

EN ROUTE VERS MARS AVEC LE ROMAN

Nix Olympica

Frédéric Pitout, Observatoire Midi-Pyrénées / Université Toulouse 3 – Paul Sabatier,
Institut de recherche en astrophysique et planétologie
Flore Dumas, David Locher, Nina Veron, lycée Toulouse-Lautrec, Toulouse

Les élèves ont eu à s'interroger sur la vraisemblance d'un roman de science-fiction proche de la réalité d'aujourd'hui (trajectoire, matériel etc.)

Les ouvrages de science-fiction ou d'anticipation font souvent appel, plus ou moins explicitement, à des notions scientifiques et techniques. C'est ouvertement le cas de *Nix Olympica* que Nicolas Beck, son auteur, a voulu comme un roman de vulgarisation scientifique. Avec Flore, David et Nina, élèves (en 2020-2021) de terminale, première et seconde au lycée Toulouse-Lautrec de Toulouse, nous avons lu le livre d'un œil attentif et avons pris un malin plaisir à discuter et commenter les éléments distillés au cours du récit. Nous en détaillons quelques-uns ici.

Avant toute chose, posons brièvement le décor, sans bien sûr tout dévoiler ! Nous sommes en août 2037 et une fusée décolle de Kourou en Guyane pour lancer *Mars 2038*, une mission habitée vers la planète Mars. C'est le voyage lui-même qui est relaté dans le livre, sous forme d'un huis clos. Pour cela, on lit le journal de bord de l'astronaute française (dont on ne connaîtra jamais le prénom, si ce n'est

la première lettre : E.) parmi les cinq qui sont du voyage, et les messages automatiques qu'envoie vers la Terre *Harmony*, le super ordinateur de bord doté d'intelligence artificielle et de capteurs de toutes sortes, et qui contrôle tout à bord du vaisseau (clin d'œil à Hal, l'ordinateur dans *2001, l'odyssée de l'espace* ?). Au cours du récit, il est question d'orbite vers Mars, de potentielles menaces de tempêtes solaires, d'alimentation, de technologies qui nous sont encore inconnues, etc. Et évidemment, tout ne se passe pas comme prévu... L'histoire est pour l'auteur une occasion d'aborder des connaissances scientifiques en astronomie, en géophysique, en biologie, mais aussi des questions sociétales.

La production d'électricité à bord du vaisseau

Que ce soit une sonde, une station orbitale ou autre, un engin spatial a besoin d'énergie. La production de cette énergie se fait le plus souvent par des panneaux photovoltaïques; or la première chose qui nous a intrigués est le croquis du vaisseau spatial page 29 (Image 2).

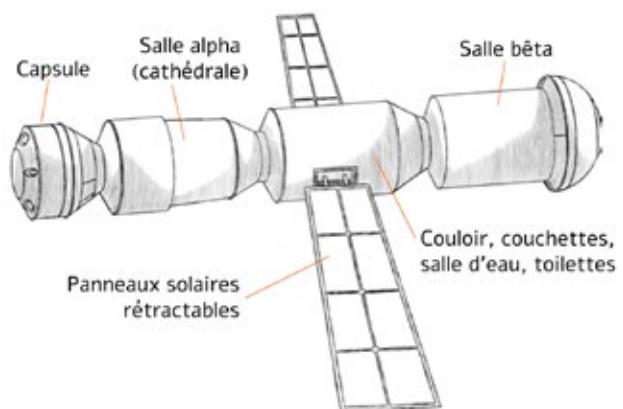


Image.2. Vaisseau spatial « Mars 2038 » tel qu'il est esquissé page 29 (Lucca éditions).

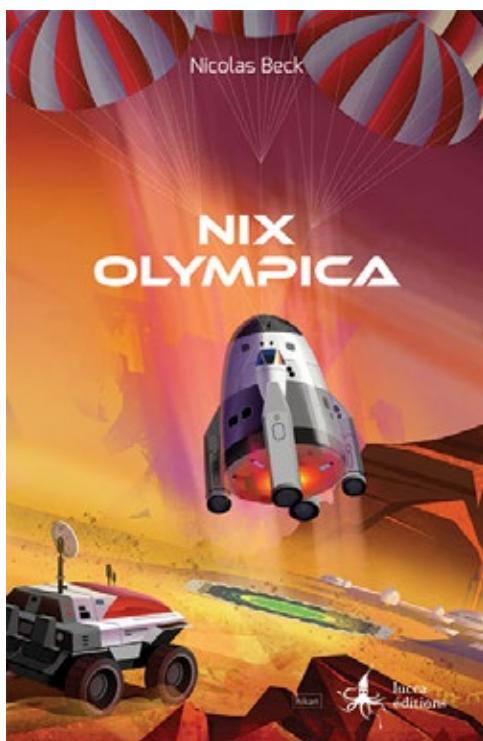


Image.1. Couverture du Roman *Nix Olympica* de Nicolas Beck (Lucca éditions).

Par comparaison avec la Station spatiale internationale (ISS), il nous a semblé que les panneaux solaires étaient bien petits, surtout pour un engin censé aller vers Mars et

donc se retrouver à une distance plus éloignée du Soleil. Puisque certaines dimensions du vaisseau sont connues, nous avons évalué la superficie des panneaux et la puissance électrique qu'ils peuvent délivrer. Le but n'étant pas de montrer la plausibilité du dessin mais davantage de nous livrer à un petit jeu intellectuel.

Commençons par évaluer la puissance surfacique reçue à une distance d du Soleil. Notre étoile rayonne une puissance totale que l'on appelle la luminosité L_{\odot} et qui vaut environ $3,83 \times 10^{26}$ watts. Cette puissance, que l'on suppose se transmettre sans atténuation dans l'espace, s'étale sur une sphère, dont le Soleil est le centre et le rayon la distance d au Soleil et dont la surface est $4\pi d^2$. Il vient que la puissance surfacique reçue (irradiance) du Soleil à une distance d vaut $L_{\odot}/4\pi d^2$. À une unité astronomie (1 ua) et au-dessus de l'atmosphère terrestre, nous recevons 1 366 W/m². Cette valeur est appelée historiquement la constante solaire.

À l'orbite de Mars, avec une distance au Soleil de 1,52 ua, l'irradiance tombe à 591 W/m², soit moins de la moitié. En d'autres termes, si un engin comme l'ISS devait se retrouver en orbite autour de Mars, il faudrait plus que doubler la surface de ses panneaux solaires pour obtenir la même puissance électrique.

Dans le roman, nous n'avons que deux indications sur les dimensions du vaisseau (p. 35) : sa longueur (24 m) et le diamètre de sa partie cylindrique la plus large (4 m). Avec la longueur, on peut estimer la largeur des panneaux solaires à environ 2,6 m. Quant à la longueur des panneaux, on l'évalue à environ 9,7 m en la comparant au diamètre du plus grand du corps du vaisseau (à droite de l'image 2) et en s'aidant des règles de la perspective.

En utilisant ces dimensions, les deux panneaux solaires du vaisseau

totalisent une surface collectrice de lumière de 50,44 m² et peuvent donc délivrer, avec un rendement que l'on peut supposer de 20 %, une puissance de 13,78 kW au niveau de la Terre et de seulement 5,96 kW à l'orbite de Mars. Ces deux valeurs sont très faibles ! À titre de comparaison, un radiateur électrique domestique nécessite entre 1 et 2 kW, et les panneaux solaires de l'ISS développent jusqu'à 120 kW. On voit mal comment une mission vers Mars telle qu'elle est décrite, avec un super ordinateur à bord, du chauffage pour l'équipage et les plantations, les transmissions longue distance jusqu'à la Terre, etc. pourrait consommer significativement moins.

Même en imaginant que d'ici à 2038 les cellules photovoltaïques atteignent le rendement idéal de 100 %, on n'arrive au mieux qu'à une puissance de 29,81 kW au niveau de l'orbite de Mars.

Date de départ et voyage vers Mars

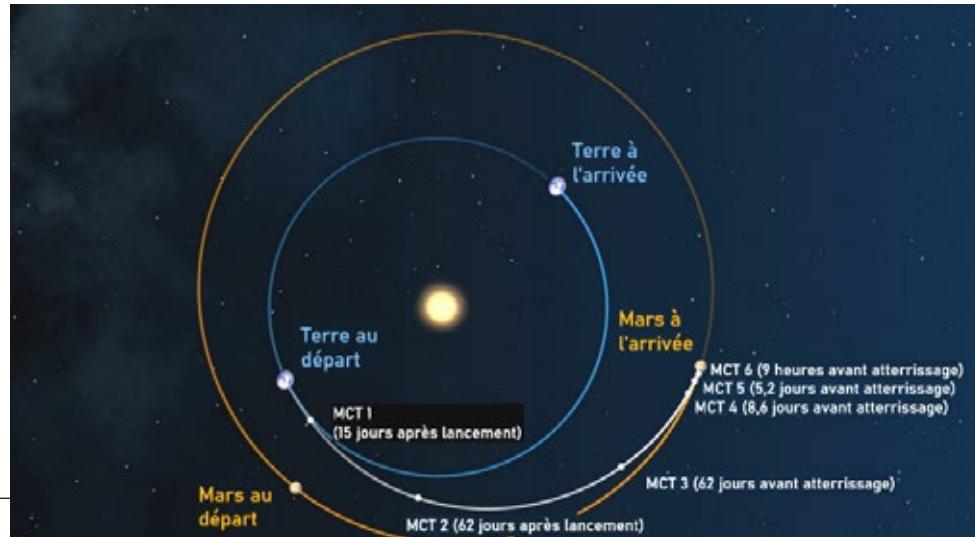
Les voyages vers Mars, par souci d'économie de temps et d'énergie, ne se font qu'autour des oppositions, quand la distance Terre-Mars approche d'un minimum. Il ne faut toutefois pas s'imaginer que le trajet se résume à la ligne droite la plus courte entre la Terre et Mars ! En effet, la trajectoire du vaisseau,

comme les orbites de la Terre et Mars, est une ellipse. Il faut donc s'arranger pour que la portion d'ellipse parcourue (et pas forcément une demi-ellipse comme mentionné dans le roman p. 265) soit la plus courte possible, qu'elle intersecte la trajectoire de Mars en un point où sera effectivement la planète, et avec la bonne vitesse d'approche. Pour cela, la technique consiste à lancer tout objet vers Mars environ 3 mois avant l'opposition.

Il se trouve que la date choisie par l'auteur est cohérente avec la mécanique céleste puisque le vaisseau décolle en août 2037, avant l'opposition du 19 novembre 2037. Nous ferons remarquer au passage que si l'on cherche la distance Terre-Mars minimale, avec Stellarium par exemple, on trouve le 11 novembre 2037. Cette différence entre la date d'opposition et la date de distance minimale s'explique par le fait que les orbites de la Terre et de Mars ne sont pas circulaires. L'alignement Soleil-Terre-Mars ne correspond donc pas nécessairement au minimum de la distance Terre-Mars.

À titre d'exemple, l'image 3 montre la trajectoire suivie par la mission Mars 2020 (*Perseverance*). Au moment du lancement, le 30 juillet 2020, la distance Terre-Mars était de 105 millions de km et elle a atteint un minimum de 62 millions de km

Image 3. Schéma montrant, en blanc, la trajectoire de Mars 2020 vers Mars avec les manœuvres de correction de trajectoire (MCT) ; en bleu, l'orbite de la Terre et ses positions au départ et à l'arrivée de la mission ; et en orange, les mêmes informations pour Mars. (Adapté de Nasa/JPL.).



le 10 octobre 2020. Pourtant, Mars 2020 a parcouru 472 millions de km en 203 jours. Dans le roman, le voyage dure 174 jours pour « plus de 400 millions de km » (p. 10). Nous sommes bien dans les mêmes et bons ordres de grandeur.

Un environnement spatial hostile

En plus du vide, des températures extrêmes et de l'isolement, une mission habitée dans l'espace doit prendre en compte l'activité solaire. L'impact du Soleil est mentionné à plusieurs reprises dans l'ouvrage : « les réactions thermonucléaires qui ont lieu au cœur du Soleil génèrent des radiations ionisantes dont doivent être protégés les astronautes. » (p. 265) ; « le voyant d'alerte signifiant *éruption solaire* clignote avec insistance » (p. 361). Sous le vocable « rayonnements ionisants » on entend les photons énergétiques (extrême UV, X ou gamma) et les particules chargées électriquement, dont certaines sont relativistes, qui ont tous l'énergie cinétique nécessaire pour arracher un ou plusieurs électrons à des atomes ou molécules et donc à les ioniser. Évidemment, ces rayonnements sont problématiques pour des voyages interplanétaires car ils peuvent mettre en danger l'équipage. Cela peut aller de la simple brûlure à la détérioration de l'ADN et jusqu'à la mort instantanée en cas d'exposition à des doses de radiations trop importantes. Pour s'en prémunir, la solution évoquée dans le roman est celle mise en place dans l'ISS : se confiner dans la partie du vaisseau la plus protégée (par du blindage additionnel par exemple). Une autre solution serait de générer un champ magnétique intense qui créerait un cocon magnétique protecteur.

L'environnement spatial met aussi les astronautes à rude épreuve sur le plan psychologique. L'isolement, le confinement, la promiscuité sont autant de facteurs à risque qui sont évoqués tout au long de l'histoire. Page 69, l'auteur fait aussi référence à l'*overview effect* (« effet de surplomb » en français) : des astronautes des missions Apollo ou ayant séjourné dans l'ISS auraient pris conscience de la fragilité de la planète Terre en la voyant seule, petite et finalement vulnérable dans l'immensité noire du cosmos.

Vitesse orbitale et vitesse de libération à Mars

Page 384, il est écrit que le vaisseau se met en orbite circulaire autour de Mars à 200 km d'altitude avec une vitesse de 3,3 km/s. Vérifions cette dernière valeur. En orbite circulaire autour d'une planète, la force centripète $v^2/(R_M + h)$ que subit un corps est égale à la force de pesanteur $GM_M/(R_M + h)^2$, avec v la vitesse de révolution, R_M et M_M le rayon moyen (3 390 km) et la masse ($6,42 \times 10^{23}$ kg) de Mars, G la constante gravitationnelle

($6,67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$) et h l'altitude (ici, 200 km). Cela nous donne une vitesse orbitale de 3,58 km/s, qui est proche de celle donnée dans le livre, et une période de révolution de 105 min, pour « un peu moins de deux heures » dans le texte. Pour information, la vitesse de libération pour s'extraire de l'attraction gravitationnelle de Mars est de 5 km/s.

La vie sur Mars ?

Pages 96 et 97, il est question de fossiles de bactéries découverts par des missions *ExoMars 4* et *5* en 2027 et 2029. Faisons un point sur ce que l'on sait actuellement sur la surface de Mars. Il y a de l'eau à l'état de glace sous la surface, de l'eau liquide a coulé dans un lointain passé. Des astromobiles comme *Perseverance* essaient de trouver des vestiges de vie, même microscopiques, mais en vain pour le moment. En revanche, la recherche de traces de vie nous a amené à nous intéresser à la contamination potentielle par des engins de construction humaine, et donc à la décontamination de ces engins (voir l'entretien avec Delphine Faye, experte décontamination au CNES).

Décontamination spatiale, entretien avec Delphine Faye

Dans le cadre de ce travail, nous avons rencontré Delphine Faye, chimiste de formation et « experte contamination » au CNES, afin qu'elle nous en dise plus sur les problèmes de (dé)contamination des engins spatiaux.

Pourquoi décontaminer les missions spatiales comme celle vers Mars décrite dans *Nix Olympica* ?

Delphine Faye – *La raison principale est la protection planétaire, c'est-à-dire de ne pas importer d'organismes vivants dans des environnements où ils pourraient potentiellement proliférer. En d'autres termes, de ne pas polluer biologiquement des environnements planétaires. Une autre raison, plus pratique, est qu'un des objectifs d'une mission comme Perseverance sur Mars par exemple est précisément de détecter de possibles traces de vie. Il n'est donc pas question qu'elle en emporte avec elle ! Un autre aspect de la contamination est le retour d'échantillons de planètes, d'astéroïdes ou autre corps. Nous devons manipuler ces échantillons avec une grande prudence car des organismes potentiellement inconnus sur Terre pourraient être présents.*

De quels genres d'organisme parle-t-on précisément ?

On craint par-dessus tout les organismes dits extrémophiles, qui peuvent résister à des environnements et des conditions extrêmes de température, de pression, de

radiation, etc. L'exemple le plus connu est le tardigrade, ce petit animal assez commun qui résiste à tout ou presque. Mais ce qui nous préoccupe le plus, ce sont des microorganismes extrémophiles, comme les spores de bactéries. Les spores de bactéries sont dans un état dormant : leur métabolisme est inactif ; elles font partie des microorganismes les plus résistants par exemple à la chaleur sèche. C'est pourquoi, on s'intéresse plus particulièrement aux bactéries capables de sporuler. Les spécifications de propreté microbiologique sont données en spores de bactérie par m².

Comment ces organismes peuvent-ils se retrouver sur des sondes ou des astromobiles ?

Ils sont apportés par les hommes et les femmes qui construisent ces engins ou les instruments qu'ils embarquent ! Pour limiter la contamination, nous travaillons dans des salles propres, dites « blanches », dans lesquelles règne une surpression pour que l'air ne puisse aller que vers l'extérieur. L'air est aussi constamment filtré pour que le nombre de particules fines soit limité dans une classe donnée. Par exemple, la classe ISO 5 signifie qu'il y a moins de 10⁵ particules (poussière ou autre) de taille égale ou supérieure à 0,1 µm par m³ d'air. Malgré toutes ces précautions, il reste toujours des microorganismes sur nos instruments ou éléments d'une sonde donc il faut désinfecter, voire stériliser.

Comment procède-t-on ?

Nous avons tout un éventail de moyens physiques et chimiques à notre disposition. Parmi les moyens physiques, citons la chaleur sèche : l'opération consiste à mettre l'engin à stériliser dans une enceinte dans laquelle la température monte à une centaine de degrés Celsius et l'hygrométrie est proche de zéro. C'est aujourd'hui une méthodologie normalisée pour la stérilisation des équipements spatiaux. On peut également passer l'instrument aux rayons X ou gamma pour détruire les microorganismes les plus résistants. On peut aussi simplement désinfecter chimiquement à l'aide d'alcools (alcool isopropylique, essentiellement) ou d'autres produits. En fait, tout dépend du niveau de propreté que l'on souhaite atteindre en fonction du type de mission que l'on considère. Une sonde qui restera dans le milieu interplanétaire n'a pas besoin d'être aussi « propre » qu'un astromobile qui va se poser sur une planète et qui va y chercher des traces de vie. Il existe ainsi 5 catégories de missions pour lesquelles les recommandations de protection planétaire seront adaptées. Par exemple, la catégorie I qui concerne les missions avec un intérêt scientifique autre que la recherche de vie ne requiert que très peu de précautions ; en revanche, les catégories IV et V qui s'appliquent précisément aux missions de recherche de vie et au retour d'échantillons sont très contraignantes



Image.4. Inspection sous UV de l'instrument PHEBUS pour la mission BEPI COLOMBO (Cnes).

sur la réduction de la charge microbienne et bactérienne des surfaces de l'engin avant le lancement.

Autres sujets intéressants

Par manque de place, il nous est difficile d'être exhaustifs et de détailler tous les sujets abordés directement ou indirectement par Nicolas Beck dans son roman. Nous en évoquons ici quelques-uns plus brièvement.

Rétrogradation de Mars. Elle est évoquée et illustrée (pages 308-309) et nous avons regardé ce phénomène de plus près. Les lecteurs habitués des Cahiers Clairaut connaissent par cœur ce mouvement apparent de la planète rouge alors nous ne nous appesantirons pas sur le sujet. Les autres pourront trouver les explications dans les Cahiers Clairaut (n° 127 par exemple).

Antarès. L'héroïne de l'histoire fait un rêve à propos de la supergéante rouge de la constellation du Scorpion (p. 429). L'occasion de faire le point sur l'évolution stellaire, les tailles des étoiles selon leur type et la fin des étoiles selon leurs masses. C'est par ailleurs une étoile facilement visible à l'œil nu l'été (aux latitudes de la France métropolitaine).

Quelle heure est-il dans l'espace ? Tout au long du récit, des jours et des heures sont donnés et nous nous sommes demandés quel était le système de mesure du temps utilisé dans un environnement où il n'y a pas de cycle jour/nuit ? Sans que la réponse à notre question soit explicitement proposée dans le roman, nous avons encore fait le parallèle avec l'ISS. À son bord, c'est le temps universel qui prévaut, nous supposons qu'il en va de même à bord du vaisseau ainsi que dans les futurs voyages spatiaux.

Esprit critique et complotisme. À de nombreuses reprises – notamment pages 135-136, puis de 205 à 207 –, il est question de méthode scientifique, d'esprit critique et de complotisme. Le CLEA a largement publié sur le sujet

dans son hors-série des Cahiers Clairaut n° 13, nous ne nous étalerons donc pas plus que ça mais il est à noter que l'auteur a souhaité aborder ces thématiques.

Wernher von Braun. Le père des fusées V2 est évoqué. C'est une bonne porte d'entrée pour étudier l'histoire de l'ère spatiale et des premières fusées.

Intelligence artificielle. À bord du vaisseau de nos protagonistes, le super ordinateur *Harmony* a accès à une foule de paramètres autres que ceux liés au voyage : constantes médicales des astronautes, analyse de leurs réactions, de leurs émotions et même de leurs rêves ! Ce système particulièrement intrusif relève encore de la science-fiction – et heureusement ! Toutefois, il nous a fait réfléchir sur l'intelligence artificielle et les problèmes éthiques qu'elle soulève, notamment dans la prise de décisions difficiles.

Conclusion

Finalement, l'auteur Nicolas Beck a bien atteint son but : en lisant *Nix Olympica*, nous nous sommes posé une foule de questions à propos de l'astronautique, de l'astronomie, de la planétologie, de la biologie, etc.

Notre but était de détailler certains des points soulevés directement ou indirectement par le roman et de nous amuser à les approfondir.

Nous avons réussi à apporter des éléments de réponses à certaines de nos questions et avons pu partager le fruit de notre travail (voir encart « Valorisation du travail »).

La grande question que suscite le roman est celle d'une potentielle vie passée sur Mars. Là, personne n'a encore la réponse...

Valorisation du travail

Une manière de partager le travail que nous avons effectué, outre cet article, a été notre participation au festival annuel Exposciences à Toulouse en juin 2020. L'événement, organisé par le Collectif interassociatif pour la réalisation d'activités scientifiques techniques et internationales (Cirasti) d'Occitanie, ayant été totalement dématérialisé en raison de la situation sanitaire, Flore, Davis et Nina ont eu la chance d'interviewer Nicolas Beck à distance à partir du lycée dans le cadre du podcast *Pose ta science* de la radio Campus FM (<https://www.mixcloud.com/CampusFM/pts-04/>). Ils ont ensuite présenté nos résultats en s'appuyant sur un diaporama qu'ils ont commenté en ligne pendant le festival

(<https://www.youtube.com/watch?v=1rCb4z5zrWE> vers 36:00).

Remerciements

La couverture et la figure du vaisseau spatial ont été reproduites avec l'aimable autorisation de l'auteur et de l'éditeur, qu'ils en soient remerciés. Nous sommes particulièrement redevables à Nicolas Beck et Delphine Faye pour le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer.



Image 5. Interview de Nicolas Beck à distance avec l'équipe du Cirasti Occitanie et de RadioCampus FM.