Démarche d'investigation, pédagogie transmissive et principe d'autorité : l'exemple du système héliocentrique

*Investigation based science education, frontal pedagogy and authority: the
heliocentric system example*

Estelle Blanquet et Éric Picholle

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/ree/1866>

DOI : 10.4000/ree.1866

ISSN : 1954-3077

Éditeur

Nantes Université

Référence électronique

Estelle Blanquet et Éric Picholle, « Démarche d'investigation, pédagogie transmissive et principe d'autorité : l'exemple du système héliocentrique », *Recherches en éducation* [En ligne], 34 | 2018, mis en ligne le 01 novembre 2018, consulté le 09 mars 2022. URL : <http://journals.openedition.org/ree/1866> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/ree.1866>

Recherches en éducation est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

Démarche d'investigation, pédagogie transmissive et principe d'autorité : l'exemple du système héliocentrique

Estelle Blanquet & Éric Picholle¹

Résumé

Faire des sciences, c'est d'abord appartenir à une communauté et en accepter tant les modalités de validation des savoirs que les savoirs établis ; mais c'est parfois aussi savoir quand les remettre en cause pour mieux les actualiser et les dépasser. L'article interroge le rapport dual à l'autorité que permet de construire la démarche d'investigation combinée à une approche transmissive. La question de l'héliocentrisme offre un exemple frappant de la difficulté à s'émanciper du paradigme, copernicien en l'occurrence, dominant dans la culture occidentale bien qu'aujourd'hui dépassé. Une séquence d'astronomie traditionnelle reposant sur l'acquisition de compétences purement géométriques, liées à la notion mathématique de changement de référentiel, pour travailler la notion physique de relativité du mouvement, apparaît peu efficace pour dépasser le copernicanisme naïf des participants. Son association avec une séquence spécifiquement conçue pour légitimer des points de vue inhabituels permet en revanche à une part importante (30 à 50%) des étudiants en Master MEEF premier degré participant à l'étude d'accéder au paradigme galiléen (c'est-à-dire relativiste). L'analyse et l'évaluation de l'évolution du rapport à l'autorité des participants via des pré- et post-questionnaires montrent qu'une démarche d'investigation conçue à cette fin peut constituer un outil puissant de prise de conscience de la nature des préjugés les mieux établis de la culture dominante, et donc d'émancipation à leur égard.

Le rapport à l'autorité est au cœur de nombreux paradoxes de philosophie politique. Ainsi, pour Jean-Jacques Rousseau (1762), la liberté du citoyen est avant tout celle de consentir à la tutelle de la cité et de ses lois, chacun détenant une parcelle inaliénable de souveraineté populaire à laquelle il ne saurait renoncer par l'effet de son consentement à un régime politique. L'exercice du gouvernement reste, théoriquement, sous son contrôle. La notion de citoyenneté se joue donc avant tout dans la nature de l'adhésion de l'individu à l'autorité de l'État : libre et informée, l'adhésion est, paradoxalement, émancipatrice ; contrainte ou reposant sur un malentendu, elle ne peut fonder un régime stable et impose soit une réforme progressive, soit une révolution parfois violente.

Comme celle d'une communauté politique, la constitution d'une communauté scientifique et l'adhésion de l'individu aux paradigmes dominants du moment reposent sur une remise en cause permanente, sans laquelle la science devient dogme. L'histoire des idées scientifiques est aussi celle de la remise en cause systématique des idées apparemment les mieux établies. Il peut s'agir d'une évolution progressive, à mesure que les connaissances se précisent et s'approfondissent au sein d'un paradigme qui, lui, garde une relative permanence ; ou d'un changement brutal lors de ce que Thomas Kuhn (1962/1983) appelle une « révolution scientifique ». C'est une aventure collective séculaire, à laquelle on ne saurait participer sans reconnaître non seulement la valeur du savoir accumulé par les générations précédentes, mais aussi la légitimité du jugement de ses pairs (et *a fortiori*, pour un étudiant, de ses professeurs). Pour autant, le but ultime de toute recherche est de faire avancer le savoir, donc de dépasser celui de ses maîtres.

Nombre d'historiens considèrent même que la science moderne est née de la remise en cause de la notion d'autorité. Ainsi, Pierre Duhem (1917/1979) situe son acte de naissance à la fin du

¹ Estelle Blanquet, maître de conférences, Laboratoire Cultures Éducation Sociétés (LACES), Université de Bordeaux et Centre de Recherches en Histories des Idées (CRHI), Université Nice Sophia Antipolis. Éric Picholle, Institut de Physique de Nice (INPHYNI) et Université Nice Sophia Antipolis, Université Côte d'Azur.

XIII^e siècle, lorsque Étienne Tempier, évêque de Paris et recteur de la Sorbonne, s'émancipe de l'autorité d'Aristote, puissamment réaffirmée par la scolastique de Thomas d'Aquin, et frappe d'interdit 219 propositions (Tempier, 1277), dont plusieurs touchent aux principes millénaires de la physique aristotélicienne (Picholle, 2012). Paradoxalement, Tempier doit pour cela opposer l'autorité à l'autorité, celle de l'Église à celle des Anciens.

D'autres considèrent qu'il faut attendre le XVII^e siècle et que la science moderne naît avec la revendication par Galilée (1623/1989) et Descartes (1637) d'une *méthode* spécifique, dont l'idéal est la rigueur démonstrative des mathématiques et le refus d'admettre sans examen une proposition non démontrée. Cette seconde naissance s'opère également dans l'affrontement, symbolisé par le procès et la condamnation de Galilée, en 1633, sur la question de l'héliocentrisme. Du point de vue philosophique, le *Discours de la Méthode* (Descartes, 1637/2000) n'hésite pas à prôner un « doute hyperbolique » faisant « table rase » de toutes les anciennes certitudes, y compris théologiques ; dans le même temps, l'ouvrage intègre délibérément des leçons magistrales (sur la *Géométrie*, la *Dioptrique*, les *Météores*...) pour mieux permettre à une classe sociale émergente, qui deviendra celle des ingénieurs de l'ère moderne, de s'émanciper de la tutelle des clercs.

Il convient toutefois de noter que la perte d'*autorité* des idées anciennes ne diminue en rien le prestige des Anciens – « Nous sommes des nains juchés sur des épaules de géants », dit Newton (1675) après Bernard de Chartres (Salisbury, 1159). De même, l'histoire des idées politiques ancre souvent ses grands courants paradigmatiques sur la reformulation de notions anciennes. La valeur opératoire d'une théorie peut demeurer longtemps après qu'on la sait dépassée. C'est le cas par exemple de la mécanique newtonienne dont les principes, quoique profondément bouleversés par la relativité restreinte (Einstein, 1905), restent opératoires dans de nombreuses situations. Mieux, la conscience des limites d'une théorie conforte la scientificité de son emploi ; son inclusion dans un nouveau paradigme plus large permet en effet souvent de justifier des principes jusque-là simplement admis. Ainsi en est-il du principe de conservation de la masse de Lavoisier, à la fois justifié par assimilation au principe de conservation de l'énergie et limité par exclusion des réactions nucléaires, inconnues au XVIII^e siècle, dans le cadre du paradigme einsteinien (Bachelard, 1940/2005).

Un rapport ambivalent à l'autorité est donc au cœur de la démarche scientifique. Une formation scientifique doit en effet intégrer, d'une part, un apprentissage de l'appropriation d'un savoir collectif, dûment validé par l'autorité de la communauté scientifique et, d'autre part, un apprentissage de la remise en cause de tout argument d'autorité. Pour autant, la question du rapport à l'autorité scientifique, classique en épistémologie (Feyerabend, 1975/1988), est rarement abordée en ces termes dans la littérature de recherche en didactique des sciences. Celle-ci aborde plutôt cette question en termes de distinction entre faits et interprétation des faits (Lederman et al., 2013, 2014), de compréhension de la nature de la science (par exemple, caractère provisoire des connaissances, Lederman et al., 2002), de rapport à l'expertise sur des sujets socio-scientifiques (Xiao & Sandoval, 2017) ou d'argumentation (Martins et al., 2001).

Nous proposons d'explorer dans cet article comment ce rapport dual à l'autorité se traduit aujourd'hui dans la formation des futurs scientifiques et, plus généralement, des futurs citoyens d'un monde largement informé par la science. Pour cela, après un rapide rappel des deux principales approches utilisées aujourd'hui dans l'enseignement des sciences et au travers de l'exemple de l'héliocentrisme, nous discuterons leur complémentarité et le rôle possible de l'enseignement scientifique pour la construction d'un rapport émancipateur à l'autorité.

1. Deux méthodes pour enseigner les sciences, deux rapports à l'autorité

Une approche classique de l'enseignement consiste à placer des élèves au contact d'un maître plus « savant » qu'eux, les premiers écoutant, prenant des notes, regardant des expériences préparées et exécutées à leur intention, tandis que le second délivre son savoir magistral. On

parle alors de pédagogie transmissive. Cette méthode permet de dispenser rapidement des connaissances à un grand nombre d'élèves présumés aptes à les assimiler. Elle est particulièrement efficace lorsqu'un public homogène maîtrise les bases du sujet traité : chacun met les mêmes choses derrière les mêmes mots (Astolfi, 1992). Dans ces conditions, le transfert de connaissances se réalise sans parasitage. C'est *a fortiori* le modèle de la communication entre pairs des chercheurs. L'univocité des termes utilisés est même parfois revendiquée comme une condition *sine qua non* de la scientificité d'un discours et une garantie de son partage efficace (Brillouin, 1956).

Cette approche transmissive a largement fait ses preuves : la plupart des scientifiques actuels ont suivi un cursus dans lequel elle était largement majoritaire. Mais elle présente également un fort taux de « déchet », une part significative de la population adulte se désintéressant totalement des sciences en dépit de ses années de scolarité obligatoire (45% des personnes interrogées, Eurobaromètre, 2001). D'après le Président de l'Académie des sciences, près de la moitié des enseignants de cycle 3 s'estiment incompetents pour enseigner les sciences (Salençon, 2010) tandis que 15% seulement des Européens s'estiment satisfaits de la qualité des cours de sciences à l'école (Eurobaromètre, 2005). La « situation inconfortable de certains instituteurs à qui l'on demande d'enseigner des matières dans lesquelles ils ne se sentent pas en confiance ou n'ont pas des connaissances suffisantes » serait une des raisons pour lesquelles dans leur enseignement, « l'accent est par conséquent mis plus sur la mémorisation que sur la compréhension » (Rocard, 2007). Le rapport Rocard recommande donc de « concentrer l'enseignement sur les concepts et les méthodes scientifiques plutôt que sur la simple rétention d'informations » en s'appuyant sur un enseignement des sciences basé sur l'investigation.

Les préconisations explicites pour une telle approche de l'enseignement des sciences n'ont fait que se renforcer depuis la fin des années 1980. Elles ont conduit à l'entrée explicite de la « démarche d'investigation » dans les programmes d'enseignement de l'école primaire en 2002 (BOEN, 2002 ; MEN, 2002), jusqu'à constituer un objectif du socle commun de connaissances, de compétences et de culture (BOEN, 2015a). L'enseignement par démarche d'investigation cherche à prendre en compte les idées initiales des élèves (Giordan & de Vecchi, 1994) et à élaborer avec eux un discours commun. Il s'agit avant tout d'induire un questionnement et de le laisser se développer, spontanément mais dans un cadre soigneusement chorégraphié ; la démarche d'investigation encourage tout à la fois la discussion entre pairs, pour élaborer des réponses, et le recours aussi systématique que possible à l'expérimentation pour éprouver les propositions des uns et des autres. L'accent y est mis sur la méthode, la mise à l'épreuve d'une idée, d'une hypothèse, n'étant plus du ressort du seul maître mais un processus collectif, au cours duquel les élèves élaborent les procédures à mettre en œuvre pour les tester. La vérification d'une hypothèse passe autant que possible par son test expérimental dans la classe : « *Comment faire pour savoir ? On essaie !* ». L'enseignant se fait alors guide et accoucheur, plutôt que figure d'autorité détentrice du savoir (Blanquet, 2012). Il conduit ses élèves à s'approprier, sur des thématiques simples, un certain nombre de « bonnes pratiques » scientifiques, à commencer par le refus systématique de l'argument d'autorité et la primauté de l'expérimentation (Blanquet & Picholle, 2017). Les élèves participant à une démarche d'investigation y acquièrent dans un même mouvement connaissances et méthodologie, ainsi que, dans l'idéal, une représentation opératoire de la nature de la science, scolaire du moins.

Les programmes officiels préconisent la démarche d'investigation pour l'enseignement des sciences à l'école primaire, puis dans une moindre mesure au collège et au lycée, « dans l'esprit de La Main à la Pâte ». Au primaire, l'enseignement des sciences introduit « la distinction entre ce qui relève de la science et de la technologie, et ce qui relève d'une opinion ou d'une croyance » (BOEN, 2015b) et cherche à développer l'esprit critique des élèves. Ces objectifs sont affinés et poursuivis au collège : l'élève « comprend que les connaissances qu'il acquiert, mémorise et qui lui sont déjà utiles devront nécessairement être approfondies, révisées et peut-être remises en cause tant dans la suite de sa scolarité que tout au long de sa vie », les thématiques du programme visent « à construire l'autonomie du futur citoyen par le développement de son esprit critique, et lui inculquent les valeurs, essentielles en sciences, de respect des faits, de responsabilité et de coopération » (BOEN, 2015b). Progressivement, les

élèves découvrent de plus en plus de sujets sous forme transmissive. À la compétence « pratiquer des démarches scientifiques » s'ajoutent les compétences « effectuer des recherches bibliographiques » et « lire et comprendre des documents scientifiques ». Il reste à la charge de l'enseignant d'identifier les contenus sur lesquels il mettra en œuvre la démarche d'investigation. Au lycée, s'il s'agit, dans la continuité du collège, de s'assurer que les élèves « ont acquis les compétences de base de la démarche scientifique » qui sous-tend les programmes, les élèves doivent pour cela « pouvoir mobiliser [leurs] connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile, afin de poser les hypothèses pertinentes » (BOEN, 2010, 2017). Un objectif est de leur donner « cette culture scientifique et citoyenne indispensable [...] Le citoyen doit pouvoir se forger son opinion sur des questions essentielles, comme celles touchant à l'humanité et au devenir de la planète. Cela n'est possible que s'il a pu bénéficier d'une formation de base suffisante pour avoir une analyse critique des problèmes posés et des solutions proposées. La science s'avère un instrument privilégié de cette formation parce qu'elle est école de structuration de l'esprit, susceptible d'aider durablement les élèves à observer, réfléchir, raisonner. » (BOEN, 2010, 2017 ; notons que ces textes officiels se gardent bien de définir précisément des termes comme « science » ou « opinion », présumés univoques).

Selon les préconisations des programmes, au fil de son cursus scolaire, un élève-modèle élaborerait donc dans un premier temps un rapport à la science où ce serait le recours à l'observation et à l'expérimentation plutôt que le recours à l'autorité du maître qui permettrait d'asseoir les connaissances, des apports scientifiques plus directs du maître ou issus des manuels scolaires pouvant être inclus lors de la formalisation des conclusions. Progressivement, une part plus substantielle des connaissances serait acquise par des apports directs de l'enseignant ou la lecture de documents scientifiques et historiques, tandis qu'une autre part continuerait d'être acquise par la pratique de démarches scientifiques. Cette combinaison des deux approches pourrait, dans cette logique, inciter les élèves à construire un rapport à l'autorité plus sophistiqué que celui résultant soit d'une approche pédagogique uniquement transmissive – exclusivement fondée sur l'autorité du maître ou des livres – soit d'une approche basée uniquement sur la pratique de démarches scientifiques – pour lesquelles le recours à l'autorité de l'enseignant ou d'un livre pour trouver la réponse marquerait l'échec de la démarche « scientifique » personnelle ou collective. Dans l'esprit des programmes, la pédagogie transmissive serait alors perçue comme une méthode efficace de transmission de connaissances *toujours susceptibles d'être remises en cause*, en principe du moins. L'enseignant y apparaît alors comme le porte-parole d'une communauté scientifique soucieuse de partager ce qu'elle a compris et dont les élèves se sont approprié les modalités de validation des connaissances.

2. Dépasser l'héliocentrisme : un exemple révélateur

■ Problématique

Cette conception idéale de la science scolaire peut apparaître toutefois assez loin de la réalité de terrain, la tentation de l'argument d'autorité semblant encore très présente chez de nombreux enseignants et futurs enseignants, avec le risque de mettre à mal un rapport à la science encore fragile chez leurs élèves. Leur rapport à l'autorité ou à la méthode scientifique reste néanmoins difficile à caractériser. Plusieurs études réalisées par l'équipe de Norman Lederman pointent néanmoins tant des fragilités en termes de compréhension de la nature de la science (par exemple la capacité à prendre en compte l'aspect provisoire des connaissances scientifiques, Lederman et al., 2002) que de compréhension de la démarche scientifique (Lederman et al., 2013, 2014). Ainsi, en fin d'école primaire et à la sortie du lycée, très peu d'élèves s'avèrent capables de résister à la tentation de négliger des données en contradiction avec ce qu'ils croient savoir d'un sujet (Lederman et al., 2018 ; Lederman et al., soumis).

Nous faisons l'hypothèse que la tentation de l'argument d'autorité s'exprime tout particulièrement dès lors que l'on aborde des sujets pour lesquels des conceptions initiales robustes sont renforcées par leur intégration dans la culture commune. Pour tester cette hypothèse, nous considérerons ici l'exemple du système héliocentrique et, après une analyse critique des

programmes, nous procèderons, *via* les réponses de 250 enseignants à un questionnaire, à une estimation quantitative de la proportion d'enseignants susceptibles de céder à cette tentation.

Par ailleurs, l'utilisation de démarches d'investigation pourrait-elle, en présence de forts préjugés initiaux, désamorcer le recours à des arguments d'autorité chez des enseignants ?

Pour répondre à ces questions de recherche, nous analyserons dans un premier temps les obstacles possibles au dépassement de ces arguments d'autorité puis nous décrirons deux séquences en démarche d'investigation conçues par les auteurs pour y remédier. Nous présenterons ensuite l'étude expérimentale menée pour tester l'impact de chacune de ces séquences mises en œuvre de façon isolée puis celui du couplage de ces deux séquences sur l'appropriation du paradigme galiléen par les participants à l'étude. Les résultats obtenus seront discutés au regard des obstacles identifiés *a priori* et des modalités de mise en œuvre. Enfin, nous discuterons de l'impact potentiel d'une telle approche en science, si elle était systématisée, sur la prise de conscience de différents rapports possibles à l'autorité et nous élargirons le propos à la formation du citoyen.

■ **Héliocentrisme vs. polycentrisme**

L'histoire de la querelle copernicienne, qui impliquait les meilleurs astronomes de son temps, montre assez qu'aucun argument immédiat ou aucune observation facile ne suffisent à régler la question de savoir quel astre, de la Terre ou du Soleil, tourne autour de l'autre. Sous une forme plus abstraite, celle-ci restait même encore ouverte jusqu'au tournant du XX^e siècle, où les analyses théoriques de Mach (1883/1987) et d'Einstein (Einstein, 1915 ; Einstein & Infeld, 1936/2009) montrèrent qu'il était effectivement impossible de la trancher expérimentalement, et cela pour des raisons théoriques très profondes. Il est pourtant devenu incontestable pour la plupart des adultes que la seule réponse acceptable à cette question consiste à affirmer que c'est la Terre qui tourne autour du Soleil *et non l'inverse*. Seule une minorité, certes non négligeable, de la population reste pré-copernicienne (typiquement 20% : Crabtree, 1999 ; Eurobaromètre, 2001) et des revues grand public font régulièrement des gorges chaudes des innocents qui répondent que le Soleil tourne autour de la Terre à des sondages délibérément concoctés pour les ridiculiser.

Pour le physicien, les choses ne sont malheureusement pas si simples et, comme aime à le rappeler Jean-Marc Lévy-Leblond (2001, p.98) : « *la science moderne, plus subtile qu'on ne veut bien le dire, n'a pas remplacé le géocentrisme par l'héliocentrisme, mais par le polycentrisme* ». Si pour Copernic comme pour Aristote et Ptolémée il y a bien un centre du monde, leur dispute étant de déterminer lequel, le privilège cesse avec Galilée, pour lequel il est également légitime d'affirmer que, *vu de la Terre*, le Soleil tourne autour d'elle. Lorsque le physicien moderne parle de « mouvement apparent » du Soleil, cela n'a de sens que dans un référentiel explicite – il s'agit de son mouvement *tel qu'il nous apparaît* vu de la Terre, et non d'un mouvement qu'on opposerait à un mouvement supposément « réel » (ou « absolu », au sens de la physique newtonienne, elle aussi obsolète de ce point de vue).

■ **Entre programmes et manuels**

Le programme du CM1 en sciences expérimentales et technologie de 2012 stipulait que les élèves devaient savoir « repérer et comprendre le mouvement apparent du Soleil au cours d'une journée et son évolution au cours de l'année, interpréter le mouvement apparent du Soleil par une modélisation et connaître la contribution de Copernic et Galilée à l'évolution des idées en astronomie ». Il est difficile de déterminer dans quelle mesure cette formulation invitait effectivement à un travail spécifique avec les élèves sur le passage du paradigme copernicien au paradigme galiléen. Les programmes de 2015 attendent désormais des élèves qu'ils sachent « situer la Terre dans le système solaire ». S'ils proposent de « Découvrir l'évolution des connaissances sur la Terre et les objets célestes depuis l'Antiquité (notamment sa position dans l'univers) jusqu'à nos jours », il est attendu que les élèves sachent « décrire les mouvements de la Terre sur elle-même et autour du Soleil », sans précision de référentiel ou de point de vue.

La quasi-totalité des enseignants du primaire impliqués dans une étude interrogeant leur rapport au copernicanisme (cf. intra) et donc, sans doute, si l'on peut admettre que ces derniers en constituent un échantillon représentatif, des enseignants français en général) se satisfont alors d'une leçon purement transmissive et, faisant l'impasse sur la question de la relativité, présentent le modèle héliocentrique comme une évidence incontestée. La plupart des manuels adoptent une position intermédiaire et proposent une démarche d'investigation portant sur des questions astronomiques annexes, mais en appellent finalement plus ou moins ouvertement à un argument d'autorité pour valider le modèle héliocentrique : « *Le déplacement du Soleil dans le ciel d'est en ouest n'est qu'une apparence. En fait c'est la Terre qui tourne sur elle-même* » (Nathan) ; « *Pourtant, tout le monde sait que la Terre tourne sur elle-même. La question est donc : comment les astronomes ont-ils fait pour le savoir ? Le maître explique alors que cette question a été longuement débattue entre les scientifiques et en retrace les grandes étapes historiques (Ptolémée, Copernic, Bradley, Foucault). La conclusion finale est : La Terre tourne sur elle-même* » (Le Pommier).

■ **Tous coperniciens (ou presque)**

S'il s'agit de faire adhérer les élèves au paradigme copernicien, ces approches s'avèrent redoutablement efficaces. Nous l'avons testé en soumettant 250 enseignants du primaire en poste dans les Alpes-Maritimes à un questionnaire (Blanquet & Picholle, 2011) : ils affirment tous sans exception (100%) que la Terre tourne autour du Soleil *et non l'inverse*. Lorsqu'on leur demande comment ils le savent, quelques-uns justifient leur affirmation en parlant de « *mouvement apparent* » du Soleil dans le ciel de la Terre, par opposition à un supposé mouvement *réel* de la Terre autour du Soleil ; mais l'argument est très majoritairement de pure autorité : ils l'ont eux-mêmes appris à l'école (par exemple, « *Parce qu'on me l'a appris. Je crois les scientifiques. Je n'ai pas à tout remettre en cause tout le temps* ») ou de supposé « bon sens ». D'un point de vue épistémologique, ces enseignants adhèrent au paradigme dominant sans le questionner, et sont donc aujourd'hui coperniciens comme leurs lointains prédécesseurs étaient ptoléméens, *mutatis mutandis*.

Une lecture plus fine des résultats de notre enquête consiste à remarquer que, si tous les enseignants interrogés s'avèrent coperniciens, aucun (0%, avant travail spécifique avec les enseignants sur ce sujet), après quatre siècles, n'a vraiment assimilé la révolution de la relativité galiléenne. L'interprétation de ce constat dépasserait le cadre de cet article. Au-delà de la didactique des sciences, les mécanismes cognitifs en cause font *a priori* intervenir aussi bien des considérations sociopsychologiques (l'adhésion au modèle héliocentrique étant valorisée par le groupe) qu'historiques (l'importance de la révolution copernicienne et le procès de Galilée – « *Et pourtant, elle tourne !* », lui fait dire le mythe populaire – faisant partie de la culture commune) et épistémologiques.

■ **Construire un autre rapport à l'autorité**

Notre échantillon étant assez large (250 enseignants), il semble possible de généraliser ces résultats dans une certaine mesure et d'admettre que la grande majorité des enseignants et futurs enseignants français du primaire adhèrent au paradigme copernicien sans le questionner ni *a fortiori* imaginer qu'il puisse être aujourd'hui périmé par le paradigme galiléen (et *a fortiori* einsteinien). Leur rapport à la notion d'héliocentrisme paraît très largement basé sur des arguments d'autorité entendus et acceptés lorsqu'ils étaient enfants à l'école primaire, véhiculés par les médias ou prégnants dans la culture. Faire accéder ces enseignants au paradigme galiléen impliquerait non seulement qu'ils réalisent un saut conceptuel conséquent – passer d'une vision du monde où les mouvements sont absolus à une vision relativiste où la description du mouvement dépend du référentiel choisi – mais surtout qu'ils acceptent de changer de paradigme et donc remettent en cause les arguments d'autorité qui fondaient leur paradigme initial et qu'ils considéraient comme autant d'évidences confortables.

Nous nous contenterons ici d'envisager comment une technique d'enseignement par démarche d'investigation peut aider à dépasser cette double difficulté. Nous discuterons ensuite (section 3) des possibilités qu'elle ouvre pour engager une réflexion avec les enseignants (et à terme leurs élèves) sur leur rapport à l'autorité.

Nous avons donc développé des démarches d'investigation visant à amener les étudiants futurs enseignants du primaire (master MEEF premier degré) à s'approprier la notion galiléenne de *point de vue* (ou de *référentiel*), à apprendre à passer d'un point de vue sur le système solaire à un autre et à s'interroger sur la légitimité de ces différents points de vue.

Les deux premiers enjeux sont classiques en mécanique et, hors contexte astronomique, soulèvent des difficultés réelles mais surmontables. La première, subtile mais bien connue en particulier depuis les travaux d'Edith Saltiel et Jean-Louis Malgrange (1980), est la nécessité de préciser un référentiel avant de pouvoir définir un mouvement, ce que ne font pas explicitement la plupart des démarches d'investigation proposées dans les manuels disponibles. Une autre, purement technique, est d'ordre mathématique (et plus précisément géométrique) : il faut être capable de concevoir et de décrire un mouvement selon différents points de vue. Compte tenu de la simplicité de la configuration (deux sphères à distance pratiquement constante), on sait la surmonter assez facilement sans faire appel à des outils mathématiques inaccessibles à ces enseignants.

Notre première séquence, « Équivalence », les aborde sous l'angle de l'équivalence géométrique des différents modèles imaginables. Ainsi, on peut aussi bien rendre compte de l'alternance du jour et de la nuit en faisant tourner la Terre sur elle-même qu'en gardant le Soleil fixe ou en fixant la Terre et en faisant tourner le Soleil autour d'elle. De même, on peut aussi bien rendre compte de la différence de durée des journées en France et au Cap à une même date en inclinant l'axe de la Terre et en gardant le Soleil fixe ou en fixant la Terre et en déplaçant le Soleil de façon à obtenir un angle identique entre la droite reliant les deux centres et l'axe de la Terre (figure 1), etc.

Figure 1 - Dessins de futurs enseignants du primaire rendant compte de l'équivalence géométrique de l'inclinaison de l'axe de la Terre ou du déplacement du Soleil pour expliquer la différence de durée des journées en France et au Cap

Ce résultat est accepté sans difficulté par les étudiants futurs enseignants pour interpréter des observations d'ordre astronomique (alternance jour/nuit, phénomène des saisons, etc.) à partir de modèles analogiques basés sur une boule de polystyrène tournant autour d'une lampe (et réciproquement). En revanche, lorsqu'arrive le moment, en fin de séquence, de le *formuler* en termes de rotation de la Terre autour du Soleil et, surtout, du Soleil autour de la Terre, il se heurte à l'idée qu'un seul de ces mouvements est légitime et une formulation contraire à la vision copernicienne ne « passe » plus. Un travail spécifique sur l'équivalence géométrique et l'introduction de la notion de point de vue ne suffit donc pas à modifier significativement la posture copernicienne des étudiants.

Partant de l'hypothèse que l'obstacle épistémologique en cause pouvait être de même nature que celui que rencontraient au XVII^e siècle les promoteurs du modèle copernicien, confrontés à la légitimité exclusive du point de vue terrestre, nous nous sommes donc inspirés de la stratégie

développée à cet effet par Johannes Kepler : exploiter l'effet de *dépaysement* induit par la fiction (Suvin, 1977) pour emporter l'acquiescement du lecteur. Dans un court roman, *Le Songe, ou Astronomie Lunaire* (Kepler, 1609, publication posthume 1634/1984), l'auteur emmène donc le lecteur sur la Lune qu'il lui fait voir du point de vue de ses habitants ; une fois ce procédé science-fictionnel accepté, il suffit de lever les yeux pour observer la Terre (que ses Lunatiques appellent *Volva*) dans le ciel lunaire – qu'on voit aussi d'un point de vue lunaire, donc extra-terrestre. Le point de vue terrestre n'est donc pas seul légitime.

Nous avons donc développé une seconde séquence travaillant explicitement la légitimité de différents points de vue astronomiques. Cette séquence, dite « Kepler », repose sur une illustration réaliste dans laquelle la Terre apparaît au centre d'un cadre fixé sur la Lune (Manchu, 1989 ; figure 2) ; la démarche d'investigation proprement dite porte sur les phases de la Terre et son (absence de) mouvement apparent tels qu'on pourrait les observer depuis la Lune, avec une insistance particulière sur les notions de point de vue et d'observateur (Blanquet, 2011).

Figure 2 - La Terre encadrée, Manchu (1989)

De nouveau, et de façon symétrique au cas précédent, on observe que la quasi-totalité des étudiants admettent sans difficulté la légitimité du point de vue lunaire, mais que cette séquence seule n'affecte pas significativement leur copernicanisme foncier (pour plus de 90% d'entre eux, Blanquet & Picholle, 2012).

On observe en revanche que selon l'enseignant, 30 à 50% des étudiants ayant travaillé successivement d'abord la séquence « Kepler », puis la séquence « Équivalence », franchissent alors le pas du relativisme galiléen. La nécessité de la combinaison des deux séquences s'interprète assez naturellement : sans une maîtrise personnelle de la géométrie permettant de comprendre l'équivalence formelle de la rotation d'un objet autour d'un autre, ou réciproquement, les étudiants doivent faire appel à un argument d'autorité : dans un problème d'astronomie, le plus simple est d'adopter directement celui du paradigme dominant ; en revanche, la démarche d'investigation les affranchit de ce besoin. Inversement, cette simple équivalence mathématique n'entraîne pas l'égale légitimité des points de vue et, sans travail personnel sur ce point, c'est encore l'autorité du paradigme dominant qui fait foi.

Notons toutefois que cette expérience s'accompagnait chez certains étudiants de réactions émotionnelles inhabituellement fortes après une démarche d'investigation. En l'occurrence, ces dernières étaient majoritairement résolues par un retour magistral sur l'histoire des sciences et l'évolution des paradigmes et des principes qui les sous-tendent – donc d'une certaine façon par la possibilité d'un recours à un nouvel argument d'autorité associé par exemple au prestige d'Albert Einstein. Certains étudiants ont tenu en revanche à exprimer le caractère libérateur de

l'exercice, qui levait une tension pénible entre leur observation personnelle du mouvement du Soleil dans le ciel et leur adhésion obligée à sa négation. D'autres en revanche refusaient de se départir de l'idée qu'il *devait* y avoir, quelque part, un mouvement privilégié, une vérité univoque, une autorité scientifique incontestable sur la question – même si le formateur lui-même pouvait l'ignorer...

3. Grands débats et petites facilités

Les principes pédagogiques à l'origine de la démarche d'investigation semblent donc permettre des mises en œuvre relativement efficaces pour aider les étudiants à dépasser des conceptions initiales puissamment confortées par le contexte culturel ou la trace de passions comme celles, d'ordre religieux, qui s'exprimaient lors de la querelle copernicienne.

Plus précisément, notre étude met en évidence la difficulté qui consiste pour chacun à admettre *a priori* la *légitimité* d'une proposition en contradiction avec son propre jeu de principes – physiques dans l'exemple considéré plus haut, mais éventuellement aussi bien métaphysiques, voire esthétiques. Une telle admission est pourtant la condition *sine qua non* de son examen rationnel. Elle est notamment indispensable pour se donner les moyens de réfuter objectivement, *a posteriori*, la position adverse.

L'importance d'une approche duale de l'autorité d'un discours d'apparence scientifique ne se limite pas au champ des sciences expérimentales. Ainsi, des pans entiers du vocabulaire politique du domaine des sciences sociales et humaines peuvent leur être empruntés. Mais tous les emprunts ne sont pas légitimes, et la récente polémique sur « l'imposture intellectuelle » qu'ils constituent parfois montre aussi l'importance d'un rapport vigilant à l'autorité dans ces domaines (Bouveresse, 1999). Les exemples d'erreurs de raisonnement, de facilités abusives ou de contresens dommageables sont, *a fortiori*, très nombreux en politique. À l'heure des sites d'information quasi instantanée, gratuite et générale, tels que *Wikipédia*TM, il y a aujourd'hui une propension à confondre la partie avec le tout, les « petites phrases » pseudo-philosophiques d'un auteur avec l'expression substantielle de sa pensée. La simplification cède trop souvent la place à un simplisme dévastateur.

Plus généralement encore, on retrouve dans la formation du citoyen et l'apprentissage de la gestion de son rapport à l'autorité politique une dualité similaire à celle qui caractérise le rapport à l'autorité scientifique. D'un côté, « devenir élève », comme le préconisent les programmes dès l'école maternelle, c'est comprendre que l'on n'est qu'une partie d'une collectivité dont il faut connaître, comprendre et accepter les règles. Le socle commun de connaissances, de compétences et de culture attend de l'élève qu'il « acquière la capacité à juger par lui-même, en même temps que le sentiment d'appartenance à la société » (BOEN, 2015a). Cette exigence ne fera que se renforcer et se complexifier et c'est l'ensemble des lois de la Nation, et même du Contrat Social (Rousseau, 1762), que le citoyen majeur devra, idéalement, savoir s'approprier et respecter. Mais, d'un autre côté, il lui appartiendra également de se forger une évaluation personnelle du fonctionnement de l'État et de déterminer par son vote s'il désire maintenir à leurs postes les détenteurs de l'autorité politique exécutive et les législateurs ou au contraire la confier à d'autres. Consentir à la tutelle de la loi, pour le citoyen émancipé d'une démocratie moderne, c'est s'interdire de les violer par ses actes mais en aucun cas s'interdire de les remettre en cause, voire de militer pour la réforme ou l'abrogation de tel ou tel principe politique ou légal. Ainsi que le rappellent les programmes, « la conception républicaine de la citoyenneté insiste à la fois sur l'autonomie du citoyen et sur son appartenance à la communauté politique formée autour des valeurs et principes de la République. Elle signale l'importance de la loi et du droit, tout en étant ouverte à l'éthique de la discussion qui caractérise l'espace démocratique » (BOEN, 2018).

Pour être pleinement acteur de sa société, le citoyen moderne doit – sans bien sûr verser dans le rejet de l'ordre établi ou le choix, forcément restrictif, de la révolte – prendre ses distances avec

les connaissances apparentes, facilement accessibles, pour entamer un processus d'identification des schémas ou des mécanismes politiques. Ce juste milieu entre lucidité et participation continuée au corps social, une solide culture historique et scientifique, dont il est l'acteur et non le simple réceptacle, et une appropriation authentique d'une démarche scientifique (BOEN, 2017) pourraient selon nous le lui permettre. On peut considérer qu'il n'y a pas de démocratie moderne, comme il n'y a pas de science moderne, sans rapport mature à l'argumentation et à l'autorité.

Pour autant, il ne s'agit pas ici d'affirmer une quelconque équivalence entre autorité scientifique et autorité politique. Là où la première tire sa légitimité de critères et de procédures explicites pour la validation des connaissances admises par la communauté scientifique, mais aussi pour leur remise en question (Popper, 1989), la légitimité de l'autorité politique est fondée en dernier recours (en démocratie du moins) sur le vote majoritaire, plutôt que sur la valeur intrinsèque des propositions considérées. La vision cartésienne du doute hyperbolique, de l'émancipation individuelle à l'égard de tous les préjugés et de tous les arguments d'autorité, à la base de la science moderne comme, dans une certaine mesure, de l'idéal politique des Lumières, reste quant à elle un chantier toujours renouvelé.

Conclusion

Les principes pédagogiques à l'origine de la démarche d'investigation semblent donc confortés par la possibilité d'aider efficacement les étudiants à dépasser des conceptions initiales puissamment renforcées par le contexte culturel ou la trace de passions comme celles, d'ordre religieux, qui s'exprimaient lors de la querelle copernicienne.

Nous espérons que l'exemple du système héliocentrique a permis de souligner l'importance du rapport individuel à l'autorité. Être capable tout à la fois d'entendre tous les arguments en présence, mais aussi d'identifier chez de soi-disant « experts » des arguments de faux « bon sens » ou de pure autorité pourrait bien être la marque de « l'honnête homme » du XXI^e siècle (OCDE, 2007). À cet égard, l'enseignement des sciences aujourd'hui proposé aux futurs enseignants du primaire paraît insuffisant pour les rendre critiques vis-à-vis des arguments employés pour les convaincre que c'est la Terre qui tourne autour du Soleil (et sur elle-même) *et non l'inverse*. La combinaison d'approches transmissives avec les séquences en démarche d'investigation présentées et conçues spécifiquement pour déstabiliser ces arguments apparaît susceptible de leur faire changer de paradigme.

Il reste à déterminer si la mise en œuvre récurrente de cette complémentarité au cours de la scolarité améliorerait effectivement l'appropriation par les élèves du discours scientifique et de son rapport à l'autorité – donc d'un aspect essentiel de la nature de la science (Lederman et al., 2013 ; Blanquet & Picholle, 2017). Plus particulièrement, intégrer un travail explicite avec les élèves (Khishfe et al., 2012 ; Blanquet, 2014) sur le rapport à l'autorité qu'entretient la communauté scientifique à l'autorité pourrait bien contribuer à sa compréhension. Il restera *a fortiori* à déterminer s'ils peuvent effectivement transférer ce rapport dual à l'autorité scientifique vers d'autres types d'autorités, politiques en particulier.

Un travail spécifique sur les discours d'autorité scientifique, associant en complémentarité pédagogie transmissive et démarche d'investigation, n'en apparaît pas moins déjà comme un outil original venant s'ajouter à la panoplie des sciences de l'éducation et plus précisément des didactiques. Un tel travail pourrait aisément s'intégrer aux formations existantes des enseignants à la démarche d'investigation, en explicitant le rapport à l'autorité qu'elles impliquent. Si, dans le cas de démarches expérimentales, elles reposent sur le refus de tout argument d'autorité, c'est plus subtil dans le cas où les démarches d'investigation font appel à des modélisations ou ont recours à des documents scientifiques : confronter explicitement le rapport à l'autorité de ces approches en démarche d'investigation à celui des approches plus transmissives pourrait faciliter

la prise de conscience de la part des enseignants des enjeux ambitieux des programmes scolaires.

L'objet de ce qui précède était de soumettre à l'épreuve d'une étude de cas concrète l'idée séduisante d'une éducation scientifique envisagée comme un puissant moteur pour la construction d'un rapport dual à l'autorité. Au même titre que la compréhension de la méthode scientifique de base, le rapport dualiste à l'autorité qu'elle véhicule et promeut pourrait préparer l'enfant à affronter la société, à s'admettre en tant qu'individu pensant, et constituer un précieux vade-mecum pour le citoyen qu'il deviendra. L'exemple du traitement de l'héliocentrisme dans les manuels nous conduit toutefois à y apporter un bémol, malheureusement sans grande originalité : il n'y a pas loin du Capitole à la roche Tarpéienne, et de la démarche d'investigation au cautionnement indirect d'un argument d'autorité qui a, lui, fait ses preuves comme outil d'oppression plutôt que d'émancipation.

Bibliographie

ARISTOTE (384-382 a.e.c./ 1995), *La Politique*, Paris, Vrin.

ASTOLFI Jean-Pierre (1992), *L'école pour apprendre*, Paris, ESF éditeur.

BACHELARD Gaston (1940/2005), *La Philosophie du non*, Paris, Presses Universitaires de France.

BLANQUET Estelle & PICHOLLE Éric (2011), « Challenging pre-Galilean misconceptions through alternative visualizations », *Actes de la Conférence ESERA 2011*, En ligne <https://www.esera.org>

BLANQUET Estelle & PICHOLLE Éric (2012), « Démarche d'investigation, pédagogie frontale et principe d'autorité : l'exemple du système héliocentrique », communication présentée au colloque *Formes d'éducation et processus d'émancipation*, 22-24 mai 2012, Rennes (France).

BLANQUET Estelle & PICHOLLE Éric (2017), « L'explication d'éléments de scientificité : un outil épistémologique *bottom-up* pour la démarche d'investigation à l'école primaire », dans Manuel Bächtold, Viviane Durand-Guerrier, Valérie Munier (dir.), *Épistémologie & didactique. Synthèses et études de cas en mathématiques et en sciences expérimentales*, Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté, p.221-234.

BLANQUET Estelle (2011), « Astronomie et mouvement relatif : sortir du cadre », dans Estelle Blanquet et Éric Picholle (dir.), *Science et fictions à l'école, un outil transdisciplinaire pour l'investigation ?*, Nice, Somnium, p.149-177.

BLANQUET Estelle (2012), « Faire et refaire : varier les paramètres d'une expérience pour formuler une loi plus robustes », dans Brigitte Amory et Thierry Evrard (dir.), *Réveille-moi les sciences ! Apprendre les sciences de 2 1/2 à 14 ans*, Bruxelles, De Boeck, p.45-55.

BLANQUET Estelle (2014), *La construction de critères de scientificité pour la démarche d'investigation : une approche pragmatique pour l'enseignement de la physique à l'école primaire*, Thèse de doctorat, Université de Genève et Université de Nice, En ligne <https://archive-ouverte.unige.ch>

BULLETIN OFFICIEL DE L'ÉDUCATION NATIONALE (BOEN) (2002), *Horaires et programmes de l'enseignement primaire*, Numéro hors série n°1, Paris, Ministère de l'Éducation nationale

- (2010), *Programmes d'enseignement de la classe de seconde*, Numéro spécial Volume 4, Paris, Ministère de l'Éducation nationale.
- (2012), *École primaire, Programme d'enseignement : modification, n°1*, Paris, Ministère de l'Éducation nationale.
- (2015a), *Socle commun de connaissances, de compétences et de culture*, décret n°2015-372 du 31 mars 2015, Journal Officiel du 2 avril 2015, NOR : MENE1506516D.
- (2015b), *Programmes d'enseignement du cycle des apprentissages fondamentaux (cycle 2), du cycle de consolidation (cycle 3) et du cycle des approfondissements (cycle 4)*, Numéro spécial n°11 du 26 novembre 2015, Paris, Ministère de l'Éducation nationale.
- (2017), *Seconde générale et technique. Aménagement des programmes de mathématiques et de physique-chimie*, circulaire n°2017-082 du 2 mai 2017, NOR : MENE1712512C.

- (2018), *Programme d'enseignement moral et civique*, arrêté du 17 juillet 2018, Journal Officiel du 21 juillet 2018, NOR : MENE1820170A.

BOUVERESSE Jacques (1999), *Prodiges et vertiges de l'analogie*, Paris, Raisons d'Agir.

BRILLOUIN Léon (1956/1988), *Science and Information Theory*, New York, Academic Press / *La Science et la théorie de l'information*, Paris, Jacques Gabay.

DESCARTES René (1637/2000), *Discours de la Méthode*, Paris, Flammarion.

CRABTREE Steve (1999), « New Poll Gauges Americans' General Knowledge Levels », Washington, Gallup, En ligne <http://www.gallup.com>

DUHEM Pierre (1917/1919), *Le Système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, Tome 5, Paris, Hermann.

EINSTEIN Albert (1905), « Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt », *Annalen der Physik*, vol.17, n°6, p.132-148, doi : 10.1002/andp.19053220607

EINSTEIN Albert (1915), « Grundgedanken der allgemeinen Relativitätstheorie und Anwendung dieser Theorie in der Astronomie », *Preussische Akademie der Wissenschaften, Sitzungsberichte*, Berlin, Académie des sciences de Prusse, p.315.

EINSTEIN Albert & INFELD Léopold (1936/2009), *L'évolution des idées en physique : des premiers concepts aux théories de la relativité et des quanta*, Paris, Flammarion.

EUROBAROMETRE 55.2 (2001), *Les Européens, la science et la technologie*, Bruxelles, Commission européenne, En ligne <http://ec.europa.eu>

EUROBAROMETRE 224 (2005), *Les Européens, la science et la technologie*, Bruxelles, Commission européenne, En ligne <http://ec.europa.eu>

FEYERABEND Paul (1975/1988), *Contre la méthode*, Paris, Seuil.

GALILÉE (1623/1989), *L'essayeur*, Paris, Belles lettres.

GIORDAN André & DE VECCHI Gérard (1994), *Les origines du savoir : des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé.

KEPLER Johannes (1634/1984), *Somnium, seu Opus Posthumum de Astronomia Lunari; Kepler's Somnium, Le Songe ou astronomie lunaire*, Nancy, Presses universitaires de Nancy (traduction de Michèle Duclos).

KHISHFE Rola & ABD-EL-KHALICK Fouad (2002), « Influence of Explicit and Reflective versus Implicit Inquiry-Oriented Instruction on Sixth Graders' Views of Nature of Science », *Journal of Research in Science Teaching*, vol.39, n°7, p.551-78.

KUHN Thomas S. (1962/1983), *La structure des révolutions scientifiques*, Paris, Flammarion.

LEDERMAN Norman G., ABD-EL-KHALICK Fouad, BELL Randy L. & SCHWARTZ Renée (2002), « Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science », *Journal of Research in Science Teaching*, vol.39, n°6, p.497-521.

LEDERMAN Norman G., LEDERMAN Judith S. & ANTINK Allison (2013), « Nature of Science and Scientific Inquiry as Contexts for the Learning of Science and Achievement of Scientific Literacy », *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, vol.1, n°3, p.138-147.

LEDERMAN Judith S., LEDERMAN Norman G., BARTOS Stephen A., BARTELS Selina L., MEYER Allison A. & SCHWARTZ Renee S. (2014), « Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry. The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire », *Journal of Research in Science Teaching*, vol.51, n°1, p.65-83, doi :10.1002/tea.21125

LEDERMAN Judith S., LEDERMAN Norman G., BARTELS Selina, JIMENEZ Juan P., AKUBO M., ALY S., ... ZHOU Q. (2018, à paraître), « An international collaborative investigation of beginning seventh Grade students' understandings of scientific inquiry: Establishing a baseline », *Journal of Research in Science Teaching*.

- LÉVY-LEBLOND Jean-Marc (2001), « Science, culture et public : faux problèmes et vraies questions », *Quaderni*, volume 46, p.95-103, En ligne <http://www.persee.fr>
- MACH Ernst (1883/1987), *La Mécanique. Exposé historique et critique de son développement*, Paris, Jacques Gabay.
- MANCHU (1989), *[Science]Fiction*, Paris, Delcourt.
- MARTINS Isabel, MORTIMER Eduardo, OSBORNE Jonathan, TSATSARELIS Charalampos & JIMÉNEZ Alexandre Maria Pilar (2001), « Rhetoric in Science Education », dans H. Behrendt et al., *Research in Science Education. Past, present and Futur*, Springer, Dodrecht, p.189-198.
- MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE (2002), *Enseigner les sciences à l'école. Outil pour la mise en œuvre des programmes 2002*, Paris, CNDP.
- NEWTON Isaac (1675), Letter from Sir Isaac Newton to Robert Hooke, *Historical Society of Pennsylvania*, Collection Simon Gratz, n°9792, En ligne <https://archive.fo/gwDJD>
- ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES (2007), *Improving the Dialogue with Society on Scientific Issues*, En ligne <http://www.oecd.org>
- PICHOLLE Éric (2012), « En suivant le doigt de Copernic... », dans Ugo BELLAGAMBA, Éric PICHOLLE et Daniel TRON (dir.), *Les Subjectivités collectives*, Nice, Somnium, coll. « Sciences & Fictions à Peyresq n°3 », p.147-160.
- PLATON (ca. 315 a.e.c.), *La République*, Paris, Flammarion.
- POPPER Karl R. (1989), *La Quête inachevée (Unended quest)*, 1986), Paris, Pocket.
- ROCARD Michel (2007), *L'Enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe*, Bruxelles, Commission européenne, En ligne <http://ec.europa.eu>
- ROUSSEAU Jean-Jacques (1762/2011), *Du Contrat social ou Principes du droit politique*, Paris, Flammarion.
- SALENÇON Jean (2010), Allocution d'introduction du colloque *Cultiver la science. La formation continue des professeurs enseignant les sciences*, avril 2010, Paris (France).
- SALISBURY Jean de (1159), *Metalogicus*, Documenta Catholica Omnia, livre III, chapitre 4, En ligne <http://www.documentacatholicaomnia.eu>
- SALTIEL Edith & MALGRANGE Jean-Louis (1980), « "Spontaneous" ways of reasoning in elementary kinematics », *European Journal of Physics*, n°1, p.73-80.
- SUVIN Darko (1977), *Pour une poétique de la science-fiction*, Québec, Presses Universitaires du Québec.
- TEMPIER Etienne (1999), *La Condamnation parisienne de 1277*, Paris, Vrin.
- XIAO Sihan & SANDOVAL William A. (2017), « Associations Between Attitudes Towards Science and Children's Evaluation of Information About Socioscientific Issues », *Science & Éducation*, vol.26(3-4), p.247-269, doi.org/10.1007/s11191-017-9888-0