

Spectre

Volume 50 / numéro 1 / novembre 2020

Association pour l'enseignement de la science et de la technologie au Québec

NUMÉRO
THÉMATIQUE
Portraits et
points de vue
de scientifiques



aestq

Association pour
l'enseignement de
la science et de la
technologie au Québec

Comment les astronomes font-ils de l'astronomie?

Pierre Chastenay, Université du Québec à Montréal

Quelle est la façon de procéder des scientifiques pour produire de nouveaux savoirs? Afin de répondre à cette question, on doit s'interroger sur la nature même des savoirs scientifiques et sur les conditions de leur production et de leur diffusion, des questionnements à la fois épistémologiques et pratiques informés par l'histoire des sciences et l'évolution des idées et des théories scientifiques. Vaste programme! Il s'agit toutefois d'une question fondamentale pour quiconque fait œuvre d'éducation scientifique, puisque les réponses à cette question peuvent directement informer les pratiques en classe, permettant (dans la mesure du possible) de faire vivre aux élèves la science telle qu'elle se fait. Dans le présent article, j'essaierai de répondre à cette question en me concentrant sur le travail des astronomes (que je connais bien, étant astronome moi-même!) et sur la façon dont ces scientifiques organisent la production de nouveaux savoirs dans leur champ d'études. J'indiquerai également comment cette approche peut être transposée en classe à la fin du primaire ainsi qu'au secondaire.

Alors, quelle est la méthode des astronomes pour faire de l'astronomie? La première étape de toute entreprise de découverte scientifique est le questionnement, essentiel à la démarche d'investigation. Comme l'écrivait Gaston Bachelard dans *La formation de l'esprit scientifique* (1938), « toute connaissance est une réponse à une question ». Mais la question seule ne suffit pas; il faut l'opérationnaliser pour en faire une véritable question de recherche. Cette opérationnalisation passe d'abord par la production d'hypothèses quant à la question de départ. C'est le fameux « je pense que... parce que... » que l'on incite tant les élèves à s'approprier. Ensuite, en se basant sur ces hypothèses, les astronomes conçoivent la meilleure façon de recueillir les observations qui leur permettront de juger de leur pertinence.

L'étape de l'observation permet de faire remarquer que l'astronomie a ceci de particulier, par rapport à d'autres sciences, que les astronomes ne peuvent pas manipuler leurs objets d'étude (si l'on exclut les roches lunaires, les météorites et la poussière de comète). Alors que le physicien ou la physicienne peut varier la tension électrique aux bornes d'un montage expérimental, que le ou la chimiste peut changer les concentrations de ses réactifs, impossible pour l'astronome de modifier la température de surface d'une étoile pour voir comment cela influencera sa couleur, ou de lancer deux galaxies l'une contre l'autre pour étudier les fruits de leur collision. Les astronomes ne peuvent que recueillir patiemment les signaux que leur envoient les astres et essayer d'en déduire le plus d'informations possible à propos de leur nature et de leur évolution. Comme on le verra dans un instant, cela fait

aussi en sorte que les activités de modélisation prennent une importance cruciale en astronomie.

Une fois les observations recueillies, vient l'étape de l'analyse où l'astronome repère, dans les données, les régularités, les corrélations, les cycles et les invariants qui s'y cachent. Il s'agit d'une étape très importante, puisqu'elle permet d'extraire de la masse de données un minimum de faits et de relations que l'on cherchera ensuite à reproduire et à expliquer. En effet, ce que l'analyse révèle, c'est ensuite à un modèle explicatif de le reproduire le plus fidèlement possible. À l'aide du modèle, qui est une représentation fonctionnelle et simplifiée d'une classe d'objets ou de phénomènes, les astronomes ne retiennent que certains éléments d'une réalité complexe pour la représenter de façon plus simple et facilement manipulable. En astronomie, le modèle est en outre le seul outil que l'on peut manipuler pour contrôler les variables, tester une nouvelle hypothèse, faire des prédictions, etc. C'est ce statut épistémologique particulier qu'a le modèle en astronomie qui lui confère une si grande importance dans le travail des astronomes.

Que font les astronomes une fois que le modèle qu'ils ont conçu reproduit fidèlement les observations? Ils publient leurs résultats, bien sûr, idéalement dans des journaux scientifiques révisés par les pairs, afin de les soumettre au regard critique des collègues et, bien entendu, de s'assurer la préséance sur leur découverte! Ils en profitent également pour faire un certain nombre de prédictions, basées sur leur modèle, et proposer des applications qui mèneront à de nouvelles questions de recherche, à de nouvelles hypothèses et, ainsi, à un nouveau cycle de découverte (voir figure 1).

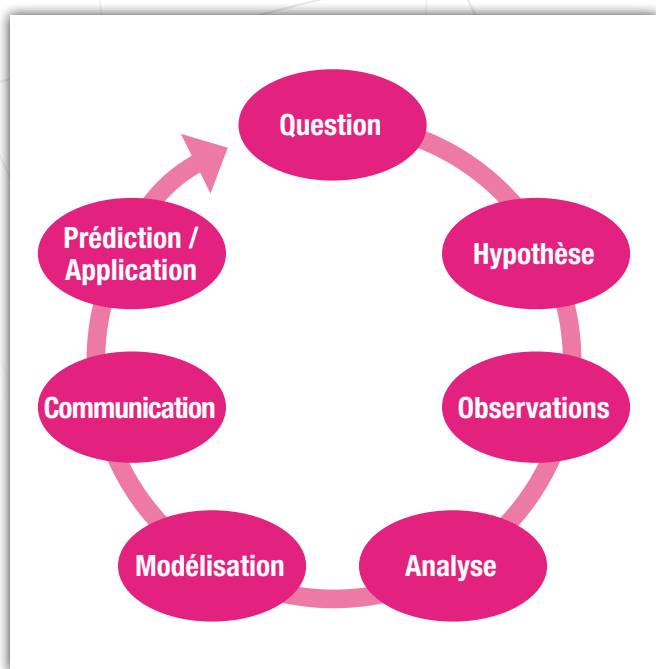


Figure 1. Le cycle de découverte en astronomie.
Source : Auteur.

Bien sûr, la figure 1 montre une vision simplifiée et forcément rudimentaire du processus de production de nouvelles connaissances en astronomie : en réalité, il existe toujours des va-et-vient entre certaines étapes, par exemple entre l'analyse et la modélisation. Par ailleurs, la figure ne rend pas compte des nombreuses microdécisions qui doivent être prises à l'intérieur même de chaque étape, par exemple dans le choix d'un instrument d'observation. Enfin, on sait que le processus de découverte en science est tout sauf linéaire, et plusieurs essais et erreurs en marquant le parcours. Mais de manière générale, et comme outil pour « penser » la production de connaissances en astronomie, ce modèle est suffisant à la fois pour décrire le travail de recherche scientifique et pour réfléchir à une possible transposition didactique en classe de science.

En effet, je crois qu'il est possible, et même souhaitable, d'enseigner l'astronomie à l'école en proposant aux élèves de s'approprier les notions de base contenues dans les programmes scolaires en faisant de l'astronomie comme des astronomes. Dans ce qui suit, je m'emploierai à illustrer par un exemple concernant les phases de la Lune à quoi ce processus pourrait ressembler dans le contexte réel d'une salle de classe au primaire ou au secondaire.

Observer les phases de la Lune en faisant de l'astronomie comme les astronomes

Les phases de la Lune constituent un phénomène astronomique avec lequel les élèves sont déjà familiers, bien qu'il subsiste à leur sujet de nombreuses autres conceptions alternatives, par exemple l'idée que l'ombre de la Terre projetée sur la Lune est responsable des phases. De plus, les phases lunaires

sont présentes dans le Programme de formation de l'école québécoise (PFÉQ) et la Progression des apprentissages (PdA) tant au primaire qu'au secondaire. Enfin, au deuxième cycle du secondaire, on vise l'intégration des activités d'observation et de modélisation à la démarche générale de recherche de réponses ou de solutions à des problèmes d'ordre scientifique ou technologique. Les phases de la Lune constituent donc un phénomène idéal à étudier pour proposer aux élèves de faire de l'astronomie comme des astronomes, tout en répondant aux exigences du PFÉQ.

La première étape en classe consiste à demander aux élèves ce qu'ils savent déjà à propos de la Lune et de ses phases. Une conversation ouverte devrait leur permettre d'exprimer leurs conceptions et de les confronter aux autres idées qui émergeront dans la classe. Faire réaliser une carte conceptuelle aux élèves constitue une autre excellente façon de procéder. Il est également important à ce stade-ci que les élèves prennent position concernant le mécanisme à l'origine des phases lunaires en écrivant leur hypothèse sous la forme « je pense que la Lune nous montre des phases parce que... ». La carte conceptuelle et l'hypothèse pourront faire l'objet de retours fréquents, à l'aide de papillons adhésifs amovibles et de crayons de différentes couleurs, afin de rendre visible l'évolution conceptuelle des élèves.

C'est à l'étape de l'observation que les élèves sentiront qu'ils se comportent vraiment comme des astronomes. Ce que les élèves devront noter quotidiennement sur leur fiche d'observation (une sorte de « calendrier lunaire » où ils inscriront leurs observations) dépend de leur âge et de leur niveau scolaire : les plus jeunes peuvent se contenter de dessiner l'aspect de la Lune d'un jour à l'autre, ce qui est déjà un défi pour certains; au secondaire, les plus vieux pourront en outre noter les heures de lever et de coucher de notre satellite, de même que l'illumination de la Lune (le pourcentage du disque lunaire visible) et l'élongation lunaire (l'angle sous-tendu par le Soleil et la Lune). Idéalement, l'activité devrait s'étendre sur un mois complet (une lunaison); l'utilisation d'applications pour téléphones intelligents et de gratuits d'astronomie comme Stellarium est fortement recommandée pour pallier une météo inclemente ou les périodes où la Lune n'est visible que tard dans la nuit.

L'analyse des données s'avère une étape cruciale, mais pour laquelle les élèves auront besoin de l'aide de l'enseignant ou de l'enseignante afin de repérer les éléments à retenir dans les données accumulées¹. En effet, il est facile de se perdre dans la somme des données recueillies! Ce qu'il importe de faire remarquer aux élèves est le caractère cyclique des phases, croissantes puis décroissantes, le fait que la Lune est parfois visible le jour, parfois la nuit, souvent les deux, la variation de l'illumination et de l'élongation en fonction de la phase, etc. La nomenclature (nouvelle lune, premier quartier, lune gibbeuse, etc.) constitue également un apprentissage essentiel afin de bien nommer ce que l'on a observé.

L'étape de la modélisation permet aux élèves de reproduire à l'aide d'un modèle concret ce qu'ils ont observé et consigné sur leur calendrier lunaire et découvert lors de l'analyse. Dans

une pièce sombre, une ampoule nue représente le Soleil tandis que chaque élève tient une boule de styromousse blanche (la Lune) devant lui et l'observe comme si sa tête représentait la Terre (voir figure 2). Les élèves découvriront rapidement qu'en tournant lentement vers la gauche, ils reproduiront la séquence des phases exactement comme ils les ont observées. En prime, plusieurs découvriront également le mécanisme des éclipses de Lune et de Soleil!



Figure 2 : Modélisation des phases de la Lune. Dans cette image, la lampe représentant le Soleil est à gauche (hors champ). La clé de la réussite de cette activité est une pièce parfaitement sombre, idéalement sans fenêtre. Source : NASA.

On pourrait croire que l'étape de la communication présente peu d'intérêt; après tout, ce n'est pas comme si les élèves venaient de faire une grande découverte scientifique! Mais il s'agit au contraire d'une étape très importante, puisque pour expliquer leur modèle, les élèves doivent bien le comprendre. C'est souvent à cette étape que le modèle mental des phases lunaires, qui s'est lentement construit dans la tête des élèves, se cristallise enfin. On peut ainsi demander aux élèves de produire une courte vidéo décrivant leur modèle, ou les mettre au défi d'expliquer le mécanisme des phases de la Lune à des élèves des autres classes de l'école, à leurs parents, etc.

Vient enfin la dernière étape, celle de l'application et de la prédiction. On peut demander aux élèves d'utiliser leur modèle concret pour répondre à une série de questions du genre : « À quelle phase de la Lune peut-il se produire une éclipse de Soleil? » Ou encore : « Aujourd'hui, la Lune est au premier quartier; quelle sera sa phase dans une semaine? » Répondre à ces questions forcera les élèves à s'approprier le modèle à un niveau fonctionnel qui l'ancrera encore davantage dans leur esprit. Enfin, on peut explorer avec leur modèle les phases de la Terre vues de la Lune (eh oui, les astronautes des missions Apollo ont bel et bien observé des phases de la Terre!), les phases des satellites des planètes Mars et Jupiter ou encore les phases de Mercure et de Vénus vues de la Terre. Ces nombreux exemples permettront aux élèves de réinvestir leur nouveau modèle mental dans diverses situations, montrant par le fait même son caractère universel et fructueux.

Comment les astronomes découvrent-ils des exoplanètes?

La **question** à l'origine de ce champ de recherche très actif en astronomie est la suivante : « Existe-t-il des planètes en orbite autour d'autres étoiles que le Soleil, ce que l'on appelle des exoplanètes? » En se basant sur l'**hypothèse** que de telles planètes existent (après tout, il y en a huit rien que dans le système solaire!) et que, parfois, elles « éclipsent » leur étoile temporairement, les astronomes ont conçu divers moyens afin de les **observer**. L'une d'elles, la méthode des passages, consiste à observer une étoile en continu et à guetter les moments où sa luminosité diminue temporairement. Un des projets les plus ambitieux à ce jour, le télescope spatial Kepler, est ainsi demeuré pointé pendant des années vers la constellation du Cygne, mesurant en continu la luminosité de 150 000 étoiles. Chaque fois que la brillance d'une étoile baissait de manière significative, l'information était transmise aux astronomes afin qu'ils ou elles **analysent** plus attentivement la courbe de luminosité de cet astre. Il pouvait bien sûr s'agir d'un faux signal ou d'une étoile intrinsèquement variable, mais lorsque la baisse de luminosité se répétait à intervalle régulier, les astronomes créaient un **modèle** numérique afin de déterminer les caractéristiques physiques et orbitales de l'objet (une exoplanète, selon toute vraisemblance) passant temporairement devant son étoile. Ces informations étaient aussitôt **publiées** afin que d'autres astronomes puissent confirmer les conclusions de l'équipe du télescope Kepler et assurer un suivi de l'étoile et de sa planète. Une des **prédictions** les plus intéressantes issues de ce vaste programme de recherche concerne le nombre potentiel d'exoplanètes présentes au sein de la Voie lactée : en extrapolant à l'ensemble du ciel le nombre de planètes découvertes dans la petite région du Cygne observée par le télescope Kepler, on estime qu'il existe de 100 à 400 milliards d'exoplanètes potentielles rien que dans notre galaxie! Parmi les nombreuses **nouvelles questions** soulevées par ces découvertes extraordinaires, la plus intéressante concerne l'existence d'exoplanètes semblables à la Terre, situées juste à la bonne distance de leur étoile pour que les conditions propices à l'apparition et à l'essor de la vie y soient réunies. Un nouveau **cycle de découverte** est en cours pour tenter de repérer ces objets fascinants... ■



PIERRE
CHASTENAY

SUGGESTIONS DE LECTURE

Modéliser les phases de la Lune (en anglais) :
<https://www.jpl.nasa.gov/edu/teach/activity/moon-phases/>

<https://www.youtube.com/watch?v=wz01pTvuMa0>

Gratuitiel d'astronomie Stellarium (pour Mac et PC) :
<https://stellarium.org/fr/>

Chastenay, P. (2017). La didactique de l'astronomie. Dans S. El Euch, A. Groleau et G. Samson (dir.), *Didactiques : bilan et perspectives* (p. 73-97). Québec, Québec : Presses de l'Université Du Québec.

RÉFÉRENCE

Bachelard, G. (1938). *La Formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.



« En effet, je crois qu'il est possible, et même souhaitable, d'enseigner l'astronomie à l'école... »

J'ai constitué un document d'aide à l'analyse, ainsi qu'une fiche d'observation des phases de la Lune, que je serai heureux de partager avec les personnes intéressées. Ces documents peuvent facilement être adaptés à plusieurs situations d'enseignement. Il suffit de m'écrire à chastenay.pierre@uqam.ca.