

La lunette

Cycles 3 et 4

Une séquence du projet *L'Europe des découvertes*

Résumé

La description et l'étude de la Lune et des satellites de Jupiter faites par Galilée seront l'occasion pour les enfants d'observer le ciel et d'y interpréter quelques phénomènes simples. Pour cela, ils pourront éventuellement fabriquer une petite lunette astronomique.

Galileo Galilei

Anna-Cinzia Colavita

Traduction par Marie-Ange Patrizio

Padoue, 1610 (au début de l'année) : un homme observe le ciel depuis sa fenêtre – il va bouleverser l'état des connaissances astronomiques et scientifiques.

On peut considérer Galileo Galilei, dit Galilée (1564-1642), physicien et astronome, comme le véritable fondateur de la science moderne, qui est basée sur une méthode expérimentale qu'il mit lui-même en pratique : il fut le premier à se détacher de la façon spéculative, et donc subjective, de ses prédécesseurs. Les Anciens, qui cherchaient une explication « qualitative » aux phénomènes physiques, pensaient que ces derniers étaient gouvernés par un but : un caillou tombe par terre parce qu'il doit rejoindre son lieu « naturel », c'est-à-dire le sol. Galilée, lui, pensait que le caillou tombe par terre parce qu'une cause le fait tomber. Il s'appuya en outre souvent sur les mathématiques. Le « scientifique » doit en effet identifier – sans les confondre – les causes et les effets et les relier par des lois mathématiques qui soient aptes à la fois à expliquer, quantifier et systématiser les phénomènes naturels et à rendre ces derniers compréhensibles par tous.

C'est ainsi grâce à Galilée que la science, dont l'objet est la connaissance objective du monde et de ses lois, devint tout à la fois un savoir expérimental fondé sur des observations – qui doivent être correctement interprétées – et un savoir mathématique fondé sur le calcul, la mesure et la quantification de ses propres données.

La plus grande contribution de Galilée à la science fut peut-être cette caractérisation d'une méthode. Les différentes phases peuvent en être reconstruites par ses écrits : il s'agit, à partir de l'étude d'éléments simples, quantifiables et mesurables, et en s'aidant d'instruments – lunette, plan incliné, microscope, etc. –, de formuler une hypothèse mathématique sur la loi recherchée puis de procéder à des expérimentations – qui consistent à reproduire le phénomène étudié dans un laboratoire où les conditions souhaitées peuvent être optimalement recréées – et à des vérifications avant de contrôler, sur la base des résultats obtenus, la validité de l'hypothèse. Si cette dernière est confirmée, elle prendra valeur de loi ; dans le cas contraire, il faudra avancer une autre hypothèse.

La démarche suivie par Galilée est double : il procède d'une part à une enquête empirique inductive – il s'appuie sur l'observation de cas particuliers pour arriver par voie empirique à une loi générale – et suit d'autre part un rai-

sonnement hypothético-déductif – il part de raisonnements logico-mathématiques intuitifs et, par suppositions successives, formule la théorie puis la vérifie. Galilée modifia ainsi le concept d'expérience, laquelle n'était plus désormais liée immédiatement à l'apparence sensible, mais à l'élaboration de données et à une construction théorique.

Enfin, lorsque, le premier, il eut l'idée d'utiliser dans un but scientifique la lunette astronomique – inventée par les Hollandais –, Galilée mit en évidence la nécessité d'une synergie entre science et technique. La lunette établit le lien entre connaissances théoriques et applications technologiques ; son usage scientifique démontra comment l'instrument peut acquérir une valeur cognitive, fait révolutionnaire pour cette époque où on ne concevait pas même l'usage à des fins de recherches d'instruments aptes à amplifier la puissance des sens.

Grâce à la lunette, il observa donc méthodiquement le ciel et releva notamment la position des quatre satellites de Jupiter, qu'il nomma « planètes médicéennes » en hommage à Laurent de Médicis, son mécène.

Il rapporta ses découvertes dans le domaine de l'astronomie dans le *Sidereus Nuncius* (Le Messager céleste, 1610) et écrivit, à propos de ces planètes : « Nous avons un argument exceptionnel et lumineux pour enlever leur scrupules à ceux qui, tout en admettant tranquillement la révolution des planètes autour du soleil dans le système copernicien, sont à ce point troublés par la circulation de la seule lune autour de la terre, cependant que les deux <corps> accomplissent un circuit annuel autour du soleil, qu'ils jugent que ce schéma d'organisation de l'univers doit être rejeté comme impossible. Car à présent nous n'avons pas seulement une planète qui tourne autour d'une autre, tandis que l'une et l'autre parcourent le grand orbe autour du soleil, mais nos sens nous montrent quatre étoiles se promenant autour de Jupiter à la façon de la lune autour de la terre, cependant que toutes ensemble avec Jupiter, elles parcourent un grand orbe autour du soleil, en l'espace de douze ans. »

Observant donc les mouvements de corps célestes autour d'un autre corps que la Terre, Galilée bâtit la théorie héliocentrique. Une fois posé le fait que, non seulement les planètes médicéennes tournaient autour de Jupiter, mais également avec elle autour du Soleil, il en déduisit que la Terre et la Lune elles-mêmes pouvaient tourner autour du Soleil et réfuta ainsi la conception de Ptolémée (v. 90-v. 168) selon laquelle les corps du système solaire tournaient autour de la Terre (théorie géocentrique).

Dans le *Sidereus* encore, Galilée commente ses minutieuses observations de la Lune. Il décrit les ombres créées par les cratères lunaires et les compare à celles que nous voyons sur la Terre : « Or nous avons noté que les petites tâches dont nous venons de parler ont toutes et toujours ce trait commun que leur partie qui regarde le lieu du soleil est noirâtre, tandis que du côté opposé au soleil elles se couronnent de bordures plus lumineuses, comme d'arêtes éclatantes. Or nous avons sur terre une vision très semblable au lever du soleil, quand nous regardons les vallées pas encore inondées par la lumière tandis que les montagnes qui les entourent resplendissent déjà du côté opposé au soleil ;

et de même que les ombres des cavités terrestres diminuent quand le soleil s'élève, de même aussi ces taches lunaires perdent de leurs ténèbres quand s'accroît la partie lumineuse. »

Il indique avec précision l'apparence de ces ombres en fonction de la position de la Lune et décrit une surface lunaire faite « de vallées et de montagnes », à l'image de la surface de la Terre : « Or ces taches-ci n'avaient été observées par personne avant nous ; leur examen répété nous a conduit à cette pensée : nous comprenons avec certitude que la surface de la lune n'est pas polie, régulière et d'une sphéricité parfaite comme la grande cohorte des philosophes l'a estimé, à son sujet et à celui des autres corps célestes, mais au contraire irrégulière, rugueuse, pourvue de cavités et de gonflements, tout comme la surface de la terre elle-même qui est rendue partout différente par les hauteurs des montagnes et les profondeurs des vallées »

De telles descriptions, agrémentées de dessins, mettent en évidence la sensibilité visuelle de Galilée, surtout lorsqu'il s'agit du premier et du dernier quart de Lune, alors que le contour entre régions éclairées et régions plongées dans l'obscurité apparaît irrégulier et découpé, comme si la surface de la Lune était accidentée.

Galilée relève encore : « Je n'abandonnerai pas non plus à l'oubli un fait que je n'ai pas remarqué sans quelque admiration; le centre quasiment de la Lune est occupé par une cavité plus grande que toutes les autres et d'une forme parfaitement ronde [...] Pour ce qui est du jeu de l'ombre et de la lumière, elle offre le même aspect que ferait sur terre une région semblable à la Bohême si elle était complètement enfermée à l'intérieur d'une chaîne de très hautes montagnes disposées en un cercle parfait [...]»

Galilée parvint ainsi à l'affirmation de l'équivalence entre phénomènes terrestres et phénomènes célestes, les lois physiques et mathématiques les régissant étant les mêmes : il devint désormais possible de décrire les mouvements du ciel au moyen d'une modélisation qui pouvait être testée sur la Terre.

Il faut aussi ajouter à ces observations ce que Galilée dit cette fois à propos des taches du Soleil : « À propos des taches [solaires] je peux enfin en conclure et, je crois, pouvoir le démontrer, qu'elles sont contiguës à la surface du corps du Soleil où elles se produisent et se dissipent sans cesse, comme les nuages autour de la Terre, et le Soleil même les fait tourner pendant sa révolution dans un mois lunaire avec une révolution comparable à celle des autres planètes... » (lettre à Federico Cesi, 12 mai 1612).

Galilée décrit là le mouvement des taches sur la surface du Soleil et indique la période de rotation : le passage est important en ce qu'il permet à nouveau de confirmer l'équivalence des phénomènes terrestres et célestes. Tous peuvent être expliqués par les mêmes lois physiques, les deux mondes – la Terre et le ciel – peuvent changer : le ciel n'est pas immuable.

Galilée mena ses observations, le développement de sa méthode et ses déductions dans un moment historique particulier : la Réforme protestante, qui advint pour des motifs religieux, idéologiques et sociaux – notamment la volonté

de se soustraire à l'hégémonie de l'empereur et du pape –, conduisit l'Église à engager la Contre-Réforme et à convoquer le concile de Trente (1545-1563). Le tribunal de l'Inquisition et l'Index des livres défendus, en particulier, furent institués au nom de la lutte contre l'hérésie et pour la défense de l'orthodoxie. On décida, sur la base du dogme de la foi, que seule était valide, contre la théorie du libre examen, l'interprétation officielle des Saintes Écritures. Le mouvement de la Contre-Réforme détériora les rapports entre intellectuels et pouvoir ecclésiastique et entraîna une répression contre ceux jugés hérétiques, qui furent souvent condamnés au bûcher.

Dans ce climat inquisitorial, Galilée soutint l'indépendance de la science, qu'il considérait comme assujettie à la seule vérité de la raison, ainsi que la validité, dans des domaines différents, des langages à la fois de la science et de la Bible. Pour cet homme de foi, la science et l'Écriture sainte étaient toutes deux issues de Dieu et ne pouvaient donc se contredire ; les contradictions entre vérités scientifiques rationnelles et vérités religieuses n'étaient qu'apparentes.

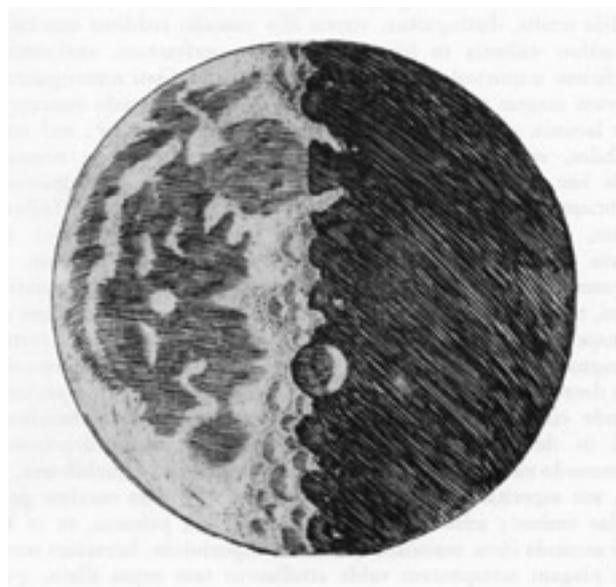
Galilée dut abjurer en 1633 et la révision de son procès ne se termina que le 31 octobre 1992 : la réhabilitation du fondateur de la nouvelle physique n'advint donc que cent cinquante ans après sa mort !

Les extraits du *Messenger céleste* sont issus de l'édition parue aux Belles Lettres en 1992, traduction d'Isabelle Pantin.



ci-contre : relevé de la position des planètes médicéennes ; ci-dessous, dessin de la Lune. Tous deux sont issus du *Sidereus nuncius*.

© Domus Galilaeana.



Galilée, le messager terrestre

Leopoldo Benacchio, Angela Turrichia et Grazia Zini

Traduction par Marie-Ange Patrizio

Considérations initiales

Le personnage de Galilée, autant comme astronome que comme initiateur de la science moderne, a eu un rôle extrêmement important à l'époque où il a vécu. L'étude de ce personnage permet d'analyser et d'aborder avec les élèves des problèmes qui dépassent le cadre scientifique de ses découvertes.

La majorité des élèves reçoit des informations relatives au ciel et aux corps célestes par les médias grand public – radio, télévision, Internet... –, informations qu'ils réinterprètent à la lumière des connaissances déjà acquises. Il n'est pas rare que les enfants construisent leurs connaissances sans avoir réellement observé le ciel, il est donc très important de les habituer à une observation directe et systématique de ce dernier, comme celle qu'effectuait Galilée en son temps. Cette attitude leur permettra de prêter une plus grande attention à ce qui se passe autour d'eux et les conduira ainsi à mener une analyse critique du monde qui les entoure. Par exemple, les élèves considèrent souvent la Lune comme l'« astre nocturne », ayant rarement remarqué qu'on peut parfois la voir en même temps que le Soleil. Une observation attentive certains jours leur fera découvrir que notre satellite est parfois visible en plein jour.

L'observation de la Lune par Galilée peut servir de point de départ aux élèves de l'école primaire pour comprendre comment la démarche scientifique procède depuis des siècles : cela pourra constituer un des objectifs notionnels de leurs recherches. S'il est vrai que Galilée n'a pas inventé sa lunette ni n'en a étudié l'optique, il a su fabriquer deux lunettes différentes et se rendre compte que l'image observée allait dépendre des lentilles utilisées. C'est pourquoi, nous conseillons vivement à l'enseignant d'inciter les élèves à fabriquer leur propre lunette en utilisant eux aussi des lentilles différentes pour obtenir des instruments qui permettent d'agrandir plus ou moins les objets observés.

La description et l'étude de la Lune et des satellites de Jupiter faites par Galilée seront l'occasion pour les enfants d'observer le ciel et d'y interpréter quelques phénomènes simples.

Une première observation faite en classe permettra d'initier les enfants à l'analyse des variables pertinentes intervenant dans l'observation astronomique : le télescope doit être stable, le ciel limpide et, si l'on procède à des observations nocturnes, suffisamment lumineux. On rappellera quelques règles élémentaires de sécurité (ne jamais observer le Soleil au travers d'une lentille – lunette, jumelles, télescope –, ni même à l'œil nu).

Observation de la Lune

L'observation de la Lune est une activité particulièrement bien adaptée à un projet pédagogique : visible même pendant les heures diurnes, la Lune est un objet céleste facilement observable pendant les heures de cours, et ce d'autant plus qu'elle est relativement proche de nous.

On peut commencer en classe par la lecture du *Messenger céleste* et proposer aux élèves de reproduire les observations de Galilée avec une petite lunette (on peut trouver dans le commerce des lunettes très simples pour 10-15 euros).

Une discussion préalable avec les enfants permettra de faire le point sur l'état de leurs connaissances : « La Lune semble avoir des yeux. Elle n'est là que la nuit. Elle est en croissant parce qu'elle est cachée par la Terre. C'est vrai qu'elle montre toujours le même côté ? »

Une fois la lunette fixée sur un trépied – les enfants doivent pouvoir la tenir fermement –, on pourra reproduire avec les élèves la démarche suivie par Galilée avec la sienne : il observait la Lune puis la dessinait. Il est très important en effet que les élèves dessinent ce qu'ils voient – ils doivent notamment bien repérer les vallées et les montagnes – afin qu'ils puissent comparer leurs dessins avec ceux de Galilée. Cette activité demande évidemment du temps : chacun doit procéder à ses propres observations puis en dessiner le résultat.

On peut aussi vérifier avec les enfants que nous voyons toujours la même face de la Lune en procédant de la façon suivante :

- choisir une caractéristique particulièrement évidente du sol lunaire (on peut utiliser la grande tache qu'a dessinée Galilée, constamment bien visible) ;
- dessiner la Lune comme on l'a vue en mettant en évidence la caractéristique choisie ;
- procéder à d'autres observations les jours suivants, de façon à vérifier que la caractéristique observée reste bien au même emplacement ;
- comparer les dessins avec ceux de Galilée ;
- interpréter les observations effectuées dans un texte bref ;
- comparer les résultats obtenus avec ceux de Galilée : discussion collective et élaboration d'un panneau récapitulatif ;
- rechercher, sur Internet ou dans des livres, l'état des connaissances à l'époque de Galilée pour les confronter aux conclusions auxquelles il est parvenu.

Après ces phases d'observation, l'utilisation de l'instrument ne manquera pas de susciter de nouvelles questions : « comment fonctionne la lunette ? Mais qu'est-ce qu'il y a dedans ? »

Construire une lunette

Pour répondre à cette dernière question, on essaiera d'ouvrir, si possible, les lunettes du commerce que nous avons utilisées. On obtient ainsi deux tubes qui coulissent l'un dans l'autre : l'un plus long doté d'une lentille avec un diamètre

plus grand (l'objectif) et l'autre avec une lentille plus petite (l'oculaire).

Les élèves pourront approcher ou éloigner les lentilles de l'œil en regardant vers un objet fixe. On verra que l'objet nous paraîtra plus grand ou plus petit selon la distance entre la lentille et nos yeux. On peut remettre la lentille sur le tube et observer : on verra ainsi les objets s'agrandir et se renverser (si on utilise une lentille convergente). On pourra faire passer un faisceau de lumière solaire à travers le verre puis on déplacera l'écran (un bristol blanc) derrière ce dernier, jusqu'à ce que la marque du faisceau se réduise à un point ou soit la plus petite possible (ce point est le foyer de la lentille. La distance entre ce point et la lentille est appelée distance focale). On montrera aussi, à cette occasion, que si l'on dispose des feuilles sèches ou des petits bouts de papier à l'emplacement du foyer où la marque du faisceau se réduit à un point, on parvient à les enflammer (les élèves connaissent bien ce phénomène) (photo page suivante).

Le matériel nécessaire

Il pourra être apporté par les élèves. Pour construire une lunette qui donne une bonne image, il est préférable d'utiliser deux verres différents : un verre convergent (pour presbytes) de $0,75 \text{ } \delta$ (dioptrie) pour le long tube, et un verre divergent (pour myopes) de $-5 \text{ } \delta$ pour l'oculaire. (La dioptrie est une unité de mesure qui caractérise une grandeur inversement proportionnelle à la distance focale. Plus sa valeur est grande plus la distance focale est petite. Cette grandeur est positive pour les lentilles convergentes et négative pour les lentilles divergentes.) Le verre convergent doit être disposé à l'extrémité d'un tube de carton de 70 cm de long alors que pour l'oculaire, on choisira un tube de 20 cm de long, les deux tubes devant coulisser l'un dans l'autre sans laisser passer de la lumière. Avec un tel dispositif on pourra voir la Lune, les satellites de Jupiter et les taches solaires (par projection).

Pour la lentille convergente, les enfants peuvent alors mettre en évidence le foyer et éventuellement mesurer la distance entre le foyer et la lentille (on ne peut pas déterminer le foyer d'une lentille divergente ni sa distance focale par cette méthode). Mieux vaut les laisser travailler en autonomie et ne discuter des résultats collectivement qu'à la fin de l'activité. Pour cela, on proposera de résumer toutes les solutions possibles dans un tableau. Dès lors, une discussion collective pourra amener à choisir certains verres plutôt que d'autres.

Dans l'une de nos classes pilotes, on a choisi une autre option : « Faisons deux lunettes avec des verres différents, comme ça, après, on pourra être plus nombreux à regarder ! L'important est de savoir que dans une on verra mieux et dans l'autre moins bien ! »

La fabrication proprement dite

Matériel nécessaire :

- Les deux verres choisis ;
- Deux tubes de diamètres tels qu'ils puissent coulisser directement l'un dans l'autre (on peut les fabriquer en roulant du carton noir assez épais mais on peut

aussi utiliser des rouleaux de carton – étuis de cartes géographiques par exemple) ;

– De la colle, du ruban adhésif noir, des ciseaux et... beaucoup d'attention !

Une fois le matériel réuni, les deux verres devront être fixés avec du ruban adhésif à l'extrémité des deux tubes. Les difficultés rencontrées par les enfants sont essentiellement d'ordre manuel – utilisation correcte des ciseaux, du ruban adhésif, de la colle... –, ainsi qu'en témoignent quelques-uns des récits que nous avons recueillis :

« Un des plus graves problèmes que nous avons rencontrés a été de monter le verre au fond du tube. La colle avec laquelle nous avons fixé le verre tend à coller davantage les doigts que le carton ! Ne pas avoir les mains poisseuses quand on monte le verre au fond du tube de carton est une précaution scientifiquement importante ! Et surtout, il semble que la colle soit contrariante et, donc, qu'elle colle là où elle ne devrait pas ! »

Les enseignants confirment que l'utilisation d'un instrument construit par les élèves rend l'observation beaucoup plus difficile, mais le fait qu'ils l'aient eux-mêmes fabriqué les amène à plus de participation et de critique à l'égard de leur travail, remarque l'une des enseignantes qui ont participé à notre expérience, et surtout cela les incite à améliorer leur produit. Bien que l'activité soit terminée, les enfants poursuivent encore leurs observations de la Lune en se prêtant entre eux la lunette qu'ils ont réalisée.

Quand les enfants, par groupes, en ont terminé avec la fabrication de leurs lunettes, peut commencer la phase d'observation de la Lune, la plus importante dans l'expérience de Galilée puisque que, grâce à l'observation et à la comparaison entre ce qui se passait sur la Terre et ce qui se passait dans le ciel, il parvint à expliquer les phénomènes subis par les corps ciel célestes (lors de l'observation par les enfants, il sera donc important qu'on cherche à expliquer ce qui est dans le ciel avec des « explications terrestres »).

Observation des satellites de Jupiter

L'observation des satellites de Jupiter, surtout si elle se fait au début de l'année (de janvier à mars), peut avoir lieu dans les premières heures de la soirée, ce qui la rend bien sûr moins problématique. Très vite, les élèves réaliseront que la lunette qu'ils ont fabriquée, surtout si les verres ont été choisis un peu au hasard, ne permet pas une observation très poussée. On suggérera alors, pour poursuivre l'expérience, d'utiliser plutôt une lunette trouvée dans le commerce ou de bonnes jumelles.

La méthodologie sera la même que celle suivie pour les observations de la Lune et les enfants pourront constater que la position des satellites dans le ciel varie au fil des jours. Procéder à des relevés pourra alors se révéler particulièrement intéressant : il faudra pour cela observer les satellites de Jupiter et indiquer sur un dessin leur position par rapport à l'est et à l'ouest avant de comparer

les résultats obtenus avec ceux de Galilée. À nouveau, la lecture du Sidereus Nuncius, avec les dessins de l'auteur, sera particulièrement significative et importante pour les élèves au regard de leurs propres observations : « Nous, on a quand même bien moins vu : si son télescope était comme le nôtre, pourquoi on voit moins bien ? »

Substituer aux tubes de carton des tubes de métal entièrement peints en noir (préparés par un parent qui avait suivi l'activité en classe) a permis de réaliser qu'il y avait eu une nette amélioration de l'image obtenue et a amené les enfants à tenter la construction d'un autre télescope mais, cette fois, après avoir parfaitement peint en noir la partie interne du tube. Cette activité a comporté des difficultés notables : il n'est pas facile de trouver des pinceaux avec un manche suffisamment long pour noircir la partie interne et il reste souvent des zones non atteintes...

Observation indirecte des taches solaires

Comme pour la Lune, une discussion initiale permettra de juger des connaissances des élèves à propos du Soleil et de sa surface : « C'est évident que le Soleil ne bouge pas, c'est la Terre qui tourne. Et puis le Soleil est toujours pareil, il ne change jamais » – il est particulièrement intéressant de voir à quel point cette idée est répandue chez les enfants. On pourra à nouveau recueillir leurs réponses dans un tableau affiché dans la classe afin de pouvoir les comparer avec les conclusions qui émergeront à la fin de l'activité.

Pour procéder à l'observation des taches solaires, on utilisera le télescope fabriqué par les enfants en le montant sur le trépied puis on suivra le protocole suivant :

- faire entrer la lumière du soleil par le verre le plus grand ;
- poser sur un second trépied, placé de façon adéquate du côté opposé à la lunette, un écran rigide avec une feuille de papier blanc, pour que s'y projette la lumière solaire. Les enfants doivent comprendre que l'image sur l'écran est une image de la surface du Soleil et que, donc, toutes les « aspérités » ou « imperfections » qui apparaissent existent réellement sur la surface du Soleil ;
- introduire le tube du télescope dans un carré de carton noir épais qui produise une ombre sur l'écran afin de mieux distinguer les taches sombres visibles sur l'image lumineuse du disque du Soleil.

Il convient de bien faire remarquer que ce type d'observation ne peut être qu'indirecte, dans la mesure où la lumière du Soleil pénétrant dans le système de verres du télescope est focalisée en un point dans notre œil et qu'elle peut nous rendre aveugles. Il peut être utile à cet égard de rappeler aux élèves la phase de mesure de la distance entre le foyer et la lentille et le moment où l'on a fait s'enflammer les feuilles en soulignant qu'à la place de celles-ci, il y a désormais l'œil et qu'il faut donc être très prudent.

Le moment de l'observation des taches solaires représente un point crucial

de l'activité. Les enfants peuvent certes ne pas distinguer les zones sombres mais il arrive souvent que, déjà persuadés que de toute façon on ne peut rien voir puisque « le Soleil est toujours pareil », ils n'observent en fait pas ce qu'il y a à voir ! C'est là un moment très délicat et il faut inviter les enfants à bien observer, à nettoyer les verres – des salissures peuvent fausser l'expérience –, et enfin leur proposer de répéter leurs observations afin de vérifier si les taches qui apparaissent proviennent des verres du télescope ou existent réellement sur la surface du Soleil : « Nettoie bien le verre, parce qu'à mon avis il est sale... On voit des petits points. Pourquoi ne pas consigner leur emplacement ? »

On suggérera aussi de laisser le télescope en place pendant la discussion : les enfants pourront ainsi noter que l'image du Soleil se déplace très rapidement et qu'elle « sort » du carton écran. Il conviendra alors de déterminer les conditions dans lesquelles on pourra poursuivre l'activité. Celles-ci peuvent varier d'une classe à l'autre ; mieux vaut laisser les élèves choisir, lorsqu'ils auront mieux compris ce qui se passe, quoi faire et comment, éventuellement, modifier les paramètres de l'expérience.

Dans l'une des classes qui ont exécuté l'expérience, les enfants se sont lassés de dessiner une image du Soleil toujours mouvante ; ils ont par conséquent décidé de procéder autrement. Voici ce qu'a raconté l'enseignant à ses collègues qui voulaient proposer la même activité à leur classe :

« Chaque observateur a préparé différents cercles de papier glacé de diamètre égal à celui de l'image du Soleil.

« Chaque enfant, l'un après l'autre, a posé son cercle sur l'image du Soleil et a dessiné ce qu'il voyait, en inscrivant aussi l'heure de l'observation. Bien entendu, entre l'observation du premier enfant et celle du dernier, il s'était écoulé environ une heure.

« Nous avons déposé tous les cercles sur la table dans l'ordre chronologique et nous avons discuté de ce qui s'était passé. Nous avons enregistré la discussion et certains éléments sont apparus, qui ont laissé les enfants stupéfaits : "Les taches qui apparaissent ne sont pas sur les verres [ils avaient été nettoyés et nettoyés plusieurs fois] ; de la première à la dernière observation qu'on a faite, elles se sont déplacées [une vérification avait été menée en superposant les divers cercles de papier : le déplacement était évident]." Cette dernière évidence n'a pas été bien acceptée et l'on a donc décidé de recommencer l'expérience.

« Nous avons procédé à une deuxième observation et à une deuxième analyse des résultats, qui ont confirmé ce qui avait déjà été relevé, puis à un troisième cycle d'observations et de discussion.

« Au terme de l'expérience, nous avons consigné nos conclusions sur un panneau final : les taches ne restent pas dans la même position ; elles sont situées dans la zone équatoriale du Soleil ; elles sont plus sombres dans leur partie centrale. »

Conclusions

Quel que soit le parcours que l'on choisira de suivre, il est important que les classes puissent comparer les images de Galilée avec celles prises par des télescopes nettement plus grands – et donc plus puissants – ainsi qu'avec des images prises par satellites. Cela permet aux élèves de se faire une idée claire sur les changements survenus grâce à l'amélioration des techniques d'observation et au progrès technologique.

« Les découvertes [de Galilée] et ses inventions scientifiques sont vraiment exceptionnelles, exclusivement dues à son génie. Aujourd'hui encore, ses intuitions trouvent des applications dans divers secteurs scientifiques ; il suffit de penser au microscope, qui est une autre de ses inventions »

« Après Galilée, la façon de faire les sciences a changé : on commence désormais par l'observation, puis on en vient à formuler des hypothèses. Des expériences, répétées encore et encore, permettent de tester la validité de celles-ci. Enfin, on énonce une théorie que tout le monde peut essayer de vérifier. Ce fut là le changement le plus important pour le monde de la recherche dans les siècles qui ont suivi. Nous devons à Galilée et à son télescope la nouvelle manière de faire des sciences. Nos technologies sont beaucoup plus raffinées mais nous procédons comme Galilée nous l'a enseigné il y a plus de quatre cents ans... »

La nuit de Galilée

C'était la troisième fois qu'il se levait cette nuit-là. La cloche de la basilique Sant'Antonio, non loin de là, continuait inexorablement à sonner les heures et rythmait désormais les derniers moments d'obscurité. Il se mit à marcher de long en large dans la salle à manger pour se réchauffer un peu, et aussi pour digérer le dîner qui avait du mal à passer. " Une fois de plus j'ai trop mangé. Malédiction ! gémit-il. Et maintenant, comme d'habitude, je n'arrive pas à dormir. " C'étaient des larmes de crocodile. Qu'il ait un bon coup de fourchette, tout Padoue le savait, et d'ailleurs, la renommée de bonne chère de sa maison s'était répandue : certains de ses hôtes venaient même de Venise. Des gens importants qui venaient discuter de sciences et, en même temps, mangeaient pour quatre. Quand en plus, comme ce soir, venait ce Gregorio Moro, il n'y avait pas moyen d'y couper et tous deux exagéraient sans crainte, arrosant avec ce bon rouge de Contarini une belle cuisse de bœuf en pot-au-feu, une paire de poules grasses de Padoue bouillies et de la langue assaisonnée avec art à l'écarlate par ce fameux boucher d'Abano. Sans oublier une bonne portion de raviolis au beurre et à la cannelle en entrée et, pour finir en beauté, la fameuse tarte aux poires et aux oranges douces de la cuisinière. " Et me voilà, une fois de plus, à faire les cent pas sans arriver à dormir parce que j'ai trop mangé ! "

Mais ce n'était pas seulement cela qui lui ôtait le sommeil par cette nuit agitée. Bien plutôt ce qu'il avait vu pendant ces deux derniers mois avec ce machin qu'il perfectionnait depuis cet automne.

Ça avait commencé presque par pure curiosité. Il avait entendu parler du " tube " d'un opticien hollandais dont on disait qu'il avait la vertu de faire paraître proches les choses lointaines. En regardant dans ce tube, on voyait peu et mal, mais effectivement, on distinguait des choses qui pouvaient certes se voir à l'œil nu, mais en plus grandes. La première idée qui lui était passée par la tête avait été de l'améliorer pour en tirer quelques sous. Eh oui, des sous ! On en avait toujours besoin dans la famille, de sa sœur, avec ce beau-frère qui ne faisait pas grand-chose et qui quémandait toujours, à ses filles. La république de Venise payait peu les professeurs de l'université de Padoue et il lui fallait arrondir son salaire par mille autres moyens : prendre en pension des étudiants aisés ou vendre quelque invention utile à la Sérénissime République. Ce tube, en y travaillant un peu, ça pouvait être un joli coup. Si l'on arrivait à le rendre plus solide et à l'améliorer, il pourrait être très utile à la marine vénitienne, pilier de la puissance de la Sérénissime. Eh oui, si, avec ce tube qui agrandissait, les marins vénitienspouvaient voir les navires des corsaires dalmates avant d'être vus par eux, ce serait un bel avantage et la marine vénitienne deviendrait la plus puissante de toutes ! Et si le raisonnement était juste, lui-même en retirerait un bon prix - peut-être même cette augmentation de salaire qu'il espérait depuis des années pour souffler un peu, vivre plus tranquillement et s'adonner à ses recherches sans toutes ces angoisses de la vie quotidienne qui l'accablaient.

" Maudite curiosité, cette fois encore elle m'a trahi et maintenant, je ne sais plus à quel saint me vouer. Que dois-je donc faire ? " Oui, la curiosité le persécutait depuis qu'il était tout petit. Il n'arrivait jamais à lui résister et il fallait toujours qu'il mette et remette à l'épreuve ce qu'il voyait, expérimente, se creuse la cervelle pour essayer de comprendre pourquoi et comment les " choses " se passaient. Bien sûr, cette curiosité était aussi bénéfique et, associée aux études, elle lui avait fait découvrir bien des choses ; elle avait fait de lui un professeur estimé et reconnu de l'université de Padoue, l'une des plus prestigieuses de son époque. Mais quelquefois elle le trahissait et alors le désir de comprendre le taraudait sans trêve.

Qu'est-ce qui l'avait encore poussé à pointer le " tube qui agrandit " vers la Lune ? Ce qu'il avait vu l'avait troublé au plus profond de lui. Comme s'il avait vu le diable en personne... Déjà qu'avec son premier tube, qui faisait voir les choses huit fois plus grandes qu'elles n'étaient en réalité, il avait vu des montagnes, des cratères, d'immenses déserts arides et l'ombre des montagnes lunaires qui s'allongeait au fur et à mesure que le temps passait... Tout cela lui avait enlevé sa tranquillité et même le sommeil. " C'est bien autre chose que le pot-au-feu et la sauce verte ! Bien sûr, j'en ai trop mangé ce soir avec Gregorio, admit-il, mais ce qui m'empêche de dormir, c'est de savoir si je dois parler de ce que j'ai vu ou si je dois me taire. " Comment pouvait-il en effet dire à tout le monde que la Lune n'était pas, comme les grands philosophes le disaient depuis toujours et comme les théologiens le ressassaient, un objet quasi divin, lointain et inaltérable ? Comment pouvait-elle être inaltérable si, comme la Terre, elle était recouverte de montagnes, de mers et de déserts, et si la lumière du Soleil la parcourait pendant les heures et les jours, comme notre planète ? Et les étoiles qu'il avait vues avec le nouveau tube qu'il s'était construit et qui grossissait plus de deux fois plus que le premier ? Il y en avait beaucoup plus qu'il n'y paraissait à l'œil nu ! Mais ce n'était pas encore le plus grave : que penser des petites, à côté de Jupiter, qu'il avait remarquées la première fois le 7 janvier ? En seulement sept jours il en avait repéré trois, puis deux et encore quatre. Et ces étoiles ne restaient pas fixes comme toutes les autres, mais suivaient Jupiter ! Que diable pouvaient-elles être et comment cela pouvait-il être possible si, comme tout le monde le disait, la Terre était au centre de l'univers, toutes les autres étoiles tournant autour d'elle ? Non, il

ne pouvait pas le dire, personne ne le croirait. Peut-être même qu'il ferait mauvaise impression - et alors, adieu augmentations de salaire !

Certes... mais il n'était pas homme à taire ses pensées pour des motifs de convenance. Il n'y arrivait vraiment pas. Il continua à faire les cent pas en ruminant la conduite à tenir et en tâchant de digérer le dernier morceau de poule bouillie englouti.

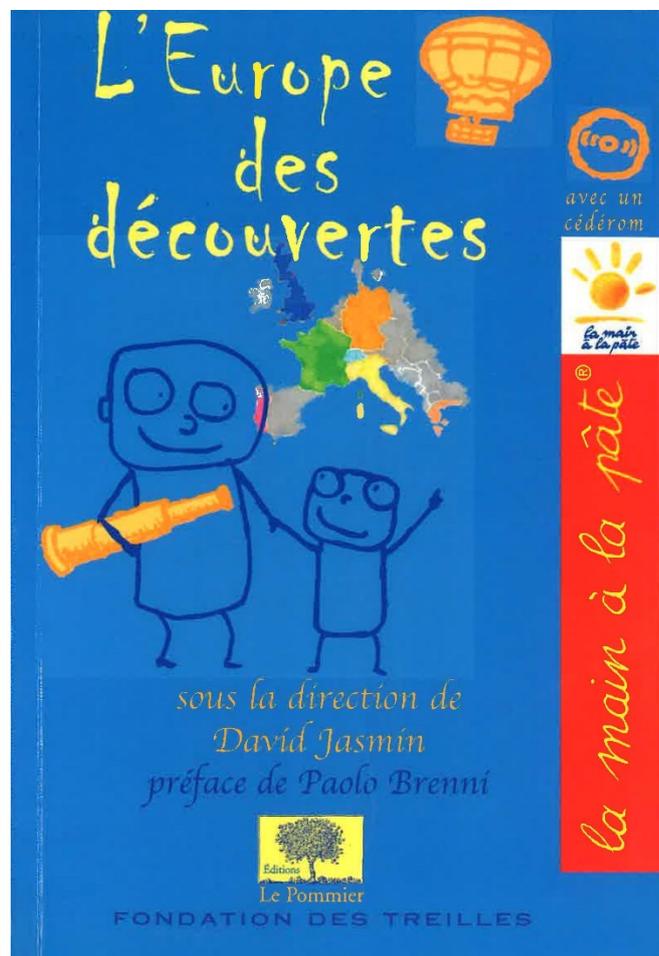
Les premières lueurs de l'aube du 16 janvier 1610 captèrent son regard. Il s'arrêta devant la fenêtre et regarda le ciel s'éclaircir lentement, ce même ciel sur lequel il avait osé lever la lunette qui lui avait ouvert la voie de la connaissance. " Non ! je ne peux pas ! Moi qui, depuis des années, enseigne, que dis-je, enseigne : prêche ! que ce qui doit prévaloir est l'évidence des expériences que nous pouvons faire et refaire ! Moi, je devrais me taire ? Moi qui ai vu les montagnes sur la Lune et les petites étoiles qui voyagent dans le ciel en même temps que Jupiter, je devrais tout nier, nier l'expérience et rester silencieux ? Comment ai-je pu hésiter et me poser la question ? Je dois le dire, au diable si personne n'y croit ! Eux aussi je les ferai regarder à travers la lunette, ils seront convaincus et ils comprendront que là, les choses ne tiennent pas debout. Oui, je vais l'écrire et j'intitulerai mon livre Le Messenger céleste. Tout le monde doit savoir. Et adviennent que pourra. "

Ayant retrouvé, avec cette décision, un peu de calme, Galileo Galilei entra dans son laboratoire, prit une plume et du papier et y inscrivit le titre de son nouveau livre.

Ce que l'homme pensait du ciel devait alors changer pour toujours.

Leopoldo Benacchio

Cette ressource est issue du projet thématique *L'Europe des découvertes*, paru aux Éditions Le Pommier.



Quelle meilleure façon de se familiariser avec l'esprit scientifique que d'observer Galilée découvrir les satellites de Jupiter dans sa lunette astronomique, s'élever dans les airs en compagnie des frères Montgolfier ou mesurer le bleu du ciel avec Ferdinand de Saussure, l'inventeur du cyanomètre? *L'Europe des découvertes*, un livre, accompagné d'un cédérom, pour permettre aux enfants de prendre le pouls de la science.

Issu d'un projet mis en œuvre par *La main à la pâte* et plusieurs partenaires européens, l'ouvrage présente douze découvertes qui nous font visiter sept pays d'Europe (Allemagne, France, Grande-Bretagne, Grèce, Italie, Portugal et Suisse). Du parachute de Léonard de Vinci au télégraphe de Chappe, de la caravelle à la pasteurisation... l'ouvrage propose, pour chaque découverte, une grande variété de documents : dans le livre, trois types de texte – historico-scientifique, pédagogique et pour enfant –, dans le cédérom, plus directement destiné aux petits, des animations interactives et des cahiers d'expériences.

L'Europe des découvertes ouvre ainsi la voie à une utilisation constructive de l'histoire des sciences et des techniques, au-delà du rôle de complément culturel qui lui est le plus souvent assigné.

Car la science a une histoire : elle évolue au gré des inventions, des nouveaux moyens mis en œuvre, mais aussi des échecs et des réfutations. Enseigner aux enfants cette merveilleuse aventure leur permet de retrouver le sens qui habite la science et ceux qui l'ont incarnée.

la main à la pâte®

Dynamique de rénovation de l'enseignement des sciences à l'école primaire (maternelle et élémentaire), *La main à la pâte* est une opération conduite par l'Académie des sciences, qu'un Plan de rénovation, mis en place par le ministère de l'Éducation nationale, a étendue à tout le territoire national. C'est aussi un label de qualité attribué à cet ouvrage par un comité issu de l'Académie des sciences.



168-01/1
27 €

diffusion harmonia mundi

Diffusion
BELIN
depuis
juin 2007

Retrouvez l'intégralité de ce projet sur : <https://www.fondation-lamap.org/projets-thematiques>.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes
75006 Paris
01 85 08 71 79
contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

 FONDATION
La main à la pâte
POUR L'ÉDUCATION À LA SCIENCE