

Le procès de Galilée

La démarche du procès de Galilée a été inventée pour des élèves d'IUFM et expérimentée avec eux . Le premier moment de cette contribution à deux voix en présente les enjeux ainsi que le déroulement. Le second en illustre une application en Terminale dans le cadre d'un cours interdisciplinaire.

Première partie : Le procès en formation initiale des instituteurs

Claude Billard

Cette série d'activités proposées en formation initiale, et lors de stages d'astronomie en formation continue des maîtres du premier degré, constitue une démarche globale ayant pour but **d'élaborer le concept de « rupture épistémologique »**, d'en explorer les enjeux et d'en examiner les conséquences pédagogiques au niveau de l'école élémentaire.

Premier moment : que savez-vous du procès de Galilée ?

Ce moment d'écriture individuelle et silencieuse n'a pas seulement une fonction de test de niveau, car inviter à afficher toutes les réponses fait découvrir leur troublante diversité, ce qui conduit à une prise de conscience, indispensable au déroulement des activités ultérieures, concernant le statut du savoir. Une distinction peut déjà apparaître, certes, entre l'erreur et la vérité, mais aussi entre un faux savoir, fondé sur des réminiscences mal digérées et un vrai savoir conscient des enjeux théoriques et pratiques du contenu mémorisé.

Deuxième moment (phase magistrale) : sur le procès de 1633

L'exposé magistral donne des informations, évidemment non exhaustives, mais suffisamment précises pour:

- redresser les premières erreurs de mémoire et répondre aux ignorances manifestes.
- expliciter les enjeux philosophiques d'une crise fondamentale et fondatrice de l'esprit scientifique, où s'affrontent des conceptions du monde symbolisées par la cosmologie ptolémaïque issue d'Aristote et la cosmologie copernicienne défendue par Galilée. En outre la réécriture rétrospective de l'histoire des théories à partir de la condamnation de l'Inquisition dramatise en quelque sorte ce qui est réellement enjeu dans l'événement, à savoir:

du côté de l'aristotélisme

- une conception du monde où la physique ne se distingue pas de la métaphysique, où les principes d'organisation de la matière et les lois de la mécanique se déduisent de la théologie: primat du rectiligne dans le monde sublunaire, souveraineté du cercle dans le supra lunaire, premier moteur immobile, nécessité d'agents moteurs (invisibles) pour rendre compte des mouvements célestes.
- un monde pénétré de sens : un sens qui s'inscrit littéralement dans la structure hiérarchisée de l'univers et qui permet de comprendre à la fois la centralité du point de vue humain et l'orientation théocentrique de l'ensemble.
- une conception dualiste séparant la physique terrestre de la théorie du ciel : dans le supra lunaire l'astronomie ne peut être qu'une géométrie descriptive, car il est impossible d'atteindre la quintessence céleste. (annexes 1 et 2)¹
- une conception de la science astronomique comme description des apparences dont le programme peut se résumer dans cette maxime : "Sauver toutes les apparences". Lorsqu'un fait contredit la prévision

1. Les annexes constituent des documents (textes, schémas...) distribués aux participants des jeux de rôle. Nous nous contentons ici d'en donner les références bibliographiques, évidemment non exhaustives.

Annexe 1 : cosmologie d'Aristote , J. Gapaillard, *Et pourtant elle tourne !*, Seuil 1993, p.84.

Annexe 2 : J.P.Longchamp, *L'affaire Galilée*, Archives Gallimard, 1975, p.10.

théorique on complique la description mais on ne change pas la théorie. Pour rendre compte du mouvement paradoxal des planètes –« astres errants »- qui tantôt avancent et tantôt reculent, Ptolémée imagine tout un attirail d'épicycles, de cercles déferents et d'excentriques mobiles. Cela permet en tous cas une prévision rigoureuse des stations, régressions et autres mouvements planétaires, pendant des siècles.

- un mode « œcuménique » d'intégration des systèmes illustré par le baptême chrétien d'Aristote réalisé par le thomisme : dans le dessin en « pelure d'oignon » de la cosmologie d'Aristote les anges chrétiens servent d'agents moteurs aux sphères célestes, dans l'ordre hiérarchique suivant: les anges, les archanges, les principautés, les puissances, les vertus, les dominations, les trônes, les chérubins et les séraphins, pour finir, sur la sphère des fixes.

- une manière plus « politique » d'articulation des théories avec le système mixte de Héraclide et de Tycho-Brahé auquel se rallièrent certains Jésuites : le soleil est le centre du système planétaire, à cette différence qu'il tourne lui-même autour de la Terre, planète exceptionnelle et centrale (annexe 3)²

du côté du Copernic galiléen

- une conception cosmologique analogue à la « pelure d'oignon » de l'ancienne théorie, mais qui entre en rupture avec l'apparence céleste qui devient une illusion de la perception.

- une théorie qui intègre, en principe sans complication inutile, les faits contradictoires de l'ancienne théorie : l'illusion de l'errance planétaire s'explique sans épicycles par un effet de perspective dû à la simultanéité de mouvements planétaires animés de vitesses différentes. (annexe 4)³

- un système scientifique fondé sur l'observation des phénomènes à travers une instrumentation technique qui ouvre à la pensée des horizons insoupçonnés par l'œil humain: la lunette révèle les phases de Vénus, les lunes de Jupiter, les irrégularités du sol lunaire, les taches solaires. Les corps célestes perdent leur quintessence et ressemblent à la terre. À moins que ce ne soit la Terre qui leur ressemble.

Troisième moment : refaire le procès de Galilée

1) jeu de rôle (première partie)

On nous dira que la cause est entendue. Ce n'est pas si sûr. Il s'agit maintenant d'inventer un procès fictif, qui n'a historiquement jamais eu lieu, mais où se trouveront convoqués des témoins disparus déjà en 1633 mais ressuscités pour les besoins de la cause par quelque miracle de la divine Providence.

Le but de cette activité est de **prendre conscience des dimensions réelles de la «révolution copernicienne»** qui ne commence pas à vrai dire avec Copernic et qui ne se termine ni avec lui, ni même avec Galilée. Il s'agira d'explorer dans son extension temporelle le champ de la « rupture » révolutionnaire. On s'apercevra qu'elle n'éclate pas comme un orage soudain dans un ciel clair, mais qu'elle émerge le long de périodes transitoires de longue durée.

Un autre intérêt peut résider dans **la découverte de la spécificité du texte dit « scientifique »**. Ses éléments, quoique coexistants dans l'actualité d'une écriture, ne se situent pas tous à la même heure. Certains relèvent d'une conception déjà dépassée ou en voie de l'être, d'autres s'inscrivent dans la nouveauté. La « coupure » entre le neuf et l'ancien n'est pas en réalité aussi absolue que la distinction de l'« idéologique » et du « scientifique » dans une épistémologie positiviste prisonnière d'une conception dogmatique et quelque peu idéaliste de la raison. La rupture peut fort bien s'élaborer au moyen d'un langage tributaire dans ses concepts- ou ses métaphores- aussi bien que dans son type d'argumentation de modes de pensée avec lesquels elle entre précisément en contradiction.

La question est justement de savoir ce qu'il y a de véritablement « copernicien » dans Copernic et de révolutionnaire chez Galilée.

Six acteurs animeront le procès

Nicolas de Cues, Giordano Bruno, Nicolas Copernic, Galileo Galiléi, un Inquisiteur, et « un avocat du diable » (annexe 5)⁴

2. Annexe 3 : textes de Tycho-Brahé, Lonchamp , p18, Gapaillard, p.124

3. Annexe 4 : les mouvements apparents des planètes : Gapaillard, p.104

G. Bruno : ce moine brûlé comme hérétique 57 ans après la publication des « Révolutions » de Copernic révèle une fulgurante conception de la pluralité et de l'infinité des mondes, de la relativité des perspectives élaborée au sein d'un théocentrisme mystique (annexe 6⁵).

N. de Cues : ce cardinal de l'Eglise Romaine détruit le cosmos hiérarchisé et le cosmos clos d'Aristote, met en question le dogme du cercle souverain et affirme la mobilité terrestre dans un langage totalement théocentrique (annexe 7)⁶

N. Copernic : on découvre, malgré la nouveauté du point de vue, relative si on se réfère à Aristarque de Samos ou Philolaos, et les bonnes approximations de la durée des révolutions annuelles, une argumentation de type aristotélicien et même pythagoricien, ainsi qu'un géocentrisme paradoxal puisque le centre de l'orbite terrestre est réellement le centre du monde. (annexes 8 et 9)⁷

L'inquisiteur : il révèle une argumentation aristotélicienne et scolastique sur la physique, une herméneutique rigoureusement littérale en théologie et une réoccupation de la conservation politique de la chrétienté. (annexes 10 et 11)⁸

G. Galilée : la nouveauté réside dans l'esprit de la méthode expérimentale fondée sur le doute méthodique et l'observation instrumentée, le rejet de la référence absolue aux livres d'Aristote, ainsi que dans une herméneutique biblique fondée sur le sens symbolique. Il en résulte un partage nouveau des compétences entre le philosophe et le théologien entre le champ des vérités physiques et celui des vérités morales. (annexe 12)⁹

L'avocat du diable : il peut être joué avantageusement par l'animateur, qui révélera la nature machiavélique du personnage, en introduisant, au dernier moment, des témoins nouveaux au profit de l'accusation. Ce qui veut dire que cet avocat est en fait au service du Vatican.

Les chocs du procès

Le personnage de Galilée, idéalisé par l'hagiographie humaniste et laïque, se révèle plus complexe que prévu : pas aussi révolutionnaire qu'on le pensait et pas aussi fidèle à ses principes qu'on le souhaiterait

Trois chocs principaux peuvent se produire au cours de ce procès fictif :

1) le caractère quasi contemporain des théories de Bruno ou De Cues dévoile une idée du monde d'une nouveauté plus radicale que le copernicanisme. Cette découverte permet de s'interroger sur le statut de ces intuitions dites « prémonitoires » reconstituées rétrospectivement à partir des idées actuelles. Ainsi la notion d'univers « interminé », que Cues déduisait logiquement de sa conception de la divinité créatrice, remplit-elle la fonction de préfiguration des cosmologies expansionnistes contemporaines.

2) l'aristotélisme foncier de Copernic : l'univers aristotélicien s'est élargi mais demeure enserré dans les limites de la sphère des fixes. La théorie copernicienne, fondée sur le calcul, ne peut intégrer des observations que l'optique de l'époque ne peut réaliser. Il en résulte une argumentation de type rhétorique fondée sur la logique aristotélicienne et aussi sur les principes de sa physique théorique. Le primat du mouvement circulaire amène le Chanoine à situer le centre de l'orbite terrestre, non pas au centre du soleil physique, mais à son voisinage, c'est à dire au centre géométrique de l'orbite terrestre. Ce centre reçoit le statut privilégié de centre absolu du cosmos. La question se pose de savoir si l'on est réellement sorti du géocentrisme.

3) le choc sera peut-être plus brutal avec l'accusé. Les documents distribués (annexe 12)⁹ illustrent parfaitement la représentation historique du personnage, défenseur courageux de l'esprit de libre examen, attentif aux phénomènes naturels, et observateur sourcilieux.

4. Annexe 5 : Les acteurs de la révolution copernicienne, de De Cues à Laplace (dates et œuvres principales).

5. Annexe 6 : textes de Giordano Bruno, extraits de A. Koyré, PUF, p.46 à 56 et de Giordano Bruno, *L'infini, l'univers et les mondes*, Berg international 1987.

6. Annexe 7 : textes de Nicolas de Cues, Koyré, *Du monde clos à l'univers infini*, p.7 à 26

7. Annexes 8 et 9 : textes de Copernic, Koyré, p.37, Lonchamp, p.10, Gapaillard, p. 103. ; textes de Philolaos, Gapaillard, p.42

8. Annexes 10 et 11 : textes des aristotéliciens, Lonchamp p.23, 41, 43, Namer, p.23 à 26, 65,66, 95 à 97, 133. Procès de 1633 : Maury, p.136 à141, Namer, p.199 à 202, 208 à 226.

9. Annexe12 : textes de Galilée, Maury, p 148 à153, Namer, p.110, 111, 113 à 115, 181,182.

Il revient donc à l'"avocat du diable" (en l'occurrence l'auxiliaire de l'Inquisition) de démystifier cette image.

- d'abord en montrant que les aristotéliens ont raison du point de vue de l'expérience livrée à l'observation. Mais il ne s'agit pas seulement ici d'une défense et illustration des apparences sensibles, car la théorie aristotélienne du mouvement structure l'expérience de manière cohérente et exhaustive. Des preuves nombreuses existent montrant qu'un mouvement n'est réel que s'il se voit: un mobile se meut, un immobile ne se peut pas ; cette perle du « bon sens » explique la supériorité de l'aristotélisme sans qu'il soit nécessaire d'en appeler au terrorisme intellectuel des universitaires et des théologiens. D'ailleurs les aristotéliens recourent eux-mêmes au dispositif expérimental - même s'il s'agit d'une « expérience de pensée »- lorsque le besoin s'en fait sentir au cours du débat.

Ils utilisent de cette manière l'argument suivant : si on admet la mobilité terrestre une pierre lancée du haut d'une tour sera, le temps de sa chute, « dépassée » par la tour rivée au sol terrestre et filant avec elle à grande vitesse, elle sera donc toujours déviée vers l'ouest, or l'expérience prouve que la chute est verticale, donc la terre ne tourne pas.

- en montrant ensuite que Galilée n'est pas fidèle aux principes de la méthode expérimentale, malgré ses déclarations d'intention et ses promesses formelles. De ce point de vue il est conseillé de produire une pièce à conviction afin de la porter à l'attention du tribunal. Cette pièce est un argument utilisé par l'auteur dans le *Dialogue sur les Deux plus grands Systèmes du Monde* (1630), quelque temps avant le procès. Galilée, affirme avoir trouvé l'argument imparable prouvant définitivement la vérité physique du copernicanisme qui, à ses yeux, n'est pas seulement une description plus économique du ciel mais l'exposé de sa structure matérielle ultime (annexe 13)¹⁰.

Si la Terre est animée du double mouvement de révolution annuelle autour du soleil et de rotation sur elle-même, à certains moments, les deux mouvements s'additionneront : ainsi en est-il, à minuit à Venise, et dans ce cas la masse liquide, entraînée "plus loin" que la terre ferme, provoque la marée haute à d'autres moments, ici, à midi, les deux mouvements s'annulent, la mer se retire, c'est la marée basse. Il y a donc deux marées par jour, à midi et à minuit à Venise, et ceci toute l'année.

Les invraisemblances théoriques dues au changement de référentiel - les fixes dans un cas, et le soleil dans l'autre - au cours de l'analyse du mouvement des marées -, conjuguées avec les contrevérités expérimentales peuvent amener un esprit conscient de la grande valeur heuristique de la méthode expérimentale à mettre en doute les propositions galiléennes. Ce qui fut le cas pour certains de ses amis Jésuites travaillant à l'observatoire du Vatican.

L'impression laissée par ce document pouvant être catastrophique pour l'accusé il conviendra de présenter d'autres pièces puisées dans son œuvre. Non pour chercher la nuance et l'équilibre mais pour aller plus loin dans la réflexion.

Il convient en effet de rappeler qu'aucune preuve expérimentalement validée ne fut apportée à la thèse de la mobilité terrestre par Galilée.

Plusieurs remarques s'imposent ici :

- Il existe bien une argumentation galiléenne se référant aux faits « physiques », mais elle s'organise, à la manière aristotélienne, suivant les règles d'une rhétorique sophistiquée plutôt que selon les principes de la méthode expérimentale.

- L'argument dit du bateau est une « expérience de pensée », jamais effectuée, mais illustrant une nouvelle théorie du mouvement, réellement révolutionnaire. Celui-ci perd sa qualité de propriété intrinsèque et naturelle du mobile pour qualifier la relation qui unit un objet à un référentiel. L'existence d'un mouvement remarquable dépend entièrement du choix du référentiel. Les cordages d'un navire semblent immobiles par rapport au mât, comme ils le sont lorsque le navire est à quai, même lorsqu'on vogue en pleine mer: ils partagent en fait avec le mât comme avec l'ensemble du bateau le même mouvement de translation par rapport au référentiel fixe que serait le port d'attache ou le point d'arrivée. Simple affaire de point de vue.

- L'argument aristotélien de la tour ne prouve donc pas l'immobilité terrestre, elle montre seulement que la pierre et la tour ont un mouvement partagé, "qui est comme n'étant pas".

10. Annexe 13 : l'argument des marées, Lonchamp, p.62, p.87 à 91.

- La mobilité terrestre pourrait être une postulation rendue vraisemblable par analogie avec les ensembles de mobiles qui partagent un même mouvement.

- Les observations à la lunette tiennent leur puissance persuasive d'une analogie étendue à la totalité des corps de l'univers suivant un syllogisme que l'on pourrait présenter ainsi: *Vénus a des satellites comme la Terre et la Lune ; or Vénus est mobile, ainsi que le montrent ses quartiers ; donc la terre qui ressemble à Vénus tourne aussi.*

ou encore: *la Lune n'est pas de nature ignée, elle a un sol tellurique ; or la lune est mobile ; donc la Terre, semblable par nature à la lune, est aussi mobile.*

Mais il faut cependant ajouter que si la forme du raisonnement paraît traditionnelle, le fond en est radicalement neuf, puisqu'il repose sur ce qui deviendra l'axiome fondamental du newtonisme et de la science moderne : l'universalité des lois de la nature.

Il est possible de se demander, avec Pietro Redondi¹¹, si le vrai procès de Galilée ne reste pas à faire : celui d'un théoricien matérialiste expliquant la totalité des phénomènes par le jeu d'atomes en mouvement. Mais ce témoignage ne saurait être retenu dans le procès qui nous intéresse. Il pourra faire l'objet d'une autre comparution aux conséquences infiniment plus graves pour l'accusé. Il est possible que l'inquisiteur, conscient de l'énormité de cette accusation et de la violence qu'elle ne manquerait pas d'entraîner, ait préféré retenir la seule mobilité terrestre comme unique chef d'inculpation. Cela permet de calmer le jeu de ses adversaires en leur offrant en pâture le spectacle édifiant de la rétractation publique et en condamnant Galilée à un assez court séjour en résidence surveillée. Il serait hasardeux de mettre à mort, comme un quelconque Giordano Bruno, le savant le plus prestigieux de son temps. D'autant plus que beaucoup d'astronomes ne sont pas, par principe, opposés à la thèse héliocentrique. Cette dernière peut d'ailleurs continuer à être enseignée, au moins comme une hypothèse géométrique. Et peut-être n'était-elle que cela pour le chanoine Copernic...

Il n'en demeure pas moins que, malgré l'absence de preuves probantes, Galilée a maintenu la thèse héliocentrique, contre vents et marées, par la seule puissance persuasive d'un discours brillant et convaincant, comme savent en faire les grands écrivains. Ce qui fait présentement sa faiblesse recèle la force de l'avenir. Galilée a parié sur le futur.

Voilà pourquoi il serait injuste de ne pas appeler à la barre ceux qui apportèrent à Galilée les preuves qui lui manquaient. Un éventuel septième groupe de travail - représentant un 7ème « acteur » - pourrait, dans le cadre de l'initiation à l'astronomie inscrite au programme de formation du premier degré, apporter les témoignages suivants :

2) jeu de rôle (deuxième partie)

Les preuves de la mobilité terrestre

Il suffirait de faire parler:

- **James Bradley** qui découvrira le phénomène de l'aberration de la lumière des étoiles (1728).

- **les théologiens de 1757** qui retirent de l'index les ouvrages héliocentriques.

- **les physiciens de l'Université de Bologne** qui en 1791 -158 ans après le procès - décidèrent de tenter enfin l'expérience de la tour. Il sera curieux de constater que la pierre ne tombe pas à la verticale, comme prévu en fonction de la théorie du mouvement partagé, mais un peu plus à l'est... Un aristotélicien conséquent devrait en conclure que la terre tourne à l'envers. Comme ce n'est vraisemblablement par le cas, il faudra faire intervenir la notion de vitesse linéaire de corps en mouvement circulaire : celle-ci, plus élevée au sommet qu'à la base, explique la « déviation » de la pierre.

- **Léon Foucault** devrait enfin faire triompher définitivement l'héliocentrisme grâce à l'observation et à l'enregistrement précis des oscillations de son immense pendule (1851).

- au besoin les **spécialistes de l'artillerie** pourraient nous expliquer, en fonction des différences de vitesse linéaire de points situés à des latitudes différentes pourquoi les projectiles qu'ils envoient sur la

11. Pietro Redondi, *Galilée hérétique*, Gallimard.

cible sont toujours déviés vers la droite dans l'hémisphère nord et vers la gauche dans l'hémisphère sud, quelle que soit l'orientation du tir, vers le nord ou vers le sud.

- les **astronautes** enfin et les lanceurs de satellites achèveraient la démonstration par une simple "monstration" du mouvement de la planète bleue...

La question se pose de savoir à partir de quand la terre s'est mise réellement à tourner dans la représentation du monde. Car les faits précédemment cités, inaperçus ou volontairement ignorés jusqu'alors, cessent un jour d'être des aberrations pour s'élever au rang de preuves. L'expérience entière du monde, scientifique et quotidienne, s'en trouve bouleversée. La perception des choses se recompose totalement. Un nouveau paradigme se met en place : nous ne verrons plus jamais la nature comme avant.

Une réflexion sur ce que Bachelard appelle le rationalisme récurrent (annexe 14)¹² s'impose ici, dans le double but de recueillir, grâce à ce guide éclairé, les leçons de l'histoire, et de préparer la suite.

Les prolongements de la démarche

Plusieurs pistes de travail s'offrent ici, selon les lieux et les moments de notre intervention. Nous pourrions évoquer, parmi beaucoup d'autres, *trois possibilités* qui peuvent aussi s'ajouter les unes aux autres :

- inviter à fonder sur la réflexion épistémologique la recherche de stratégies pédagogiques en astronomie ou en physique .
- achever l'exploration des implications de la crise galiléenne par l'exposé de la synthèse newtonienne. Cette incursion rapide dans la science « classique » permet aux instituteurs de mieux intégrer les informations distribuées par le physicien sur la cosmologie post-einsteinienne.
- faire saisir la genèse de l'esprit scientifique moderne à partir de Galilée et voir comment se met en place, à partir de cette crise fondatrice, la méthode expérimentale, dans les sciences de la matière et de la vie.

Nous nous contenterons ici de résumer *les principaux enseignements* que nous avons tirés de l'exploitation de ces trois pistes.

Première piste : de la révolution copernicienne à la pédagogie de l'école élémentaire

La révolution mentale opérée par le galiléisme, est le produit d'une lente et douloureuse maturation, non exempte de contradictions, de régressions et d'abus. Une pédagogie purement expositive, et concevant le processus d'apprentissage comme déploiement d'un programme rationnel risque fort de ne conduire qu'à une simple mémorisation de faux savoirs. Bachelard nous l'a suffisamment répété : le premier moment de la pédagogie est la psychologie de l'erreur. On pourrait ajouter une psychologie de la foi.

Le génie de Galilée n'a-t-il pas consisté, comme le suggère Feyerabend¹³, à parier sans raison pour une forme de rationalité encore à venir ? Et si le jeune élève - ou l'adulte en formation - était dans une situation identique ?

Trois thèmes de recherche ont marqué le travail d'équipe effectué avec un physicien, une mathématicienne et des conseillers pédagogiques : ce travail, fondé sur les interviews des enfants, aboutit à la réalisation de séquences d'astronomie au CE et au CM, et à leur évaluation.

- Un examen de **la mise en place des nouvelles représentations mentales** au cours de l'apprentissage. Les travaux de Piaget, Wallon et Vygotski sur les recompositions mentales spécifiques des phases de « transition » entre les « concepts spontanés » et les « concepts scientifiques » (Vygotski), aboutissant aux équilibres instables et contradictoires qui marquent l'achèvement de l'égo-centrisme, sont évidemment des outils indispensables. Notamment pour la mise en place d'interviews d'enfants du CE et du CM et leur analyse. Puisqu'il s'agit d'opérer une « révolution » mentale, et de mettre en crise des conceptions

12. Annexe 14 : Bachelard, *Le rationalisme appliqué*, p.121 à 124 ; *La formation de l'esprit scientifique*, p.14 à 16, 23 à 24.

13. Paul K. Feyerabend, *Contre la méthode*, Seuil 1979.

premières, il convient de préciser ces dernières et de repérer dans les réponses des enfants la part qui devrait être à transformer, et celle qui pourrait aider à la transformation. Les catégories utilisées dans l'analyse de contenu des interviews dépendent cependant des hypothèses psychogénétiques de départ. Nous avons tendance, marqués par nos lectures de Bachelard ou de Piaget, à porter l'accent sur la rupture plutôt que sur l'aspect de transition, qui lui est pourtant, à notre avis, coextensive. Il a sans doute résulté quelques illusions sur les procédés pédagogiques à utiliser.

2) La mise en place dans les classes **de véritables stratégies de décentration** pour l'étude des mouvements célestes paraît nécessaire à la construction de l'esprit scientifique qui est notre objectif commun. Nous avons eu recours à des « machinations » plus ou moins compliquées faisant appel à des maquettes, des dessins, des jeux corporels mimant les révolutions planétaires ou la trajectoire du soleil. Il n'est pas assuré que de tels détours conduisent infailliblement au résultat voulu il peut arriver que le corps appelé à la rescousse renforce les représentations enfantines dans leur égocentrisme. Parfois le simple discours du maître suffit à bouleverser pour longtemps les conceptions admises. Le choc peut être simplement celui des mots il en fut ainsi lorsque les enfants découvrirent que leur soleil était une étoile...

3) La question de **l'évaluation d'une rupture** n'est pas facile à régler. Car les outils habituellement utilisés dans les disciplines scientifiques - tests, Q.C.M. - sont bien adaptés aux mesures instantanées de contenus de savoir ponctuels, mais ils peuvent créer l'illusion d'un savoir. Évaluer une transformation mentale, c'est poser le problème de l'édification d'un vrai savoir, intégré à la totalité de l'esprit, personnel et opératoire. Jusqu'à plus ample informé nous pensons qu'une étude comparée des représentations intellectuelles au début et à la fin de l'initiation, grâce à une analyse de contenu des réponses des enfants, constitue, malgré ses imperfections et ses limites, un procédé mieux adapté à notre objectif.

Deuxième piste : le triomphe de Galilée dans la science classique

La révolution copernicienne s'achève sans doute dans l'immense synthèse newtonienne. Mais c'est Galilée qui rendit possible cette avancée.

Les principes de l'esprit scientifique : objectivité, expérimentation, induction expérimentale, vérification critique, universalité des lois de la nature, contenus dans les recherches et les revendications galiléennes reçoivent leur consécration avec les "Principes Mathématiques de la Philosophie Naturelle". La postulation du déterminisme matériel et le rejet des explications transcendantes devaient faire le succès de Laplace dont *L'exposition du Système du Monde* (1796) clôt le procès fait à Galilée les partisans de l'esprit nouveau, voire de l'immanentisme matérialiste, triomphent. En attendant Einstein (annexe 15)¹⁴.

Si les principes de l'expérience scientifique sont l'une des bases de la théorie newtonienne, les recherches astronomiques de Kepler en constituent aussi le fondement. Il est intéressant d'examiner attentivement par quelles étranges procédures mentales Kepler produisit les lois des orbites elliptiques. Il constitue à vrai dire un exemple parfait d'obstacle épistémologique et aussi de transition révolutionnaire : c'est l'intuition pythagoricienne des solides parfaits qui le conduit à interpréter les trajectoires planétaires sur le modèle du cercle, mais c'est la vérification forcée par le calcul qui l'amène à changer de modèle explicatif (annexe 16)¹⁵.

Troisième piste : Galilée ou l'introduction à l'étude de la méthode expérimentale

On peut se demander ce que notre héros apporta de réellement neuf à la science astronomique, en-dehors de quelques observations spectaculaires grâce à la lunette hollandaise qu'il adapta à l'étude du ciel. Certes il fournit à l'héliocentrisme une tribune extraordinaire, grâce à sa rhétorique brillante, son sens des effets publics, son réel prestige. Mais son copernicanisme radical l'amena à commettre quelques imprudences dont nous avons eu à débattre. Ajoutons qu'il alla même, dans le feu de sa passion jusqu'à soutenir la matérialité des épicycles et des excentriques, dont on ne pouvait, avant Kepler aucunement se passer même dans le cadre de l'héliocentrisme.

Cela pourrait signifier que l'hérétique, malgré ses faiblesses humaines semblables aux nôtres, surmonta toutes ses limites pour assumer le choix d'une absolue nouveauté. Cette nouveauté réside dans l'esprit

14. Annexe 15 : textes de Newton, Koyré p.55 à 62, 245 à 260.

15 : Annexe 16 : textes de Kepler, Gapailard, p.143.

révolutionnaire qui naît aux XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles, et dont on a repéré quelques préfigurations pendant la Renaissance.

C'est une nouvelle conception de l'expérience que Galilée illustra, à vrai dire, davantage dans sa Mécanique que dans son Astronomie.

L'examen du procès pourrait introduire à cette nouvelle manière de faire de la science, dans les recherches galiléennes sur la chute des corps, par exemple, qui forment avec les découvertes de Kepler le véritable fondement de l'astronomie moderne. L'étude de E.Namer¹⁶ permet d'explicitier les caractères de l'expérience scientifique établis par Galilée. Ces caractères forment aussi les principes d'un programme d'initiation scientifique à l'école élémentaire.

Afin de préciser l'établissement de la méthode expérimentale dans les sciences et son triomphe dans les programmes scolaires on pourrait en suivre son cheminement et ses transformations dans les activités d'éveil scientifique à l'école primaire. A titre indicatif nous avons, avec le professeur de biologie, pu introduire de cette manière une étude de Claude Bernard. Il était intéressant de constater la mise en place simultanée du positivisme dans les sciences et de la laïcité des programmes. Nous y avons vu comme un lointain écho des passions soulevées par le procès de Galilée.

Seconde partie : Le procès en classe de Terminale scientifique

Geneviève Guilpain

Ayant fait travailler le procès de Galilée en interdisciplinarité par une classe de Terminale scientifique, je présente rapidement les variantes apportées dans la démarche et quelques éléments d'analyse¹⁷.

À la différence de ce que je pouvais faire ordinairement, à savoir présenter les conséquences de la révolution galiléenne et en indiquer les grandes caractéristiques, j'ai tenté cette année-là de faire comprendre aux élèves comment elle s'était produite. À cette fin il fallait remonter aux causes de cette révolution, à l'état du monde scientifique mais aussi politique et philosophique. Le détour par l'histoire m'a paru constitutif de la compréhension des enjeux de cette révolution scientifique, non pas une histoire réduite à un résumé d'informations mais une histoire en train de prendre corps que les élèves devaient retrouver par eux-mêmes pour en mesurer l'impact. J'ai donc décidé de traiter la partie épistémologique du programme de la série S par cette entrée privilégiée. En 2001-2002, les autres notions du programme de S étaient les suivantes : la raison et l'expérience ; la vérité et la croyance ; la logique et la méthode ; les sciences de la nature et les sciences de l'homme. Il m'a semblé qu'il pouvait être formateur de montrer de façon suffisamment détaillée comment des questions épistémologiques et éthiques se nouaient à l'occasion d'événements cruciaux de l'histoire des sciences¹⁸. J'avais pour objectif de donner à la révolution galiléenne un statut de modèle épistémologique ; l'introduction des données historiques a pris sens dans cette perspective.

J'ai sollicité les compétences du professeur de sciences physiques de cette classe et du professeur de mathématiques, par ailleurs féru d'astronomie.

La reconstitution du procès n'a donc constitué qu'un moment d'un travail de longue haleine.

Les diverses phases de la démarche

J'ai tout d'abord présenté aux élèves un cours général articulé autour de la question du désir de savoir ; nous nous sommes interrogés sur les mobiles de la quête de connaissance, nous avons distingué différents types de rapport au monde (savoir mythique, savoir religieux, savoir rationnel), afin de procéder à une première élucidation des concepts-clé (savoir/croyance ; théorie/expérience ; opinion/connaissance ; vérité/histoire). J'ai également présenté les grandes étapes de l'histoire du savoir et des idées.

16 E. Namer, *L'affaire Galilée*, archives Gallimard, 1975, *Présentation de Galilée*, Gauthier-Villars.

17 On en trouvera une présentation plus détaillée dans l'ouvrage collectif *Regards croisés sur l'enseignement de la philosophie*, CRDP, Pays de la Loire, 2005, sous le titre « Galilée rejugé ».

18 Si l'idée de ce travail a pris naissance à l'occasion de ce nouveau programme, sa pertinence ne disparaît pas avec lui. Il va sans dire que le programme qui lui a succédé, et plus généralement tout programme de philosophie faisant une large place à une réflexion sur la science et son rapport à l'histoire et à la société, autorise parfaitement cette démarche.

Pendant ce temps, en dehors des heures de classe, les élèves préparaient par groupes des exposés brefs (dix à quinze minutes) sur des sujets que je leur avais proposés¹⁹ et pour lesquels je leur avais donné une documentation. Par ailleurs chaque élève avait reçu un dossier relatif à la révolution galiléenne²⁰. Cette préparation en amont m'avait paru nécessaire pour que les élèves apprivoisent peu à peu les enjeux de cette révolution avant de réaliser le procès.

Enfin nous avons travaillé sur les conditions et principes de la connaissance scientifique (méthode, logique, raisonnement, expérimentation), surtout pendant l'heure dédoublée. Parallèlement se déroulaient les exposés en classe entière et en présence d'un des collègues qui apportait des précisions ou des rectifications.

Nous avons ensuite consacré une séance à la reconstitution du procès de Galilée.

Puis un dernier moment a permis d'évaluer l'ensemble du travail et de réfléchir sur la responsabilité des scientifiques, à partir de l'extrait suivant de *La vie de Galilée* (dernière scène) :

« Moi je soutiens que le seul but de la science consiste à soulager les peines de l'existence humaine. Quand des hommes de science intimidés par des hommes de pouvoir égoïstes se contentent d'amasser le savoir pour le savoir, la science peut s'en trouver mutilée, et vos nouvelles machines pourraient ne signifier que des tourments nouveaux. Vous découvrirez peut-être avec le temps tout ce que l'on peut découvrir, et votre progrès cependant ne sera qu'une progression qui vous éloignera de l'humanité . »

Durant cette période, nous avons également assisté à la représentation théâtrale de « La vie de Galilée » de Brecht (mise en scène de J.F. Sivadier)

La réalisation du procès s'est accompagnée de quelques aménagements par rapport à la version initiale :

Étaient présents : le président de séance, ainsi que l'Inquisition, au bureau ; les jurés sur le côté ; Galilée au centre ; à gauche, les principaux opposants (« le bon sens populaire », des religieux, Ptolémée et Aristote) ; à droite, les sympathisants (les scientifiques) auxquels s'étaient joints Bruno et de Cues et leurs disciples. Le duc de Médicis occupait une place d'honneur. Assistait également au procès un artisan, spécialiste des lunettes astronomiques (joué par le professeur de physique).

Les questions auxquelles il s'agissait de répondre étaient les suivantes :

- 1) Les thèses de Galilée sont-elles vraies ou fausses ?
- 2) Sont-elles ou non hérétiques? Dans le premier cas, faut-il condamner l'accusé et à quelle sanction ?

Intérêt pédagogique de ce travail

Quelques réactions d'élèves permettent de mesurer l'intérêt mais aussi les difficultés de la tâche :

-Les exposés ont permis un entraînement oral préparant le procès et une découverte de thèses, de connaissances jusqu'alors très vagues ou inconnues, « *une prise de conscience de la mesure des changements capitaux qui sont survenus à cette époque* ». « *chaque groupe étudiant une étape de la révolution, nous avons pu remettre en place tous les morceaux de cette période* » « *comprendre les difficultés qu'avaient les scientifiques pour exposer leurs thèses* ».

Le jeu de rôle a permis de mieux comprendre les enjeux de ce procès, mais aussi d'un procès en général, « *j'étais un juré et il m'a semblé très dur de juger un personnage. Je n'ai pas arrêté de changer d'avis dès qu'une personne prenait la parole ; c'est en ce sens que je pense que la reproduction du procès de Galilée m'a fait réfléchir sur le plan philosophique* ».

Voici la liste des exposés sur les acteurs de la révolution galiléenne :

Aristote et Claude Ptolémée ; Les résistances du bon sens ; Nicolas de Cues ; Giordano Bruno ; Nicolas Copernic ; Johannes Kepler ; Galilée ; Newton et les apports de la révolution galiléenne dans la science moderne et contemporaine. ; l'Eglise et l'Inquisition ; la situation politique : le rôle des Médicis.

20. Ce dossier comprenait les annexes proposées dans la démarche de Claude Billard auxquelles j'avais ajouté de larges extraits de *La vie de Galilée* de Brecht, L'Arche, ainsi que des extraits de la *Seconde Préface de la Critique de la Raison Pure* de Kant.

de mieux prendre conscience du contexte : « *on se rend mieux compte de la situation lorsqu'on refait le travail par soi-même, que l'on se plonge vraiment dans les pensées de l'époque.* » ; « *une mise en scène dans laquelle chacun a trouvé sa place* », « *il nous appris à argumenter avec les éléments de l'époque* ».

- *de mieux comprendre les thèses en jeu, de faire l'effort de bien maîtriser celle qu'on avait en charge afin « de pouvoir se défendre dignement contre le parti opposé », « Il a constitué une confrontation directe des différents modes d'explication, mettant ainsi en valeur les points forts et les points faibles de chaque théorie ». « Le procès fictif vaut largement le temps qui lui est consacré car connaître les théories ou les opinions des scientifiques, des religieux est une chose, mais essayer de les défendre en est une autre. »*

- de mieux mémoriser, « *une mise en application des connaissances de chacun* ».

L'interdisciplinarité fut unanimement appréciée ; « *cela montre que la science n'est pas enfermée dans son monde et qu'elle a besoin de la philosophie* » ; certains ont suggéré que l'intervention du professeur d'histoire aurait aussi été enrichissante.

- les élèves ont été également sensibles au fait qu'ils prenaient en charge le travail « *nous étions ici réellement acteurs du cours* » ; « *en comparant les différents documents, nous avons procédé à une démarche scientifique.* »

Remarques finales

Ce travail n'avait pas pour prétention de permettre à chaque élève de maîtriser parfaitement toutes les données de la révolution galiléenne, mais il s'agissait de leur faire mesurer ses enjeux, sa complexité et sa richesse. Il me semble qu'après ce travail ces élèves ne peuvent plus la réduire à la découverte de l'héliocentrisme, considérée comme un événement ponctuel dans une histoire linéaire, et une vérité indubitable sur laquelle il serait vain de revenir. Il s'agit de faire sentir que les découvertes se construisent péniblement, que la science doit se confronter à son époque, ses croyances, ses valeurs, son idéologie, que les scientifiques sont des héritiers du passé et que certains noms y sont occultés (les élèves se sont passionnés pour les cas de Giordano Bruno ou de Nicolas de Cues dont les thèses ne sont tout de même pas d'accès facile, mais comportent certaines dimensions contemporaines fascinantes).

Les élèves, y compris ceux de section scientifique, ont une approche de plus en plus abstraite des sciences ; on leur livre des résultats plus qu'on ne les met en situation de construire des expérimentations et d'élaborer des démarches ; ce travail a pour intérêt de **les mettre au contact d'une invention en train de se construire**, d'hypothèses qui s'échafaudent et dont la validité est éprouvée à partir de manipulations assez aisées. J'ai même été surprise du très grand intérêt avec lequel les élèves suivaient la reproduction de l'expérience des plans inclinés ou l'explication détaillée du fonctionnement de la lunette.

La lecture du célébrissime texte de Kant après ce détour a pris réellement sens et les élèves ont apprécié de façon tangible que la philosophie pensait de façon très précise et informée les savoirs de son époque - ou de celle qui la précède - ; ils ont également pu constater combien leurs propres connaissances scientifiques pouvaient considérablement les aider à **donner sens à un texte** ; de même, l'étude des textes de Bachelard sur les obstacles épistémologiques devient lumineuse lorsque les élèves ont explicitement à l'esprit la force des arguments aristotéliens dont ils ont pris toute la mesure en se référant aux textes originaux des contradicteurs de Galilée et en les prononçant avec véhémence lors du procès.

Si la réflexion épistémologique est effectivement une réflexion sur les sciences, alors il faut partir d'elles dans les faits, et ne pas simplement se contenter de les évoquer.

Il me semble que se joue là une dimension importante de notre discipline ; si l'un des ses objectifs est de permettre aux élèves de **réfléchir sur les autres savoirs**, alors pourquoi ne pas partir de ce matériau concret qu'ils proposent ? Nous ignorons largement ce que nos élèves apprennent et nous disposons pourtant de points d'appui décisifs pour ancrer nos réflexions.

L'interdisciplinarité, loin de relativiser le poids et la spécificité de chaque savoir fait jaillir davantage sa nécessité, ce dont les élèves se rendent parfaitement compte ; par ailleurs, ils prennent d'autant plus au sérieux l'objet étudié lorsqu'ils mesurent qu'il est un centre d'intérêt de plusieurs enseignants et disciplines.

La maîtrise réelle des connaissances physiques ou mathématiques se mesure aussi à cette capacité à faire appel de façon opportune à telle phase d'une expérimentation ou à tel détail technique ; j'en ai évalué les difficultés en écoutant les explications de mes collègues scientifiques. En plagiant un propos d'élève, je

dirais qu'une chose est de savoir expliquer ce texte de Kant déjà cité, une autre de pouvoir lui donner toute sa force en étant capable de présenter techniquement les expériences physiques ou de procéder à des calculs. Dans la mesure où notre discipline nous impose de réfléchir les savoirs particuliers, autant se donner les moyens de le faire de la façon la plus juste possible, et pour cela **accepter la rencontre avec des spécialistes** ; ne faut-il pas admettre les limites de la philosophie qui ne s'éclaire pas toujours par elle-même, mais par la prise en considération réelle des savoirs sur lesquels elle fait porter sa réflexion et son jugement ?

Bibliographie

Koyré, *Du monde clos à l'univers infini*, Gallimard, 1973, *Etudes newtoniennes*, Gallimard 1968.

E. Namer, *L'affaire Galilée*, Gallimard Julliard, collection Archives, 1975

Thomas Kuhn, *La révolution copernicienne*, Fayard, Poche, 1973.

F. Balibar, *Galilée, Newton lus par Einstein*, PUF., 1984

Stillman Drake, *Galilée*, Actes Sud, 1985.

JP Maury, *Newton et la mécanique céleste*, Découvertes Gallimard, 1993 et *Galilée, le messager des étoiles*, Découvertes Gallimard, 1993.

Galilée, *Dialogue sur les deux plus grands systèmes du monde*, Seuil, 1992.

Giordano Bruno, *De l'infini, des univers et des mondes*, Berg International, 1987.

Jacques Gapaillard, *Et pourtant, elle tourne!*, Seuil, 1993.

Jean-Pierre Lonchamp, *L'affaire Galilée*, Les Éditions du Cerf, 1988.

Enrico Bellone, « Galilée », revue « *les génies de la science* ».

Arthur Koestler, *les somnanbules*, Poche.

Berthold Brecht, *La vie de Galilée*, L'Arche, 1975

« Briser nos prisons mentales » Revue dialogue, GFEN, n°60, 1987