

# 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... »