un calcul sur les grandeurs que Viète met en place le calcul littéral, calcul sur les grandeurs régi par la loi des homogènes, laquelle est aujourd'hui l'un des principes de l'analyse dimensionnelle. On comprend l'importance du calcul littéral d'abord dans la géométrie analytique comme on peut le voir chez Fermat(17), ensuite dans le développement de la physique mathématique.
Pour résumer ce que nous venons de dire, on peut considérer que la question des relations entre mathématiques et physique relève moins de l'interdisciplinarité que des liens entre les divers chapitres d'une même science que l'on pourrait appeler une mathématique universelle. On peut rappeler à ce propos que, dans son introduction aux *Principia*, Newton considérait la géométrie comme un chapitre de la mécanique

(14) Carlo Bourlet, *La pénétration réciproque des mathématiques pures et des mathématiques appliquées dans l'enseignement secondaire*.
(15) Jutes Tannery, *Leçons d'Arithmétique théorique et pratique*, p. 470-487.
(16) Hermann Weyl, *Philosophy of mathematics and natural Science*, Princeton University Press, Princeton 1949, reprinted by Atheneum, New York 1963, p. 30.
(17) Pierre de Fermat, *Introduction aux lieux plans et solides*, in Œuvres de Fermat, tome troisième, p. 96-101.

universelle au sein de laquelle il distinguait deux parties, la géométrie comme science de la grandeur et la mécanique comme science du mouvement[18].
Cela ne remet pas en question les aspects expérimentaux que l’on retrouve autant dans les mathématiques que dans les sciences physiques mais qui, en ce qui concerne les mathématiques, ont été oubliés moins pour des raisons scientifiques que pour des raisons liées à la tradition. On pourrait ici rappeler la proposition de travaux pratiques de mathématiques par Borel en 1904[19]. Que l’on soit en mathématiques ou en physique, le caractère expérimental se retrouve aux deux bouts de l’activité. En amont la connaissance empirique à partir de laquelle nous posons des problèmes, en aval la vérification expérimentale qui valide le travail théorique[20].

**Inclure les relations entre les disciplines dans les cours**

Si on veut amener les élèves à prendre conscience de la rencontre des disciplines, il importe que cette rencontre soit présentée dans des cours structurés et non dans des projets plus ou moins mal définis demandant aux élèves de savoir utiliser des notions provenant de diverses disciplines ; le renvoi à des projets n’est qu’un avatar du constructivisme, lequel demande aux élèves de reconstruire le savoir qu’on leur demande d’apprendre.
Mais si on ne peut multiplier le nombre de cours, multiplication qui peut apparaître contradictoire avec la notion d’interdisciplinarité, la rencontre des disciplines ne peut que se faire dans le cadre des cours disciplinaires, ce qui suppose une introduction effective dans les programmes comme cela se faisait dans l’enseignement traditionnel et une répartition de ce travail entre les disciplines en jeu. Cela peut aussi permettre de revoir la même question dans des cours différents avec des points de vue différents.
Nous terminerons cet article en évoquant quelques lieux de rencontre des disciplines où interviennent les mathématiques.
Nous avons déjà cité le rapport privilégié entre la physique et les mathématiques né de la Révolution Scientifique.
Parmi les points de rencontre entre ces disciplines, nous citerons d’abord le calcul vectoriel.
Le calcul vectoriel a été inventé pour représenter les grandeurs orientées, parmi lesquelles nous citerons les forces et les vitesses. On peut rappeler que le calcul vectoriel a intéressé bien plus les mécaniciens et les physiciens que les mathématiciens et que les premiers traités de calcul vectoriel ont été écrits par des physiciens, Gibbs[21] et Heaviside[22]. Quant à Appell, mathématicien et mécanicien,

(18) Isaac Newton, *Principia*, volume one, p. xvii.
(19) Émile Borel, *Les exercices pratiques de mathématiques dans l'enseignement secondaire* (1904), in Œuvres, tome 4, p. 2225-2256. Sur l'aspect expérimental des mathématiques, nous renvoyons à notre article *Du caractère expérimental des mathématiques (à propos des laboratoires de mathématiques)*.
(20) Nous pouvons renvoyer à l'article de Hermann Laurent cité en bibliographie ainsi qu'aux travaux de Gonseth sur les trois aspects de la connaissance. la connaissance intuitive, la connaissance théorique et la connaissance expérimentale. (cf. *La Géométrie et le Problème de l'Espace*, volume 3, *Les trois aspects de la Géométrie*).

il a introduit au début de son *Traité de Mécanique Rationnelle*(22) un chapitre 0 portant sur les vecteurs, rappelant que ceux-ci permettaient de représenter les vitesses et les forces et par conséquent d'unifier le calcul portant sur ces objets. On pourrait alors penser un enseignement sur les vecteurs à partir de questions de statique, les forces étant représentées par des segments de droite orientés. On pourrait alors introduire les vecteurs d'une part en géométrie comme classes d'équipollence de segments de droite orientés et d'autre part en mécanique comme des représentations de forces, ce qui permettrait de comprendre ce que signifie la règle du parallélogramme pour additionner des forces ou des vecteurs. Il est alors indifférent de commencer par le calcul vectoriel ou par la statique, ce qui importe c'est de mettre en évidence ce qui est commun aux vecteurs et aux forces ; cela éviterait de présenter l'usage des mathématiques en physique comme une simple application des mathématiques à la physique, ce qui est une réduction des relations entre physique et mathématiques.
Autre point de rencontre qui peut être abordé à un niveau élémentaire, les systèmes articulés.
L'un des premiers problèmes posés par l'invention de la machine à vapeur est de produire un mouvement rectiligne, comme celui du piston dans un cylindre. S'il est facile de produire un mouvement circulaire en faisant tourner par exemple une tige rigide autour d'une de ses extrémités, il est plus difficile de produire un mouvement rectiligne ; on a donc construit divers mécanismes pour transformer un mouvement circulaire en mouvement rectiligne ou plutôt presque rectiligne comme le montre par exemple le parallélogramme de Watt, l'un des premiers mécanismes inventés à cet effet. On peut donc considérer un système articulé comme un mécanisme permettant de produire un nouveau mouvement à partir d'un mouvement donné. C'est le principe de la robotique et l'étude des systèmes articulés peut être considérée comme une introduction à la robotique. On peut alors comprendre pourquoi la robotique peut être présentée comme un chapitre de l'étude des isométries et pourquoi elle fait appel à l'algèbre linéaire et au calcul matriciel.
Autre question intéressante, l'étude des systèmes d'engrenages, étude qui met en relation la transmission des mouvements et la théorie de la divisibilité. Ici encore la question est moins d'appliquer un chapitre des mathématiques à un problème technique que de montrer comment la théorie des engrenages se relie à des questions de divisibilité.
On pourrait multiplier les exemples. La rencontre entre les disciplines est ainsi, pour les élèves, une façon de comprendre pourquoi et comment des théories *a priori* distinctes peuvent contribuer à mieux comprendre des phénomènes, si on considère que la science et son enseignement ont parmi leurs objectifs celui de comprendre le monde, l'autre étant celui de le transformer comme le rappelle un adage classique.

(21) Edwin Bidwell Wilson, *Vector analysis*.
(22) Oliver Heaviside, *Electromagnetic Theory*. Dans cet ouvrage Heaviside réécrit en termes vectoriels la théorie de Maxwell.
(23) Paul Appell, *Traité de Mécanique Rationnelle*.

## Bibliographie

Al-Khwarizmi, *Le Commencement de l'Algèbre*, texte établi, traduit et commenté par R. Rashed, Collection « Sciences dans l'Histoire », Les Belles Lettres, Paris 2007.

Paul Appell, *Traité de Mécanique Rationnelle* (cinq tomes), Gauthier-Villars, Paris, plusieurs éditions entre 1893 et 1946.

Aristote, *Physique*, traduction et présentation par Pierre Pellegrin, GF Flammarion, Paris 2000.

Aristote, *Seconds Analytiques, Organon IV*, introduction, traduction, notes, biographie et index par Pierre Pellegrin, GF Flammarion, Paris 2005.

Émile Borel, *Œuvres* (4 tomes), CNRS, Paris 1972.

Rudolf Bkouche, « Du caractère expérimental des mathématiques (à propos des laboratoires de mathématiques) », *Repères-IREM*, nº 70, janvier 2008, p. 33-76.

Nicolas Bourbaki, « L'architecture des mathématiques » in *Les Grands Courants de la Pensée Mathématique*, présentés par François Le Lionnais, nouvelle édition augmentée (1948), Blanchard, Paris 1962, p. 35-47.

Carlo Bourlet, « La pénétration réciproque des mathématiques pures et des mathématiques appliquées dans l'enseignement secondaire » (conférence à la réunion de la Commission Internationale sur l'Enseignement des Mathématiques), *L'Enseignement Mathématique*, volume 12, 1210, p. 372-387.

William K. Clifford, *The commun sense of the exact sciences*, Dover, New York 1955.

Euclide, *Les Œuvres d'Euclide*, traduites littéralement par F. Peyrard 1819), nouveau tirage augmenté d'une importante introduction par Jean Itard, Blanchard, Paris 1993.

Pierre de Fermat, *Œuvres de Fermat*, publiée sous la direction de Paul Tannery et Charles Henry, tome troisième, traduction de Paul Tannery, Gauthier-Villars, Paris 1896.

Jean-Michel Gaillard, *Un siècle d'école républicaine*, « Points-histoire », Éditions du Seuil, Paris 2000.

Ferdinand Gonseth, *La Géométrie et le Problème de l'Espace* (6 volumes), Éditions du Griffon, Neuchâtel 1945-1955.

Jacques Hadamard, *Leçons de Géométrie Elémentaire II, Géométrie dans l'espace*, Armand Colin, Paris 1949.

Oliver Heaviside, *Electromagnetic Theory*, London 1894, reprint Dover, New York 1950.

Hermann Laurent, « Les principes fondamentaux des connaissances humaines », *L'Enseignement Mathématique*, tome 1, 1899, p. 381-419.

Isaac Newton, *Principia*, Motte's translation revised by Cajori (2 volumes), University of California Press, Berkeley-Los Angeles-London 1934/1962.

J.E. Lovelock, *La Terre est un Être Vivant* (l'hypothèse Gaïa) (1979), traduit de l'anglais par Paul Couturiau et Christel Rolliant, « Champs », Flammarion, Paris 1993.

Jules Tannery, *Leçons d'Arithmétique théorique et pratique*, dixième édition revue, « Cours complet pour la classe de Mathématiques A, B » Armand Colin, Paris 1928.

Théodose de Tripoli, *Les Sphériques*, œuvres traduites pour la première fois en français avec une introduction et des notes par Paul Ver Eecke, nouveau tirage, Blanchard, Paris 1959.

Vaulézard, *La Nouvelle Algèbre de Monsieur Viète* (1630), « Corpus des Œuvres de1986 Philosophie en langue Française », Fayard, Paris.

Edwin Bidwell Wilson, *Vector analysis : A text-book for the use of students of mathematics and physics, founded upon the lectures of J. Willard Gibbs*, Ph.D. LL.D, New Haven, Yale University Press, 1902, reprint Dover, New York 1960.