

ARTICLE DE FOND

Les planètes dans le cinéma de SF

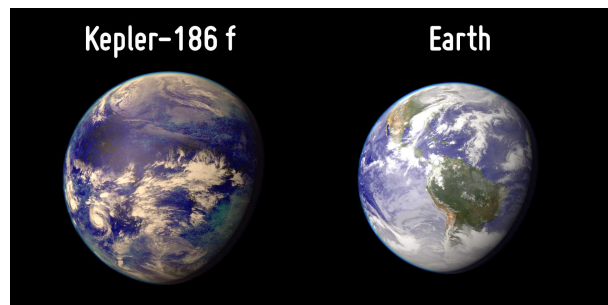
Roland Lehoucq, astrophysicien au CEA de Saclay

Les planètes présentées dans différents films sont-elles réalistes ? Roland Lehoucq les passe au crible des lois de la physique. Il nous explique, par exemple, comment la taille et la masse de chaque planète imposent une gravité qui limite la hauteur maximum des montagnes mais également celle des animaux.

Qu'elle soit proche ou lointaine, abritant la vie ou totalement stérile, la planète est l'un des éléments incontournables de nombreuses histoires de science-fiction. Si la façon la plus classique d'en « construire » une peut se résumer en un décalque de la Terre (auquel on ajoutera quelques éléments exotiques pour faire bonne mesure), il faut bien reconnaître qu'imaginer une planète originale et parfaitement crédible est un travail considérable. Il faut créer de toutes pièces une géographie et ses climats, éventuellement une faune et une flore, sans même parler d'une société complète, avec ses habitants et leurs interactions. Pour rendre l'ensemble cohérent, chaque point devra être étudié attentivement, à commencer par les paramètres physiques attribués à la planète en question. Par exemple, sa masse et sa taille imposeront l'intensité de la gravité de surface qui, entre autres choses, limitera la hauteur maximum des montagnes, de la végétation, des êtres vivants, la densité de l'atmosphère ou la vitesse des vents — il est ainsi difficile d'imaginer qu'une planète à forte gravité abrite des animaux géants ou, inversement, qu'une planète de petite taille ait une atmosphère aussi dense que celle de la Terre.

Mais la spécificité d'une planète, le trait qui lui réserve une place particulière dans notre imaginaire, c'est la possibilité qu'elle puisse abriter la vie. De ce point de vue, la récente découverte de Kepler 186f, une planète de taille terrestre située dans la zone habitable de son étoile, vient nous rappeler que la perspective de la découverte d'exoplanètes semblables à la Terre, ayant de l'eau sous forme liquide et donc un milieu favorable à l'apparition de la vie telle que nous la connaissons, est sans doute le moteur le plus puissant de la recherche exoplanétaire.

À cette aune-là, que peut-on dire des planètes de la science-fiction ? Sont-elles plausibles ? Peut-on déterminer leurs caractéristiques ? Dans cet article, nous allons mener l'enquête et décortiquer quelques-unes des plus emblématiques du cinéma.



Vue d'artiste donnant une représentation plausible de Kepler 186f comparée à la Terre

Quelle orbite pour Tatooine ?

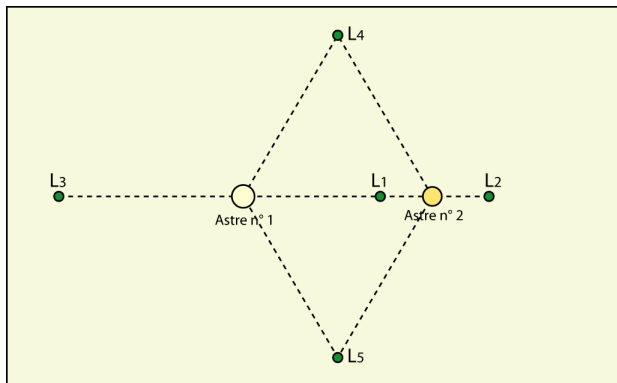
La saga Star Wars regorge de planètes curieuses dont certaines ont marqué les esprits. La plus célèbre est sans aucun doute la chaude et désertique Tatooine, repère de brigands galactiques sur laquelle règne le fameux et puissant Jabba le Hutt. Vous avez sûrement remarqué que cette planète a pour particularité de posséder deux soleils. Force est de constater que cette propriété n'est pas aussi improbable qu'on pourrait l'imaginer car les étoiles binaires sont légion dans notre Galaxie. Le problème n'est donc pas de trouver un système binaire, mais de comprendre quelle pourrait y être l'orbite de Tatooine. Et les possibilités sont nombreuses...

Pour commencer, Tatooine pourrait tourner autour d'un seul de ses deux soleils. Cette situation est tout à fait envisageable car l'étoile 16 Cygni B possède une planète géante alors que son compagnon, 16 Cygni A en est dépourvu. Pourtant cette hypothèse est peu vraisemblable car, dans l'épisode IV « Un nouvel espoir », Luke Skywalker voit le coucher quasi simultané des deux soleils de Tatooine, avec des tailles apparentes comparables. Si Tatooine tournait autour d'un seul de ses soleils, celui-ci devrait apparaître plus grand que l'autre étoile plus éloignée, si l'on suppose leurs tailles comparables. En revanche, si elles n'ont pas la même taille réelle, la plus éloignée doit, pour avoir la même taille apparente que la proche, être celle qui a la plus grande dimension. Ce serait le cas par exemple si la

Crédit : PHL UPR, Aresibo, NASA

seconde étoile était une géante rouge, dont le rayon se compte en dizaines, voire centaines, de rayon solaire. L'inconvénient de cette hypothèse est que les étoiles géantes rouges sont des étoiles en fin de vie, prêtes à expulser leur enveloppe gazeuse sous forme d'une nébuleuse planétaire. Fâcheux pour les planètes alentours...

Une autre possibilité est de placer Tatooine à l'un des points de Lagrange L4 ou L5 des deux étoiles.



Les points de Lagrange, ainsi nommés en l'honneur de leur découvreur, l'astronome Joseph-Louis Lagrange (1736-1813), désignent les cinq positions pour lesquelles la force de gravité des deux astres est exactement compensée par la force centrifuge due au mouvement orbital d'une planète qui s'y trouverait placée. Les trois premiers de ces points, L1, L2 et L3, placés exactement sur la ligne joignant les centres des deux étoiles, correspondent à des positions d'équilibre instable. Autrement dit, un objet qui se trouve en un tel point s'en éloignera indéfiniment sous l'effet de la moindre perturbation. Il est donc impossible qu'une planète puisse y demeurer durablement. Les deux autres points, L4 et L5, qui forment chacun un triangle équilatéral avec les deux étoiles, correspondent, eux, à des positions d'équilibre stable. Autrement dit, un corps placé en l'un de ces points y demeure, même s'il est soumis à une force perturbatrice. Par exemple, les points L4 et L5 du système Soleil-Jupiter abritent des astéroïdes, les Troyens. Cette solution ne peut être envisagée dans le cas de Tatooine car, si tel était le cas, depuis sa surface, on devrait toujours voir les soleils jumeaux séparés de 60° , mesure de chacun des angles d'un triangle équilatéral. Les directions voisines des soleils lors de leur coucher observé depuis la surface de Tatooine obligent à ignorer cette possibilité.

En définitive, il est plus probable et plus raisonnable que l'orbite de Tatooine englobe ses deux soleils à la fois. Ce genre d'orbite est stable si la distance qui sépare la planète de ses soleils est au moins quatre fois plus grande que celle qui sépare les deux étoiles. Tout se passe alors comme si, du

point de vue de la planète, les étoiles ne faisaient qu'une. Dans cette configuration, on peut même estimer le rayon de l'orbite de Tatooine. Les deux étoiles sont probablement assez semblables à notre Soleil : l'une est jaunâtre l'autre tire plus vers l'orange, laissant supposer qu'elle est un peu plus froide. Si les deux étoiles sont trop proches l'une de l'autre, elles doivent être déformées par leurs gravités mutuelles : leur forme devrait alors être celle d'une sphère déformée par les forces de marée. Comme on ne voit à l'œil nu aucune déformation lors du coucher des étoiles, cela implique, après un rapide calcul, que leur distance doit être supérieure à une dizaine de millions de kilomètres. L'estimation de la séparation angulaire des étoiles lors de leur coucher nous permettra de préciser le rayon de l'orbite de Tatooine. Si l'on suppose que le diamètre apparent des deux étoiles est voisin de celui de notre Soleil, soit $0,5^\circ$, la séquence du film permet d'estimer que leur séparation est de l'ordre de 3° . Voici un exemple d'emplacement cohérent pour une planète désertique comme Tatooine : à deux cent millions de kilomètres, une planète aurait une orbite stable et verrait ses soleils séparés d'au plus 3° . Elle recevrait 12 % d'énergie de plus que celle que reçoit la Terre du Soleil, expliquant ainsi la température élevée qui règne à sa surface. Son année serait alors égale à 1,1 année terrestre et l'on devrait pouvoir y observer d'intéressants effets de marées ainsi que de spectaculaires éclipses... Un dernier point. Ne vous abandonnez pas à un romantisme béat lorsque vous reverrez le célèbre coucher du double soleil de Tatooine car nous sommes bel et bien dans un film de fiction. La preuve ? Observez le sol aux pieds des habitants de la planète : on n'y voit qu'une seule ombre !

Kamino, une planète-océan ?

Dans l'épisode II « L'attaque des clones » le Jedi Obi-Wan Kenobi mène une enquête à travers la galaxie pour localiser une armée secrète. Il se rend alors sur la planète Kamino, un monde entièrement recouvert d'eau et lieu de vie des Kaminoans, de brillants scientifiques ayant mis au point des techniques de clonage très sophistiquées. Est-il possible d'imaginer une planète-océan comme Kamino ? Même si l'on dispose d'assez peu d'informations sur les caractéristiques des presque 1 800 exoplanètes découvertes jusqu'à présent, cela n'a pas empêché les astrophysiciens d'imaginer à quoi elles pourraient ressembler. Le premier à avoir sérieusement envisagé la possibilité d'une planète complètement recouverte d'eau est le Français Alain Léger.

Pour former une planète-océan, les chercheurs ont proposé un scénario fondé sur l'évaporation d'une géante gazeuse de la taille de Neptune qui se serait formée près de son étoile. Cette possibilité semble plausible si l'on en croit la répartition des planètes extrasolaires découvertes à ce jour. Une fois l'épaisse atmosphère évaporée sous l'effet du rayonnement de l'étoile, une partie du manteau de glace aurait fondu, entraînant la formation d'un immense océan dont la profondeur moyenne atteindrait vingt-cinq fois la profondeur moyenne des océans terrestres. La pression au fond de celui-ci resterait suffisante pour qu'une partie du manteau demeure à l'état solide (en effet, lorsque la pression augmente, la température de fusion augmente également). Selon les modèles, la structure interne d'une planète aquatique consisterait en un noyau métallique d'environ 4 000 kilomètres de rayon au-dessus duquel se situerait un manteau rocheux d'une épaisseur de 3 500 kilomètres, lui-même recouvert d'un second manteau constitué de glace et pouvant atteindre une épaisseur de 5 000 kilomètres, le tout étant recouvert d'un océan d'une centaine de kilomètres de profondeur. D'après ce scénario, une planète-océan pourrait donc être environ deux fois plus grande et six fois plus massive que notre planète et sa gravité de surface serait 1,5 fois supérieure à celle de notre planète. Cela ne ressemble pas à la planète Kamino. En effet, l'épisode II permet de conclure qu'elle est dotée d'une gravité plutôt faible pour permettre aux Kaminoans, hautes créatures humanoïdes au cou démesuré, de maintenir leur tête en équilibre sans trop de peine. Si la possibilité d'une planète-océan a été sérieusement envisagée c'est que l'eau est un élément essentiel au développement de la vie telle que nous la connaissons. L'une des propositions sur l'origine de la vie est fondée sur la présence de sources chaudes dans les fonds océaniques, consécutives à une activité volcanique comparable à celle donnant naissance aux sources hydrothermales que l'on trouve dans les profondeurs des océans terrestres. Sur une planète-océan cette possibilité semble devoir être abandonnée, car plusieurs milliers de kilomètres de glace séparent le fond de l'océan de toute source hydrothermale potentielle. Il reste néanmoins possible qu'une forme de vie apparaisse dans le volume des océans.

Les anneaux de Geonosis

À la poursuite du chasseur de prime Jango Fett, qui est l'original de tous les clones produits sur Kamino, le Jedi Obi-Wan Kenobi pénètre dans une ceinture d'astéroïdes entourant Geonosis, une planète désolée sur laquelle se déroulera la première

bataille de la guerre des clones. Au premier abord, l'anneau de Geonosis ressemble fort à celui que l'on trouve, dans notre système solaire, non seulement autour de la planète Saturne, mais aussi autour des trois autres géantes que sont Jupiter, Uranus et Neptune. Pourtant, certains détails clochent. À bord de leurs vaisseaux, Obi-Wan Kenobi et Jango Fett doivent faire des prouesses de pilotage pour éviter de percuter l'un des énormes blocs rocheux de la ceinture planétaire. Mais avec un environnement si dense, pourquoi n'assiste-t-on pas à de nombreuses collisions entre ces astéroïdes ? Celles-ci auraient un double effet. Tout d'abord, les astéroïdes se fragmenteraient sous le choc, ce qui aurait pour conséquence de faire diminuer leur taille moyenne ; petit à petit, les énormes blocs seraient réduits en fine poussière. Ensuite, certains débris quitteraient leur orbite grâce à la vitesse acquise lors des collisions ou sous l'effet des nombreuses perturbations gravitationnelles induites par leurs voisins. Du coup, soit ils finiraient par s'échapper définitivement de l'attraction de Géonosis, soit, au contraire, ils y tomberaient à grande vitesse. Quant aux grains les plus fins, ils seraient aussi sensibles à la pression du rayonnement de l'étoile qui perturberait énormément leurs orbites. Les images du film permettent d'estimer la densité et la taille des astéroïdes de la ceinture de Geonosis par comparaison avec la taille du vaisseau de Obi-Wan. De ces informations on peut tirer un ordre de grandeur de la fréquence des collisions et la conclusion est impitoyable : en quelques mois la majorité des objets de l'anneau de Geonosis devraient avoir atteint une taille variant de celle d'une poussière à celle d'un gros caillou. Ainsi, si la ceinture de Geonosis contient encore de gros astéroïdes, c'est qu'elle est de formation relativement récente. Peut-être la planète avait-elle un petit satellite naturel sur laquelle a été testé le puissant « turbo-laser » qui équipe l'Étoile de la Mort et dont la conception a été réalisée par le peuple insectoïde qui domine Geonosis ?

Mustafar, la planète infernale

Le duel final de l'épisode III « La revanche des Siths », opposant Obi-Wan Kenobi à Anakin Skywalker – le futur Dark Vador – se déroule dans le décor grandiose et incandescent de la planète Mustafar. Couverte de volcans en éruption et de fleuves de lave, Mustafar est une bonne approximation de l'Enfer. Peut-on envisager l'existence d'une telle planète ?

Mustafar ressemble peut-être à ce qu'a été la Terre primitive, entre 4,56 et 3,8 milliards d'années dans le passé. Son histoire reste mal connue car les

roches formées durant cette période sont très rares à la surface de la Terre. Cette période fut nommée Hadéen (Hadès est le dieu grec des enfers) pour rappeler les conditions qui régnaient à la surface de la Terre à cette époque. L'Hadéen est une période clef de l'histoire de la Terre car plusieurs traits majeurs de notre planète y sont apparus : formation de la croûte et des continents, démarrage de la tectonique, apparition du champ magnétique, formation de l'atmosphère, stabilisation des océans et, peut-être, apparition de la vie. De ce point de vue, Mustafar serait alors une toute jeune planète en train de se remettre des affres de sa naissance.

Mustafar pourrait aussi être le théâtre d'une activité géologique exceptionnelle. Les géologues ont montré que notre planète avait aussi subi un épisode d'intense activité volcanique il y a plus de 65 millions d'années. L'immense plateau basaltique du Deccan, en Inde, dont l'épaisseur varie de 1 à 2 kilomètres, s'est formé durant cette période, en raison de l'ouverture d'énormes failles, dont les plus importantes dépassaient 400 kilomètres de longueur. Des geysers de lave de plus d'un kilomètre de hauteur ont déversé, durant plusieurs années, des millions de kilomètres cubes de basalte ! Vu de l'espace, le Deccan a d'ailleurs dû, comme on le voit de Mustafar, rougeoyer durablement à cause des très massives éruptions qui le ravageaient.

Enfin, une troisième possibilité est envisageable. La Terre n'est pas le seul endroit du système solaire où des volcans sont actifs. Io, l'un des gros satellites de Jupiter, est lui aussi le siège de spectaculaires éruptions volcaniques. Pourtant, aucune autre planète que la Terre n'a une activité interne suffisamment intense pour entretenir pareil phénomène. Comment l'expliquer ? Io a une orbite qui reste proche de Jupiter, aussi son volcanisme résulte-t-il des gigantesques forces de marée qu'exerce la planète géante sur son frêle satellite. Sur Terre, la force de marée lunaire soulève les océans de plusieurs mètres parfois et la croûte rocheuse d'environ trente centimètres. Sur Io, dépourvue d'océan, la marée de Jupiter soulève le sol d'environ cent mètres ! Ces mouvements produisent de la chaleur par les frottements qui s'exercent entre les couches internes. Certains panaches des éruptions volcaniques d'Io ont été observés depuis la Terre et montent à plus de 300 kilomètres de hauteur, avec une vitesse d'éjection pouvant atteindre les 3 500 kilomètres par heure. L'orbite de Io traverse également le champ magnétique de Jupiter, ce qui génère un courant électrique qui dissipe une puissance supérieure à mille gigawatts. Il entraîne au loin des atomes

provenant d'Io au rythme d'une tonne par seconde. Ces particules forment autour de Jupiter une sorte de boudin qui rayonne intensément dans l'ultraviolet. Les particules qui s'échappent de ce boudin sont partiellement responsables de la magnétosphère exceptionnellement étendue de Jupiter. Mustafar pourrait donc être un satellite d'une planète géante. Son orbite aurait un rayon si faible que Mustafar se trouverait littéralement broyée par l'action des forces de marée de sa planète mère. Quoiqu'il en soit, voilà un endroit où il ne fait pas bon mettre les pieds...

Le monde d'Avatar

Nous sommes en 2154. Le vaisseau interstellaire humain *Venture Star* termine son approche de Pandora, un des nombreux satellites de Polyphème, une géante gazeuse orbitant autour de la plus grosse étoile du système binaire alpha Centauri. La lumière de l'étoile éclaire la scène. Polyphème, bleutée, est balafmée par un immense anticyclone qui ressemble étonnamment à la grande tache – rouge – de Jupiter. Ces images d'Avatar, le récent film à succès de James Cameron, sont magnifiques et frappent l'imagination.

Le système d'alpha du Centaure



Située à 4,37 années-lumière du Soleil dans la direction de la constellation australe du Centaure, alpha Centauri est un système binaire qui fait rêver exobiologistes et auteurs de science-fiction depuis longtemps. C'est que les étoiles qui le composent ont des caractéristiques bien particulières : alpha Centauri A est une étoile très similaire à notre Soleil, quoiqu'un peu plus lumineuse, tandis qu'alpha Centauri B est plus rouge, plus froide et deux fois moins lumineuse. Ces deux étoiles orbitent autour de leur centre de gravité commun avec une période de 80 ans, selon des orbites faisant varier leur éloignement de 11,2 à 35,6 unités astronomiques (l'unité astronomique, abrégée en UA, correspond à la distance moyenne entre la Terre et le Soleil, soit environ 149,6 millions de kilomètres). Les astronomes chasseurs d'exoplanètes se sont bien sûr intéressés au cas d'alpha Centauri. Comment ont-ils procédé ? Une planète en orbite autour d'une étoile affecte le mouvement

apparent de celle-ci : au lieu de se déplacer en ligne droite dans le ciel, l'étoile suit une courbe légèrement ondulante. La situation est similaire à celle d'un (gros) lanceur de marteau faisant tourner son (petit) projectile avant de le projeter. Cet infime mouvement d'ondulation peut être détecté par les effets qu'il induit sur le spectre de l'étoile : quand l'étoile s'approche de nous, son spectre est décalé vers le bleu ; quand elle s'éloigne, il est décalé vers le rouge. En mesurant simultanément l'amplitude et la période de ce décalage spectral il est possible d'estimer la masse et les paramètres orbitaux de la planète qui en sont à l'origine. La recherche d'infimes oscillations périodiques des spectres des deux étoiles d'alpha Centauri a d'ores et déjà permis d'exclure la présence d'une planète plus massive que Saturne. Il semble donc qu'il n'y ait pas l'équivalent de Polyphème autour d'alpha Centauri A... En revanche, alpha Centauri B semble posséder au moins une planète découverte par l'équipe de Michel Mayor à l'Université de Genève. Sa période de révolution serait de 3,2 jours terrestres. Très proche de son étoile, à 0,04 UA seulement, elle lui présenterait toujours la même face et serait très chaude, avec une température de l'ordre de 1 200 °C.

Où est située Polyphème ?

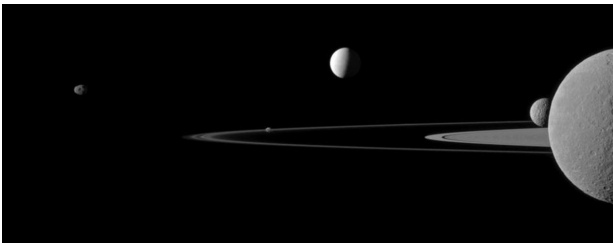
Imaginons quand même qu'une planète de cette taille existe dans le système d'alpha Centauri, où pourrait-elle être située ? Deux contraintes viennent limiter nos choix. Il faut d'abord que son orbite soit stable ce qui, dans un système stellaire binaire, n'est pas acquis d'avance, comme on l'a vu avec Tatooine. Connaissant les paramètres orbitaux des deux étoiles, il est possible d'étudier la stabilité d'une orbite planétaire. Le résultat est sans appel : toute planète située à plus de 2 UA de l'une des deux étoiles est déstabilisée par l'action gravitationnelle de l'autre au point d'être éjectée du système à plus ou moins long terme. Ensuite, pour que son satellite Pandora puisse accueillir la vie, il faut que Polyphème soit située dans la zone d'habitabilité de son étoile. Sachant que la vie telle que nous la connaissons a besoin d'eau liquide, c'est sa présence ou son absence à la surface de la planète qui va fixer la position de la zone d'habitabilité. Celle-ci dépend bien sûr de la luminosité de l'étoile centrale : il faut que le flux lumineux incident reste dans une gamme raisonnable. Trop important, il provoque un effet de serre divergent, trop faible, la température de surface est trop faible pour que l'eau reste liquide. Mais cette position dépend aussi de la composition

de l'atmosphère de la planète. Ainsi, une atmosphère riche en dioxyde de carbone (CO₂), efficace gaz à effet de serre, permet de s'éloigner un peu plus de l'étoile. Dans le film, on apprend que Pandora a une atmosphère irrespirable pour les humains. Ceux qui y débarquent doivent d'ailleurs porter un masque respiratoire. La végétation luxuriante de Pandora suggère que son atmosphère est riche en CO₂, comme l'était l'atmosphère terrestre il y a quelques centaines de millions d'années, à l'époque du Carbonifère. Qualifiée de tropicale et avec une atmosphère riche en CO₂, on peut estimer que Pandora doit recevoir d'alpha Centauri A (dont la luminosité est 1,52 fois supérieure à celle du Soleil) un flux lumineux de l'ordre de celui que reçoit la Terre du Soleil (1 360 W/m²). Cette hypothèse place le couple Polyphème/Pandora à environ 1,2 UA de son étoile, à la limite extérieure de la zone habitable d'alpha Centauri A (1,25 UA). Cette faible distance entre une géante gazeuse et son étoile est tout à fait plausible car parmi les exoplanètes découvertes, nombreuses sont les géantes qui sont encore plus proches de leur étoile.

Quelle est l'orbite de Pandora autour de Polyphème ?

Dans le ciel de Pandora, Polyphème apparaît d'une taille considérable, de l'ordre de 20° (par comparaison la Lune a un diamètre apparent de seulement 0,5°). La vue est spectaculaire et les images magnifiques, mais cette observation n'est pas sans conséquence. D'abord, la lumière diffusée par la face éclairée de Polyphème est largement suffisante pour que la nuit pandorienne ne soit jamais noire : la luminosité apparente de la planète géante doit excéder de plusieurs centaines de fois celle d'une pleine Lune terrestre. Pas facile de faire de l'astronomie sur Pandora... Par ailleurs, le film nous apprend que Polyphème est de la taille de Saturne, ce qui lui donne un rayon de l'ordre de 57 000 kilomètres. Reprenant notre estimation de son diamètre apparent, cela place Pandora à environ 320 000 kilomètres de la géante, soit en gros la distance qui sépare la Terre et la Lune. Cela signifie que Pandora sera sujette à des forces de marée considérables. Celles-ci découlent du fait que le champ de gravité n'est pas homogène dans l'espace : il décroît en raison inverse du carré de la distance au corps central. Ainsi, des parties diamétralement opposées de Pandora subissent des attractions différentes de la part de Polyphème. Du point de vue de Pandora les différences d'attractions gravitationnelles qu'elle subit se traduisent par un écartèlement, un étirement le long de l'axe

Polyphème-Pandora. C'est ce qui se produit sur les océans terrestres, déformés par les forces de marées lunaires et solaires. Cela se produit aussi sur la Lune, où les forces de marées de la Terre déforme sa surface de quelques mètres. Si le satellite est trop proche de sa planète il peut même être brisé par l'étirement résultant des forces de marée. C'est ce qui est arrivé à la comète Shoemaker-Levy 9, qui fut brisée par les forces de marée de Jupiter en juillet 1992 avant de frapper la planète en juillet 1994. On trouve des satellites naturels proches de cette limite de rupture – dite de Roche – comme Épiphémée, Pandora (tiens, tiens...) ou Prométhée, tous trois satellites de Saturne. Dans le cas de Pandora, elle semble suffisamment éloignée de cette limite (qui vaut environ 75 000 kilomètres pour Saturne). En revanche, les forces de marées de Polyphème auront des conséquences ! Ainsi, Io, satellite de Jupiter, orbite 3,45 fois plus loin que la limite de Roche de sa planète selon une orbite légèrement elliptique. Les variations des forces de marées de Jupiter y provoquent un volcanisme très actif et le sol d'Io se soulève de plusieurs centaines de mètres à « marée haute » ! Si l'on fait le même calcul pour Pandora, en supposant que sa densité est voisine de celle de la Terre et en identifiant Polyphème à Saturne, le rayon de son orbite n'est que 4,3 fois supérieur à sa limite de Roche. On devrait y voir des effets similaires à ceux observés sur Io et certaines régions de Pandora pourraient ressembler à Mustafar...



Cinq satellites de Saturne. De gauche à droite, Janus, Pandora, Encelade, Mimas et Rhéa (Crédit photo NASA/JPL Caltech/Space Science Institute)

Dernière conséquence de ces forces de marées, comme la Lune et Io, Pandora doit présenter toujours la même face à sa planète, elle doit tourner sur lui-même au même rythme qu'il parcourt son orbite. Cette parfaite synchronisation entre révolution et rotation résulte de l'effet ralentisseur des forces de marée. Quand le compagnon de la Terre tournait plus vite sur lui-même, la déformation due à la marée terrestre se déplaçait, engendrant des frictions dans les roches internes de la Lune qui ralentissaient sa rotation en dissipant son énergie. Ce freinage perdura jusqu'à ce que la cause des frottements disparaisse, c'est-à-dire jusqu'à ce que la Lune tourne assez lentement pour

nous présenter toujours la même face. Quelques dizaines de millions d'années ont suffi pour accorder les périodes de rotation et de révolution de la Lune. Les mêmes causes produisant les mêmes effets, Pandora doit faire un tour sur elle-même en une révolution autour de Polyphème. Cette synchronisation a deux conséquences pratiques. Pour profiter du spectacle de Polyphème en plein ciel il faut être du bon côté de Pandora et alors Polyphème occupe une position quasiment fixe dans le ciel. Comme cette position ne dépend que de l'emplacement de l'observateur sur Pandora, on peut en déduire la région où se passe l'action du film ! Vue depuis le clan des Omaticayas Polyphème apparaît très proche de l'horizon. Cela indique que la tribu règne sur une région proche de la ligne qui délimite, vue depuis Polyphème, la face visible et la face cachée de Pandora.

Nous voici donc arrivés au terme de notre excursion scientifique dans les planètes de la science-fiction. Les enquêtes que nous avons menées ne sont pas sans rapport avec le travail du chercheur qui échafaude des modèles fondés sur des hypothèses et des théories déjà validées avant de les confronter aux faits expérimentaux. Elles se rapprochent même du travail des astrophysiciens qui n'ont pratiquement que la lumière pour étudier les astres qu'ils observent. Mais dans notre cas nos observations auront surtout servi de prétexte pour parler de notre planète, de celles du système solaire et de celles qui, par milliards, peuplent notre Voie lactée et portent, peut-être, une vie intelligente qui, elle aussi, lève les yeux et s'interroge. ■

En plus de ses activités d'astrophysicien et de vulgarisateur de l'astronomie, auteur de nombreux ouvrages Roland Lehoucq est aussi chroniqueur à la revue de science-fiction Bifrost.

Parmi les ouvrages de Roland Lehoucq, on peut citer : *Exquise planète* de Pierre Bordage, Jean-Paul Demoule, Roland Lehoucq, Jean-Sébastien Steyer, Éd. Odile Jacob, 2014.

La SF sous les feux de la science, Éd. Le Pommier, 2012.
Les Extraterrestres expliqués à mes enfants, Éd. Le Seuil, 2012.

Mission Caladan de Claude Ecken et Roland Lehoucq, Éditions Le Pommier, 2010 (roman).

SF : la science mène l'enquête, Éditions Le Pommier, 2007.

Faire de la science avec Star Wars, Édition Le Pommier, 2005. *Mais où est donc le temple du soleil ? Enquête scientifique au pays d'Hergé* de Roland Lehoucq et Robert Mochkovitch. Éditions Flammarion, 2003.

D'où viennent les pouvoirs de Superman ? Physique ordinaire d'un super-héros, Éditions EDP Sciences, 2003.