

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 157 - Mars 2017 9 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Numéro 157 - printemps 2017



ISSN 0758-234X

Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

Le **CLEA**, Comité de Liaison Enseignants et Astronomes, est une association déclarée à but non lucratif (loi de 1901), fondée en 1977. Elle réunit des enseignants et des astronomes professionnels qui veulent ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement et dans les organismes de culture populaire.

Le **CLEA** organise des stages nationaux (Écoles d'Été) et régionaux. Ces stages sont ouverts aux enseignants de l'école, du collège et du lycée et, de manière générale, à tous les formateurs. On s'efforce d'y conjuguer information théorique et travaux pratiques (observations, travaux sur documents, mise au point de matériels didactiques et recherche du meilleur usage de ces matériels, etc.). Le **CLEA** favorise les échanges directs entre enseignants et astronomes, hors de toute contrainte hiérarchique.

L'organe de liaison du **CLEA**, les **CAHIERS CLAIRAUT**, est une revue trimestrielle. On y trouve des articles de fond (astrophysique, histoire, philosophie, enseignement...), des comptes rendus d'expériences pédagogiques, des notes critiques de livres récents, des innovations en matière d'activités pratiques.

Le **CLEA** a mis en place une liste de diffusion afin de permettre des échanges rapides entre les abonnés.

Présidents d'honneur :

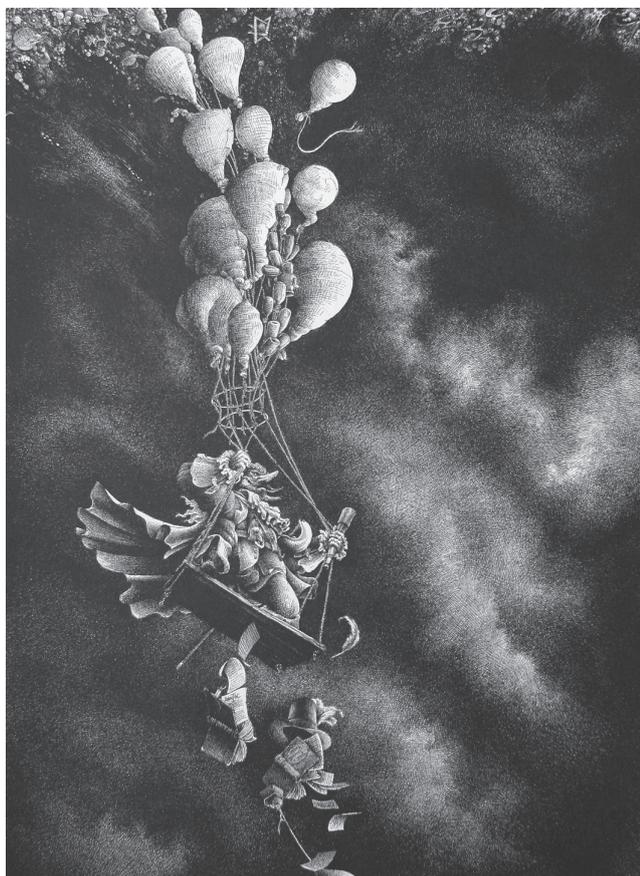
Jean-Claude Pecker
Lucienne Gouguenheim
Georges Paturel

Bureau du CLEA pour 2016

Présidente : Cécile Ferrari
Trésorière : Sylvie Thiault
Trésorière adjointe : Chantal Lecoutre
Secrétaire : Danièle Imbault
Secrétaire adjoint : Jean-Luc Fouquet

Responsables des groupes

Vie associative : Jean-Michel Vienney
Cahiers Clairaut : Christian Larcher
Productions Pédagogiques : Pierre Causeret
Communication : Charles-Henri Eyraud
École d'Été d'Astronomie : Danièle Imbault
Responsables du site :
Francis Berthomieu et Charles-Henri Eyraud



Merci à celles et ceux qui ont permis la réalisation de ce numéro des Cahiers Clairaut, nous citerons :

Daniel Bardin, Francis Berthomieu, Michel Bobin, Marc Bussière, Nathalie Cartier, Pierre Causeret, Nathalie Cugnet, Vincent Deparis, Jean-Luc Fouquet, Maryse Fouquet, François Hurter, Christian Larcher, Yves Lhoumeau, Anne-Marie Louis, Jean-François Mugnier, Frédéric Pitout, Jean Ripert, Philippe Simon, Roland Trotignon.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 157, afin de faire connaître la revue autour d'eux.

Cyrano ou la musique des sphères. Illustration de Dantec.

« Je m'étais attaché autour de moi quantité de fioles pleines de rosée, et la chaleur du soleil qui les attirait m'éleva si haut, qu'à la fin je me trouvai au-dessus des plus hautes nuées ».

Extrait de *Histoire comique des États et Empires de La Lune* de Cyrano de Bergerac (1619-1655), une des premières œuvres de science-fiction où l'auteur réussit à atteindre la Lune et y rencontre des séléniens. C'est lui qui a inspiré le Cyrano d'Edmond Rostand (1897) dont furent tirés une dizaine de films.

Les Cahiers Clairaut

Printemps 2017

Éditorial

Nous vous convions, dans ce numéro, à vivre en différé une passionnante expédition lointaine (elle nécessita 35 h et 23 min de vol, à l'aide de 8 avions, pour un spectacle éphémère et non garanti d'une durée de 3 min et 49 s. Ce spectacle est désigné dans la presse locale par le sigle GMT (Gerhana Matahari Total) qui évoque le mariage du Soleil et de la Lune. Selon la légende la tête du démon Kala Rau «erre dans l'espace, guettant le passage du Soleil et de la Lune afin de les dévorer» et il faut faire un maximum de bruit pour effrayer le naga (le démon).

La partie thématique parle de littérature, de mondes imaginaires fantastiques ou rationnels, sujets qui peuvent se décliner dans de nombreuses disciplines. Une occasion d'imaginer toutes sortes de déplacements dans l'espace ou dans le temps. Les déplacements dans l'espace sont contraints par la valeur limite de la vitesse de la lumière. Les déplacements dans le temps butent sur le paradoxe du grand père : si je peux voyager dans le passé je peux rencontrer et tuer mon grand-père quand il était jeune. Dans ce cas ni mon père, ni moi-même n'existent, donc je ne peux pas commettre un meurtre...

- L'article «trois étoiles pour Henry VI» vous révélera des liens étonnants et insoupçonnés entre les phénomènes lumineux liés au Soleil et l'œuvre de Shakespeare.
- Le roman Exoplanète de Martial Caroff se prête particulièrement bien à une solide et rigoureuse étude scientifique avec des élèves.
- Sancho Panza, le fidèle compagnon de Don Quichotte, vous indiquera une méthode très simple pour lire l'heure la nuit en repérant dans le ciel la position de la «bocina», le cor de chasse pour les bergers espagnols, que nous nommons Petite Ourse.
- Les récits de SF sur la planète Mars sont un prétexte motivant de travaux interdisciplinaires liés aux programmes ; en 5^e «Regarder le monde, inventer des mondes» et en 4^e utiliser «la fiction pour interroger le réel»
- Le conte d'Alphonse Daudet les étoiles un support vocal qui s'adopte spectaculairement à une séance musicale et romantique de planétarium.

Enfin une question récurrente : sommes-nous seuls dans l'Univers? Pour le savoir le radiotélescope d'Arecibo (Porto-Rico) a envoyé un message en direction de l'amas globulaire M 13. Combien de temps nécessitera une éventuelle réponse?

Christian Larcher, pour l'équipe.

Reportage

Éclipse totale de Soleil le 9 mars 2016 en Indonésie

Anne-Marie Louis p 2

Avec nos élèves

À la découverte du Système solaire

Nathalie Cugnet p 7

Thème : littérature

Avec nos élèves

Le monde de la science-fiction

Marc Bussière p 10

Avec nos élèves

Trois étoiles pour Henry VI

Anne-Marie Louis p 15

Avec nos élèves

Lecture critique d'un roman de SF, Exoplanète

Frédéric Pitout, Marion Cointepas, Léa Thibout p 17

EEA Gap 2017

Avec nos élèves p 21

Avec nos élèves

L'heure de la nuit par Sancho Panza

Philippe Simon p 22

Avec nos élèves

Mars, science et fiction

Maryse et Jean-Luc Fouquet p 24

Avec nos élèves

Le ciel des bergers de Provence

Yves Lhoumeau p 29

Mots croisés

p 32

Ciel de printemps

Pierre Causeret p 33

Observation

Codage et décodage d'un message...

Pierre Causeret p 34

Avec nos élèves

Mesure de la durée de l'année tropique...

Vincent Deparis p 36

Lecture pour la marquise

Principes mathématiques de la philosophie naturelle

Solutions mots croisés p 40

Erratum : Dans les Cahiers Clairaut n° 156 à la page 29, paragraphe « **La mole et le nombre d'Avogadro** », à la ligne 5, lire « **M_u vaut exactement $10^{-3} \text{ kg.mol}^{-1}$** » et non 10^{-2} .

REPORTAGE

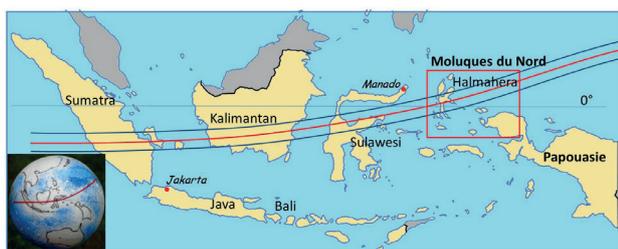
Éclipse totale de Soleil

le 9 mars 2016 en Indonésie

Anne-Marie Louis, anne-marie.louis@wanadoo.fr

La prochaine éclipse totale de Soleil aura lieu le 21 août 2017, la ligne de totalité traversant les États-Unis. Voici un compte-rendu de l'observation de la précédente éclipse totale, visible en Indonésie. Depuis, il y a eu deux éclipses annulaires (le 1^{er} septembre 2016 visible depuis l'île de la Réunion et le 26 février 2017 depuis le sud de l'Amérique, de l'Atlantique et de l'Afrique).

Pourquoi fait-on des milliers de kilomètres pour aller observer une éclipse de Soleil? La façon dont l'information est diffusée est intéressante à étudier, surtout si on a la chance de rencontrer des enseignants; pour la suite, aucune certitude quant au succès du voyage mais adrénaline garantie jusqu'à la dernière minute pour un spectacle inoubliable et chaque fois différent, où chacun peut choisir sa place dans le décor.



Une éclipse totale de Soleil, ça se mérite... Pour admirer celle du 9 mars qui a lieu en Indonésie, il faut se rendre à Halmahera dans les Moluques du Nord. Dès notre arrivée à l'aéroport de Jakarta, après 13 h 21 min de vol avec escale à Doha, nous sommes informés, par affiches et tracts, du passage de l'éclipse sur l'archipel, ce qui rassure les inquiets. Il nous reste encore 3 h 35 min d'avion pour atteindre d'abord Sulawesi Nord, puis Ternate dans les Moluques du Nord, et 45 min de bateau avant de débarquer sur l'île de Halmahera, où notre petit groupe est déjà très populaire car nous avons notre photo à la une des journaux locaux! Nous croisons d'autres français aux intentions moins louables: Halmahera détient l'un des plus grands gisements de nickel au monde, et une société française, Eramet, menace de détruire des dizaines de milliers d'hectares de forêts protégées, et donc les moyens de subsistance des communautés indigènes.



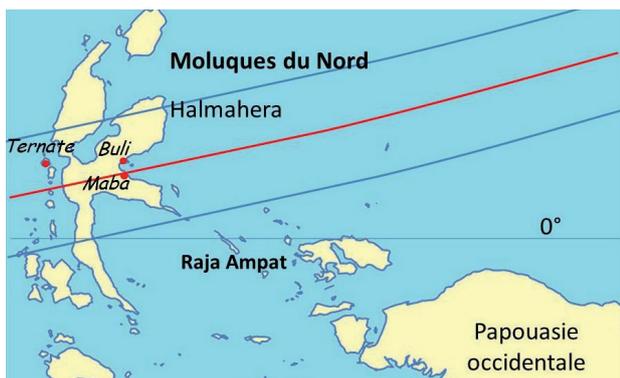
Dans les hôtels grands ou petits, dans les villages et les villes, de grandes banderoles très officielles annoncent l'évènement. Le soir, la télévision diffuse d'abondantes explications sur le phénomène et l'obligation de porter les lunettes de protection. Même sans comprendre l'indonésien, nous devinons que c'est impératif.





En Indonésie, le Soleil s'appelle Matahari. Le Malut Post publie en première page un article consacré à la GMT: GERHANA Matahari Total du 9 Mars 2016, où nous apprenons que c'est un phénomène naturel qui se produit une fois tous les 350 ans dans le monde, et tous les 35 ans dans les Moluques du Nord. (...) L'Indonésie en général, et particulièrement la population de la ville de Ternate, sont très reconnaissants envers Dieu Tout-puissant (sans préciser lequel) de profiter d'une durée de totalité relativement longue. Le journal est mieux avisé en publiant en page 2 une photo des lunettes de protection GMT gratis et en page Ekonomi le programme des expos et festivités. Le Radar Halmahera lui, donne à voir sur trois pages différentes une curieuse photo en noir et blanc, avec un énorme Soleil noir à l'horizon et un petit disque noir dans la couronne solaire, cliché qui sera probablement difficile à obtenir !

Le site, l'environnement



Il ne nous faut que quelques heures de route au milieu d'une végétation luxuriante pour nous rendre à Buli, sur la côte est, où il y aura 3 min 14 s de totalité, tandis qu'à Ternate, où se prépare une grande fête, la durée de la totalité sera de 2 min 39 s. Pour bénéficier de la durée maximale de l'éclipse, 4 min 9 s, il faudrait être sur la ligne de centralité à 2 500 km au nord-est, soit en plein Pacifique... Mais Juwana, notre

Photos avant l'éclipse

Nous commençons les photos quelques jours avant l'éclipse. En effet, quel que soit l'endroit du monde où on se trouve sauf les latitudes extrêmes, il faut se lever tôt car c'est avant l'aurore que l'on peut voir le croissant de Lune, de plus en plus mince chaque jour, précédant le Soleil. Comme nous sommes au mois de mars, et situés presque sur l'équateur, c'est vers l'est que ces astres se lèvent, avec une trajectoire apparente quasi verticale, les cornes du croissant de Lune tournées vers le haut.



J-3, le 6 mars, la Lune se lève avant le Soleil.



Vénus se lève après la Lune, elle est visible en-dessous du croissant de Lune.



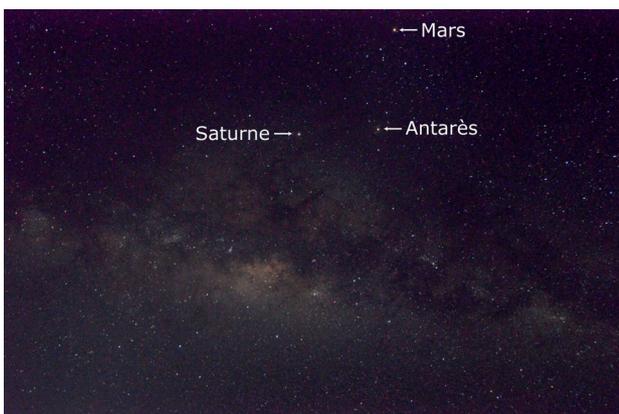
J-2, le 7 mars, le croissant est plus fin, la Lune s'est rapprochée de Vénus et du Soleil.

guide indonésien, et son épouse, ont repéré un site idéal pour l'observation, à Tewil non loin de Maba à 40 km au sud, situé presque sur la ligne de centralité. L'évènement a été préparé depuis plus de deux ans en collaboration avec l'ami astronome amateur qui est à l'origine de ce voyage: si le ciel est dégagé, nous aurons 3 min 19 s de totalité.

Toute la journée du **8 mars, veille de l'éclipse**, est consacrée au repérage, et aux contacts avec les autorités, sous un ciel très gris. Nous rencontrons le chef du village, l'infirmière et l'institutrice, ibu guru en uniforme de fonctionnaire, qui est venue avec les enfants et les a déjà fait travailler. Questions, réponses et recommandations sont traduites par Juwana, mais les échanges se font principalement dans un seul sens.



Le soir précédant l'éclipse, la pluie nous laisse espérer une amélioration. Au jour J, le 9 mars, matin de l'éclipse à 4 h 30, le ciel est magnifique, la Voie lactée est fabuleuse, et au sud nous voyons Mars et Saturne à proximité du Scorpion, tandis que Jupiter dans le Lion se couche à l'ouest. Le ciel est dégagé jusqu'à 5 h 30.



Jour J, le 9 mars: Saturne (dans Ophiuchus) et Mars (dans la Balance) sont proches du Scorpion, tandis qu'à gauche le Sagittaire apparaît près de la Voie lactée.

Hélas ce jour-là comme la veille, tout se couvre avant l'aube et aucun astre ne se lève, par dépit probablement! À 7 heures (du matin!) pour la cérémonie officielle et les danses, les nuages s'accumulent. La distribution de lunettes tourne un peu à l'émeute mais l'ambiance est chaleureuse et réconfortante.



Danse de Lala Maba: trois jeunes couples amoureux évoquent le mariage du Soleil et de la Lune.



Site pavoisé pour les autorités.

Il peut être tentant de choisir de s'installer là où la durée de l'éclipse sera maximale. Mais il est plus judicieux, quitte à perdre quelques secondes d'observation, de rechercher un site dégagé, non seulement du côté du Soleil, mais aussi de l'autre côté pour voir arriver l'ombre (si le site est surélevé, c'est encore mieux). Nous optons pour le bord de la mer, loin de la foule mais en contact avec la population du village. Les enfants ne seront pas à l'école car c'est le Nouvel an hindou.

À 8 h 30 nous avons rejoint le site d'observation et il pleut des cordes. Nous avons parcouru 12 500 km, nous sommes au bon endroit au bon moment, et nous ne voyons ni le premier contact ni la phase partielle. Nous tentons une danse de la pluie et c'est le miracle: le disque solaire éclipse se montre par un trou dans les nuages environ 10 minutes avant la totalité. C'est juste suffisant pour montrer le déplacement du disque lunaire par rapport au disque solaire, du haut vers le

bas sur une ligne peu inclinée par rapport à la verticale. La luminosité a déjà bien diminué mais à cause du voile nuageux qui subsiste, les ombres ne sont pas assez nettes pour pouvoir observer le moindre sténopé. Nous sommes au milieu des enfants et des villageois, qui peuvent enfin utiliser les lunettes qui leur ont été distribuées par Juwana, alors l'excitation monte.



Le Soleil partiellement éclipsé quelques minutes avant la totalité. Les heures indiquées sont des heures locales. (Nikon D5100 300 mm f/8 0,77 s 500 ISO avec filtre polymère).



Le ciel est de plus en plus dégagé, et le croissant de Soleil s'amenuise, tandis qu'à l'ouest, les nuages prennent une couleur bleu denim, comme à l'approche d'un gros orage: c'est l'arrivée du cône d'ombre, puis tout bascule.



Il est 9 h 53. En quelques secondes l'ambiance devient crépusculaire, même si l'horizon reste éclairé

vers l'est. À travers les nuages, nous voyons le disque noir, entouré d'une mince couronne et une belle protubérance rouge, bien visible à l'œil nu, puis apparaissent Vénus (à 1 heure) et Mercure presque sur le même axe à mi-distance. Les nuages compliquent la photo de famille! Je m'aperçois que les gamins autour de moi ont toujours les lunettes de protection, je leur montre geste à l'appui qu'ils peuvent maintenant les enlever et regarder sans crainte, pendant quelques courtes minutes.



3 minutes 19 secondes de magie. (Nikon D5100 300 mm f/8 1/80 s 500 ISO).

Après l'apparition des grains de Baily à la fin de la phase de totalité, la lumière revient très vite, et à part quelques européens qui pleurent de joie, tout le monde rigole! Photos, photos? Les téléphones des ados et des villageois flashent des touristes encore dégoûlants de pluie et ruisselants de larmes pour la postérité! Quant aux astronomes qui sont restés à Buli à 40 km, hélas ils n'ont rien vu.

Dans quelques jours pour le retour, nous mettrons 1 h 22 min de plus pour parcourir le trajet d'est en ouest car l'avion se déplace alors en sens inverse des jet-streams! Finalement nous aurons pris 8 avions et volé pendant 35 h 23 min, pour une explosion de sensations de 3 min 19 s, et une infinité de souvenirs.



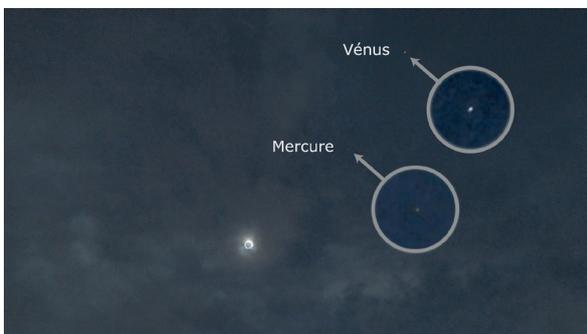
Scanner le code ci-dessus pour voir la vidéo de l'éclipse.

Les planètes pendant la totalité

Les planètes Mercure et Vénus, proches du Soleil, deviennent visibles lorsqu'il est éclipsé (c'est parfois vrai aussi pour d'autres planètes). En plaçant deux têtes d'épingles à proximité d'une source de lumière, puis en occultant cette source de lumière, on comprend pourquoi Mercure (en bleu) et Vénus (en vert) sont devenues visibles pendant l'éclipse.



Les planètes représentées par des têtes d'épingles sont visibles si la source de lumière est occultée.



Le Soleil éclipié, Mercure et Vénus.

Voir 5 planètes le même jour

Nous avons vu avant le lever du jour Mars, Saturne, et Jupiter, et pendant l'éclipse Mercure et Vénus: il est intéressant, en cas d'éclipse et si le temps le permet, de tenter d'observer les 5 planètes visibles à l'œil nu à la même date, sauf celle(s) en conjonction avec le Soleil.

Photos après l'éclipse

Quelques jours après la Nouvelle Lune, la Lune réapparaît peu après le coucher du Soleil.



J+2, le 11 mars vers 19 heures: retour du croissant de Lune avec une belle lumière cendrée. Nous sommes dans l'hémisphère Sud après avoir franchi l'équateur comme le montre l'orientation des cornes; la Lune passe au Nord, comme le Soleil.

La légende de Kala Rau

Le démon Kala Rau déroba un peu d'élixir d'immortalité au dieu Vishnu, qui fut averti du méfait par le Soleil et la Lune. Il lança un disque magique qui décapita le voleur, mais celui-ci ayant commencé à boire l'élixir, son corps seul mourut (transformé, à ce qu'on dit, en mortier à riz) tandis que sa tête devint éternelle. Pour se venger de ses dénonciateurs cette tête, depuis, erre dans l'espace, guettant le passage du Soleil et de la Lune afin de les dévorer. Mais les astres ressortent rapidement par la gorge tranchée car la disparition du Soleil au cours d'une éclipse, heureusement, est toujours éphémère.

L'éclipse dans la tradition

À l'éclipse est associée l'obscurité: c'est un événement embarrassant, car ce sont les origines de la création qui sont menacées. Il faut donc rester actif, taper pour faire du bruit (sur coques et noix de coco), piler le riz pour effrayer le naga (démon) en train d'avaler le Soleil.



Ce bloc de timbres édité pour la circonstance illustre la légende de Kala Rau et le parcours de l'ombre au-dessus de l'archipel indonésien.

Références

Serge BRUNIER et Jean-Pierre LUMINET, Éclipses, Bordas, 1999.

Yaël NAZÉ, L'astronomie des Anciens, Belin/Pour la science, 2011. ■

AVEC NOS ÉLÈVES

À la découverte du Système solaire

Nathalie Cugnet, professeur agrégé de sciences physiques

Collège Jean-Baptiste Rusca, Tende

Comment faire découvrir à nos élèves le Système solaire ? Voici quelques idées d'activités à proposer au collège qui pourraient les aider à mieux comprendre notre place dans l'Univers.

Matériel

Feuille A3, crayons, feutres, compas, rapporteur, calculatrice, logiciel LibreOffice Calc et ASYNX, grande feuille noire, coton, épingle, feuille Canson, mètre-ruban.

Faire une maquette du système solaire

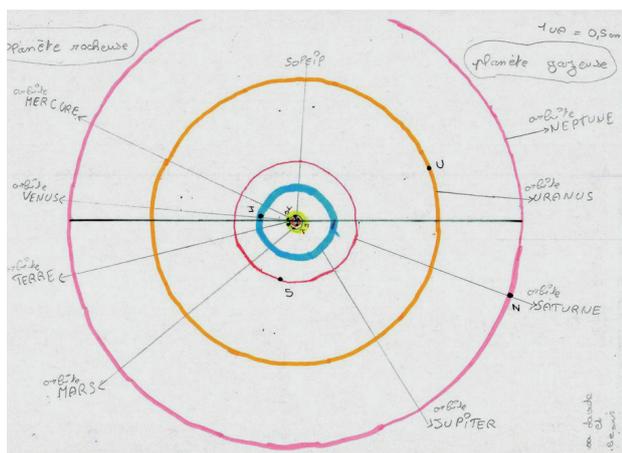


Fig.1. Plan du Système solaire.

On rappelle l'ordre des planètes : les rocheuses et les gazeuses.

Afin de simplifier l'élaboration de la maquette, l'unité astronomique est introduite. La colonne correspondante est complétée; les élèves comprennent qu'il faut mettre 1 dans la ligne correspondant à la Terre. Le calcul est effectué pour Mercure et Neptune. Pour les autres planètes, on peut utiliser un logiciel tel que LibreOffice Calc.



Fig.2. Tracés.

Un tableau regroupant les principales mesures du Système solaire est fourni aux élèves.

	Distance au Soleil (millions de km)	Distance au Soleil (UA)	Période orbitale (jours)	Période orbitale (années)	Diamètre (km)	Vitesse moyenne de la planète (km/h)
Soleil					1 400 000	
Mercure	60		90		4 900	
Vénus	110		220		12 100	
Terre	150		690		12 800	
Mars	230		4 300		6 800	
Jupiter	780		10 800		143 000	
Saturne	1 400		30 700		120 000	
Uranus	2 900		30 700		52 000	
Neptune	4 500		60 200		50 000	

Le but du jeu est de faire rentrer toutes les orbites des planètes sur une feuille A3. On peut souligner que ces orbites sont elliptiques mais que par souci de simplification, on les considérera circulaires.

Après quelques essais, les élèves pensent au changement d'échelle, ici 1 cm vaut 2 UA. Afin de mettre en valeur que les cercles tracés ne sont que les orbites, les chemins des planètes, on utilise le logiciel ASYNX pour positionner ces dernières (figure 3). Seule la longitude écliptique est prise en compte. C'est le moment d'effectuer des rappels sur la latitude et la longitude terrestre.

On en profite pour faire remarquer certains phénomènes valables à cette date uniquement (le 16 juin 2016):

- Vénus n'est pas observable car derrière le Soleil ;
- Mars est à l'opposition donc dans les meilleures conditions d'observation. On la voit même bien en ce moment dans notre ciel ;
- il en va de même pour Saturne ;
- Jupiter est encore visible.



Fig.3. Asynx est un logiciel de planétarium gratuit.

L'espace ne contient (presque) que du vide

On aborde ensuite la taille des astres dans notre maquette. Les collégiens veulent très souvent donner une dimension au Soleil et ce, dès le début du travail de représentation. On peut leur signaler que 700 000 km divisé par une UA fait 0,02 cm à l'échelle de leur maquette, soit environ 1/10 de l'orbite de Mercure qu'ils ont déjà du mal à tracer. On ne pourra donc pas le dessiner ni les autres planètes.

À l'aide d'un calque, les élèves relèvent les positions des planètes. On discute ensuite de ce qui remplit le reste de la feuille où s'éparpillent quelques points. Certes il y a des poussières, quelques cailloux plus ou moins gros (les astéroïdes par exemple) mais surtout du vide ! D'où les questions sur l'infini...

Et dans un an ?

Dans l'Univers tout est en mouvement ! On va donc placer les planètes un an plus tard. Pour ne pas abîmer notre jolie maquette, on travaillera avec des photocopies. Pour la Terre c'est facile ! Pour les autres, il faut prendre en compte la période orbitale qui est donc définie à ce moment. On en profite pour rappeler ce que vaut une année et faire quelques calculs. La suite est confiée à LibreOffice Calc. On calcule en degré l'avancement quand nécessaire et les élèves remarquent le sens de révolution des corps du Système solaire. Pour les lointaines planètes gazeuses, l'écart de position sur un an ne fait que quelques degrés ! On vérifie avec Asynx la cohérence de nos résultats.

Quelles planètes seront observables ? Jupiter, Saturne et Vénus seront dans des positions favorables. Mercure et Mars seront derrière le Soleil donc impossibles à observer !

Les élèves les plus motivés calculent la vitesse orbitale des planètes. Après avoir trouvé la formule, ils utilisent LibreOffice Calc pour effectuer les calculs. Ils remarquent que plus le corps est éloigné du Soleil, plus il va lentement.

Notre place dans la Galaxie

Le travail effectué précédemment a été mené avec des classes de 5e. Ici, ce sont des classes de 4e qui sont mises à contribution. La notion d'année-lumière a été vu en cours avant.

Les dimensions de la Voie lactée sont données :

	En années-lumière
Diamètre de la Galaxie	100 000 à 120 000
Diamètre du bulbe	Environ 10 000
Distance du Soleil au centre de la Galaxie	30 000

Les élèves ont pour consigne de réaliser une maquette sur une feuille noire de 50 cm par 60 cm. Après avoir trouvé l'échelle (ici 1 cm pour 2 000 a.l.), ils esquissent la spirale au crayon gris à partir de représentations trouvées sur le Web. La place du Soleil est aussi indiquée. Ils construisent la Galaxie à l'aide de coton, le Soleil est matérialisé par une épingle jaune. Le Système solaire n'est bien sûr pas visible à cette échelle puisqu'il ferait environ 0,05 mm et l'épingle utilisée est trop grosse pour le matérialiser.



Fig.4. Maquette de la Galaxie.

THÈME: ASTRONOMIE & LITTÉRATURE



Quelques ouvrages pour illustrer l'astronomie en littérature :

Lucien de Samosate, *Histoire véritable*.

Kepler, *Le songe*.

Cyrano de Bergerac, *Histoire comique des États et Empires de la Lune*.

Fontenelle, *Entretiens sur la pluralité des mondes*.

Voltaire, *Micromégas*.

Maupassant, *L'homme de Mars*.

H.G. Wells, *La guerre des mondes*.

Dino Buzzati, *La soucoupe se posa*.

Philip K. Dick, *Glissement de temps sur Mars*.

Arthur C. Clarke, *La cité des astres*.

Isaac Asimov, *La voie martienne*.

Ray Bradbury, *Chroniques martiennes*.

Italo Calvino, *Cosmicomics*...

AVEC NOS ÉLÈVES

Le monde de la science-fiction

Marc Bussière, mbussiere@orange.fr

La science-fiction est un vaste domaine que l'on peut utiliser avec nos élèves de nombreuses manières. Marc Bussière, ancien IPR de lettres modernes, nous propose ici différentes pistes. Chacun peut ensuite y caser de l'astronomie.

La meilleure définition de la science-fiction est à mon sens celle-ci : c'est une conjecture romanesque rationnelle. Conjecture d'abord, c'est-à-dire, au sens propre (et non mathématique, comme dans la conjecture de Fermat), une hypothèse littéraire. Romanesque, ensuite, « qui offre tous les caractères du roman », même si nous déborderons sur le cinéma ou la BD. Rationnelle, enfin pour la distinguer définitivement du fantastique. Si vous imaginez que des êtres venus droit des enfers ne peuvent se nourrir que de sang, vous êtes dans une conjecture romanesque irrationnelle, c'est-à-dire du fantastique. Si vos vampires le sont devenus à la suite d'une mutation génétique (comme dans *Je suis une légende*, de Richard Matheson), ou que ce sont des extra-terrestres (le film *Life force*¹ de Tobe Hooper), vous êtes dans la science-fiction.

Nous n'essaierons pas de tracer ici un vrai historique de la science-fiction de l'Antiquité à nos jours, ce sera l'objet d'un article ultérieur. De même, nous n'explorerons pas aujourd'hui la grande variété des avatars modernes de ce genre littéraire – main stream, hard-science, space opéra, héroïc fantasy... Nous serons amenés à aborder une autre fois ces courants littéraires tous féconds à notre époque. Plus simplement, nous proposons ici aux enseignants une approche pédagogique de certains thèmes que l'on trouve fréquemment dans la science-fiction, quel que soit son support : littérature, bande dessinée, jeux de rôle, jeu vidéo en ligne ou non, et, bien sûr, cinéma. Cette approche se veut résolument pluridisciplinaire. Nous indiquerons pour chacun des thèmes traités les disciplines qui pourraient intervenir, en suggérant des pistes pour leur intervention. Enfin, autant que faire se peut, nous proposerons pour ces thèmes une courte bibliographie, filmographie, afin de faciliter les recherches tant des enseignants que des élèves.

¹ Life force est un film de science-fiction anglais de 1985 réalisé par Tobe Hooper. Il est inspiré du roman *Les Vampires de l'espace* écrit par Colin Wilson.

Se déplacer dans l'espace

(maths, physique, lettres, arts plastiques, SVT)

Lorsque l'on évoque l'univers de la science-fiction, l'une des toutes premières images qui nous vient est celle du voyage dans l'espace. L'imaginaire se nourrit du voyage dans l'espace depuis *Cyrano de Bergerac* dans les *États et Empires de la Lune* (1657), puis dans les *États et Empires du Soleil* (1662), où le héros se déplace en utilisant l'attraction de la rosée par le Soleil, puis une série de fusées d'artifice (la première fusée à étages, donc...) et enfin la moelle de bœuf (attirée aussi par le Soleil). Plus près de nous, le roman de Jules Verne *De la Terre à la Lune* (1885), où l'on construit vers Cap Canaveral un gigantesque canon qui va envoyer un obus en direction de notre satellite, ou encore *Objectif Lune*, d'Hergé, ont précédé la vague de science-fiction actuelle bien perceptible au cinéma (*Avatar*, très récemment, ou encore *Rogue one*, de la série *Star Wars*...)



Fig.1. Illustration tirée de *Cyrano de Bergerac, Histoire comique des États et Empires du Soleil*.

Ce que dit la science actuelle

Les films, essentiellement, qui abordent le voyage dans l'espace proche (*Gravity*, 2013, d'Alfonso Cuarón, avec George Clooney, ou encore *Seul sur Mars*, 2015 Ridley Scott, avec Matt Damon) respectent à peu près les lois de la physique. Par contre, dès que l'on veut quitter le Système solaire, imaginaire et science ne font plus bon ménage ! Pour les physiciens classiques – on aurait envie de dire « orthodoxes » – il est impossible de dépasser la vitesse de la lumière et quasiment impossible de l'approcher. Une année-lumière équivalant à peu près à 10 000 milliards de km, on voit que le voyage vers Proxima du Centaure va être long ! Et ce n'est que la proche banlieue de notre Soleil. Comment atteindre les étoiles les plus spectaculaires du ciel visible à l'œil nu ? Aller au centre de la Galaxie à la rencontre du trou noir qui s'y cache ?

Comment la science-fiction contourne le problème ?

Plusieurs procédés permettent aux écrivains, auteurs de BD et scénaristes de films de pallier ces impossibilités.

- L'hyper espace: par un procédé qui n'est évidemment jamais explicité, les vaisseaux quittent l'espace ordinaire et franchissent quasi instantanément les centaines ou milliers d'années-lumière qui les séparent de leur objectif: *Rogue one*, et toute la série *Star Wars* montrent bien ce passage par l'hyper-espace.
- Les « portes » entre les étoiles, s'appuyant sur la théorie des « trous de ver » ou encore celle des « fontaines blanches » qui s'échapperaient des trous noirs à des milliers d'années-lumière de là. On rencontre par exemple ces passages dans la série de space-opéra de Jack Campbell, *La Flotte perdue*, (2014, éditions L'Atalante).

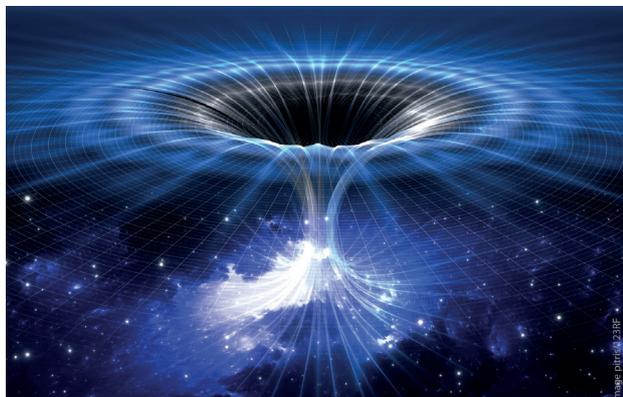


Fig.2. Trou noir et fontaine blanche ? La science-fiction a les moyens de nous faire traverser l'Univers presque instantanément et même de nous faire passer d'un univers à un autre...

- Une modification de la physique: dans *Un feu sur l'abîme* (2010, chez Ailleurs et Demain), Vernor Vinge imagine que partout dans l'Univers on peut aisément dépasser la vitesse de la lumière sauf dans une zone (la nôtre...) appelée la Lenteur.
- D'immenses vaisseaux où se succèdent des générations d'humains pendant les milliers d'années des traversées.

Quelles activités en classe ?

Soit l'établissement a prévu des plages horaires où officient des enseignants de plusieurs disciplines en même temps, ce qui est hélas rare, soit les enseignants opèrent successivement dans les classes. On peut travailler ce thème de la cinquième à la troisième, ou au lycée, mais pas avec les mêmes exigences. Voici quelques propositions de travail, en groupes, avec rapporteur, preneur de notes sur ordinateur, fabrication de diaporamas, mise en place de blogs dédiés... Soit plusieurs groupes œuvrent sur le même thème, soit on répartit l'étude des différents thèmes, abordés ci-dessous, entre les cinq ou six groupes d'élèves de la classe.

- En physique: travail d'un groupe sur un premier point: Pourquoi Jules Verne fait-il construire son canon précisément à Cap Canaveral, rebaptisé Cap Kennedy, d'où s'élanceront les fusées américaines de la conquête de la Lune ? Hasard ? Prescience ? Ou bonne utilisation de la littérature scientifique de son époque ?
- En physique toujours: pourquoi est-il impossible dans l'état actuel des connaissances d'atteindre et de dépasser la vitesse de la lumière ? Recherches sur les trous noirs, sur les trous de vers, sur les fontaines blanches...
- En SVT: supposons d'énormes vaisseaux qui vont mettre des centaines ou des milliers d'années à franchir l'espace: comment régler le problème de l'air, de l'eau, de la nourriture, des déchets, des rayons cosmiques...
- En mathématiques / astronomie: calcul en km (ou en parsec pour les très grandes mesures) de distances dans notre galaxie: les étoiles visibles à l'œil nu, Sirius, Véga, Antarès, les étoiles de la Grande Ourse ou de Cassiopée. Une représentation en « 3 D » des vingt étoiles les plus proches du Soleil à construire sur l'ordinateur. Une représentation des distances dans notre galaxie: les différents bras, le cœur... Une représentation des galaxies les plus proches également à construire en 3 D sur l'ordi. Calcul de temps de parcours à la vitesse des fusées actuelles.
- En lettres, retrouver dans les films et romans indiqués ou dans d'autres (à l'aide de moteurs de

recherche) les extraits qui évoquent ces déplacements dans l'espace. Les analyser. Imaginer d'autres moyens farfelus ou non d'atteindre la Lune, de rejoindre l'espace proche (projet d'ascenseur spatial...).

- En arts plastiques : la représentation du voyage spatial en BD, dans les dessins animés, dans les illustrations des romans de Cyrano ou de Jules Verne. La première de couverture de très nombreux romans de SF évoquant le voyage dans l'espace ou l'hyper-espace. Les effets spéciaux au cinéma...



Fig.3. Illustration de voyage dans le temps et dans l'espace.

Se déplacer dans le temps

(maths, physique, lettres, histoire, philosophie)

L'autre grand thème abondamment traité par la science-fiction est le voyage dans le temps. On peut faire débiter le traitement du voyage dans le temps au fameux roman d'H.G. Wells, *La Machine à explorer le temps* (1895).

Un peu avant lui, et beaucoup après, les romanciers se sont amusés soit à faire venir à notre époque des gens du passé, soit à aller eux-mêmes dans le passé rencontrer Napoléon ou la faune du Miocène (Maurice Renard, dans *Le brouillard du 26 octobre*, 1903). Mais un des intérêts majeurs de ce thème est celui du paradoxe temporel : si je vais tuer un de mes ancêtres au 18^e siècle, je n'existerai plus en 2017, donc je n'ai pas pu aller tuer un de mes ancêtres, dans ce cas j'ai vécu et je peux donc aller au 18^e... C'est sans fin, on ne s'en sort qu'en imaginant des Univers parallèles infinis, les uchronies, où l'histoire s'est déroulée autrement : Dans *Rêve de fer*, de Norman Spinrad (1972), Hitler, incapable de créer son mouvement fasciste, émigre aux USA, il y devient auteur d'héroïc fantasy où il étale ses fantasmes racistes. Son roman *Les Seigneurs de la Svastica*, se déroule dans un monde où les mutants ont gangrené la race humaine et seuls les Purhommes... Citons aussi *Le Maître du Haut-Château* (1962), de Philip K. Dick, où l'auteur imagine que les Japonais ont

gagné la Seconde Guerre mondiale et ont colonisé les USA...

Que se passe-t-il si je me rencontre dans le passé : le film *Retour vers le futur*, (de Robert Zemeckis, sorti en 1985) dans ses trois épisodes, explore plaisamment ce thème...

Quelles activités en classe ?

Du travail en groupes :

- En physique ou en maths, une question difficile, qu'est-ce que le temps ? Quelques notions simples de cosmologie, le temps relatif : le problème des jumeaux dont l'un reste sur Terre et l'autre se déplace dans l'espace...
- En français, retrouver les extraits cités, les analyser, étudier *La Flotte de Vengeance*, de Fredric Brown, une histoire abracadabrante de flotte spatiale qui se détruit elle-même. Répondre à la question suivante : si je devais modifier le passé, qu'est-ce que je changerais et quelles en seraient les conséquences...
- En français, en philo, en histoire : discussion sur les paradoxes du temps.

La robotique

(maths, physique, lettres, philosophie, technologie, SVT)

Le terme « robot » est présent pour la première fois dans une pièce de théâtre du Tchèque Karel Capek, intitulée *R.U.R.* de 1920. Certains historiens de la SF font remonter la notion à la mythologie juive où il est question du « Golem », un monstre d'argile dépourvu de langage mais que l'on peut animer et qui obéit à vos ordres.

Plus près de nous, la créature du docteur Frankenstein (*Frankenstein ou le Prométhée moderne* est un roman publié en 1818 par Mary Shelley) est faite à partir de cadavres et animée par la foudre. Le roman a été repris en film de nombreuses fois, la dernière adaptation, *Docteur Frankenstein*, est récente, on peut aisément en trouver des extraits sur Internet ; signée Paul MacGuigan, avec Daniel Radcliff (Harry Potter...), elle est sortie le 25 novembre 2015.

La version de référence reste malgré tout celle de 1931 : *Frankenstein* est réalisé par James Whale, avec Boris Karloff dans le rôle du monstre. Rappelons que Frankenstein est le nom de l'inventeur, pas de la créature... En dehors des aspects qui tirent le thème vers l'horreur, on s'intéressera avec profit à de nombreuses questions soulevées par l'invention d'êtres artificiels, nous en abordons quelques-uns ci-dessous.

Intelligence humaine vs intelligence artificielle : fin de l'Homme?

Quelles activités en classe ?

- En mathématiques et en technologie, voire en SVT : comparaisons entre le cerveau humain et la taille des mémoires des ordinateurs, la puissance de calcul et sa vitesse. Ressemblances et différences dans le traitement de l'information.
- En français, on étudiera la série d'excellents romans de Ian Brown : ce romancier américain qui vient de décéder a publié toute une série de romans qui mettent en scène des sortes d'univers-îles abritant des centaines de milliers d'habitants ; ces sortes de vaisseaux gigantesques sont dirigés par des intelligences artificielles prodigieuses qui pensent par elles-mêmes, prennent des décisions et, accessoirement, prennent soin des êtres humains qui les habitent. On regardera la lutte entre l'homme et l'IA dans le film de Kubrick, *2001 Odyssée de l'espace*, de 1968, d'après une nouvelle d'Arthur C. Clarke, *the Sentinel*. On peut aussi s'intéresser à la série de films *Terminator*, de James Cameron, 1984 pour le premier opus, avec Arnold Schwarzenegger. Film de pures aventures qui conjecture une révolte des IA menant à l'extermination des humains.

Robot ou androïde ? La conscience de soi ?

Si le robot est aisément identifiable, il pourrait s'avérer bientôt difficile de faire la différence entre l'être humain et un androïde à apparence humaine. Et l'androïde pourrait aussi se prendre pour un être humain.

Quelles activités en classe ?

- En français, en philosophie, en SVT : on peut étudier le roman de Philip K. Dick, *Les Androïdes rêvent-ils de moutons électriques ?* écrit en 1966 et porté au cinéma sous le titre *Blade Runner* par Ridley Scott en 1982, avec Harrison Ford. Le roman de Dick porte désormais également ce titre. On peut aussi regarder le feuilleton *Real Humans*, de 2012 (suédois, il existe aussi une version canadienne plus récente), qui permet au spectateur de suivre tant des androïdes que des humains confrontés aux mêmes entités. Dans ces deux cas, se pose le problème de la conscience de soi pour les androïdes. *Blade Runner* postule que les androïdes se construisent une identité humaine à l'aide de faux souvenirs implantés. Comment se construit la conscience de soi ? On découpera toutes ces problématiques entre divers groupes de travail.

- En maths, en techno : on partira des Lois de la Robotique énoncées par Isaac Asimov (1920-1992) :

1. Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni, en restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger ;
2. Un robot doit obéir aux ordres qui lui sont donnés par un être humain, sauf si de tels ordres entrent en conflit avec la première loi ;
3. Un robot doit protéger son existence tant que cette protection n'entre pas en conflit avec la première ou la deuxième loi.

Comment exprimer ces trois lois de manière logique ? Est-ce qu'il est possible de traduire ces lois en langage informatique ? Peut-on trouver des failles à ces lois ? Ressemblances avec les logiciels qui permettent actuellement aux voitures de se conduire toutes seules : si la voiture a le choix entre écraser trois piétons ou précipiter le véhicule contre un mur et épargner les piétons au risque de tuer le passager unique de la voiture, que fera-t-elle ?

L'humanité « augmentée » (maths physiques lettres philosophie technologie SVT)

Très récemment on a développé le concept d'humanité « augmentée », que ce soit par des prothèses (auditives, visuelles, exosquelettes...), des extensions (accès direct par le cerveau ou indirect par le truchement de lunettes), cartes mémoire, accès à Internet... On peut conjecturer que ce n'est que le début d'une nouvelle ère : un mouvement international appelé le Transhumanisme prône le recours aux sciences, aux technologies, aux biotechnologies pour supprimer le handicap, la maladie, prolonger la vie...

Quelles activités en classe ?

On peut diviser la problématique afin de traiter chaque sous-partie en groupe. On confrontera ce que chacune des disciplines a à dire du problème : maths, philo, lettres, histoire, technologie, SVT...

La vie ailleurs (maths physiques lettres philosophie technologie SVT)

La découverte régulière d'exoplanètes dans notre proche environnement galactique a relancé l'intérêt pour la recherche de la vie ailleurs que sur Terre. On peut diviser la problématique en sous-thèmes pour faire travailler toute la classe en groupes.

La vie dans l'Univers, un peu d'astronomie (...et de statistiques)

- En maths, en physique : nombre de planètes déjà découvertes, classements de ces planètes par type

(super-Jupiters, Jupiters, super-Terres, proches de la Terre...), par type de soleil, etc.

- Méthodes de détection de ces planètes.
- En SVT : conditions propices à la vie autour d'une étoile donnée, la notion de zone habitable. Qu'est-ce que la vie ? Une vie fondée sur autre chose que le carbone et l'eau ? La piste des cristaux ?
- En lettres, en arts plastiques : la faune de l'espace. On s'appuiera plutôt sur des films pour faciliter les recherches : *Alien*, de Ridley Scott, le premier film date de 1979, les autres opus sont donc plus récents. Tout le bestiaire de *Star Wars*, toute la faune d'*Avatar*, de James Cameron, 2009.

La vie intelligente dans l'Univers

En lettres, en philo : discussion sur la définition de l'intelligence, étude de quelques romans : *Entretiens sur la pluralité des mondes*, de Fontenelle, la *Guerre des Mondes*, de Wells (ou le film), *Solaris* de Stanislas Lem ou le film éponyme de Steven Soderbergh (2002), pour citer les plus classiques ! *Avatar*, bien sûr, *Star Wars*, toujours.

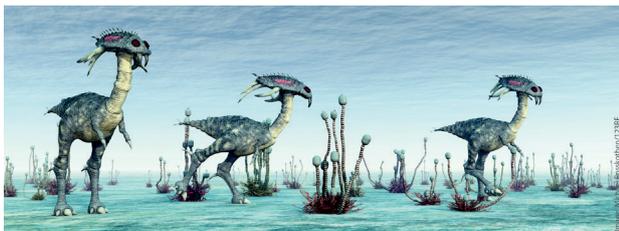


Fig.4. Exemple de représentation d'une vie extraterrestre.

Rencontre du « 3e type »

Confrontation ou collaboration ?

De tout temps, l'homme a été fasciné par le fait qu'un jour on rencontrerait des extra-terrestres intelligents. Amis ou ennemis ? Telle est la question... On peut distinguer trois cas de figure.

L'homme conquérant

Nous partons dans les étoiles, et nous apportons notre civilisation, et nos difficultés aussi.

- En SVT : qu'est-ce que l'intelligence ? Y a-t-il plusieurs formes d'intelligence, ordinaire, collective...
- En lettres, en philo, en histoire : même question, qu'est-ce que l'intelligence ? Le colonialisme, l'homme donneur de leçons... On peut regarder le film *Avatar* avec cette grille d'analyse. L'œuvre de Cyrano de Bergerac, inspirée de celle de Lucien de Samosate, écrivain grec du II^e siècle après J.-C.

L'homme conquis, le paradoxe de Fermi

Physicien, né en 1901 mort en 1954, Fermi s'étonnait du fait suivant : le Soleil étant une jeune étoile, il aurait déjà dû y avoir des civilisations extra-terrestres qui laissent dans l'Univers des traces visibles (ondes radio...) ou qui nous rendent visite. Ce à quoi on peut objecter plusieurs arguments :

1. Cela ne fait qu'une centaine d'années que nous émettons des ondes dans l'espace, nos propres traces ne sont donc pas allées bien loin dans l'Univers.
2. D'ici cent ans, ou beaucoup moins, on n'émettra peut-être plus du tout d'ondes de ce type, soit parce que la technologie les aura rendues obsolètes, soit par prudence... La Norvège envisage de supprimer les radios « aériennes », et leurs émetteurs très prochainement...
3. Une civilisation extra-terrestre pourrait communiquer par des moyens radicalement différents des nôtres. Ainsi les Grecs n'avaient aucun moyen de capter des ondes, et pourtant ils faisaient partie d'une riche civilisation...
4. Combien de temps peut durer une civilisation ? Des centaines ont pu naître et mourir avant même l'invention de l'écriture sur Terre...

On voit que le débat est intéressant et peut concerner aussi bien les sciences que les disciplines littéraires. Les exemples de films ou de romans qui peuvent alimenter la question sont très faciles à trouver : *Micromégas*, conte de Voltaire, *La Guerre des Mondes* (roman de Wells ou films comme ceux de Haskin en 1953 et de Spielberg en 2005), *Independence Day*, film de Roland Emmerich de 1996, *Mars Attack*, film parodique de Tim Burton de 1996, l'excellent *Starship Troopers*, de Paul Verhoeven, de 1996 qui est également une parodie très fine de ce type de film belliqueux

Les guerres des étoiles

C'est l'aspect souvent le mieux connu des élèves et ce, de *Star Trek* à *Rogue One*.

Autres thèmes possibles

Les mutants, les superpouvoirs (tous les héros Marvel : Superman, Spiderman, Captain America, les 4 fantastiques...) les utopies, les contre-utopies (1984, de George Orwell, *Le Meilleur des Mondes*, d'Aldous Huxley), les uchronies (vues dans le cadre du voyage dans le temps supra), les Terres Creuses (la Terre abrite un soleil central, et un monde complet habite sur la surface « intérieure » de notre planète, on y pénètre par le pôle Nord...), les savants fous, les drogues du futur, les guerres du futur, les religions du futur... liste non exhaustive ! ■

AVEC NOS ÉLÈVES

Trois étoiles pour Henry VI

Anne-Marie Louis, anne-marie.louis@wanadoo.fr

On trouve des allusions à l'astronomie chez tous les grands auteurs. Anne-Marie Louis nous propose ici de revisiter Shakespeare. De quoi donner quelques idées pour des travaux transdisciplinaires...

De l'astronomie dans l'œuvre de Shakespeare? Avant d'entamer des recherches approfondies sur ce vaste sujet, commençons par une lecture rapide et un peu superficielle d'une œuvre majeure du grand William, en suivant le fil astronomique. Et si vous passez, amis lecteurs, devant le Théâtre des 3 Soleils ou un autre lieu du même nom, demandez-vous: pourquoi 3 Soleils?

Cieux, tendez-vous de noir! Jour, fais place à la nuit!

Comètes, qui annoncez les révolutions dans les siècles et les États,

*Brandissez dans le firmament vos tresses de cristal,
Pour en fouetter les mauvaises étoiles rebelles
Qui ont consenti à la mort d'Henry (...).*

1422 en Angleterre: le roi Henry V vient de mourir.

*Maudirons-nous les planètes de malheur,
Qui ont ainsi comploté la ruine de notre gloire?*

Ainsi commence **Henry VI** (1ère partie - Acte I, scène 1), fascinante trilogie de **Shakespeare** qui, en 15 actes et environ 200 personnages, couvre près de cinquante ans d'histoire.

Responsabilité des « planètes de malheur » ou plutôt celle des « rusés Français »? La guerre contre la France dure depuis 85 ans. Les seigneurs du royaume sont profondément divisés à l'avènement d'Henry VI, et les prétentions de Richard, duc d'York, à la couronne d'Angleterre déclenchent en 1455 la Guerre des Deux-Roses qui opposera durant 30 ans la Maison d'York et la Maison de Lancastre.

Three sons - Three suns

Le 2 février 1461 au lever du jour, les trois fils de Richard Plantagenêt, duc d'York, sans nouvelles de leur père, observent dans le ciel un phénomène qu'ils considèrent comme un présage:

Édouard: *Est-ce l'effet d'un éblouissement ou vois-je vraiment trois soleils?*

Richard: *Trois soleils glorieux, dont chacun est un*

*soleil parfait,
Non pas séparés par des nuages vaporeux,
Mais bien distincts, dans un ciel pâle et clair.*

Édouard: *Voyez, voyez, ils se rejoignent, se confondent et semblent s'embrasser,
Comme s'ils juraient de s'unir dans une ligue inviolable.*

Georges: *À présent, ils ne forment plus qu'un flambeau, qu'une lumière, qu'un soleil:
En ceci, le ciel nous présage quelque évènement.*

Édouard: (...)
*Quel que soit ce présage, je veux désormais porter
Sur mon bouclier trois soleils radieux.*

(3e partie – Acte II, scène 1)



Fig.1. Représentation de parhélies au xve siècle.
Hartman Schedel – La Chronique de Nuremberg (1493)



Fig.2. Les parhélies, ou faux soleils (en anglais sundogs) sont deux taches lumineuses en général irisées, situées à une vingtaine de degrés de chaque côté du Soleil et dues à la réfraction de la lumière dans des cristaux de glace (voir par exemple le n° 150 des Cahiers Clairaut p. 23).

Shakespeare ne dit pas que la scène a lieu avant la bataille de Mortimer's Cross, ni que les deux plus jeunes, Georges et Richard (âgés de 12 et 9 ans) ont été mis à l'abri. Édouard est seul lorsque, en assimilant les 3 Soleils aux 3 fils survivants du duc d'York (lui et ses frères), il voit dans ce double parhélion un présage de victoire et redonne le moral à ses hommes, plutôt effrayés par cette apparition.

Mais leur père Richard, duc d'York, a été tué le 30 décembre 1460 au cours d'une autre bataille, et il est probable que cet événement a été à l'origine de la phrase mnémotechnique (qui n'a pas été citée non plus par Shakespeare) : **Richard Of York Gave Battle In Vain** qui permet de retenir... les couleurs de l'arc-en-ciel !

Red Orange Yellow Green Blue Indigo Violet



Fig.3. ROYGBIV. On peut trouver de nombreuses illustrations en tapant ces sept lettres sur Internet (voir par exemple www.flickr.com/photos/danrule/2271936068).

Après cet assassinat, les haines et la vengeance déferlent. Le fragile Henry VI est submergé par les dissensions et les luttes fratricides. Alors que s'achève une terrible bataille, il s'isole et rêve à d'autres activités :

*(...) Car y a-t-il autre chose en ce monde que chagrins et douleurs ?
 Ô Dieu ! Ne serait-ce pas une vie bien heureuse
 De n'être rien de plus qu'un simple berger ?
 Assis sur une colline, tout comme je le suis à présent,
 De tracer des cadrans avec adresse, point par point,
 Pour observer la fuite des minutes :
 Combien il en faut pour une heure complète,
 Combien d'heures pour un jour,
 Combien de jours pour remplir l'année,
 Combien d'années dans la vie d'un mortel (...).*

(3e partie - Acte II, scène 3)

La pièce s'achève en 1471 avec l'assassinat d'Henry VI par le jeune Richard, duc de Gloucester, et la victoire du clan d'York. La paix est rétablie... du moins en apparence.

Comme dans les séries télé (mais en mieux !), après cette trilogie, il y a une saison 4 avec de nouveaux

rebondissements. C'est **Richard III**, qui commence par un monologue fameux :

*Donc, voici l'hiver de notre déplaisir
 Changé en glorieux été par ce soleil d'York (...)*

Celui qui deviendra Richard III fait allusion au Soleil choisi comme emblème par son frère Édouard mais dans le domaine astronomique, il se montre nettement moins contemplatif qu'Henry VI :

*Eh bien, moi, dans cette molle et languissante
 époque de paix,
 Je n'ai d'autre plaisir pour passer les heures
 Que d'épier mon ombre au soleil (...)*

(traduction scolastik.info)

On a commémoré en 2016 les 400 ans de la mort de William Shakespeare, qui s'est éteint en 1616. Quatre-cents ans vraiment ? Le lecteur se prend à douter, tant parfois son œuvre est d'actualité. D'ailleurs n'a-t-il pas écrit :

« Je suis aussi constant que l'étoile polaire »

Références

William Shakespeare, Henry VI, L'avant-scène théâtre, 1er juillet 2014, n° 1365-1366, Trad. Line Cottegnies.
 DVD : Henry VI – Intégralité de la trilogie - Thomas Jolly – La Piccola Familia – 8 épisodes (13 heures).
 Bonus : Making Henry – Documentaire de Guillaume Germaine sur la création du spectacle (pour voir en particulier comment est recréé sur scène le phénomène des 3 Soleils).
https://en.wikipedia.org/wiki/Battle_of_Mortimer%27s_Cross
 où on trouve en anglais le passage sur les three suns. On note que les explications concernant le parhélion sont plus détaillées en anglais qu'en français (mais inexistantes dans beaucoup d'autres langues) et que l'interprétation est différente.
https://fr.wikipedia.org/wiki/Satellites_naturels_d%27Uranus
 où on trouve la liste des satellites d'Uranus qui tirent tous leurs noms des personnages des œuvres (en dehors des drames historiques) de William Shakespeare (et Alexander Pope).

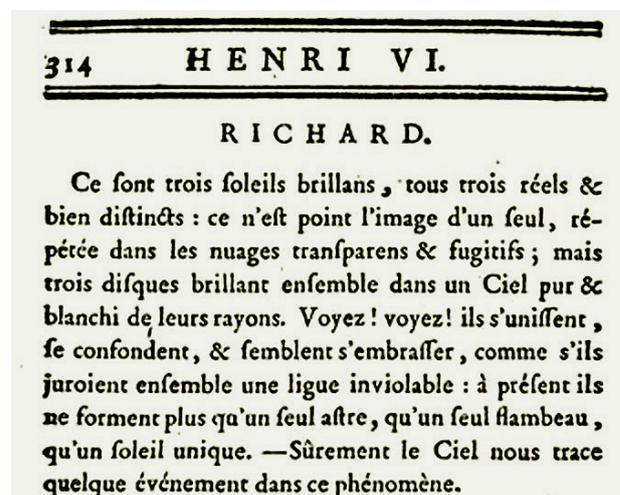


Fig.4. Extrait de Henry VI, traduction de M. Le Tourneur, édition de 1781.

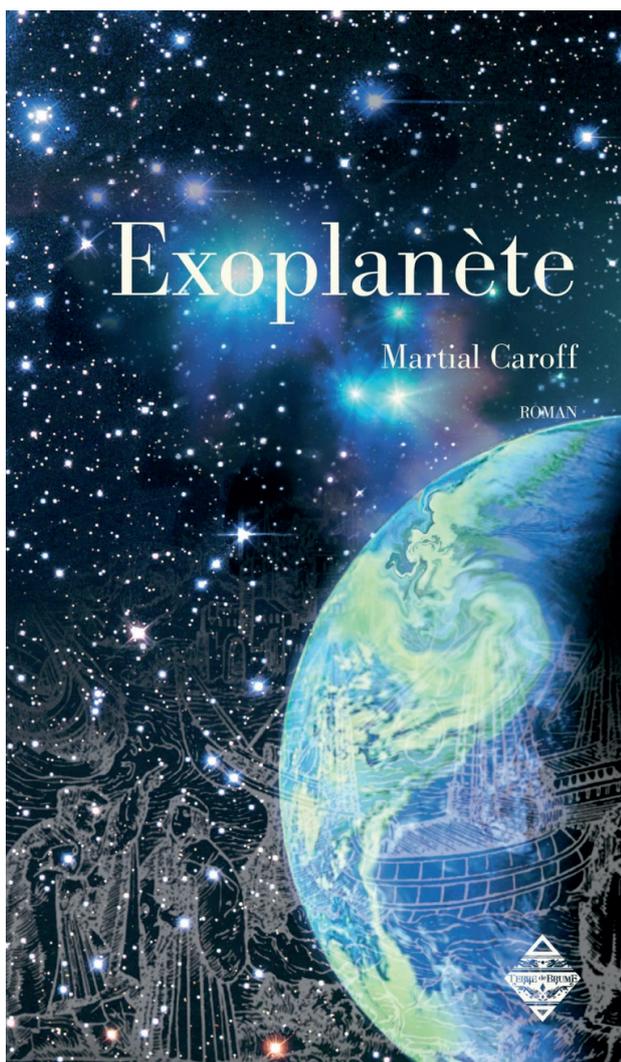
AVEC NOS ÉLÈVES

Lecture critique d'un roman de SF

Exoplanète, de Martial Caroff

Frédéric Pitout, IRAP-Toulouse, Marion Cointepas et Léa Thibout, lycée Toulouse-Lautrec

Faire de la science en lisant un roman de science-fiction, c'est le pari que nous avons fait lors d'activités sur les exoplanètes menées avec Marion et Léa dans le cadre d'un atelier scientifique et technique.



12 janvier 2030, une nouvelle «étoile» fait son apparition dans la constellation d'Orion, puis disparaît avant de réapparaître quelques jours plus tard. Étoile ? En fait non, c'est un peu plus compliqué que ça mais c'est le point de départ du roman *Exoplanète* de Martial Caroff (éd. Terre de Brume, 2009).

Ce roman relate donc l'apparition d'un phénomène astronomique inhabituel et la subséquente décou-

verte d'une exoplanète nommée ExoTerra. Cette exoplanète est observée avec l'«hypertélescope», télescope spatial hors-norme dont la puissance ferait rêver bien des astronomes ! Le roman rend bien compte de l'excitation qui peut régner au sein d'une équipe de recherche lors d'une découverte ; il présente aussi de nombreuses notions physiques et astronomiques qui peuvent être sujettes à questionnements.

Avec Marion et Léa, alors élèves en terminale S au Lycée Toulouse-Lautrec de Toulouse, nous avons lu *Exoplanète* d'un œil critique afin de vérifier la cohérence de ces notions ; une excellente occasion de mettre en application des points du programme de physique et d'aborder d'autres concepts.

Supernova SN1006

L'apparition de l'«étoile» est comparée à des supernovæ observées par le passé. Il est question de la supernova – bien réelle – de l'an 1006 (SN1006) qui aurait été visible en plein jour et qui aurait été si lumineuse que sa lumière formait la nuit des ombres sur Terre (p. 60). Qu'en est-il exactement ?

Dans la littérature, il est fait état d'une magnitude apparente de $-7,5$ pour SN1006, ce qui en ferait l'étoile la plus brillante jamais observée de la Terre (à part le Soleil, bien entendu !). Cela équivaudrait à l'éclairement d'un quartier de Lune. En revanche, cette supernova se trouvait dans la constellation du Loup qui n'est visible en Europe que l'été en milieu de nuit et bas sur l'horizon, donc totalement invisible de jour. En revanche, plus au sud, il est tout à fait envisageable qu'elle fût visible en plein jour. On rappelle que pour voir un objet céleste de jour, il faut que sa magnitude apparente soit de -4 ou moins (par exemple, avec sa magnitude minimale de $-4,6$ Vénus peut être vue en plein jour).

Quant aux ombres, un quartier de Lune en projet, donc on peut imaginer que SN1006, de même éclairement, en formait aussi.

Étoile et système planétaire

Au fil des pages (notamment p. 189-205), l'auteur nous donne quelques caractéristiques du système planétaire auquel appartient ExoTerra. On apprend ainsi qu'il est distant de 389 années-lumière ($3,68 \times 10^{18}$ m) de la Terre et qu'en son centre brille une naine rouge : « l'étoile apporte peu de lumière à ce monde [...] », « son rayonnement rouge, éternellement crépusculaire, peine à percer l'obscurité du vide » (p. 189).

Une naine rouge est une petite étoile dont la masse est au plus 40 % de celle du Soleil (nous vérifierons ce point par la suite) et dont la luminosité ne dépasse pas quelques pourcents de celle du Soleil. Comme son nom l'indique, elle émet son maximum d'intensité lumineuse dans le rouge car sa température de surface, autour de 3 500 K, est relativement basse (cf. la loi de Wien). Dans le diagramme de Hertzsprung-Russell (diagramme HR), qui rend compte du type des étoiles ou de leur stade d'évolution, on trouve les naines rouges (étoile de classe M) parmi les étoiles froides et peu lumineuses, en bas à droite donc (figure 1).

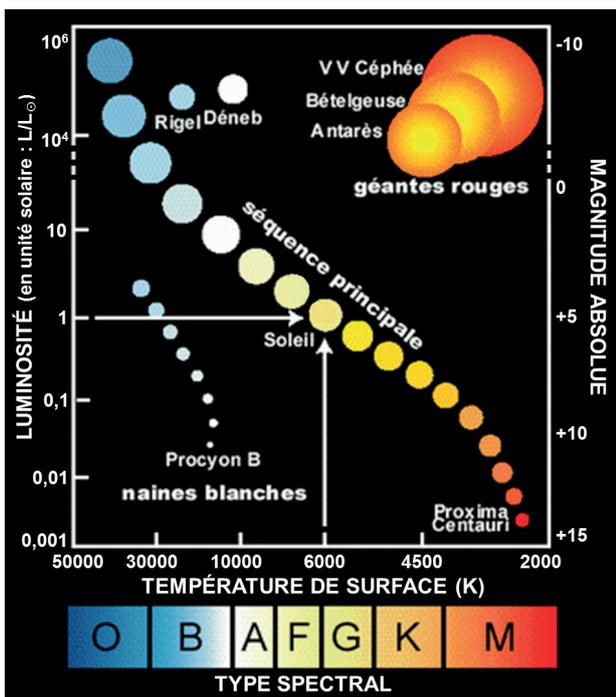


Fig.1. Diagramme HR montrant les différents types d'étoiles (ou stades d'évolution stellaire) en fonction de leur température de surface et de leur luminosité. (Adapté de <http://www.astrorennes.com>).

Le système planétaire comprend 8 planètes internes rocheuses, dont ExoTerra qui est la plus grosse (sans que l'on connaisse sa position), et 5 planètes gazeuses externes (p. 189). Notons au passage que l'auteur n'a

pas pu s'empêcher de calquer son système sur notre Système solaire : une grosse planète gazeuse comme Jupiter et une autre exhibant des anneaux comme Saturne (p. 183). La figure 2 montre à quoi ce système pourrait ressembler, avec ExoTerra en 5^e position à partir de l'étoile.

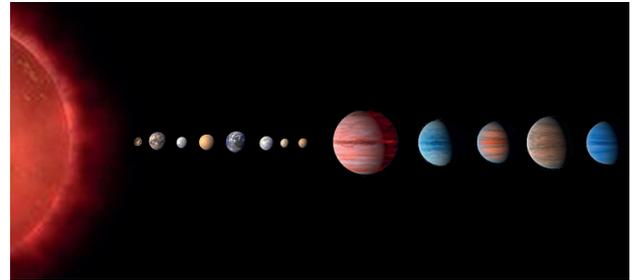


Fig.2. Représentation du système planétaire auquel appartient ExoTerra, 5^e planète en partant de l'étoile. (Composition adaptée de ressources NASA et ESA)

ExoTerra est distante de 0,34 UA de son étoile sur une orbite parcourue en 137 jours terrestres. En faisant les hypothèses nécessaires, on se propose de calculer la masse de l'étoile autour de laquelle orbite ExoTerra et de confronter notre résultat à ce que l'on sait des étoiles naines.

Appliquons la 3^e loi de Kepler, qui peut s'écrire, quand la masse de la planète est négligeable devant celle de l'étoile, de la façon suivante :

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

avec T la période de révolution de la planète (ici 137 jours), a le demi-grand axe de l'orbite de la planète (ici 0,34 UA), G la constante de la gravitation universelle et M la masse recherchée de l'étoile.

L'application numérique nous donne une étoile de masse $M = 5,60 \times 10^{29}$ kg.

Si l'on compare cette masse à celle du Soleil, on a une étoile de 0,28 masse solaire, ce qui correspond bien à une étoile de type naine rouge (masses comprises entre 0,08 et 0,4 masse solaire) comme décrit dans le roman.

ExoTerra

ExoTerra n'a qu'un continent dans l'hémisphère nord (p. 193). Là encore, l'auteur semble s'être inspiré de la Terre du temps où elle n'avait qu'un seul supercontinent (Gondwana, Pangée). Remarquons que le fait qu'un hémisphère soit très différent de l'autre, bien que surprenant, ne nous est pas inconnu puisque l'altitude moyenne de l'hémisphère nord de Mars est plus basse de plusieurs kilomètres que celle de son hémisphère sud.

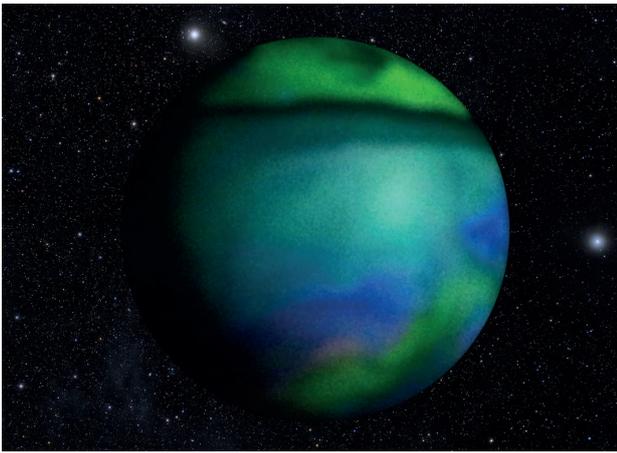


Fig.3. Vue d'artiste d'une exoplanète qui, comme ExoTerra, comporte un continent unique dans l'hémisphère nord et des nuages bleus et verts. (Exoplanete Bubble Gum by Amanda)
Crédit PHL @ UPR Arecibo, ISMuL, Puerto Rico NASA Space Grant.

L'atmosphère d'ExoTerra comporte des «nuages étirés verts et bleus» (p. 189).

On nous dit aussi que les satellites naturels «dont deux de grandes tailles» (p. 201) de la planète créent des marées terribles.



Fig.4. Image de synthèse d'une exoplanète avec trois de ses satellites proches.

En ce qui concerne sa taille, ExoTerra présente une bizarrerie. D'une part, il est dit qu'elle est de «taille moyenne» puis de la taille de Vénus (p. 189). Soit. La taille de Vénus, rappelons-le, c'est la taille de la Terre à peu de chose près. Mais plus loin (p. 204), il est question d'une «pesanteur faible». Est-ce cohérent ? ExoTerra est une planète rocheuse semblable à la Terre et à Vénus donc on peut imaginer a priori qu'elle a une composition assez similaire. Pour une taille donnée, celle de la Terre et de Vénus en l'occurrence, elle devrait donc avoir une masse et un champ de gravité assez semblables.

Par ailleurs, on nous indique que la période de rotation est inférieure à 11 h (p. 189). Cette rotation plus rapide que notre Terre peut expliquer en partie

une pesanteur plus faible, voyons dans quelle mesure.

L'accélération de la pesanteur à la surface d'une planète est la composition entre l'accélération gravitationnelle de la planète qui nous attire vers elle et l'accélération centrifuge due à sa rotation qui nous en éloigne. ExoTerra tournant plus rapidement, cette «force» centrifuge est plus grande. Considérant que son rayon R est le même que celui de Vénus (6 050 km) et que sa période de rotation est de 11 h, nous obtenons une vitesse linéaire de rotation à l'équateur V de 960 m/s. L'accélération centrifuge valant $a_c = V^2/R$, il vient $a_c = 0,15 \text{ m/s}^2$ à l'équateur.

Si on suppose la masse d'ExoTerra identique à celle de Vénus, la pesanteur ne serait au final que marginalement plus faible que celle de la Terre. Si l'on veut que tout cela reste plausible, notre hypothèse d'une planète aussi dense que la Terre ou Vénus est fautive. Mars par exemple a une densité moyenne de 3,9 alors que celle de la Terre est de 5,5. En supposant qu'ExoTerra ait la densité de Mars, nous aurions alors une accélération de la pesanteur de 6,79 m/s^2 à sa surface ce qui est pour le coup sensiblement plus faible.

Autre détail intrigant : «les pierres tombent à grande vitesse». Plus vite que sur Terre ? Si c'est ce qu'a voulu dire l'auteur, il y a une incohérence avec les éclairages précédents. Une pesanteur plus faible devrait induire en une vitesse de chute plus faible.

Quant à son atmosphère, on peut lire que «les sons ne sonnent pas comme sur la Terre» (p. 204). Cela peut s'expliquer par une pression ou une composition atmosphériques différentes qui donneraient une vitesse du son plus ou moins grande. Imaginons une atmosphère qui donnerait à tout le monde une voix de canard comme quand on inhale de l'hélium...

ExoTerra possède quatre satellites aux orbites «complexes» : «il y en a toujours au moins un dans le ciel diurne de la planète, qui peut masquer l'étoile» et donc produire une éclipse. Quelle condition implicite cela suppose-t-il ? A priori, il faut que les satellites soient dans le même plan orbital que la planète autour de l'étoile. Sinon, comme la Lune autour de la Terre, les éclipses se feraient rares.

De plus, il faut que les satellites soient proches de la planète (ce qui est en accord avec les fortes marées mentionnées plus haut) pour que leurs périodes de révolution soient courtes. Enfin, comme les satellites galiléens de Jupiter, on peut imaginer que les satellites d'ExoTerra sont en résonance orbitale.

Performances de l'hypertélescope

Les performances de l'hypertélescope font rêver : résolution de 1 cm à la surface de Ganymède (p. 137-138) et résolution d'ExoTerra et de la sphère émettrice de lumière. Vérifions tout ceci.

L'hypertélescope est formé de 15 000 miroirs de 4 m de diamètre, dont seulement un certain nombre est utilisé pour observer dans une direction donnée. Cela constitue au final un instrument avec un miroir primaire de diamètre équivalent D_m qui est supérieur à 100 km (p. 31), sans plus de précisions. Nous choisirons $D_m = 200$ km dans la suite pour obtenir une limite haute des possibilités du télescope.



Fig.5. Hypertélescope spatial, une multitude de miroirs disposés en sphère pour observer dans toutes les directions sans en déplacer aucun. (Crédit : hypertelelescope.org).

Le pouvoir séparateur, ou résolution, α_R d'un instrument optique est donné par la limite de diffraction :

$$\alpha_R = \frac{1,2 \times \lambda}{D_m}$$

avec D_m le diamètre du miroir primaire de l'instrument et λ la longueur d'onde considérée.

Dans le domaine visible, avec $\lambda = 560$ nm et $D_m = 200$ km, on obtient $\alpha_R = 3,41 \times 10^{-12}$ rad (soit 0,000 000 7").

Pour information, le futur télescope E-ELT avec son miroir primaire de 39 m de diamètre aura un pouvoir de résolution théorique (sans turbulence atmosphérique) 5 000 fois moins bon de $1,7 \times 10^{-8}$ rad (0,003 5").

On part du principe qu'un instrument est capable de résoudre un objet si le pouvoir séparateur de l'instrument est inférieur au diamètre apparent α de cet objet (on appelle en astronomie diamètre apparent

l'angle sous lequel on voit un objet).

Dans l'approximation des petits angles, le diamètre apparent d'un objet céleste vaut, en radian, d/D avec d son diamètre et D sa distance à l'observateur.

Ganymède est un des satellites galiléens de Jupiter, il se trouve à environ 5 UA du Soleil, donc au plus près à environ 4 UA de la Terre. Avec la résolution angulaire de l'hypertélescope calculée précédemment, on trouve une résolution de l'ordre de 2 m. Ce n'est pas mal du tout mais c'est loin du centimètre comme envisagé dans le roman.

En ce qui concerne ExoTerra, on sait qu'elle se trouve à une distance D de 389 AL de la Terre (soit $389 \times 3 \times 10^8 \times 3600 \times 24 \times 365,25 = 3,68 \times 10^{18}$ m) et que son diamètre d est équivalent à celui de Vénus (12×10^6 m). Cela donne un diamètre apparent de $3,26 \times 10^{-12}$ rad.

Même en choisissant un diamètre de miroir de 200 km, le diamètre apparent d'ExoTerra est inférieur au pouvoir de résolution de l'hyper-télescope donc ce dernier est incapable de résoudre l'exoplanète, et encore moins la sphère émettrice de lumière qui fait « un cinquième de la taille d'ExoTerra » (p. 195).

Notons enfin que le concept d'hypertélescope est réellement envisagé et étudié, au sol ou dans l'espace (www.hypertelelescope.org).

Production du rayon lumineux

L'éclat visible depuis la Terre est produit artificiellement par un planétoïde, une sphère dont la lumière est concentrée par une lentille transportée par un second planétoïde. La sphère émettrice tourne autour de l'étoile sur une orbite « plus resserrée » qu'ExoTerra et pourtant elle est toujours à la même distance d'ExoTerra (p. 190). Est-ce possible ? À quelle condition ?

Idem pour le second planétoïde artificiel qui, nous dit-on, se trouve plus loin de l'étoile centrale (entre les orbites des 2^e et 3^e planètes gazeuses - p. 191) mais toujours sur le même rayon étoile-sphère émettrice.

Ces deux planétoïdes ne sont pas en orbites képlériennes sinon celui le plus proche de l'étoile aurait une période de révolution plus courte et le second planétoïde, bien plus éloigné, aurait une période de révolution plus longue. Pour que ces deux objets restent alignés avec l'étoile centrale, ils doivent d'abord être dans le même plan orbital mais surtout leurs vitesses doivent être contrôlées ; en d'autres termes, au moins un des deux doit être motorisé. Le second planétoïde, nous dit-on aussi,

gravite à très grande vitesse (p. 190 et 199). Est-ce cohérent ? Forcément, il doit décrire dans un même temps une orbite bien plus longue donc sa vitesse est nécessairement plus grande.

La lumière produite par la sphère et qui transite par une lentille de 1 200 m de diamètre (p. 199) produirait un éclat tel qu'il serait visible sur Terre en plein jour. Rappelons que pour qu'un objet soit visible en plein jour, il faut que sa magnitude apparente soit de l'ordre de -4 au plus. En considérant cette magnitude limite et connaissant la distance, nous pouvons calculer la magnitude absolue de cette source lumineuse et la comparer à des étoiles connues (on ne prend pas en compte l'extinction interstellaire ou atmosphérique pour simplifier). La magnitude apparente m et la magnitude absolue M sont alors liées à la distance d de l'astre à la Terre, mesurée en parsecs, par la relation :

$$m - M = 5 \log(d) - 5$$

Pour $m = -4$ et $d = 389$ al (119,3 pc), on obtient $M = -9,38$, soit une magnitude absolue plus faible encore que Deneb, pourtant une des plus intrinsèquement lumineuses étoiles visibles à l'œil nu ($M = -8,73$). Imaginez : Deneb a un rayon de l'ordre de 200 fois celui de notre astre et brille comme environ 60 000 soleils ; toute cette puissance lumineuse sortirait d'une lentille de 1 200 m de diamètre seulement... Colossal !

Par ailleurs, la lumière visible depuis la Terre due nous dit-on à des réactions thermonucléaires provoquées dans la sphère n'a pas les propriétés de la lumière émise par une étoile : pas de raies d'absorption dans le spectre (p. 45 et p. 190-191). Qu'il n'y ait pas de raies d'absorption est peu vraisemblable. La lumière de toute étoile, de tout objet distant, traverse le milieu interstellaire qui est composé de gaz et de poussières, plus ou moins denses certes, mais qui affectent inmanquablement le spectre de toute lumière qui les

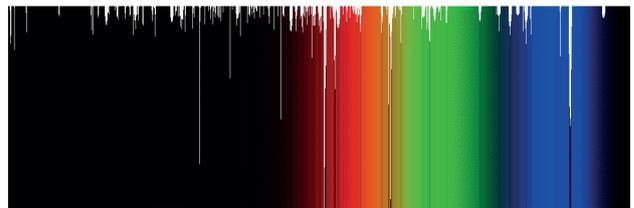


Fig.6. Raies d'absorption interstellaires avec en blanc leur profondeur relative (crédit : P. Jenniskens, F.-X. Désert).

traverse. De fait, des raies d'absorption interstellaires sont observées dans les spectres stellaires. Ce sont les bandes interstellaires diffuses.

En revanche, on sait faire la différence entre raies stellaires et raies interstellaires, ces dernières étant plus étroites que les bandes d'absorption stellaires (car créées par un milieu beaucoup plus froid) et souvent dues à des molécules carbonées complexes introuvables dans l'environnement chaud d'une étoile.

Résumé

Tout en lisant un roman au demeurant agréable et prenant, nous avons fait appel à des bases de physique dont beaucoup sont vues dès le lycée (lois de Kepler, loi de Wien, pesanteur, spectre et raies d'absorption). Nos réflexions nous ont aussi amenés à nous intéresser aux notions d'effet centrifuge, de magnitudes apparente et absolue, de pouvoir séparateur d'un instrument et d'élargir notre réflexion aux différents types d'étoiles et à la composition des planètes.

Nous avons pu finalement constater que les points techniques et scientifiques abordés dans le roman sont plutôt vraisemblables, mis à part les performances un poil optimistes de l'hypertélescope. Quant à la luminosité équivalente à celle d'une étoile géante qui sortirait d'une lentille aussi grande fût-elle, eh bien c'est un roman d'anticipation après tout...



École d'été d'astronomie du CLEA à Col Bayard du 12 au 19 juillet 2017

cette année :

« Soleil, soleils... » de notre étoile à la Voie lactée

Exposés, ateliers, observations
Visite de la Maison du Soleil (Saint-Véran)

Informations, réservations et inscriptions sur
<http://lyon.fr/clea/aLaUne/EcoleDEteDAstronomie2017/>

Inscription : du 20 février au 15 mai (date limite)

Pour les « espaces famille », réserver très tôt



AVEC NOS ÉLÈVES

L'heure de la nuit par Sancho Panza

Philippe Simon, club AstroAspach

Comment trouver l'heure la nuit ? Demandez à Sancho Panza, le fidèle compagnon de Don Quichotte...

Le plus connu des chevaliers errants est, pour sûr, l'ingénieur Hidalgo Don Quichotte de la Manche, créé par Miguel de Cervantes Saavedra. Mais entre le chevalier Don Quichotte, et son écuyer Sancho Panza, savez-vous lequel des deux sait lire l'heure la nuit ? C'est le rustre, le paysan Sancho Panza, et non pas le noble chevalier à la triste figure.

Au chapitre XX de ce livre, en début de nuit, tous deux cherchent un endroit pour se reposer. Ils ont bien dîné, mais sont assoiffés, et espèrent trouver un ruisseau pour se désaltérer. Ils entendent alors des bruits d'eau qui les attirent, mais bientôt également des bruits inquiétants de ferrailles qui s'entrechoquent. Don Quichotte veut immédiatement tirer au clair ce mystère, mais Sancho Panza, le raisonnable, cherche à tempérer l'ardeur de son chevalier :

« Ah ! Par un seul Dieu, mon seigneur, n'ayez pas à mon égard tant de cruauté. Et si votre grâce ne veut pas absolument renoncer à courir cette aventure, attendez au moins jusqu'au matin, car, à ce que m'apprend la science que j'ai apprise quand j'étais berger, il ne doit pas y avoir trois heures d'ici à l'aube du jour ; en effet, la bouche du cor de chasse est par-dessus la tête de la Croix, tandis que minuit se marque à la ligne du bras gauche... »

La science de Sancho Panza

« No debe de haber desde aquí al alba tres horas, porque la boca de la bocina está encima de la cabeza, y hace la medianoche en la línea del brazo izquierdo ».

« Il ne doit pas y avoir trois heures d'ici à l'aube du jour ; en effet, la bouche du cor est sur la tête, tandis que minuit se marque à la ligne du bras gauche ».

Rien qu'en levant les yeux au ciel la nuit, à regarder la constellation de la Petite Ourse, Sancho Panza réussit à déterminer l'heure qu'il est. Au XVI^e siècle, les bergers espagnols appellent la constellation de la Petite Ourse le cor de chasse (la bocina).

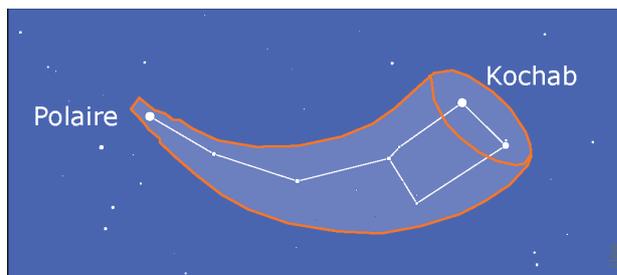


Fig.1. La Petite Ourse est ici un cor, la bocina.

Pour connaître l'heure, les bergers imaginent devant eux une croix avec l'étoile Polaire au centre (fig. 2). C'est le passage de l'étoile Kochab (la boca de la bocina c'est-à-dire l'embouchure du cor) par les quatre bras de la croix qui indique les heures de la nuit. Au mois d'août, époque de cette aventure, la boca de la bocina arrive au bras gauche de la croix aux alentours de minuit¹.

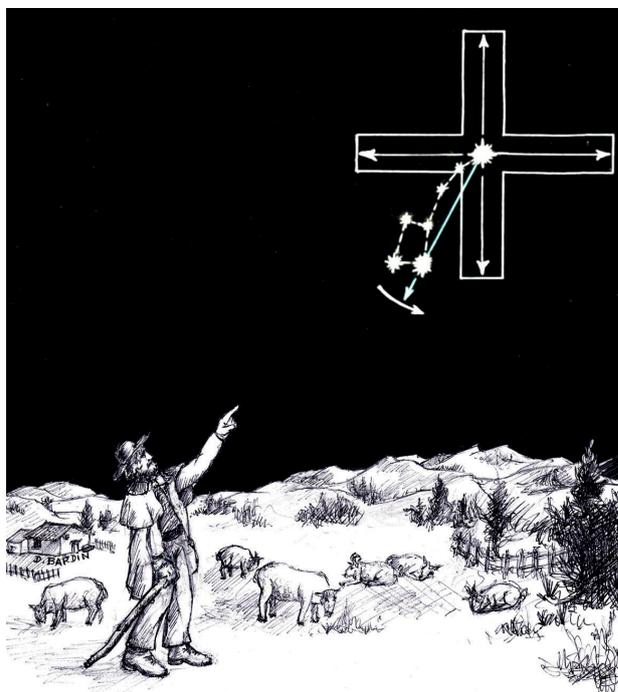


Fig.2. La position de l'étoile Kochab par rapport aux bras de la croix permet de trouver l'heure si on connaît la date.

Un peu plus de trois heures plus tard, c'est le début du crépuscule astronomique, le ciel commence à

¹ Dans tout cet article, les heures indiquées sont des heures solaires.

s'éclaircir à l'est. La croix est un moyen mnémotechnique, qui permet simplement de retenir quelle est la position de la Petite Ourse à minuit, et d'en déduire l'heure qu'il est au moment où on la regarde.

En langage d'aujourd'hui

La Terre tourne sur elle-même en 24 heures. Supposons qu'un jour donné, la ligne joignant Kochab à l'étoile Polaire est verticale à minuit, alors elle se trouvera horizontalement à gauche 6 heures plus tard, soit à 6 heures, puis verticale encore 6 heures plus tard, à 12 heures, et horizontalement à droite à 18 heures (figure 3). Cette ligne Kochab – Étoile polaire tourne d'un angle de 90 degrés en 6 heures dans le sens contraire des aiguilles d'une montre.

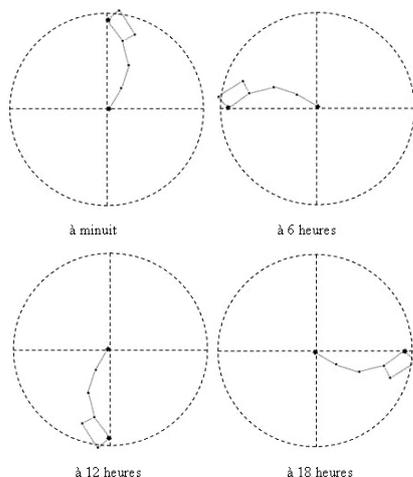


Fig.3. On voit la Petite Ourse comme l'ensemble du ciel se déplacer d'un quart de tour autour de la Polaire en 6 heures.

La durée d'un jour stellaire est de 23 heures 56 minutes et 4 secondes, alors que la durée du jour solaire est de 24 heures. C'est la raison pour laquelle les étoiles se lèvent quatre minutes plus tôt chaque jour, et la raison pour laquelle la constellation de la Petite Ourse n'est pas dans la même position à minuit tous les jours de l'année. On peut même dire qu'elle se déplace de 1 degré par jour à peu près : 365 jours dans l'année et 360 degrés pour un cercle (figure 4).

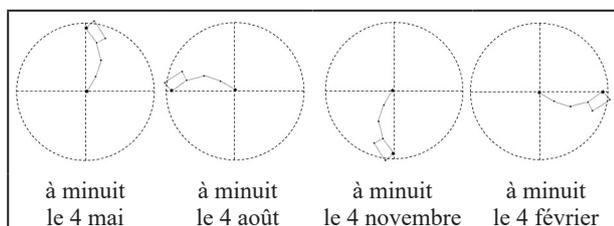


Fig.4. À une heure donnée, ici minuit (heure solaire moyenne), la Petite Ourse se décale de 90° en 3 mois. Pour trouver l'heure avec la Petite Ourse, il suffit de retenir ces dates.

Un exemple d'application

Nous voyons la constellation de la Petite Ourse dans cette position (figure 5) et nous sommes le 15 septembre. Quelle heure est-il ?

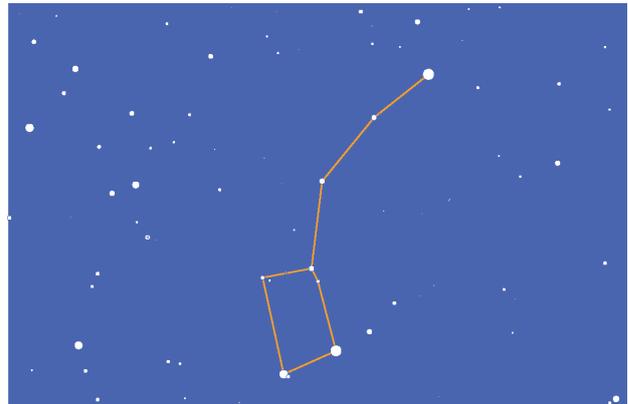


Fig.5. La Petite Ourse observée le 15 septembre.

Nous sommes 42 jours après le 4 août, et donc la ligne de minuit forme un angle de 42 degrés avec l'horizontale. On voit que la ligne Kochab - Étoile polaire fait un angle de 30 degrés avec cette ligne de minuit. Il est donc à peu près 2 heures du matin (rotation de 360° en 24 h donc 15° par heure ou 30° en 2 h).

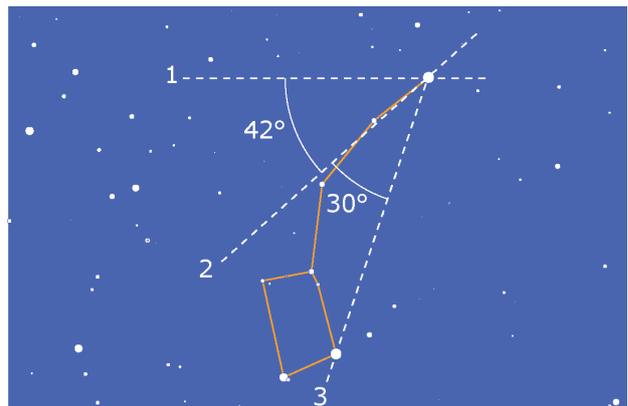


Fig.6. Méthode pour trouver l'heure avec la Petite Ourse :
 ligne 1 : c'est la ligne Polaire Kochab le 4 août à 0 h.
 ligne 2 : la ligne Polaire Kochab 42 jours plus tard, le 15 septembre à 0 h.
 ligne 3 : la ligne Polaire Kochab le 15 septembre à 2 h.

Il suffit de retenir à quel jour la ligne Kochab –Étoile Polaire se trouve verticale dans le ciel à minuit, et la connaissance du jour auquel nous sommes permet de déterminer l'heure qu'il est. Merci Sancho Panza !

Bien sûr, cette détermination de l'heure est largement approximative, mais elle laisse une part si belle à la poésie du ciel!

Pour plus de précision sur l'utilisation de Kochab pour trouver l'heure, on pourra relire l'article sur les nocturlabes dans le n° 144 des Cahiers Clairaut.

AVEC NOS ÉLÈVES

Mars, science et fiction

Maryse & Jean-Luc Fouquet, La Flotte en Ré

Ces regards croisés sur la planète rouge invitent à une approche interdisciplinaire, approche suggérée par les directives des nouveaux programmes du collège en lettres et en sciences.

Cette étude pourrait s'insérer en classe de cinquième au sein de la thématique « Regarder le monde, inventer des mondes » du programme de lettres. Ce titre invite en effet à jouer de l'interaction entre le réel et l'imaginaire puisqu'à travers la lecture de textes proposant « la représentation de mondes imaginaires, utopiques ou merveilleux », on fait découvrir aux élèves différents genres littéraires et on les amène à s'interroger sur ce que ces textes et images apportent à notre perception de la réalité. Cette quête du réel nécessite le regard du scientifique.

Ce projet peut être repris en classe de quatrième où on aborde « la fiction pour interroger le réel » en particulier autour de la nouvelle fantastique. Le thème de Mars pourrait servir de support à l'un des EPI de troisième proposés en exemple : « Mêler fiction et explications scientifiques en s'appuyant sur des lectures ».

On mènera cette étude autour de trois objectifs qui prendront toujours en compte la dualité lettres/sciences :

a. La science dans la littérature

- Le texte littéraire comme témoin d'un niveau de connaissances scientifiques acquises sur Mars à l'époque de l'écriture. En sciences, ce sera l'occasion d'aborder une histoire des représentations de l'Univers, de l'observation de la planète à l'œil nu avec références aux attributs que les Anciens lui ont prêtés en fonction de son apparence jusqu'à l'étude de son mouvement dans différents systèmes géocentriques et héliocentriques pour aboutir à la découverte de sa géographie ou de son climat avec les explorations modernes.
- Le texte littéraire comme reflet des interprétations d'un savoir scientifique en dehors de la sphère des spécialistes.

b. Jeux d'interactions entre les deux domaines

- la pensée scientifique comme terreau de la pensée littéraire et philosophique (l'infiniment grand et l'infiniment petit, donc science et relativisme par exemple), ses incidences sur l'écriture elle-même.
- Le rôle de l'intuition, de l'anticipation, de l'imagination dans la réflexion scientifique.

c. Mars à la croisée des genres littéraires

Les œuvres choisies autour d'un même thème pourront permettre de mettre en évidence les différences et les spécificités du fantastique, de la science-fiction, des récits d'anticipation.

Démarche pour un projet pluridisciplinaire

L'entrée est littéraire. Après la présentation d'une série d'œuvres littéraires choisies autour du thème de Mars dont on analysera collectivement les première et quatrième pages de couverture afin de faire émerger des hypothèses de lecture, on procédera à la distribution de travaux de groupes autour de cette problématique : « Mars, science et fiction », en précisant que les recherches se mèneront parallèlement en français et sciences. Chaque équipe devra lire une œuvre (essai ou ouvrage de vulgarisation, roman, conte ou recueil de nouvelles...) choisie dans la liste suivante proposée ici dans l'ordre chronologique :

Fontenelle : Entretiens sur la pluralité des mondes (1686)

Swift : *Les voyages de Gulliver* (1726)

Voltaire : *Micromégas* (1752)

Maupassant : *L'Homme de Mars* (1889)

Wells : *La Guerre des Mondes* (1898)

Bradbury : *Les Chroniques martiennes* (1951)

Le but de cette lecture est de repérer dans l'œuvre les renseignements sur Mars : il s'agira concrètement de relever tous les indices concernant les différents thèmes suivants :

- les mouvements ;
- les lunes ;
- la géographie ;
- le climat ;
- la vie.

On pourrait aussi y joindre la question : voyage et technologie.

Dans une première étape, chaque membre de l'équipe prend en charge une des questions et note les indices relevés. Puis, dans une deuxième étape de synthèse, tous les intervenants sur un même thème auront pour tâche de dresser un tableau constituant une double frise chronologique confrontant les savoirs

scientifiques et les représentations dans les textes littéraires. Pour cela, le professeur de sciences aura fourni pour chaque thème donné des informations ou des documents sur les découvertes scientifiques, puisés dans des biographies, récits historiques, lettres, textes de vulgarisation... qui permettront d'évoquer Giordano Bruno, Galilée, Kepler, Huygens, Cassini, Darwin, Herschel, Flammarion, Hall, Schiaparelli, Lowell.

Le texte littéraire comme témoignage d'un savoir scientifique

Pour le narrateur des *Entretiens sur la Pluralité des mondes* de Fontenelle, ouvrage écrit en 1686, à la fois leçon d'astronomie, texte de vulgarisation et traité sur l'art de séduire puisqu'il s'agit de montrer comment on s'attire les faveurs d'une marquise en lui enseignant les étoiles, «Mars ne semble pas présenter un grand intérêt». Faut-il voir là dans ce désintérêt la réputation de Mars, planète plutôt défavorable dans l'Antiquité? Mais Mars est surtout contrariant pour les deux interlocuteurs sur la question des Lunes. Ces dernières semblant attribuées aux planètes les plus éloignées du Soleil (Terre, Jupiter et Saturne) pour réfléchir la lumière pendant les nuits, Mars, qui pourtant est plus éloignée du Soleil que la Terre, «n'a point de Lune». Cette allusion atteste bien des connaissances de Fontenelle, à cette époque très au fait de la science nouvelle. Le problème posé par *Les Entretiens sur la Pluralité des mondes* est celui de sa valeur en tant que manuel d'astronomie, avec une qualité de l'information qui n'a jamais été mise en doute par les savants contemporains. L'auteur s'est documenté à la source : Rohault, Auzout, La Hire et surtout Cassini. Ainsi, il évoque la découverte toute récente des cinq satellites de Saturne, il connaît les lois de Kepler, dénonce l'anthropocentrisme, se déclare en faveur des théories de Copernic. D'ailleurs, son œuvre sera mise à l'index en 1687. Fontenelle a créé un genre nouveau : l'ouvrage scientifique mis à la portée du grand public. En traduisant la science en langage clair, il permet à l'honnête homme d'accéder à un domaine jusque-là réservé mais il permet aussi au savant de s'intégrer dans le contexte culturel de son temps.

Donc, à la fin du XVII^e siècle, on connaissait quatre satellites autour de Jupiter et cinq autour de Saturne. Ceux gravitant autour de Mars ne seront découverts que bien plus tard, en 1877. Dans l'œuvre de Fontenelle, la marquise constate que Mars n'a pas de «lunes», montrant un respect pour les connaissances de l'époque. En effet, la contrariété de la marquise vient du fait que Mars ne se conformerait pas à une «loi» issue du raisonnement analogique qui attribuerait aux planètes un nombre de satellites en fonction de leur distance au Soleil. Mars devrait avoir deux «lunes». Ce qui est intéressant, c'est que, au siècle suivant, ces deux lunes, on va les

trouver dans *Les voyages de Gulliver* de Swift puis dans *Micromégas* de Voltaire. Ces deux auteurs sont-ils des visionnaires – l'existence de ces deux satellites n'ayant pas été encore attestée – ou n'ont-ils pas plutôt imaginé ces deux derniers au nom de ce même raisonnement analogique mis en place par la marquise de Fontenelle? On peut alors évoquer avec les élèves un passage de la lettre de Kepler à Galilée citée par P. G. Castex, professeur à la Sorbonne, dans *Voltaire : Micromégas, Candide, L'Ingénu* (édition CDU et CEDES, 1977) :

«Nous ne savons pas si le père Castel a jamais contesté l'hypothèse des deux lunes de la planète Mars : Voltaire d'ailleurs, évoque son intervention au futur. Mais le texte de *Micromégas* se réfère aussi à «ceux qui raisonnent par analogie» et la tentation est forte de rappeler ici un raisonnement analogique de Kepler lui-même sur ce sujet. Écrivant à Galilée, Kepler s'exprimait en ces termes (nous traduisons) :

Bien loin de nier l'existence des quatre satellites de Jupiter, je souhaiterais de découvrir au télescope avant vous, si possible, deux satellites de Mars, ainsi que les dimensions proportionnelles semblent le requérir ; six ou huit satellites de Saturne ; et peut-être un satellite de Mercure et de Vénus.

Il est impossible d'établir que Voltaire a eu connaissance de cette spéculation de Kepler. Comme il parle à ce propos de «ces bons philosophes» qui raisonnent par analogie, on croirait plus volontiers qu'il ne songe pas à un astronome. On retiendra du moins la place que le raisonnement par analogie tenait dans la science du temps : bien que Voltaire y recoure parfois lui-même, il semble ici s'exprimer à ce propos avec une sorte d'ambiguïté voulue. La seule connaissance vraiment valable à ses yeux est celle qui repose sur l'expérience.»

Extrait de *Voltaire : Micromégas, Candide, L'Ingénu* de P. G. Castex

On va trouver les deux satellites dans le ciel de *L'Homme de Mars* de Maupassant : «la vitesse de ses deux satellites prouve qu'il [Mars] pèse dix fois moins que nous». Ils participeront aussi de la dimension poétique des *Chroniques martiennes* de Bradbury :

«les deux lunes jumelles se levaient»
«une pâle clarté tombait des étoiles et des lumineuses lunes jumelles de Mars»

Ces deux récits de fiction témoignent, eux, d'une découverte attestée à la date de leur écriture !

Les découvertes scientifiques comme terreau du texte littéraire

Le thème littéraire des mondes habités, déjà en germe dans Lucien de Samosate, se développe avec *Cyrano de Bergerac*, Fontenelle, autour du rejet du géocentrisme. *Les Entretiens sur la Pluralité des*

mondes étaient déjà une magistrale leçon de relativité. Le monde regardé à travers télescopes et microscopes va amener la notion de point de vue, le relativisme, qui donne toute sa dimension philosophique au conte de Voltaire, *Micromégas*, avec Mars devenu «mauvais cabaret de village». Plus d'une centaine d'années plus tard, les grands progrès dans l'observation du ciel ont donné naissance à la légende des canaux sur la planète rouge. En effet, Schiaparelli, astronome italien, avait vu ou cru voir sur les régions les plus claires de la planète, à l'opposition de 1877, un entrecroisement de lignes fines d'aspect géométrique qui à certaines époques paraissent se dédoubler.

Les esprits pondérés ont vu là une schématisation, les esprits les plus enthousiastes ont ancré l'idée de canaux, confortés par d'autres astronomes par la suite, comme Flammarion ou Lowell. Dans *l'Homme de Mars*, le personnage créé par Maupassant symbolise bien le glissement d'une interprétation rationnelle et pondérée à une interprétation plus passionnée. Parallèlement à ces activités scientifiques, le contexte de l'époque a certainement favorisé ces erreurs de jugement, avec les grands travaux de construction : canal de Suez inauguré en 1869, creusement des canaux de Panama et de Corinthe commençant en 1882 !

Et donc, dans *l'Homme de Mars*, est confortée cette idée d'une vie sur Mars, hypothèse déjà présente dans les écrits de Fontenelle et même auparavant.

« Sachez donc qu'en 1884, Mars se trouvant en opposition et séparée de nous par une distance de vingt quatre millions de lieues seulement, M. Schiaparelli, un des plus éminents astronomes de notre siècle et un des observateurs les plus sûrs, découvrit tout à coup une grande quantité de lignes noires droites ou brisées suivant des formes géométriques constantes, et qui unissaient, à travers les continents, les mers de Mars ! Oui, oui, Monsieur, des canaux rectilignes, des canaux géométriques, d'une largeur égale sur tout leur parcours, des canaux construits par des êtres ! Oui Monsieur, la preuve que Mars est habitée, qu'on y vit, qu'on y pense, qu'on y travaille, qu'on nous regarde : comprenez-vous, comprenez-vous ? Vingt-six mois plus tard, lors de l'opposition suivante on a revu des canaux, plus nombreux, oui Monsieur. Et ils sont gigantesques, leur largeur n'ayant pas moins de cent kilomètres. »

Je souris en répondant :

« Cent kilomètres de largeur. Il a fallu de rudes ouvriers pour les creuser.

- Oh, Monsieur, que dites-vous là ? Vous ignorez donc que ce travail est infiniment plus aisé sur Mars que sur la Terre puisque la densité de ses matériaux constitutifs ne dépasse pas le soixante-neuvième des nôtres ! L'intensité de la pesanteur y atteint à peine le trente-septième de la nôtre.

Un kilogramme d'eau n'y pèse que trois cent soixante dix grammes ! »

Extrait de *l'Homme de Mars*, de Maupassant

La croyance dans l'existence de canaux va longtemps survivre au revirement des scientifiques sur cette question. Alors qu'Antoniadi a montré en 1909 que les canaux ne sont en fait qu'illusions d'optique, R. C. Burroughs les évoque en 1912 dans *le Conquérant de la planète Mars*, équipés qui plus est de stations de pompage !

Cette image est récurrente dans de nombreux récits de science-fiction comme en particulier dans les nouvelles de Bradbury.

La planète Mars chez H.G. Wells

Son âge : « Si l'hypothèse des nébuleuses a quelques vérités, la planète Mars doit être plus vieille que la nôtre, et longtemps avant que cette terre se soit solidifiée, la vie à sa surface dû commencer son cours. »

« Planète plus éloignée du commencement de la vie, mais aussi plus près de sa fin. »

Son volume : 1/7 de celui de la Terre.

Son climat : elle a de l'eau, de l'air...

La pesanteur : 1/3 de celle à la surface de la Terre.

La vie : « Des hommes comme Schiaparelli observèrent la planète rouge mais ne surent pas interpréter les fluctuations apparentes des phénomènes qu'ils enregistraient si exactement. Pendant ce temps, les Martiens se préparaient ». [à la guerre !]

Extraits de *la Guerre des Mondes* de H.G. Wells

Le thème de l'eau rend crédible l'hypothèse d'une planète habitée. Au XIX^e siècle, les découvertes autour de la géographie et du climat de Mars d'une part, et la prise en compte de la thèse de Darwin sur l'adaptabilité des êtres vivants au milieu naturel d'autre part, vont construire l'existence et l'image des Martiens.

Mars à la croisée des genres

Naissance d'un mot et évolution d'un genre : la science-fiction

Si on connaît, depuis l'Antiquité, de nombreux récits de voyages interplanétaires, le mot « science-fiction » n'apparaît qu'en 1929 aux États-Unis. Pour les œuvres antérieures à cette date, inspirées par les grandes inventions scientifiques et techniques qui marquent la deuxième moitié du XIX^e siècle, on parlera de « romans d'anticipation » puisque les auteurs comme Jules Verne par exemple présentent des inventions futures qui suscitent un enthousiasme pour la science et une confiance dans le progrès que Wells nuancera dans *la Guerre des Mondes* en 1897. Tout en utilisant la technologie de son temps pour créer des machines annonçant la thématique des robots qui nourrira l'imaginaire de Bradbury et de ses successeurs, il en condamnera par ailleurs les excès (dans *Viendront de douces pluies* par exemple). En 1945, c'est un événement de l'histoire des hommes qui va marquer un changement de ton dans la science-

fiction. La bombe atomique sur Hiroshima explique en partie le pessimisme, déjà présent dans l'œuvre de Wells, dans le message de la science-fiction et sa dimension critique.

Bradbury, après Wells, se réfèrera alors à nouveau à Darwin pour dire que le secret des Martiens, c'est de ne pas avoir rompu les liens avec les origines. Enfin, s'il fallait prouver le rapport étroit entre inspiration littéraire et histoire des hommes, on pourrait aussi noter que la production romanesque sur Mars s'est accrue après le lancement de Spoutnik en 1957. Par ailleurs, la science ayant fourni à l'imaginaire de quoi résoudre le problème des distances, le nombre de romans qui mettent l'accent sur le voyage augment en même temps que les spécialistes se penchent de plus en plus sur le problème des conditions psychologiques dans lesquelles pourrait se dérouler le long voyage vers Mars, comme en témoignent deux œuvres d'Isaac Asimov, *Survie* et *La Voie Martienne*. Inversement, on compte moins de récits de fiction sur la Lune depuis que l'homme a foulé son sol en 1969. Qu'en sera-t-il pour Mars lorsque dans quelques décennies les voyages vers la planète rouge deviendront réalité ?



Page de couverture d'une réédition de *La Guerre des Mondes* de 1953 (*Famous Fantastic Mysteries*, Juillet 1951).

Mars, d'un genre littéraire à l'autre

Autour de ce thème commun, on pourra en cours de français, au fil d'une étude comparée des trois œuvres précédemment citées, dégager les caracté-

ristiques de deux genres littéraires, le fantastique et la science-fiction.

L'Homme de Mars figure dans l'édition Marabout sous le titre *Contes fantastiques complets* de Maupassant. En effet, la précision des informations scientifiques données, les références aux savants de l'époque, contribuent à donner de la crédibilité au monde «normal», rationnel, dans lequel va faire irruption l'irrationnel, ici l'annonce étrange de l'existence d'êtres venus de Mars, créant le climat de peur inhérent au genre. À ces effets de réel s'ajoute la construction au fil du texte de la mise en doute, à laquelle contribue la suspicion de folie du seul témoin des faits, thème récurrent dans le fantastique. On trouve donc bien là un élément constitutif du genre : l'ambiguïté, l'impossibilité de trancher entre une solution rationnelle évoquée par le personnage lui-même qui n'exclut pas d'avoir assisté à la mort d'une étoile filante, ou à la solution irrationnelle qui attesterait l'arrivée sur Terre d'un vaisseau martien.

La Guerre des Mondes de Wells illustre une frontière encore floue entre fantastique et science-fiction. Cette œuvre a longtemps été considérée comme un roman fantastique (le terme de science-fiction n'existant pas encore). On y retrouve en effet le même souci de crédibilité, mais ici la science est au cœur de l'œuvre avec l'exploration d'un monde encore inconnu, bâti au terme d'une réflexion logique et rigoureuse sur des hypothèses et des extrapolations s'appuyant sur les connaissances scientifiques. Wells crée un monde plausible, la littérature du conjectural. Comment expliquer autrement la panique générale déclenchée par la farce montée par Orson Welles, le 30 octobre 1938, annonçant l'invasion des Martiens au début de son émission de radio inspirée de *la Guerre des Mondes* ? Contrairement à Verne, c'est un pessimisme lucide et moralisateur qui sous-tend l'œuvre de Wells. Robots, armes chimiques, semblent préfigurer les menaces pesant sur notre globe.

Dès leur publication en revue, *les nouvelles martiennes* de Bradbury paraissent peu orthodoxes dans le contexte littéraire. Cet auteur ne semble pas se conformer à la vraisemblance scientifique exigée dans la science-fiction des années 30. En effet, il n'y a aucun souci de réalisme dans ces récits où la planète Mars, avec sa température de type terrestre, ses pluies, ses canaux remplis d'eau, son atmosphère juste un peu plus ténue que sur Terre, son oxygène «frauduleusement répandu sur Mars» (comme il le dit lui-même), doit beaucoup plus à l'imagination fantaisiste de Burrough qu'aux travaux des astronomes. Lui-même, dans son introduction à l'édition de 1997, dit : «Comment se fait-il que mes *Chroniques Martiennes* soient souvent considérées comme étant de la science-fiction ?» Cette définition lui convient mal. Pourtant si la vraisemblance scientifique n'est pas son souci premier, par contre la science est inhérente à son message. «Ils n'ont jamais

laissé la science écraser l'art et la beauté», fait-il dire des Martiens à Spender, son personnage de *Et la lune luit toujours*. Tel est, pour lui, le secret de la sagesse des Martiens. Ce qui a fait dire au critique Jacques Bergier : «Bradbury, comme Huxley, ce n'est pas de la science-fiction mais de l'anti science-fiction, c'est-à-dire de la fiction dirigée contre la science, contre l'amélioration de la vie des gens». On nuancera toutefois cet avis par les propos de Bradbury lui-même qui dit ne pas vouloir renoncer à cette littérature qui lui permet d'examiner le cœur de tous les problèmes et qui bat au rythme de l'univers », ou encore dans cette préface de l'ouvrage de Christian Grenier, *La science-fiction, lectures d'avenir?*, «Vous êtes une humanité de la science, et vous vivez à l'ère de la science-fiction». On ne peut accéder à la richesse de chacune de ces nouvelles que si on prend en compte sa portée de fable ou de parabole et sa dimension onirique et poétique.

Une quête martienne

Au-delà du message moralisateur, pessimiste de la fable qui dénonce entre autres le colonialisme destructeur, une science qui est allée trop loin, les valeurs de civilisation étant le plus souvent du côté des Martiens, on peut s'interroger sur le sens du voyage vers Mars. Pour cela on relira un texte, *La destinée martienne*, que Bradbury écrit bien après les Chroniques, en août 1996, au moment où la NASA, pour défendre son programme martien, rappelait la découverte d'une météorite retrouvée en 1984 en Antarctique où elle aurait séjourné 13 000 ans après s'être détachée de la planète rouge. D'ailleurs, un an plus tard, le petit robot Sojourner est déposé sur Mars et envoie les images du sol de la planète.

Ce texte donc nous permet de mieux comprendre le sens du voyage vers Mars et de cette quête métaphysique. «Pourquoi Mars comme destination? Parce que nous ne pouvons nous empêcher de revenir sur nos doutes et nos interrogations de toujours: Pourquoi l'univers a-t-il été créé? Pourquoi avons-nous été mis au monde?» Désir de savoir, voyage dans le temps, quête mythique de l'immortalité comme celle de Gilgamesh dans le conte sumérien. «De même, nous ne savons pas exactement pourquoi nous désirons être immortels». Cette dimension mythique, Bradbury, lui-même, la revendique: «Et parce que j'ai écrit des mythes, peut-être ma planète Mars a-t-elle encore devant elle quelques années d'impossible vie». Et si Mars préfigurait notre destin, nous renvoyait à nous-mêmes?

C'est le jeu de miroir dans la dernière chronique où le père invite ses enfants à voir les Martiens disparus. Les enfants regardent dans les eaux du canal et voient «leur propre image qui leur retourne leur regard du fond d'un million d'années d'attente».

Conclusion

Lorsque la question scientifique fait l'objet du texte de fiction, la mission de l'écrivain ou du philosophe est double. Il peut contribuer d'une part à vulgariser et d'autre part à participer à cette réflexion sur le sens de la science dans la construction de l'humanité. C'est le message que porte Bradbury: «À chaque innovation scientifique, nous devons créer une nouvelle éthique qui dans ce monde mouvant et incertain, permette à l'Homme de s'adapter et de se construire.»

Que dire aussi du rôle de l'imaginaire comme élément déclencheur de la pensée scientifique? Inversement cette dernière peut déterminer une nouvelle écriture de la fiction elle-même. On peut évoquer ici cette approche d'une définition de Michel Jeury cité dans l'ouvrage de Christian Grenier *La science-fiction, lectures d'avenir?* Pour lui, ce qui est scientifique dans la science-fiction, ce n'est pas le contenu mais la démarche, l'écriture: on envisage une hypothèse, on pose un monde possible et on imagine les conséquences.

Proposition d'écriture autour d'un axe *Décrire l'autre, l'inconnu* *Faire le portrait d'êtres étranges*

Cet axe amènerait à travailler sur des notions du programme abordées tout au long de ce projet:

Le changement de point de vue / de perspective

Le relativisme

Les savoirs partagés

Explicite / implicite

Objectivité / subjectivité

Avant l'écriture, on organisera des activités autour des procédés et outils linguistiques et lexicaux propres à décrire l'étrange: comparaisons, métaphores, périphrases... Après une lecture analytique de la nouvelle de Bradbury, *Ylla*, qui invite à faire par déduction le portrait «en creux» du Martien puisque c'est lui le narrateur et que l'être étrange qu'il décrit s'avère être, à la surprise du lecteur, un Terrien. On pourrait proposer par exemple: «Rédiger un court dialogue dans lequel une femme terrienne décrit à son mari le Martien dont elle a rêvé...».

Ce travail peut être fructueusement préparé par la lecture du passage de *Histoire Véritable* de Lucien de Samosate dans lequel le héros fait le portrait détaillé d'un Lunaire. Après cette lecture, on aurait fait imaginer aux élèves la description des Terriens par le jeune Lunaire. Les élèves aiment beaucoup dessiner leurs personnages étranges.

Autres lectures (nouvelles ou romans mettant en scène essentiellement des Martiens) pouvant nourrir ce type de travail:

Cher Démon d'Eric Brown, dans *Étranges Visiteurs*, édition de l'Ecole des Loisirs.

La soucoupe se posa de Buzzati dans *l'Effondrement de la Baliverna*.

Le navigateur de Jacques Sternberg.

Martiens, go home de Frédéric Brown.

AVEC NOS ÉLÈVES

Le ciel des bergers de Provence

Yves Lhoumeau, astronome amateur, Ain

Yves Lhoumeau nous relate son expérience d'utilisation d'un conte d'Alphonse Daudet dans une séance de planétarium numérique. Ce conte peut être utilisé par des enseignants de différentes disciplines pour faire de l'astronomie avec leurs élèves.

La lecture du conte d'Alphonse Daudet, *Les étoiles*, extrait des *Lettres de mon moulin*¹, m'a immédiatement inspiré une séance de planétarium, dès l'invention du planétarium numérique LSS, en 2007. Après une mise en scène agrémentée de la voix d'un acteur à l'accent typiquement méditerranéen, le planétariste propose une lecture comparée de plusieurs extraits du texte.

L'occasion est trop belle pour présenter quelques notions d'astronomie. Une analyse de ce texte a déjà été réalisée dans les Cahiers Clairaut par Jean Noël Terry². Je l'aborderai néanmoins sous un angle un peu différent.

La première version du conte d'Alphonse Daudet a été publiée dans le journal *Le bien public* le 8 avril 1873. Si la forme, plus tendre et romancée, est différente du récit traditionnel transmis par son ami membre du Félibrige, Frédéric Mistral, on ne peut que constater de nombreuses similitudes.

Le texte de Mistral est antérieur (1871) et a été publié dans *L'armana provençau* de 1872 sous le titre *Escour-regudo astronomico*³. Mistral parlera même de «traduction de son ami Daudet» dans ses mémoires, car bien entendu, ce texte est en langue provençale. Néanmoins, ni l'un ni l'autre ne semblent complètement l'auteur de cette légende, qui semble être issue du pastoralisme et de la littérature romanesque du Moyen Âge (cité dans le dictionnaire *Lou tresor dou felibrige*, de F. Mistral). L'anecdote de la publication dans un almanach est intéressante, comme nous le verrons un peu plus loin.

1 *Lettres de mon moulin*, les étoiles, p. 51 et suivantes : <http://gallica.bnf.fr/ark:/1h2148/bpt6k68638g/>

Le texte se trouve aussi sur Wikisource http://fr.wikisource.org/wiki/Lettres_de_mon_moulin/Les_étoiles

2 CC n° 91 automne 2000 (disponible sur le site du CLEA)

3 Texte de F.Mistral <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k63398558> (p. 39)



Fig. 1. Frédéric Mistral et Alphonse Daudet.
(Crédit : Musée de la Carte Postale, Antibes)

La narration, de par sa forme, se prête bien à une mise en scène. L'outil numérique du planétarium LSS⁴ permet d'illustrer le récit du berger (en voix off) au fur et à mesure, si on accepte quelques aménagements. Vous trouverez une partie du texte de Daudet page suivante. Pour que la description soit cohérente, il faut simuler l'arrivée de la nuit à la fin de l'été et non début juillet comme le dit le berger («En juillet, les nuits sont courtes»). Pour que les positions des planètes correspondent au texte, on se situe par exemple en 2007.

Le spectacle commence après le coucher du Soleil, par une pluie d'étoiles filantes, puis la Voie lactée est mise en valeur. Le projecteur permet de dessiner quelques astérismes, sans pour autant distraire le public par l'intégralité des représentations mythologiques : apparaissent la Grande Ourse, puis Orion et le Grand Chien. La brillante Sirius et les Pléiades sont repérées par un réticule. L'accélération du temps n'étant pas un problème pour le simulateur, la Grande Ourse «marche» ensuite doucement sur l'horizon puis remonte autour de l'axe polaire, tout en faisant poindre le jour. C'est à ce moment que l'attention

4 Planétarium LSS: Lhoumeau Sky System, système de projection vidéo inventé par l'auteur en 2007.

du spectateur est attirée vers Vénus et Saturne toutes proches l'une de l'autre. En accélérant encore un peu plus, jour par jour, les 2 planètes se rapprochent puis s'éloignent de nouveau.

Le récit se termine sur le lever du jour et l'ascension du Soleil alors que la belle est endormie sur l'épaule du berger.

La petite histoire étant terminée, place à la deuxième partie de la séance, conduite par l'animateur car il est nécessaire d'apporter quelques explications plus rationnelles. Tout d'abord, le phénomène des étoiles filantes est très populaire, mais pas toujours bien compris. Le lecteur curieux de traditions et folklores pourra se référer notamment à l'ouvrage de Paul Sébillot (éminent folkloriste du début xx^e) *Le ciel, la nuit et les esprits de l'air*⁵.

L'entrée d'un corps solide dans l'atmosphère, du fait des frottements engendrés par sa chute, augmente considérablement sa température et une grande quantité de matière est vaporisée et ionisée, générant la traînée lumineuse.

Il est intéressant de souligner la tendance très humaine de rapprocher des phénomènes observés d'une pensée magique lorsqu'ils ne sont pas explicables rationnellement (à une époque donnée).

Notre berger provençal dispose visiblement d'un ciel magnifique, sans pollution lumineuse, car la Voie lactée est visible. Quelques instants suffisent avec une LED blanche pour simuler le désastre de l'éclairage mal maîtrisé⁶.

L'occasion est également trop belle pour ne pas citer Galilée qui, le premier, a observé et compris que cette bande laiteuse était en fait composée d'une myriade d'étoiles. Il faudra attendre 1920 pour parler de galaxies (avec Hubble). Grâce à une petite séquence vidéo, en images de synthèse, l'animateur montre la Galaxie vue de l'extérieur, chose qui n'est possible qu'en simulation, ainsi que la position du Système solaire. L'image bascule ensuite, et par effet de perspective, la Galaxie devient visible uniquement sous forme d'une bande.

Quant au chemin de St-Jacques, il paraît assez peu probable que la Voie lactée ait réellement servi de repère, notamment à cause de la rotation apparente d'est en ouest, faisant dériver le point d'intersection avec l'horizon. Le pèlerinage de St-Jacques-de-Compostelle, en Galice, était l'un des plus importants

5 Sébillot: Le ciel et la terre
<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k123017g>

6 Désastre: autre mot rattaché au concept de «l'astre de mauvais augure», issue de la pensée magique.

Les étoiles, Alphonse Daudet (extrait)

(...) Le jour, c'est la vie des êtres; mais la nuit, c'est la vie des choses. Quand on n'en a pas l'habitude, ça fait peur... Aussi notre demoiselle était toute frissonnante et se serrait contre moi au moindre bruit. Une fois, un cri long, mélancolique, parti de l'étang qui luisait plus bas, monta vers nous en ondulant. Au même instant une belle étoile filante glissa par-dessus nos têtes dans la même direction, comme si cette plainte que nous venions d'entendre portait une lumière avec elle.

- Qu'est-ce que c'est? me demanda Stéphanette à voix basse.
- Une âme qui entre en paradis, maîtresse; et je fis le signe de la croix.

Elle se signa aussi, et resta un moment la tête en l'air, très recueillie. Puis elle me dit:

- C'est donc vrai, berger, que vous êtes sorciers, vous autres?
- Nullement, notre demoiselle. Mais ici nous vivons plus près des étoiles, et nous savons ce qui s'y passe mieux que des gens de la plaine.

Elle regardait toujours en haut, la tête appuyée dans la main, entourée de la peau de mouton comme un petit pâtre céleste:
- Qu'il y en a! Que c'est beau! Jamais je n'en avais tant vu... Est-ce que tu sais leurs noms, berger?

- Mais oui, maîtresse... Tenez! juste au-dessus de nous, voilà le Chemin de Saint-Jacques (la Voie lactée). Il va de France droit sur l'Espagne. C'est saint Jacques de Galice qui l'a tracé pour montrer sa route au brave Charlemagne lorsqu'il faisait la guerre aux Sarrasins. Plus loin, vous avez le Char des âmes (la Grande Ourse) avec ses quatre essieux resplendissants. Les trois étoiles qui vont devant sont les Trois bêtes, et cette toute petite contre la troisième c'est le Charretier. Voyez-vous tout autour cette pluie d'étoiles qui tombent? ce sont les âmes dont le bon Dieu ne veut pas chez lui... Un peu plus bas, voici le Râteau ou les Trois rois (Orion). C'est ce qui nous sert d'horloge, à nous autres. Rien qu'en les regardant, je sais maintenant qu'il est minuit passé. Un peu plus bas, toujours vers le midi, brille Jean de Milan, le flambeau des astres (Sirius). Sur cette étoile-là, voici ce que les bergers racontent. Il paraît qu'une nuit Jean de Milan, avec les Trois rois et la Poussinière (la Pléiade), furent invités à la noce d'une étoile de leurs amies. La Poussinière, plus pressée, partit, dit-on, la première, et prit le chemin haut. Regardez-la, là-haut, tout au fond du ciel. Les Trois rois coupèrent plus bas et la rattrapèrent; mais ce paresseux de Jean de Milan, qui avait dormi trop tard, resta tout à fait derrière, et furieux, pour les arrêter, leur jeta son bâton. C'est pourquoi les Trois rois s'appellent aussi le Bâton de Jean de Milan... Mais la plus belle de toutes les étoiles, maîtresse, c'est la nôtre, c'est l'Étoile du berger, qui nous éclaire à l'aube quand nous sortons le troupeau, et aussi le soir quand nous le rentrons. Nous la nommons encore Maguelonne, la belle Maguelonne qui court après Pierre de Provence (Saturne) et se marie avec lui tous les sept ans.

au Moyen Âge.

La citation de Charlemagne et des Maures («C'est saint Jacques de Galice qui l'a tracé pour montrer sa route au brave Charlemagne lorsqu'il faisait la guerre aux Sarrasins») n'a rien d'anecdotique dès qu'on s'intéresse à l'histoire de la Méditerranée, où l'empire Ottoman occupe une place majeure à l'époque médiévale. Il est donc normal que certaines notions d'astronomie soient évoquées.

Le choix d'un berger n'est pas anodin. En effet, en Provence notamment, les bergers ont toujours été des observateurs du ciel nocturne, pour plusieurs raisons. Pendant l'estive, le troupeau est gardé à la belle étoile et son pasteur passe tout son temps avec lui. Durant la transhumance, le déplacement du troupeau se fait «à la fraîche», au lever du jour et vers la fin de l'après-midi jusqu'en début de nuit, parfois même jusqu'à minuit car la température diurne au mois de juin est trop éprouvante pour les bêtes (et les hommes).

Analysons maintenant les éléments astronomiques du texte, comme le ferait le planétariste en séance. Le récit étant achevé, les spectateurs profitent d'une deuxième soirée à la belle étoile. Le Soleil disparaît vers l'horizon ouest, et les étoiles apparaissent, d'abord les plus brillantes, puis les plus faibles. Tout à coup, quelques étoiles filantes apparaissent. De par son caractère imprévisible et spectaculaire, par rapport à une voûte céleste fixe et immuable, le phénomène des étoiles filantes inspire des explications plus ou moins reliées à des croyances. Alors que les étoiles, à l'échelle d'une vie humaine, représentent l'éternité, le bref passage d'un météore inspire la stupeur et parfois la crainte. Le planétariste ne manque pas d'expliquer le phénomène lumineux dû au frottement du petit corps lors de sa chute dans l'atmosphère terrestre, un peu comme lorsque l'on frotte sa main vigoureusement sur son jean; il faut mettre en garde sur l'échauffement rapide lors de cette petite expérience, car certains enfants sont capables de se brûler en voulant se faire remarquer! Selon le temps dont on dispose pour la séance, il est possible d'étendre le commentaire aux phénomènes des météorites, qui impactent alors la Terre, et leurs conséquences; les photos et vidéos de la chute du super bolide de Tchéliabinsk⁷ produisent un effet spectaculaire dans l'auditoire.

Le Soleil ayant disparu, le planétariste demande au public de resituer la Grande Ourse et d'observer son déplacement apparent, alors que l'horloge du

⁷ Superbolide de Tchéliabinsk
http://fr.wikipedia.org/wiki/Météore_de_Tchéliabinsk
rajouté au spectacle dès 2013

simulateur est accélérée. La grille équatoriale est ensuite affichée pour représenter le cadran d'une horloge de 24 h.

Afin de garder les pieds bien sur terre, l'animateur utilise une grosse boule translucide (un lampadaire recyclé), posée sur le projecteur, pour afficher un magnifique globe terrestre. L'image durant quelques instants se forme sur le globe et non sur le dôme du planétarium. C'est l'occasion de demander au public dans quel sens doit tourner le globe. La simulation du mouvement étant réalisée, l'animateur retire le globe qui masquait la lentille du projecteur et il propose une séquence explicative utilisant une simulation de manège (carrousel) pour expliquer la relativité des mouvements réels et perçus.

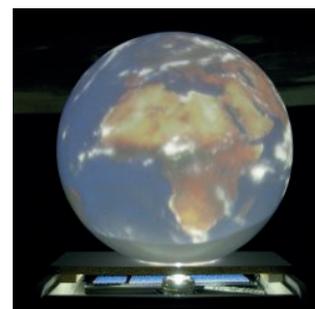


Fig. 2. Globe sous LSS.

Revenant à l'image de la Grande Ourse sur l'horizon, le planétariste demande à son public quel autre mouvement de la Terre il connaît. Sans surprise, le mouvement de la Terre autour du Soleil est évoqué, même si le terme de révolution n'est pas forcément cité. Le simulateur numérique montre alors l'aspect du ciel à minuit pour différentes saisons (automne, hiver, printemps, été). Le public peut observer la position différente de la Grande Ourse, telle une aiguille d'horloge décalée par la révolution terrestre suivant la date.

Ce moment peut permettre de présenter un instrument ancien appelé nocturlabe, permettant de lire l'heure la nuit, à tout moment de l'année.

Vient ensuite la recherche d'Orion, des Pléiades ou Poussinière⁸, du Grand Chien et de l'étoile Sirius. Et le constat d'échec! Aucune de ces constellations et étoiles ne sont visibles à minuit en juillet. Et pour cause, le simulateur montre ensuite que le Soleil est proche de la constellation d'Orion toujours en juillet, mais à midi. Cela démontre que nos poètes n'étaient pas de grands observateurs du ciel contrairement aux bergers. Une image de la révolution de la Terre autour du Soleil, avec la représentation des constellations zodiacales achève l'explication. On pourrait faire une digression sur la différence entre zodiaque astronomique et zodiaque astrologique avec la précession des équinoxes, mais le temps d'une séance est souvent bien trop court pour se lancer dans de telles explications. Cela reste une

⁸ Terme qui vient directement des représentations du ciel arabe, la poule et ses poussins.

piste à explorer pour aller plus loin, après la séance.

Le récit se terminant par l'évocation des planètes Vénus et Saturne, la simulation du ciel matinal juste avant la fameuse conjonction offre l'occasion de rappeler l'étymologie du mot planète, «astre errant». Le décalage jour par jour montre le rapprochement très serré (moins d'un demi degré, diamètre apparent de la Lune) puis l'éloignement des deux astres. Le planétarium étant conçu dès son origine pour mettre en évidence le mouvement des planètes, la vue héliocentrique des planètes principales (sans réellement respecter les échelles de distance) permet d'expliquer le phénomène. Après avoir cité et repéré chacune d'entre elles, le simulateur met en évidence leur mouvement autour du Soleil, en fonction de la date, et leur vitesse relative. En mettant l'accent sur la position de la Terre, de Vénus et de Saturne, l'alignement de ces 3 corps permet d'expliquer le rapprochement planétaire apparent, vue depuis la Terre. La différence de périodes de révolutions explique la relative rareté du phénomène, une fois tous les 7 ans.

Il est intéressant de noter comment les traditions folkloriques ont utilisé une légende médiévale (la maguelonne⁹) comme support pour transmettre des connaissances d'observations astronomiques, comme

9 Légende de la maguelonne :

<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k1110559> et
<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b90581935>

cette conjonction septennale. Ce savoir «populaire» s'est transmis durant des siècles de manière orale puis de manière écrite (avec des illustrations), via les fameux almanachs. Preuve en est faite avec Frédéric Mistral, qui publie la pre-mière version du conte, dans un de ses ouvrages annuels (voir note 3). Et en plus du calendrier, élément premier de l'ouvrage, on trouve quelques dates dans l'éphéméride, qui ont trait à des phénomènes astronomiques, le plus connu étant les saisons, les lunaisons et éclipses.

Depuis l'invention de Gutenberg, on n'imprimait pas seulement des bibles, mais aussi des almanachs; c'est sans doute l'un des plus grands succès d'édition depuis des siècles, vendu le plus souvent par colportage. L'un des derniers représentant de cette tradition reste l'almanach de la poste. Mais la tradition n'est pas morte pour autant, même si la forme a quelque peu évolué. Il suffit de faire un tour dans le rayon librairie des jardineries pour s'en convaincre. Mais cela est un autre et vaste sujet.

Pour clore la séance, un générique au son du galoubet et du tambourin accompagne un paysage provençal où l'on distingue un petit moulin à vent.

Le texte d'Alphonse Daudet, illustré par le planétarium numérique LSS offre de nombreuses pistes de réflexions, tant sur le plan littéraire, historique qu'astronomique. Une lecture un peu trop rapide, sans ces clés de lecture n'aurait pas permis ces approfondissements. ■

Mots croisés littérature et astronomie

Horizontalement

1. L'auteur de ces lignes : «Je suis aussi constant que l'étoile polaire».
2. Jules Verne est celui de la SF française. Éviter.
3. Rayonnement. Souvent temporel en SF.
4. Le robot peut être celui de l'homme en SF. Il a sacré le printemps.
5. Comme le Soleil si sa hauteur est positive. Président sous Apollo 11.
6. Einstein en a plus d'un mais il ne les a jamais vus. Galactique dans Star Wars.
7. Direction de Vénus à son lever en avril. La littérature en est un. Comme Newton.
8. Ne concernent pas la fiction. Monoxyde d'azote.
9. Caution. Plus économique quand il est fluvial.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1											
2					■						
3			■								
4					■					■	
5					■						■
6		■				■					
7				■				■			
8									■		
9							■				

Verticalement

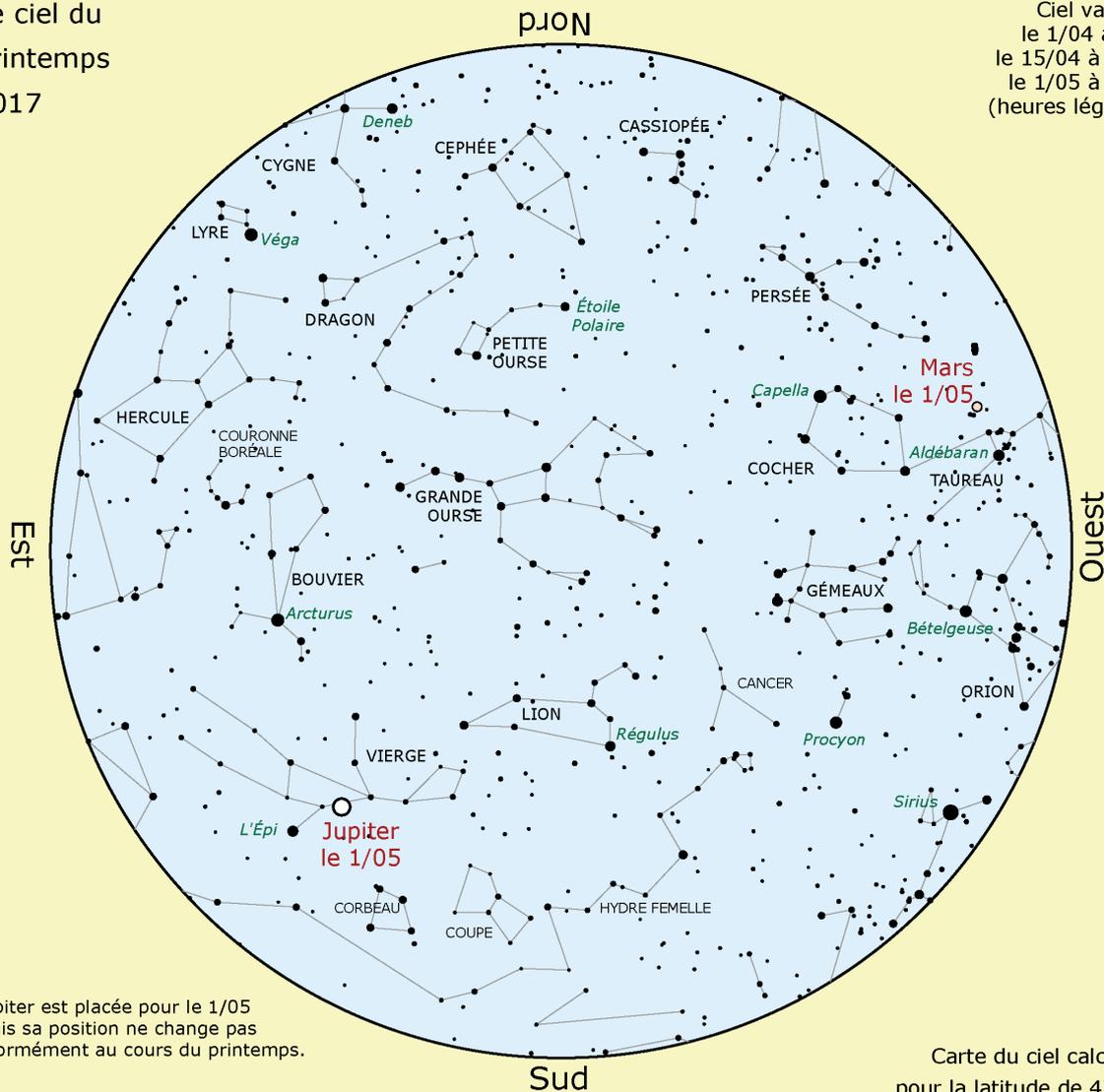
1. Il a adapté H.G. Wells au cinéma.
2. Il a fait débarquer 6 hommes sur la Lune. Channel par exemple.
3. Ramène au départ. Ce film se passe à proximité d'alpha du Centaure.
4. Un des premiers auteurs ayant rêvé de SF. Accord.
5. À vue d'œil pour Hugo.
6. Chanteur. Repos.
7. On n'en voit pas un seul au bord des mers lunaires.
8. Il est surtout connu pour ses sphères célestes. Genre littéraire.
9. Prisons.
10. Comme Regulus, mais en plus grand. Comme Regulus, mais en plus petit.
11. Temps. Plus que pas.

Solution p. 40

LE CIEL DU PRINTEMPS 2017

Le ciel du printemps 2017

Ciel valable
le 1/04 à 0 h
le 15/04 à 23 h
le 1/05 à 22 h
(heures légales)



Jupiter est placée pour le 1/05 mais sa position ne change pas énormément au cours du printemps.

Carte du ciel calculée pour la latitude de 47° N

Visibilité des planètes

Mercury est à rechercher le soir fin mars début avril à l'ouest (élongation maximale le 1/04).

Après **Vénus** en « étoile » du soir cet hiver, profitez au printemps de Vénus le matin. Éclat maximal fin avril, élongation maximale le 3 juin. Elle passe au nord du Soleil le 25 mars et les bons observateurs pourront tenter de l'observer à la fois le soir et le matin du 21 au 23.

Mars continue à diminuer d'éclat. Elle est encore visible dans le ciel du soir en avril.

Jupiter est la planète de ce printemps, à l'opposition le 7 avril. C'est l'astre le plus brillant du ciel du soir, situé dans la constellation de la Vierge.

Saturne se lève vers minuit en mai puis de plus en plus tôt (opposition le 15/06). À observer à la fin du printemps et tout l'été dans le Sagittaire et Ophiucus.

Quelques événements (heures légales)

20/03 : équinoxe de printemps à 11 h 28 min.

25/03 : conjonction inférieure de Vénus.

27/03 : passage à l'heure d'été.

01/04 : passage de la comète 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák au plus près de la Terre. À rechercher dans le Dragon côté Grande Ourse (magnitude ≈ 6 ?).

07/04 : opposition de Jupiter.

28/04 : occultation d'Aldébaran par un mince croissant de Lune (sortie peu après 21 h).

22/05 : conjonction Lune-Vénus.

21/06 : solstice d'été à 6 h 23 min.

Lune

Nouvelle Lune : les 28/03, 26/04, 25/05.

Pleine Lune : les 11/04, 10/05, 9/06.

avec, en dessous, son diamètre (dans la même unité que la taille de l'homme).

Avec des élèves, on peut essayer de décoder une partie du message.

L'écriture des nombres

Nous comptons en base 10 parce que nous avons dix doigts. Mais nous ignorons tout du nombre de doigts des extraterrestres et nous ne savons même pas s'ils en ont. La base la plus simple, utilisée par nos ordinateurs, est la base 2. Nous allons donc écrire les nombres en base 2. Pour cela chaque nombre est décomposé en somme de puissances de 2 (1, 2, 4, 8, 16...). La colonne du nombre 5 a été complétée :

$$5 = 0 \times 8 + 1 \times 4 + 0 \times 2 + 1 \times 1$$

$$\text{ou } 5 = 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0.$$

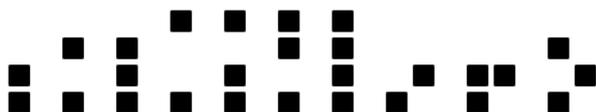
Vous pouvez compléter les autres.

Nombre en base 10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nombre en base 2	8				0					
	4				1					
	2				0					
	1				1					

Voici ce que donne le tableau complété en image :

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
□	□	□	□	□	□	□	■	■	■
□	□	□	■	□	■	■	□	□	□
□	■	■	□	□	■	■	□	□	■
■	□	■	□	■	□	□	□	■	□

Si nous comparons maintenant ce tableau au début du message d'Arecibo reproduit ici,



on remarque que les trois premières lignes du message présentent une ressemblance certaine avec notre tableau. Seule différence, pour les nombres 8, 9 et 10 : le premier chiffre (celui des « huitaines », en haut) est reporté dans la colonne à côté, la ligne 4 étant apparemment là pour indiquer qu'un nombre est inscrit au-dessus (ou au-dessus et à droite).

On ne voit pas l'intérêt de ce report ici, si ce n'est pour indiquer que, au lieu de placer les chiffres les uns au-dessus des autres, il est possible de les disposer en plusieurs colonnes. Cela est indispensable pour des grands nombres comme le nombre d'êtres humains indiqué plus loin.

Maintenant que nous avons décodé les quatre premières lignes, nous allons pouvoir nous attaquer aux suivantes.

Les numéros atomiques

Nous allons supposer que les lignes suivantes, de 6 à 10, représentent aussi des nombres.

La dernière ligne, ici grisée, indique que chaque colonne est un nombre. Cette fois, il n'y a pas de report dans la colonne voisine.



On lit, de gauche à droite : 1, 6, 7, 8 et 15.

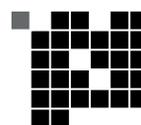
Vous aurez immédiatement reconnu les numéros atomiques des atomes constituant l'ADN, à savoir l'hydrogène (1), le carbone (6), l'azote (7), l'oxygène (8) et le phosphore (15). Nous passons rapidement les lignes suivantes qui indiquent la formule chimique des nucléotides dans l'ordre HCNOP.

La première série de nombres 75010 signifie H7-C5-N0-O1-P0, autrement dit le désoxyribose C₅H₇O.



Nombre d'habitants sur Terre

À droite du dessin schématisé d'un homme, on trouve ce motif. Le premier carré (que l'on a grisé) indique que le nombre commence ici et qu'il faut lire ligne par ligne.



On trouve : 11011/111111/110111/111011/111111/11
Comme dans les nombres des premières lignes, les valeurs proches du carré de départ (le carré gris ici) sont les exposants les plus petits. Le nombre ci-dessus signifie donc :

$$0 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^6 \dots$$

On trouve un nombre très grand. Il s'agit du nombre d'habitants sur Terre en 1974, au moment de l'émission du message. Vous pouvez vous amuser à le calculer. Vous devriez trouver 4 292 853 750.

La réponse au message

On pourrait enfin ajouter une dernière question : Sachant que l'amas d'Hercule est situé à 22 000 années-lumière de la Terre, que le message a été envoyé en 1974 et que nous sommes en 2016, combien de temps faut-il encore attendre pour recevoir une réponse ? On pourra tenir compte du temps de décodage du message... Pour terminer, on peut signaler que quelques imaginatifs ont affirmé que des extraterrestres nous avaient déjà répondu (donc avant même d'avoir reçu le message) en dessinant des « crop-circles », ces traces laissées dans des champs de céréales par des retraités farceurs...

Compléments sur le site pour les abonnés numériques : le message en format texte et quelques lignes de programme sous Processing pour l'affichage du message.

AVEC NOS ÉLÈVES

Mesure de la durée de l'année tropique avec un sextant

Vincent Deparis, Lycée Jean Monnet, Annemasse (vincent.deparis@neuf.fr)

Pour fabriquer un calendrier, il faut connaître précisément la durée de l'année des saisons. Vous trouverez ici une méthode originale pour obtenir le moment de l'équinoxe à l'heure près pour ensuite en déduire la durée de l'année tropique grâce à Hipparque.

L'année est le temps mis par la Terre pour effectuer une révolution complète autour du Soleil. Il faut cependant préciser le point de référence utilisé et comme plusieurs choix sont possibles, cela implique différentes définitions : l'année sidérale est la durée d'une révolution de la Terre par rapport à la direction d'une étoile lointaine, l'année tropique, la durée d'une révolution par rapport à la direction du point vernal γ (direction du Soleil lors de l'équinoxe de printemps) et l'année anomalistique, la durée d'une révolution par rapport à un point de son orbite comme le périhélie. Dans cet article, nous nous intéressons uniquement à l'année tropique, qui est l'année des saisons. Sa définition exacte est délicate¹ et nous nous contenterons de définitions approximatives. Notre but est d'estimer sa durée à l'aide d'un sextant. Le travail a été réalisé au cours de l'année 2015-2016 avec trois élèves du lycée Jean Monnet (Annemasse) : Aliénor Arnaud, Mathieu Dabrowski et Gleb Zubov.

Durée de l'année avec les mesures de culmination

La première définition de l'année tropique que nous utilisons est la suivante : c'est l'intervalle de temps entre deux passages du Soleil à la même hauteur de culmination, avec le même sens de variation. La hauteur du Soleil est l'angle, mesuré dans un plan vertical, entre la direction de l'horizon et la direction du Soleil. La hauteur de culmination est la hauteur maximale atteinte par le Soleil au cours de la journée, lorsqu'il passe dans la direction du sud (midi solaire).

La hauteur de culmination peut être mesurée grâce à un sextant (figure 1 – voir Les Cahiers Clairaut n°145 printemps 2014). L'instrument est idéalement

employé en mer mais il peut aussi être employé sur terre, en utilisant la réflexion du Soleil dans un petit récipient rempli d'eau (figure 2). Ce n'est plus l'angle entre l'horizon et le Soleil qui est mesuré mais l'angle, égal à deux fois la hauteur du Soleil, entre le Soleil réfléchi et le Soleil réel (figure 3). Au moment de la culmination, lorsque l'astre finit son mouvement ascendant et commence son mouvement descendant, sa hauteur ne semble pas varier pendant une bonne dizaine de minutes. On dispose donc d'un laps de temps suffisant pour effectuer plusieurs mesures et les confronter. Avec un peu d'entraînement, les mesures sont précises à 1' ou 2'.

Les mesures gagnent à être effectuées aux alentours des équinoxes du printemps ou d'automne car ce sont les deux moments de l'année où la déclinaison du Soleil varie le plus rapidement d'un jour à l'autre. Lors d'un projet précédent, des élèves du lycée avaient déjà mesuré la hauteur de culmination du Soleil en mars 2012. On effectue de nouvelles mesures trois ans plus tard (tableau 1).

Date	Hauteur de culmination du Soleil	
	Degrés (°)	Minutes (')
12/03/2012	40	45,5
12/03/2015	40	28
13/03/2015	40	53,5

Tableau 1. Hauteur de culmination du Soleil à trois ans d'intervalle (la hauteur est obtenue en divisant par 2 l'angle mesuré avec le sextant). On ne tient pas compte de la réfraction atmosphérique puisque l'on compare des mesures effectuées dans des conditions similaires.

Le 12 mars 2015, la hauteur du Soleil est un peu trop petite par rapport à la mesure du 12 mars 2012. Le lendemain, la hauteur est un peu trop grande. On peut donner un premier encadrement de l'année :

¹ J. Meeus et D. Savoie, « The history of the tropical year », Journal of the British Astronomical Association, vol. 102, n° 1, 1992, p. 40–42.

$3 \times 365 \text{ jours} < 3 \text{ années} < 3 \times 365 + 1 \text{ jours}$
 soit, $365 \text{ jours} < 1 \text{ année} < 365 + 1/3 \text{ jours}$
 (il n'y a aucune année bissextile ici).

Pour trouver une valeur plus précise de l'année, on peut supposer que sur une journée la hauteur de culmination du Soleil varie proportionnellement au temps (cela revient à supposer que l'on se déplace le long du même parallèle pour suivre la hauteur de culmination pour différents lieux terrestres de même latitude). En une journée, entre le 12 et le 13 mars 2015, l'angle mesuré a augmenté de $25,5'$. Or pour atteindre la même valeur que celle du 12 mars 2012, il n'aurait dû augmenter que de $17,5'$ (différence entre $40^\circ 45,5'$ et $40^\circ 28'$). Cet accroissement est atteint au bout de $17,5/25,5 = 0,69 \text{ jour}$.

Trois années tropiques durent :

$$3 \times 365 + 0,686 = 1\,095,686 \text{ jours}$$

La durée d'une année tropique est donc :

$$1\,095,686/3 = 365,23 \text{ jours}$$

Nous pouvons donner une estimation de notre précision. Puisque la hauteur de culmination du Soleil aux alentours de l'équinoxe varie de $25,5'$ par jour, une erreur de $1'$ sur la mesure de hauteur (précision du sextant) occasionne une erreur en temps de $0,04 \text{ jour}$, soit environ 1 h . Puisque l'intervalle de mesures est de 3 ans , l'erreur sur la durée de l'année tropique est d'environ 20 min . Pour améliorer la précision de la détermination, il faudrait disposer de mesures séparées par un plus grand intervalle de temps. L'erreur commise serait réduite car divisée par un plus grand nombre d'années. Malheureusement, nous ne disposons pas de telles données.

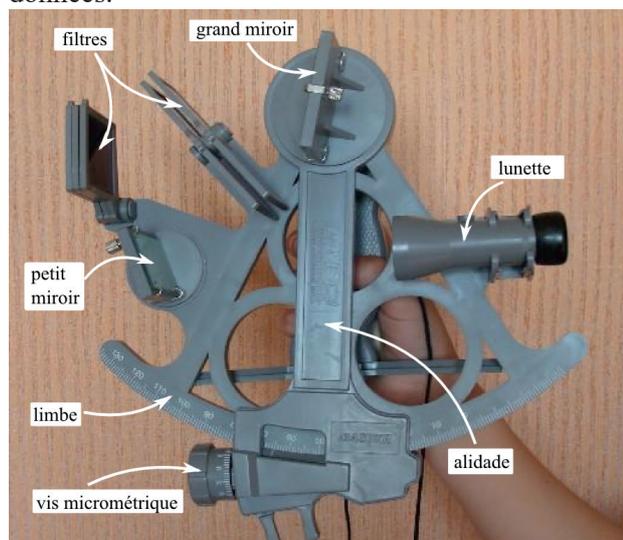


Fig.1. Le sextant. Le grand miroir est solidaire de l'alidade mobile, le petit miroir est semi-réfléchissant.



Fig.2. Le reflet du Soleil dans un petit récipient rempli d'eau permet l'utilisation du sextant sur Terre.

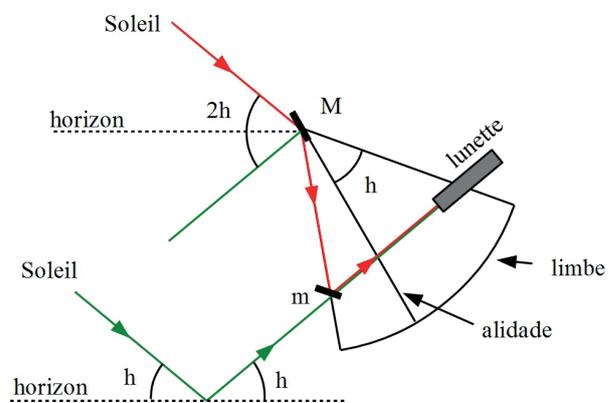


Fig.3. L'angle entre le Soleil reflété et le Soleil réel est égal à deux fois la hauteur du Soleil.

Durée de l'année en utilisant les équinoxes

Une deuxième définition de l'année tropique est la durée moyenne écoulée entre deux équinoxes de printemps successifs. Il est très intéressant de travailler avec les équinoxes car, d'une part, la détermination de la date de l'équinoxe est indépendante du lieu d'observation et, d'autre part, les astronomes donnent les dates des équinoxes et des solstices depuis très longtemps. Nous savons par exemple qu'Hipparque, un astronome ayant vécu sur l'île de Rhodes à la fin du II^e siècle avant J.-C., a établi que l'équinoxe de printemps de l'année -145 est survenu le 24 mars au moment du lever du Soleil (vers 6 h, heure de Rhodes)². En déterminant le moment de l'équinoxe de printemps de 2015, nous pourrions connaître la durée correspondant à 2160 années tropiques (2 015

² Tannery Paul, Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne, Paris, Gauthier-Villars, 1893, p. 153. La date est donnée dans le calendrier julien sous la forme qu'utilisent les astronomes avec une année négative (en comptant une année 0), on est donc en 146 av. J.-C.

+145) et ainsi affiner la mesure de la durée moyenne de l'année tropique.

Les équinoxes et les solstices sont définis grâce à la déclinaison du Soleil, qui est l'angle, mesuré depuis le centre de la Terre, entre la direction du Soleil et le plan équatorial de la Terre (figure 4). Cet angle ne dépend pas du lieu d'observation. Il varie très lentement au cours de l'année. Les équinoxes surviennent lorsqu'il est nul, le solstice d'été, lorsqu'il est maximal et égal à l'obliquité de l'écliptique ($23^{\circ} 26'$) et le solstice d'hiver, lorsqu'il est minimal et égal à $-23^{\circ} 26'$. La déclinaison δ du Soleil se calcule en mesurant la hauteur h de culmination du Soleil tout en connaissant la latitude φ du lieu d'observation. Nous avons la relation suivante : $d = j + h - 90^{\circ}$. La déclinaison solaire ne peut donc être déterminée simplement qu'une seule fois par jour, au moment du midi solaire.

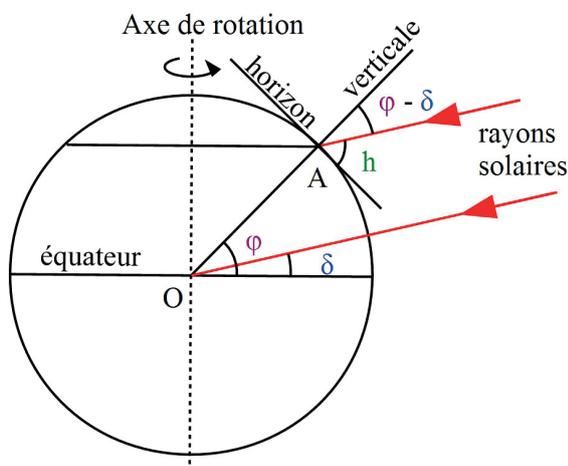


Fig.4. Lorsque le Soleil passe au méridien, sa position dans le ciel est repérée par sa hauteur h depuis un lieu d'observation A et par sa déclinaison δ . La latitude du lieu A est φ .

Nous avons effectué 6 mesures de culmination avec le sextant avant et après l'équinoxe de printemps (tableau 2). La hauteur $h_{mesurée}$ du Soleil est égale à la moitié de l'angle lu sur le sextant (réflexion sur un plan d'eau).

Ces hauteurs mesurées sont diminuées de $1'$ (valeur approximative de la réfraction atmosphérique) : $h_{corrigée} = h_{mesurée} - 1'$. Connaissant $h_{corrigée}$ et la latitude du lieu ($\varphi_{lycée} = 46^{\circ} 10' 56'' = 46,182^{\circ}$), on en déduit la déclinaison δ du Soleil. Pour les dates, on considère que $t = 0$ à minuit dans la nuit du 28 février au 1^{er} mars. Ainsi dans l'expression des dates, la partie entière donne directement le jour du mois de mars et la partie décimale donne les heures. Les heures indiquées sont exprimées en temps universel (temps de la montre moins 1 h, puisque nous sommes à l'heure d'hiver).

Le moment approximatif de la culmination a été calculé en tenant compte de la longitude du lycée et de l'équation du temps (la précision n'a pas besoin d'être grande puisque la déclinaison solaire varie lentement).

La modélisation des mesures donne la droite d'équation : $\delta(t) = 0,3929 t - 8,2670$.

L'équinoxe a lieu lorsque $\delta(t) = 0$, soit

$$t = \frac{8,2670}{0,3929} = 21,041 \text{ jours}$$

La date de l'équinoxe de printemps est donc le 21 mars à 0 h 59 min.

Date		Sextant		$h_{mesurée}$	$h_{corrigé}$	déclinaison
	jours	°	'	°	°	°
10 mars 11 h 44	10,489	79	21	39,675	39,658	-4,16
12 mars 11 h 44	12,489	80	56	40,467	40,450	-3,37
13 mars 11 h 44	13,489	81	47	40,892	40,875	-2,94
17 mars 11 h 44	17,489	84	54	42,450	42,433	-1,38
19 mars 11 h 44	19,489	86	26	43,217	43,200	-0,62
23 mars 11 h 44	23,489	89	35	44,792	44,775	0,96

Tableau 2 : Mesures au sextant pour déterminer le moment de l'équinoxe de printemps 2015.

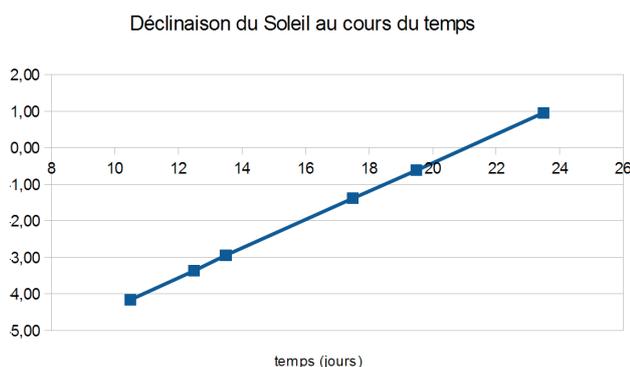


Fig. 5. Variation de la déclinaison solaire aux alentours de l'équinoxe de printemps 2015.

Nous pouvons estimer la précision de notre résultat. Supposons que toutes nos mesures soient erronées de +1' (par exemple l'instrument est mal réglé et occasionne une erreur systématique). Quelle est la répercussion pour la date de l'équinoxe ? Nous trouvons que l'équinoxe survient le 20 mars à 23 h 58 min, soit 1 h plus tôt. Notre détermination de l'équinoxe est donc précise à 1 ou 2 h près. Le site de l'IMCCE (Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides) donne la date vraie de l'équinoxe : le 20 mars à 22 h 45 min.

Nous disposons des dates de deux équinoxes :

- mesure d'Hipparque, le 24 mars -145 à 6 heures (heure de Rhodes). Il faut convertir les heures en temps universel. La longitude de Rhodes est de 28° 13', ce qui occasionne un décalage temporel de 1 h 53 min avec le méridien origine de Greenwich. L'équinoxe de printemps de l'année -145 est donc survenu le 24 mars vers 4 h (temps universel) ;
- notre mesure : le 21 mars à 0 h 59 min (temps universel).

Pour calculer l'intervalle de temps entre les deux dates, nous utilisons les jours juliens. Le jour julien est la base d'un système de datation consistant à compter le nombre de jours écoulés depuis une date conventionnelle fixée au 1er janvier -4712 à 12 h 00. Un programme disponible sur le site de l'IMCCE permet de transformer n'importe quelle date en jours juliens³ :

- le 24 mars -145 à 4 h : 1 668 178,67 jours juliens
- le 21 mars 2015 à 0 h 59 min : 2 457 102,54 jours juliens.

3 <http://www.imcce.fr> (grand public / jour julien).

La première date (-145) est exprimée dans le calendrier julien proleptique, calendrier julien étendu aux dates antérieures à son introduction officielle en 45 av. J.-C., la seconde (2015) dans le calendrier grégorien commençant le 15 octobre 1582. Le calcul du jour julien effectué par le programme de l'IMCCE utilise ces deux calendriers suivant que l'on est avant le 4/10/1582 ou après le 15/10/1582.

Le nombre de jours écoulés entre les deux équinoxes est donc de :

$$2\,457\,102,54 - 1\,668\,178,67 = 788\,923,87 \text{ jours}$$

En divisant par le nombre d'années (2 160 = 2 015 + 145), on obtient la durée moyenne de l'année tropique :

$$1 \text{ année tropique} = 365,2425 \text{ jours}$$

Les historiens estiment que pendant l'Antiquité, la détermination des équinoxes est précise entre un quart de jour et un demi jour près. Notre propre erreur est de 1 à 2 heures. Pour fixer les idées et estimer notre erreur, calculons la répercussion d'une erreur de 1 jour ramenée aux 2 160 années : $1/2\,160 = 0,0005$ jours = 40 s. La durée moyenne de l'année tropique est donc, selon notre définition :

$$1 \text{ année tropique} = 365,2425 \pm 0,0005 \text{ jours}$$

Interpolation des mesures

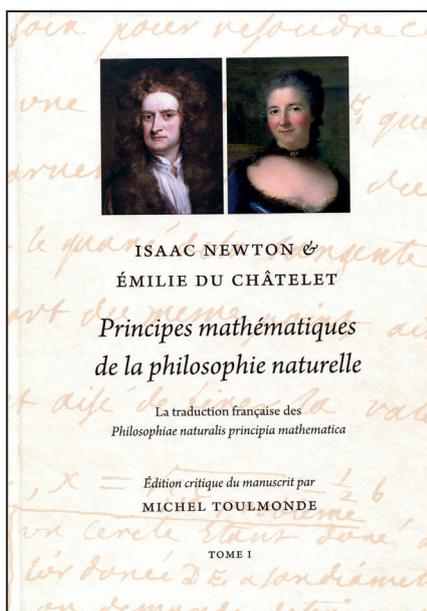
En guise de conclusion, nous pouvons relever un point intéressant concernant les deux méthodes employées ici : celui de l'interpolation des mesures. En effet, les mesures de culmination du Soleil ne peuvent être effectuées, bien évidemment, qu'une seule fois par jour. Or, par exemple pour la détermination de l'équinoxe, il y a peu de chances que la déclinaison solaire s'annule exactement au moment du midi solaire pour le lieu d'observation. L'équinoxe peut survenir à n'importe quel moment de la journée ou même la nuit lorsque les mesures sont impossibles. Il est donc nécessaire d'effectuer plusieurs mesures avant et après l'équinoxe (de manière symétrique si possible) et de les interpoler pour trouver le moment où la déclinaison s'annule. Cette méthode d'interpolation est très simple, elle a pourtant longtemps échappé au professeur encadrant, qui se demandait comment on pouvait déterminer un équinoxe à 6 h du matin par exemple, en effectuant uniquement des mesures à midi solaire.



LECTURE POUR LA MARQUISE

Isaac Newton et Emilie du Châtelet Principes mathématiques de la philosophie naturelle

La traduction française des *Philosophiae naturalis principia mathematica*. Édition critique du manuscrit par Michel Toulmonde – 2 tomes, Centre international d'Études du XVIII^e siècle, 1086 pages, 160 €



Dès 1955, le grand historien des sciences Alexandre Koyré exprimait sa surprise devant le manque d'une édition critique de l'ouvrage de Newton communément appelé «*Les Principia*». Absence surprenante quand on sait que cet ouvrage

peut être considéré comme fondateur de la science moderne. Paru en 1687, il fit l'objet de deux rééditions du vivant de Newton, en 1713 et en 1726. C'est cette dernière édition qui est considérée comme l'édition de référence. Écrite en latin, elle fut traduite en anglais en 1729. Il fallut attendre 1759 pour qu'enfin paraisse une traduction française sous la plume de Gabrielle-Emilie Le Tonnelier de Breteuil, marquise du Châtelet. Cette traduction a été rééditée en 2005 à l'occasion du tricentenaire d'Émilie du Châtelet sans aucun commentaire ni analyse critique. Il n'existe

aucune autre traduction en français des *Principia*.

C'est un travail d'une toute autre ampleur que nous livre Michel Toulmonde. Après avoir présenté sur plus de 100 pages de façon fouillée et érudite l'historique de l'œuvre de Newton et de sa traduction, c'est à partir du manuscrit de cette traduction que Michel Toulmonde analyse l'incroyable travail entrepris par Émilie du Châtelet. Paragraphe par paragraphe, nous pouvons mesurer la profondeur de sa compréhension de la physique newtonienne. Car il ne s'agit pas d'une rapide traduction mot-à-mot. Les termes latins de l'original sont remplacés par les termes modernes du 18^e siècle qui sont encore en grande partie ceux que nous utilisons actuellement. On comprend dès lors pourquoi Michel Toulmonde présente cette traduction comme l'œuvre conjointe d'Isaac Newton et d'Émilie du Châtelet. Afin de faciliter notre compréhension du français du 18^e siècle pratiqué par Émilie du Châtelet, Michel Toulmonde nous propose une traduction en français moderne, paragraphe par paragraphe.

La marquise du Châtelet avait fait suivre la traduction des *Principia* de deux commentaires, «*Exposition abrégée du Système du Monde et explication des principaux phénomènes astronomiques tirée des Principes de M. Newton*» et «*Solution analytique des principaux problèmes qui concernent le Système du Monde*». Ces deux commentaires qui figurent dans l'édition de 2005 ne figurent pas dans l'édition critique du manuscrit de Michel Toulmonde.

Il s'agit donc là d'un ouvrage de référence qui vient combler une étonnante lacune et qui nous fait autant mesurer le bouleversement introduit par l'œuvre de Newton dans la physique et les sciences de l'Univers qu'il nous fait entrevoir la profondeur de la pensée scientifique d'une femme des Lumières.

Roland Trotignon

Solutions des mots croisés p. 32

Horizontalement

1. Shakespeare. 2. Père. Éluder. 3. IR (infra-rouge). Paradoxe. 4. Égal. Igor (Stravinsky). 5. Levé. Nixon. 6. Arc. Sénat. 7. Est. Art. Sir. 8. Réalités. NO. 9. Garant. Frêt.

Verticalement

1. Spielberg. 2. Hergé (Tintin, Haddock, Dupont/d, Tournesol et le Pr Wolf. La septième personne présente dans la fusée, le colonel Boris, n'a pas débarqué sur la Lune). Sea. 3. AR (aller-retour). Avatar. 4. Kepler. La. 5. Caïn. 6. Serin. RTT. 7. Plagiste. 8. Eudoxe. SF. 9. Adorons. 10. Rex (Regulus signifie petit roi en latin et rex le roi). Naine. 11. Ères. Trot.

École d'Été d'Astronomie



Vous souhaitez débiter ou vous perfectionner en astronomie ?

Vous avez envie de développer vos savoir-faire pédagogiques au contact de collègues expérimentés ?

Venez participer au col Bayard, à une école d'été d'astronomie, dans un cadre majestueux.



Exposés accessibles à tous, ateliers pratiques et observations du ciel : toutes les activités sont encadrées par des astronomes professionnels et des animateurs chevronnés.

Renseignements et vidéo sur :

<http://clea-astro.eu/clea/aLaUne/smart>

Les productions du CLEA

En plus du bulletin de liaison entre les abonnés que sont les Cahiers Clairaut, le CLEA a réalisé diverses productions.

Fruit d'expérimentations, d'échanges, de mises au point et de réflexions pédagogiques d'astronomes et d'enseignants d'écoles, de collèges, de lycées, ces productions se présentent sous différentes formes :

Fiches pédagogiques

Ce sont des hors série des Cahiers Clairaut conçus par le Groupe de Recherche Pédagogique du CLEA : astronomie à l'école, la Lune, gravitation et lumière, mathématique et astronomie, ...

HS10 Mathématiques et astronomie (2012)

HS11 Les constellations (2014)

HS12 L'astronomie à l'école (2016)

Fascicules thématiques de la formation des maîtres, en astronomie

Repérage dans l'espace et le temps, le mouvement des astres, la lumière messagère des astres, vie et mort des étoiles, univers extragalactique et cosmologique, ...

Matériel

Filtres colorés et réseaux de diffraction.

DVD

Les archives du CLEA de 1978 à 2006 (Cahiers Clairaut et Ecoles d'Été d'Astronomie).

Vous pouvez retrouver ces productions sur le site de vente : <http://ventes.clea-astro.eu/>

Le formulaire de commande est sur le site.

Le site internet

Une information toujours actualisée

www.clea-astro.eu



LES CAHIERS CLAIRAUT



Publiés quatre fois par an, aux équinoxes et aux solstices, les Cahiers Clairaut offrent des rubriques très variées :

Articles de fond
Réflexions
Reportages
Textes (extraits, citations, analyses)
Pédagogie de la maternelle au supérieur
TP et exercices
Curiosités
Histoire de l'astronomie
Réalizations d'instruments et de maquettes
Observations
Informatique
Les Potins de la Voie Lactée

COMMENT NOUS JOINDRE ?

Informations générales :

www.clea-astro.eu

ou

www.ac-nice.fr/clea

Siège social :

CLEA, c/o CAPE
case courrier 7078
Université Paris Diderot
5, rue Thomas Mann
75205 PARIS Cedex

École d'Été d'Astronomie :

daniele.imbault@cea.fr

Cahiers Clairaut :

christianlarcher3@gmail.com

Ventes des productions :

<http://ventes.clea-astro.eu/>

Site internet :

berthomi@ac-nice.fr
charles-henri.eyraud@ens-lyon.fr

Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2017 :	10 €
Abonnement CC pour 2017 :	25 €
Adhésion + abonnement CC :	35 €
Adhésion + abonnement CC + abonnement numérique :	40 €

Les adhésions, abonnements et achats peuvent se faire directement en ligne sur le site : <http://ventes.clea-astro.eu/>

Directrice de la Publication : Cécile Ferrari
Rédacteur de publication : Christian Larcher
Imprimerie France Quercy 46090 MERCUÈS

Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979
Numéro CPPAP : 0315 G 89368
Prix au numéro : 9 €

Revue trimestrielle : numéro 157 printemps 2017