

Jeux d'ombres sur Pandora

Enquête scientifique sur un monde imaginaire

Roland Lehoucq (roland.lehoucq@cea.fr)
Service d'astrophysique, CEA-Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Cet article montre que l'on peut pratiquer la physique en questionnant certaines images des films de science-fiction. Outre son originalité, qui suscite plus facilement l'intérêt des collégiens et des lycéens, cette véritable enquête scientifique permet d'attacher les sciences, trop souvent considérées comme hors de la culture générale, à des œuvres populaires, connues de tous ou presque.

Ce « vécu commun » permettra ensuite d'élaborer plus facilement un chemin pour éveiller la curiosité, apprendre, appliquer de façon coordonnée des connaissances déjà acquises, développer l'esprit critique et la capacité à traiter scientifiquement une question.

Nous sommes en 2154. Le vaisseau interstellaire *Venture Star* termine son approche de Pandora, un des nombreux satellites de la planète Polyphème (fig. 1). Bleutée, cette dernière est balafnée par un immense anticyclone qui ressemble étonnamment à la grande tache – rouge – de Jupiter. Cette scène d'*Avatar*, le film à succès de James Cameron sorti en 2009, est magnifique et frappe l'imagination. À l'heure où la démarche d'investigation est préconisée pour l'enseignement des sciences, par exemple dans l'enseignement intégré de science et technologie (EIST) ou dans le cadre des résolutions de problèmes des nouveaux programmes de lycée, nous allons montrer que cette image peut être, au-delà de l'émerveillement qu'elle provoque, un prétexte à pratiquer la physique. Le but d'un travail en classe fondé sur la démarche d'investigation est de remplacer de façon plus efficace des conceptions initiales erronées ou fragiles par des connaissances plus solides, en les ancrant dans un questionnement et une pratique active. Un autre enjeu est de motiver les élèves, d'éveiller leur intérêt et de les rendre actifs puisque la confrontation de leurs idées au monde physique, qui les amènera à les modifier, suppose une forte implication personnelle. Montrons comment ces idées ont été mises en œuvre par l'auteur avec des classes de collégiens et de lycéens^(a).

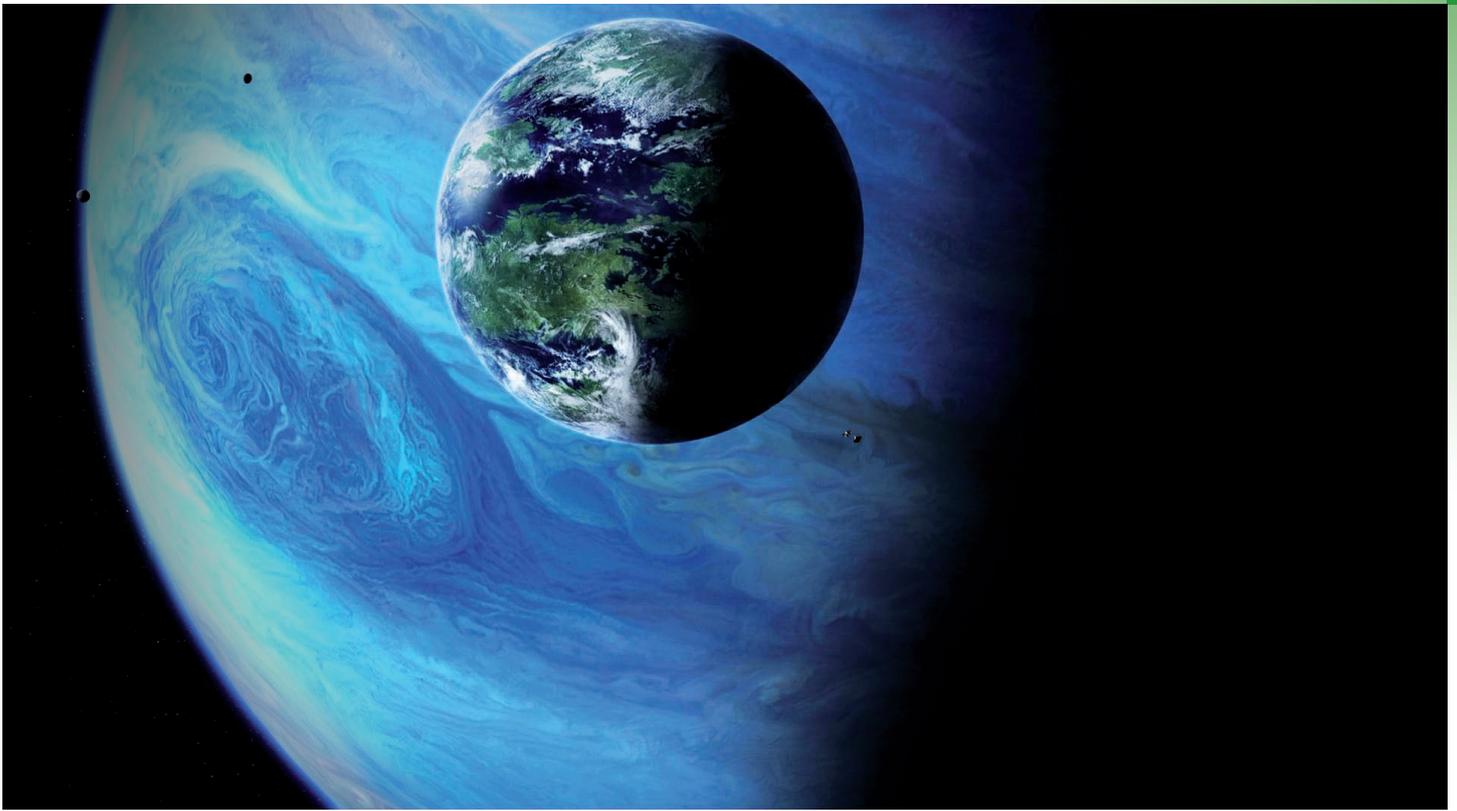
« **Pouvez-vous me dire quelle est la direction de la source de lumière qui éclaire la scène ?** » demande le médiateur. À cette question, les élèves répondent systématiquement par un « à gauche ! » souvent accompagné d'un petit geste du doigt. « À gauche ? Vous en êtes sûrs ? » leur répond le médiateur en tendant son bras gauche. Ce simple geste fait réaliser aux élèves qu'ils ont spontanément exprimé leur réponse dans un référentiel qui leur

est propre alors que l'on pourrait attendre une réponse universelle, indépendante de la position de l'observateur. Par ailleurs, la formulation « à gauche » est plutôt vague et ne fixe pas une direction précise.

« **Pouvez-vous maintenant formuler une réponse précise et universelle ?** ». C'est là que les difficultés apparaissent. Comment exprimer en une phrase une direction que chacun « voit » intuitivement ? En alliant les propositions des élèves, la réponse finit par émerger : la source de lumière est située sur la droite perpendiculaire à la limite jour-nuit, du côté éclairé de Pandora^(b). Le temps nécessaire à l'élaboration de cette réponse montre que la difficulté n'est pas dans l'optique des ombres – tous les élèves en ont une bonne compréhension fondée sur leur expérience quotidienne – mais plutôt dans la formulation d'une réponse précise et argumentée. C'est aussi l'occasion de rappeler que la réponse à une question n'est pas forcément unique. On aurait aussi pu dire : la source de lumière est située sur la droite perpendiculaire à la limite jour-nuit de Pandora à l'opposé de son côté nuit. Pour chacun, nul doute que la source de lumière est l'étoile autour de laquelle orbite Polyphème.

« **Pouvez-vous valider votre réponse par d'autres éléments de l'image ?** » Les élèves remarquent alors qu'un autre satellite est visible sur le bord gauche de Polyphème. Il possède lui aussi un terminateur dont la direction semble tout à fait parallèle à celui de Pandora : il est donc éclairé par la même source de lumière. On note aussi qu'avec une beaucoup plus petite taille apparente que Pandora, ce satellite est moins « pratique » pour déterminer avec précision la direction de la source.

« **Et maintenant, pouvez-vous interpréter cette tache noire que l'on voit à la surface de Polyphème ?** » Les réponses fusent : « C'est un autre satellite ! C'est



1. L'arrivée du *Venture Star* près de Pandora (*Avatar*, film de J. Cameron, 2009), satellite de Polyphème, une planète géante gazeuse qui orbite autour de la principale étoile du système binaire *alpha Centauri*, distant de 4,37 années-lumière de la Terre. Un second satellite de petite taille apparente, éclairé sur la gauche, est observé sur le bord gauche de Polyphème. L'ombre d'un troisième satellite apparaît comme une petite tache noire sur la surface de Polyphème, en haut à gauche de Pandora.

l'ombre du petit satellite ! C'est un trou dans Polyphème ! » Rapidement convaincus qu'il ne paraît guère plausible qu'un trou puisse subsister dans l'atmosphère – fluide – d'une planète gazeuse, les élèves se concentrent sur la discussion des deux premières propositions. « Que peut-on dire de la première hypothèse ? » Si cette tache sombre était un autre satellite, lui aussi éclairé par l'étoile, on devrait y voir un terminateur. Comme ce n'est pas le cas, l'hypothèse de départ est fautive...

« Et si c'est l'ombre du petit satellite, dans quelle direction se situe la source qui l'éclaire ? » Aguerriés par leur première tentative, les élèves convergent plus rapidement vers une proposition : « Sur la droite qui joint le satellite et la tache noire, à l'opposé de la tache. » Cette direction est manifestement différente de celle déterminée en premier lieu. « Est-ce un problème ? » Les avis sont partagés. Après tout, *alpha Centauri* est une étoile double ! Deux sources de lumière situées dans deux directions différentes peuvent donc éclairer la scène. « Certes, mais quelle conséquence cela aurait-il ? » Un échange aboutit à l'idée que Pandora devrait alors avoir deux terminateurs et que sa surface devrait présenter un jeu d'ombres et de pénombres plus complexe.

Comme ce n'est pas ce que l'on constate, c'est que la tache noire n'est pas l'ombre du petit satellite. Nous voilà donc devant une petite énigme : un effet – la tache noire – sans cause apparente. « Peut-on imaginer une autre possibilité ? » Les esprits phosphorescents et au bout d'un instant une voix ose : « c'est l'ombre d'un satellite qu'on ne voit pas sur l'image. » Intéressante prédiction. Lente à sortir aussi car, après tout, ne vient-on pas d'expliquer un effet visible par une cause invisible ?

C'est l'occasion de faire remarquer que cette situation s'est déjà produite en physique. Par exemple lorsque les irrégularités observées du mouvement de la planète Uranus ont été justifiées par l'existence d'une planète inconnue, découverte ensuite et baptisée Neptune. Ou quand l'apparente non-conservation de l'énergie lors d'une désintégration bêta fut expliquée en invoquant une fantomatique particule, le neutrino, mise en évidence quelques années plus tard. L'imagination des scientifiques n'a pas toujours été récompensée : la mystérieuse planète Vulcain, jugée responsable de l'avance du périhélie de Mercure n'a jamais été découverte. Il fallut attendre 1915 et la publication par Einstein de sa théorie de la

relativité générale pour rendre compte de cette « anomalie » du mouvement de Mercure.

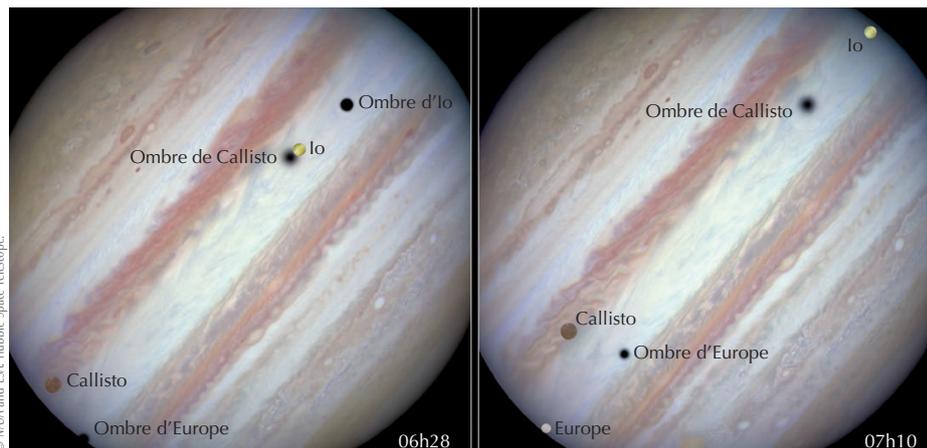
Supposer que la tache noire à la surface de Polyphème est l'ombre d'un satellite « invisible » permet aussi d'évoquer les raisons qui font que notre analyse est scientifique. D'abord, nous avons compris les jeux d'ombres et de lumière de la scène d'arrivée du *Venture Star* autour de Pandora en nous appuyant sur l'optique géométrique de base. Comme le fait la physique, nous avons rendu compte des apparences d'un monde en élaborant une vision cohérente entre ce qui est observé et ce qui est déjà connu. Explicative, une proposition scientifique doit aussi être prédictive, capable de suggérer des phénomènes nouveaux qui, s'ils sont effectivement observés, renforceront l'interprétation proposée et, s'ils ne le sont pas, la mettront à bas. Nous avons aussi avancé une prédiction : Polyphème possède un satellite supplémentaire qu'on ne voit pas sur l'image. Il suffirait que la caméra change d'angle de visée ou que l'on puisse entrer dans le film pour vérifier si la proposition est correcte ou non. Parce qu'elle contient en elle le germe de sa propre destruction, notre analyse suit bel et bien une logique scientifique.

>>>

>>>

La même analyse peut être menée avec la vidéo du triple transit devant Jupiter^(c) – très rare – qui s’est produit le 24 janvier 2015 (fig. 2). Les premières images ne montrent que deux satellites, Io et Callisto, devant le disque de la planète (<http://tinyurl.com/nz35uce>). Mais il y a trois ombres ! Il est aussi possible de reconstruire la configuration géométrique qui rend compte de cette situation, à condition d’invoquer la présence d’un troisième satellite, encore hors du champ. À la différence de l’image du couple Pandora/Polyphème, l’observation s’est poursuivie, finissant par révéler le satellite Europe, responsable de l’ombre qui, initialement, n’avait pas de source apparente.

On l’aura compris, certaines images des films de science-fiction permettent la mise en place d’une démarche qui vise à les « faire parler » au-delà de ce qu’elles montrent. Même si, à elles seules, elles ne permettent nullement de bâtir un cours de physique, elles constituent, par leur attrait, un motivateur ou un déclencheur de



2. Le triple transit de Jupiter qui s’est produit le 24 janvier 2015 (images du télescope spatial Hubble). Sur l’image de gauche, deux satellites sont visibles (Io, à droite ; Callisto, à gauche) alors qu’il y a trois ombres. Comment expliquer cette situation ? L’image de droite, prise 42 minutes plus tard, donne la réponse : il s’agissait de l’ombre du satellite Europe qui, entretemps, est entré dans le champ de la caméra.

questions. Décaler son regard en passant par un monde imaginaire permet ensuite de mieux revenir à notre monde, le seul qui compte pour les sciences, pour en éclairer et en comprendre les mécanismes.

L’élève découvre alors le plaisir lié à la maîtrise de ses connaissances, mais aussi celui d’explorer et de comprendre son monde. ■

(a) Les citations sont des questions réellement posées par l’auteur ou des réponses réellement apportées par les élèves. La teneur des échanges est résumée pour ne pas trop allonger l’article.

(b) Cette limite est nommée « terminateur ». Elle peut être l’objet d’une autre question : pourquoi le terminateur semble-t-il « flou » ?

(c) Ce triple transit était en fait pentuple, car les petits satellites Amalthée et Thébé passaient aussi devant le disque de Jupiter. Les meilleures images ont été obtenues par le télescope spatial Hubble, <http://tinyurl.com/ncw9tbl>.