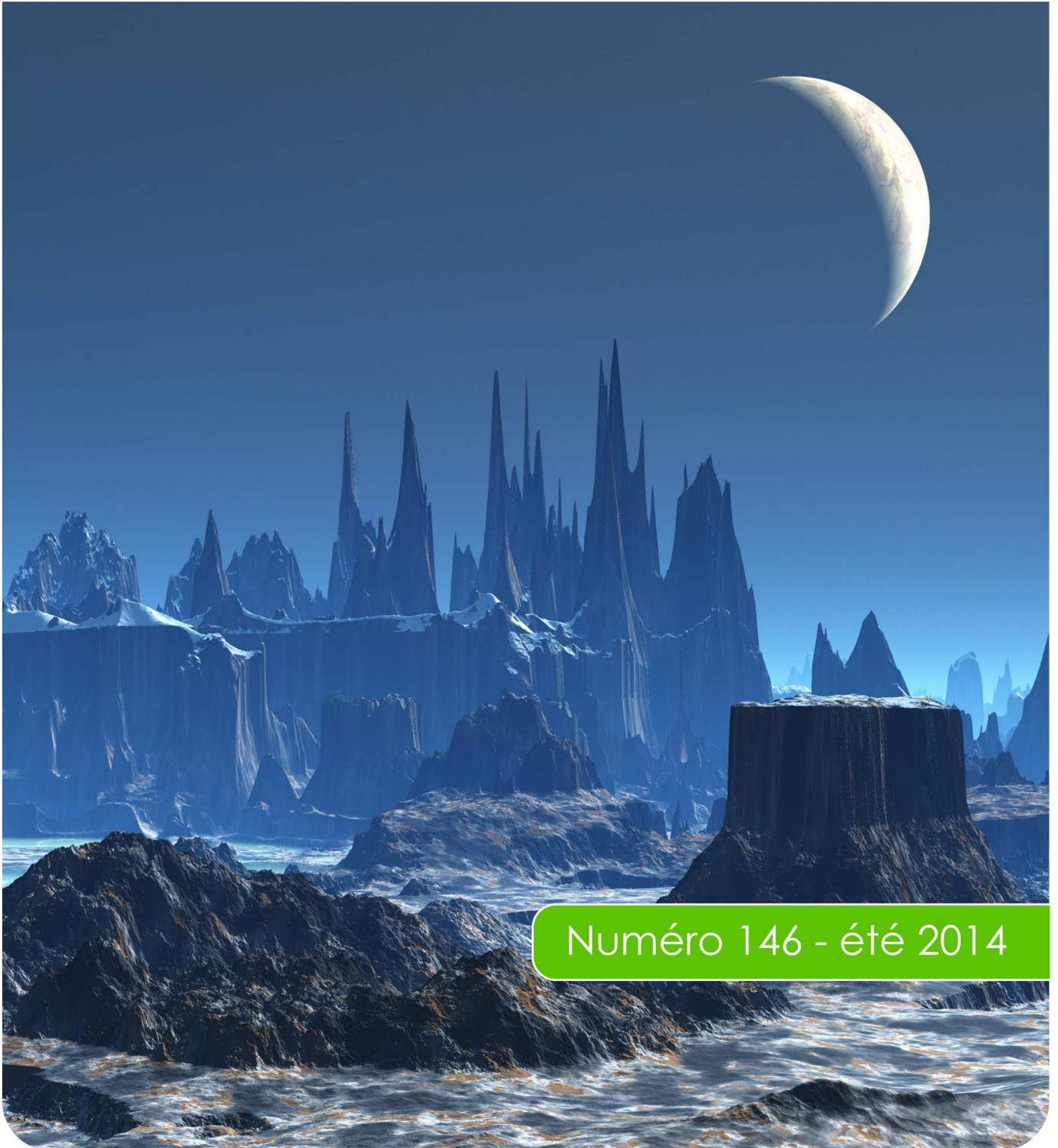


LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 146 - Juin 2014 9 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes



Numéro 146 - été 2014



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 2014

Présidente : Cécile Ferrari
Trésorière : Roseline Jamet
Trésorière adjointe : Sylvie Thiault
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 tous celles et ceux qui ont permis la réalisation de ce numéro des Cahiers Clairaut, nous citerons :

Jean Bazantay, Daniel Benest, Nathalie Cartier, Pierre Causeret, Christian Larcher, Chantal Lecoutre, Georges Lecoutre, Roland Lehoucq, Danielle Martinigol, Georges Paturel, Daniel Paupart, Cécile Poujol, Manuela Raimbault, Johan Richard, Jean Ripert, Béatrice Sandré et Sylvie Yamazaki-Dubois.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 146, afin de faire connaître la revue autour d'eux.

Image de couverture :

Paysage imaginaire d'une planète inconnue par Angela Harburn.

On connaît plusieurs milliers d'exoplanètes mais nous n'avons aucun renseignement sur les paysages que nous pourrions y trouver. De nombreux artistes et scientifiques exercent leur imagination et essaient de représenter des vues plausibles de ces mondes inconnus. Il n'est pas du tout sûr que l'on puisse en avoir un jour des images réelles.

Droit d'auteur:

spinningangel / 123RF Banque d'images

Les Cahiers Clairaut

Été n° 146

Éditorial

Dans le précédent numéro nous partions vers l'est jusqu'à l'Empire du Milieu ; dans ce nouveau numéro nous irons un peu plus loin, jusqu'au Japon. La culture japonaise diffère de celle de leur grand voisin. Le rythme des saisons, repéré par observation des phénomènes naturels, y est accompagné d'expressions poétiques codifiées dans les « haïkus » qui expriment à la fois la notion de saison et des sentiments intimes ; ainsi, à l'équinoxe, l'inversion de la durée du jour et de la nuit évoque l'idée d'un rapprochement entre le monde des vivants (jour) et celui des morts (nuit).

Un peu plus loin encore, nous irons à la découverte des exoplanètes, avec l'excitation secrète de découvrir une planète habitée ou habitable. Sur ce sujet la SF avec son registre imaginaire, a une bonne longueur d'avance. Préfèrerez-vous « Tatoonie » avec ses deux Soleils ou « Kamino » la planète-océan ? En fait, que peut-on prévoir sur une planète supposée habitable comme Kepler 186f, où les conditions seraient propices à la vie telle que nous l'imaginons ? Par exemple, quelle seroit la taille des plus gros animaux qui puissent l'habiter ? (p. 11). Autant de questions qui peuvent faire l'objet de réflexions en physique avec nos élèves.

La SF nous propose aussi des planètes peuplées d'androïdes, de clones, de mutants ou de robots. Mais pour que les hommes cohabitent avec des robots ceux-ci devront respecter les lois de la robotique imaginées par Asimov (p. 22).

Pour observer l'Univers au-delà de notre vision naturelle il est nécessaire d'utiliser un instrument d'optique, qu'un amateur en astronomie peut envisager de fabriquer lui-même en commençant par polir un miroir (p. 28). Si l'on associe un spectrographe au télescope, on peut connaître la température (p. 2) et la composition des étoiles.

Enfin pour aller encore plus loin les astronomes utilisent les « lentilles gravitationnelles » (p. 33).

Que peut-on dire de nos jours de la structure de l'Univers ? Les progrès scientifiques dans ce domaine sont-ils vraiment considérables ? Devons-nous parler d'univers ou d'un des multivers ? En fin de compte la définition donnée autrefois par Blaise Pascal pourrait toujours convenir : « *une sphère infinie dont le centre est partout et la circonférence nulle part* », et la place de l'homme dans cet Univers : « *un néant à l'égard de l'infini, un tout à l'égard du néant, un milieu entre rien et tout* » (p. 15).

Christian Larcher, pour l'équipe.

Avec nos élèves

Le calendrier luni-solaire japonais

Sylvie Yamazaki-Dubois et Jean Bazantay p 2

Article de fond

La température des étoiles

Georges Paturol p 7

Thème : ASTRONOMIE ET IMAGINAIRE p 10

Astronomie et Poésie

Pierre Causeret p 10

Article de fond

Les planètes dans le cinéma de science-fiction

Roland Lehoucq p 11

Avec nos élèves

Les deux infinis

Cécile Poujol p 17

Avec nos élèves

Voyage dans le cosmos

Danielle Martinigol et Daniel Benest p 22

Note de la rédaction

Tracé des constellations p 27

Coin des petits curieux

De la vie sur Kepler 186f ?

Jean Ripert p 28

Article de fond

Le polissage d'un miroir

Manuela Raimbault p 29

Jeux

Remue-méninges

Pierre Causeret p 32

Ciel de l'été

Latitude 47° N p 33

Latitude 21° S p 34

Avec nos élèves

Mirages cosmiques

Johan Richard p 35

Vie de l'association

Journées de formation

Académie de Bordeaux p 39

Daniel Paupart

Jeux

Solution du remue-méninges p 40

AVEC NOS ÉLÈVES

Le calendrier luni-solaire japonais

Sylvie Yamazaki-Dubois (ens. mathématiques), Jean Bazantay (ens. japonais)

Les auteurs nous présentent un travail fait avec leurs élèves sur le calendrier japonais. Cette première partie, consacrée au Soleil et à la Lune, montre la symbiose entre les phénomènes astronomiques et la nature.

Pourquoi une formule japonaise traditionnelle pour souhaiter la Nouvelle Année fait-elle référence à l'arrivée du printemps ?

Les pêcheurs sont-ils en fleurs le 3 mars au moment de la fête des filles, également appelée *Momo no Sekku*, fête des pêcheurs ?

À quelles heures correspondent les anciennes heures du coq, du rat ou du tigre ?

Comment déterminer la date du *Jûgo-ya* (fête de la pleine lune du huitième mois) ?

Les réponses à ces questions se trouvent dans l'ancien calendrier luni-solaire japonais qui a été abandonné au profit du calendrier grégorien en 1873.

Voilà le compte-rendu d'une activité interdisciplinaire mathématiques-japonais que nous avons mise en place au lycée franco-japonais de Tokyo sur le thème *Le calendrier luni-solaire japonais*. Elle s'est déroulée sur plusieurs mois sous forme d'IDD (Itinéraire de découverte) avec des classes de quatrième de collège. Le public se composait à la fois d'élèves franco-japonais japonophones et d'élèves français ou d'autres nationalités débutant en japonais.

Un peu d'histoire

Ce calendrier luni-solaire a été importé de Chine par l'intermédiaire de la Corée vers 604 après J.-C.

Auparavant le déroulement du temps était rythmé par un calendrier naturel dont les subdivisions étaient fondées sur les périodes de travaux agraires. L'épanouissement de la fleur de *kobushi* (magnolia kobus) indique l'époque du labour de la rizière. Le début de la fonte des neiges sur une montagne donnée signale le début du printemps. Cycles de travail et de repos, périodes de caractère profane ou sacré alternent. Ces fêtes et rites subsisteront dans le nouveau calendrier.

En 604, le Japon invite un astronome coréen pour l'élaboration d'un calendrier et adopte alors un système d'institutions astronomiques avec des départements chargés de l'astrologie et de la mesure du temps. Le calendrier évolue ensuite à partir d'autres apports chinois et de modifications faites par les astronomes japonais, comme la référence à la longitude des observatoires japonais.

L'astronomie occidentale pénètre au Japon à la suite du missionnaire jésuite François-Xavier arrivé en 1549. Vers la fin du XVI^e s. le gouvernement japonais commence à se montrer méfiant vis-à-vis du christianisme et interdit de séjour les missionnaires portugais et espagnols. Après 1638, les Chinois et les Hollandais sont les seuls étrangers autorisés à séjourner au Japon dans quelques lieux seulement comme Nagasaki. Cette période de fermeture a duré deux siècles. Toutefois de nombreux traités scientifiques occidentaux – comme par exemple le traité d'astronomie de Lalande – ont pénétré au Japon par l'intermédiaire des Hollandais.

Le Japon s'ouvre à nouveau avec la restauration de Meiji en 1868. Le gouvernement accorde alors une grande importance à l'occidentalisation du pays et le calendrier grégorien est adopté au 1^{er} janvier 1873 mais avec un comput japonais, en comptant les années à partir de celle du début du règne de chaque empereur. Son usage ne se répandit pas sans réticences et les dates des fêtes traditionnelles restent fixées suivant l'ancien calendrier luni-solaire ce qui induit des décalages.

Introduction

Pour commencer nous proposons le questionnaire pèle mèle « Vrai Faux » suivant afin de traquer quelques erreurs répandues, mettre à mal des idées reçues et lancer des interrogations auxquelles le projet doit permettre de répondre même si certaines questions n'auront pas de réponse tranchée.

1. Au Japon il y a 5 saisons : le printemps, la saison des pluies, l'été, l'automne et l'hiver.
2. Dans notre calendrier, une année correspond à la durée d'un tour de la Terre autour du Soleil.
3. Les Japonais ont adopté le calendrier grégorien (occidental) après la deuxième guerre mondiale.
4. La latitude de Paris est supérieure à celle de Tokyo.
5. Une éphéméride est un phénomène céleste éphémère comme par un exemple une étoile filante.
6. Les Japonais comptent toujours les années à partir de la naissance de Bouddha.
7. C'est parce que la Terre est alors plus près du Soleil qu'il fait plus chaud en été qu'en hiver.

8. Dans le calendrier chinois, le début de l'année tombe un peu plus tard que dans notre calendrier.
9. Il y a une année bissextile tous les 4 ans.
10. La Terre tourne autour de la Lune en 29 jours environ.
11. On ne peut pas voir la Lune à midi.
12. Traditionnellement, au Japon, c'est en été que la Lune est la plus belle à observer.
13. Un haïku, poème japonais de 17 syllabes, contient toujours un mot de saison.
14. Une année-lumière est une unité de mesure de distance.
15. Il y a 4 équinoxes et 4 solstices par an.

Nous nous interrogeons également sur la finalité et la nature d'un calendrier, sur les points de repère que la nature nous offre pour nous situer dans le temps. Un calendrier sert à rythmer les activités agricoles, faire alterner au mieux les périodes de travail, de fête et de repos. Les différences entre les saisons sont très marquées au Japon et leur alternance ainsi que celle du jour et de la nuit et celle des phases de la lune semblent de bons repères.

Le Soleil et les saisons

Pour que les saisons reviennent chaque année aux mêmes dates, il faut que le calendrier soit basé sur la révolution de la Terre autour du Soleil. On va donc s'intéresser dans une première partie à ce qui concerne le Soleil et les saisons.

Il s'agit d'établir le décalage entre les saisons telles qu'elles sont définies dans le calendrier grégorien et celles qui apparaissent dans le calendrier japonais.

Les saisons dans le calendrier occidental

Dans un premier temps on fait reconstituer le schéma classique de la révolution de la Terre autour du Soleil avec les solstices et équinoxes, les parties du globe éclairées à ces différents instants, les positions particulières que jouent les tropiques dans ces éclairages et les intervalles que constituent les saisons.

Les élèves cherchent les dates des solstices et équinoxes pour l'année en cours et on commence à construire les premières lignes d'un grand tableau sur un mur du CDI.



On recherche également la durée de révolution de la Terre autour du Soleil appelée année tropique, révolution comptée à partir du point vernal pour obtenir l'année des saisons.

Les saisons dans le calendrier japonais

Les élèves doivent rechercher les dates de début de chaque saison dans le calendrier japonais et trouver leur nom. Cela donne le tableau suivant et les résultats sont reportés sur la fresque murale.

4 fév	立春 <i>risshun</i> début du printemps		
	春 HARU printemps	春分 <i>shunbun</i> équinoxe de printemps	20 mars
6 mai		立夏 <i>rikka</i> début de l'été	
	夏 NATSU été	夏至 <i>geshi</i> solstice d'été	21 juin
8 août		立秋 <i>risshû</i> début de l'automne	
	秋 AKI automne	秋分 <i>shûbun</i> équinoxe d'automne	22 sep
8 nov		立冬 <i>rittô</i> début de l'hiver	
	冬 FUYU hiver	冬至 <i>tôji</i> solstice d'hiver	21 déc

On remarque que les idéogrammes des noms de saisons sont lus avec leur lecture *kun*¹. Les noms des débuts de saisons comportent les mêmes idéogrammes lus cette fois en lecture *on* et précédés de l'idéogramme 立 qui signifie couramment « se mettre debout » et est pris ici dans le sens de « commencer ».

Ainsi 春 *haru* signifie printemps et 立春 *risshun* signifie début du printemps

¹ Les Japonais utilisent le système d'écriture logographique chinois en association avec des alphabets syllabiques. La plupart des signes appelés kanji ("caractère chinois") possèdent une lecture dérivée du chinois appelée lecture ON et une lecture spécifiquement japonaise (lecture KUN) correspondant à la manière autochtone de nommer le concept en japonais.

On cherche également les traductions des mots équinoxes et solstices. Pour les équinoxes, l'idéogramme utilisé est 分 qui signifie « partager » tandis que pour les solstices on utilise 至 qui signifie « atteindre ». Ces idéogrammes suivent ici l'idéogramme de la saison. On remarque que les saisons sont décalées par rapport aux saisons du calendrier occidental et que les équinoxes et solstices se situent en leur milieu. Le décalage entre la France et le Japon permet de comprendre que, d'un point de vue calendaire, les dates de début et de fin des saisons sont fixées de manière arbitraire et ne coïncident pas toujours avec le ressenti individuel.

Les équinoxes sont des jours fériés au Japon. Chacun se trouve au centre d'un intervalle de sept jours appelée *higan* (彼岸) au cours duquel prennent place différentes coutumes funéraires. Ces périodes durant lesquelles les durées du jour et de la nuit se rejoignent constituent métaphoriquement des temps de rapprochement entre le monde des vivants (symbolisé par la lumière) et celui des morts (symbolisé par les ténèbres). Pour cette raison, il est de coutume de se rendre sur les tombes avec des fleurs et des offrandes. Cette symbolique de l'inversion entre le jour et la nuit est également représentée dans des pâtisseries typiques du *higan*. Si dans les pâtisseries japonaises, on trouve fréquemment une pâte de haricots rouges à l'intérieur d'une enveloppe de riz, à cette période, on mange traditionnellement des gâteaux de riz entourés de pâte de haricots rouge.



Le jour précédent le début d'une saison est appelé 節分 *setsubun*. Chaque *setsubun* était autrefois l'objet de rites. Actuellement seul le *setsubun* précédent le début du printemps a conservé son rite apprécié des enfants : le *mamemaki* (lancer de haricots). On lance des haricots par la porte de la maison en disant « Le diable dehors » et dans la maison en disant « Le bonheur à l'intérieur ». Comme on le verra plus loin, ce *setsubun* est proche du début de l'année dans le calendrier traditionnel japonais.

Observations

Les Japonais ont une sensibilité aiguë du rythme des saisons. Celui-ci s'observe dans de nombreux phénomènes naturels ou culturels (cerisiers au printemps, feuillages automnaux, etc.) qui servent de support à l'expression de sentiments intimes, notamment dans les haïkus. Pour développer cette sensibilité, nous avons décidé de faire faire aux élèves des observations au fil de l'année.

Chaque mois les élèves reçoivent une fiche d'observation qu'ils doivent remplir au choix en japonais ou en français. Ces observations seront utiles pour les « mots de saison » dans les haïkus. On demande aussi aux élèves d'essayer de se souvenir ou de noter leurs impressions ou sentiments ressentis lors des observations. Voici quelques observations faites au mois de décembre.

On remarque au passage qu'un élève a soigneusement noté un séisme dans la rubrique météorologie ! Il faut dire qu'au Japon c'est l'Agence de Météorologie Nationale qui donne les indications sur les (fréquents) séismes.

Observations du mois de décembre	
<i>Phénomènes météorologiques</i>	Le matin, il commence à faire plus froid /vent froid et sec Le Soleil se couche plus tôt /froid. jeudi 16 décembre à 23 heures : séisme neige (surtout au N.E. du Japon)/ciel dégagé et bleu / presque pas de pluie
<i>Flore (fleurs, arbustes, etc.)</i>	chrysanthèmes / camélias / cyclamens arbre de Noël / ginko presque plus de feuilles dans les arbres et par terre. petites fleurs roses, rouges, jaunes et bleues.
<i>Faune</i>	canard / renard / lapin / oiseaux blancs grandes volées d'oiseaux qui diminuent singes qui se baignent dans les sources chaudes
<i>Aliments (légumes, fruits, plats, gâteaux etc.)</i>	mandarines / crabe / fugu / chou chinois / huîtres / <i>shabushabu</i> (sorte de fondue) / kakis séchés / <i>nabé</i> (sorte de pot au feu) <i>mochi</i> (gâteaux de riz) / gâteau de Noël / <i>toshikoshisoba</i> (nouilles que l'on mange le soir du 31 décembre) <i>amazake</i> (saké sucré)

<p><i>Vie quotidienne</i> (coutumes, fêtes, objets, etc.)</p>	<p>lèvres qui gercent./ Père-Noël qui danse./bonnet et écharpe/ grand ménage / gants / ski / snowboard les coups de gong du 31 décembre à minuit anniversaire de l'empereur (23 décembre) / cadeaux <i>oseibo</i> programme de télé <i>kôhaku uta gassen</i>,</p>
---	---

Le Soleil dans la culture japonaise

Dans la langue japonaise, deux mots sont couramment utilisés pour le Soleil : 日 *hi* (ou お日様 *ohisama* dans sa version respectueuse) et 太陽 *taiyô*. Mais on utilise aussi 日輪 *nichirin* ou encore お天道様 *otentôsama*.

Le mot 日 *hi* se retrouve dans le nom du pays 日本 *nihon* ou *nippon* qui signifie littéralement la base du Soleil et qu'on traduit généralement par Soleil levant. On le retrouve également dans le drapeau japonais qui est appelé 日の丸 *hi no maru* (le cercle du soleil) et qui représente effectivement le disque rouge du Soleil sur un fond blanc.

Dans la cosmogonie japonaise, la déesse du Soleil 天照 *amaterasu*, ancêtre du clan impérial est la figure tutélaire du panthéon shinto. La légende raconte qu'à la suite d'une dispute avec son frère l'impétueux Susano, Amaterasu s'enferma dans une grotte, plongeant le Monde dans les ténèbres. Les *kami* (dieux de la religion *shinto*) réunis inventèrent de nombreux stratagèmes pour essayer de la faire sortir, comme de faire chanter tous les oiseaux en même temps pour piquer la jalousie de l'offensée en lui faisant croire qu'un autre soleil s'est levé. Rien n'y fit et c'est finalement la déesse du rire qui, exécutant une danse, provoqua dans l'assemblée des spectateurs un grand éclat de rire qui fit sortir Amaterasu intriguée de sa grotte.

La Lune

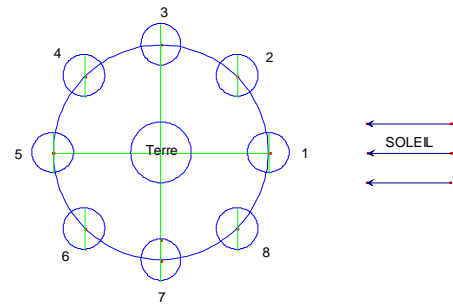
Pour repérer des intervalles de temps compris entre le jour et l'année, la lune nous offre la succession de ses différentes phases.

Observations

Nous demandons aux élèves de faire des observations sur une assez longue période en s'aidant d'une fiche sur laquelle ils doivent indiquer l'aspect de la Lune (en faisant attention à l'inclinaison), la date et l'heure, la direction de la partie éclairée (vers l'Est ou vers l'Ouest), la position du Soleil (Est, Ouest, Nord, Sud) et le nom de la phase de la Lune s'il la connaît.

Phases de la Lune

Nous relierons les observations précédentes à la trajectoire de la Lune autour de la Terre.



Vues de l'espace :

Sur le dessin ci-contre coloriez en jaune les faces éclairées et en noir les faces non-éclairées de la Terre et de la Lune.

Vues de la Terre :

Coloriez de la même façon et compléter :

	1	2	3	4	5	6	7	8
Nom			premier quartier					
Aspect								
Moment de la journée			soir					

La Lune au Japon

Les élèves recherchent les noms japonais des phases de la Lune. Nous constatons que ceux-ci sont beaucoup plus nombreux que les noms français. Si quelques noms ne font qu'indiquer l'âge de la Lune (三日月 *mikka-zuki*, lune du 3^e jour) d'autres apportent des précisions supplémentaires sur l'heure d'apparition de la Lune.

La lune gibbeuse du 17^e jour est ainsi appelée 立待月 *tachi-machi-zuki* ce qui signifie que l'on peut l'attendre debout et indique donc qu'elle se lève assez tôt. La lune du 18^e jour s'appelle 居待月 *i-machi-zuki* c'est-à-dire lune dont on attend le lever assis. Quant à la lune du 19^e jour 寝待月 *ne-machi-zuki*, c'est allongé qu'il faut l'attendre !

En plus des phases proprement dites d'autres mots célèbres plus globalement les moments où l'on peut voir la Lune.

有明月 *ariakezuki* : lune encore visible à l'aube (après le 16^e jour)

夕月 *yûzuki* : Lune visible en soirée

La pleine Lune jouit de plusieurs noms : 満月 *mangetsu* (lune pleine) 望月 *mochizuki* 名月 *meigetsu* (lune claire).

Noms japonais des phases de la lune			
jour	nom en idéogramme	prononciation	traduction
1	新月 ou 朔	<i>shingetsu ou saku</i>	nouvelle Lune
3	三日月	<i>mikazuki</i>	lune du 3 ^e jour
7/8	上弦	<i>jôgen</i>	1 ^{er} arc
13	十三夜	<i>jûsanya</i>	lune du 13 ^e jour
14	小望月	<i>komochizuki</i>	petite pleine Lune
15	満月 ou 望月	<i>mangetsu ou mochizuki</i>	pleine Lune
16	十六夜	<i>izayoi</i>	lune du 16 ^e jour
17	立待月	<i>tachi-machi-zuki</i>	lune qu'on attend debout
18	居待月	<i>i-machi-zuki</i>	lune qu'on attend assis
19	寝待月	<i>ne-machi-zuki</i>	lune qu'on attend couché
22/23	下弦	<i>kagen</i>	dernier arc
26	有明月	<i>ariakezuki</i>	lune de l'aube
29/30	三十日月	<i>misokazuki</i>	lune du dernier jour

お月見 *o-tsukimi* : contemplation de la Lune

Tous ces mots sont liés à une activité très prisée des poètes aristocrates de l'époque Heian (794-1185) avant de se populariser à l'époque Edo (1600-1868) le *o-tsukimi* c'est-à-dire la contemplation de la Lune. Les courtisanes de l'époque Heian ont inventé divers raffinements liés à cette contemplation (promenades en barque la nuit, concerts, dégustations de pâtisserie, composition de poèmes célébrant la Lune). L'époque Edo a fixé des dates (15^e jour du 8^e mois et 13^e jour du 9^e mois) et des règles (décorer la maison, faire des offrandes). Ces dates correspondent aux moments de l'année les plus propices pour observer la Lune (pleine Lune, ciel dégagé, températures agréables) même si le *o-tsukimi* peut se réaliser chaque mois. On déguste des petits gâteaux appelés *tsukimi-dango* et ces nuits-là, les enfants ont le droit de ... voler les offrandes !

Dans le calendrier japonais, le 8^e mois est le milieu de l'automne et la pleine Lune du 15 s'appelait « la Lune claire du milieu de l'automne » (中秋の名月 *chûaki no meigetsu*). En pleine saison des typhons quand la pleine Lune apparaît dans un ciel balayé et purifié, on en ressent toute la beauté et la fraîcheur. Les offrandes étaient principalement composées de

patates douces fraîchement récoltées, d'où un autre nom de cette Lune : « la Lune des tubercules » (芋名月 *imo meigetsu*). La lune du 13^e jour du 9^e mois porte elle le nom de « lune des haricots » (豆名月 *mame meigetsu*).

Actuellement le *o-tsukimi* n'est pas aussi populaire que le *hanami* (la contemplation des fleurs de cerisier) mais les petits gâteaux *tsukimi-dango* se vendent toujours.



俳句 : haïku

Le haïku est un court poème visant à suggérer une émotion, le plus souvent fugitive, en lien avec la nature. Il évoque « l'impermanence des choses » qui imprègne profondément la culture japonaise. Il se compose de 17 syllabes rythmées sur 5/7/5 et doit comporter un « mot de saison » *kigo*.

Plusieurs activités ont été réalisées au cours des séances. À partir de la lecture de haïkus, les élèves ont séparé les vers, repéré les mots de saison, en ont déduit la date, imaginé les circonstances et les sentiments de l'auteur. Puis ils ont écrit leurs propres haïkus en utilisant les observations qu'ils avaient faites au cours des mois écoulés.

Quelques exemples de haïkus

菜の花や月は東に日は西に *na no hana ya / tsuki wa higashi ni / hi wa nishi ni* (poème de Yosano Buson)
Fleurs de colza, la Lune est à l'est, le Soleil à l'ouest.

On peut ici deviner la saison et l'heure de la journée.

外にも出よ触るるばかりに春の月 *to ni mo deyo / fururu bakari ni / haru no tsuki* (Nakamura Teijo).

On ne peut s'empêcher de sortir (pour voir) la lune du printemps, (si proche) qu'on pourrait (l') attraper

冬蜂の死にどころなく歩きけり *fuyuhachi no / shi ni dokoro naku / arukikeri* (Murakami Kijô).

Ayant survécu jusqu'à l'hiver, la guêpe égarée n'a nulle part où mourir, et elle marche péniblement sur le sol. À suivre ■

ARTICLE DE FOND

La température des étoiles

Georges Paturel

Cet article vise à faire comprendre comment les astronomes mesurent la température effective ou la température de couleur des étoiles. Nous appliquerons le principe à l'estimation expérimentale de la température du Soleil.

Quelques mots de physique

Le corps noir est un corps parfaitement réceptif et parfaitement émissif. Tout ce qui est absorbé est immédiatement réémis et réciproquement. Si on considère de telles parois dans un volume clos (une sorte de four), il se produit un équilibre entre émission et réception, à une température donnée.

Un corps noir est défini seulement par sa température.

Planck a trouvé la relation qui décrit parfaitement le rayonnement² R du corps noir pour chaque intervalle de longueur d'onde $d\lambda$:

$$\frac{dR}{d\lambda} = \frac{2\pi hc^2 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{k\lambda T}\right) - 1} \quad (1)$$

(h = constante de Planck ; c = vitesse de la lumière ; k = constante de Boltzman ; T = température en kelvin). Voici (figure 1) l'aspect de $dR/d\lambda$ pour quelques températures, de 5 000 K à 10 000 K.

Dans tous les cas nous définirons la température d'une étoile par référence au corps noir : soit en intégrant sur toutes les longueurs d'onde, soit en ajustant la forme dans un domaine spectral donné. Rappelons qu'en intégrant la relation (1) sur tout le domaine spectral on trouve la luminance (puissance par unité de surface de la source émettrice, $W.m^{-2}$) :

$$R = \sigma \cdot T^4 \quad (2)$$

² R est exprimé en $J.s^{-1}.m^{-2}$. C'est l'énergie émise par seconde et par unité de surface du corps noir. $dR/d\lambda$ est donc en $J.s^{-1}.m^{-3}$.

σ est la constante de Stefan, qui s'exprime en fonction des autres constantes de la relation (1). T est la température qui sera dite "effective".

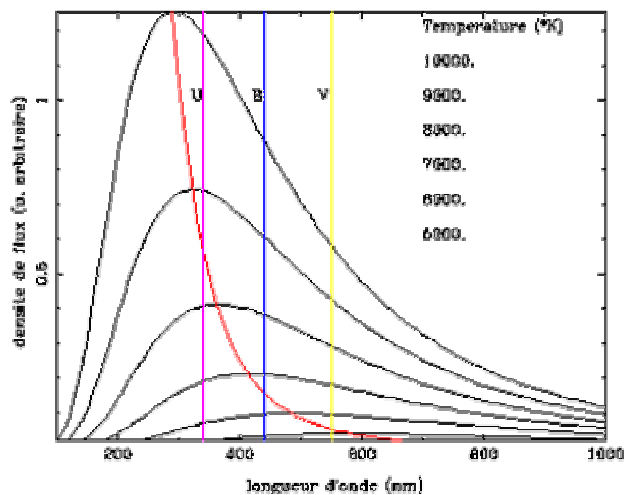


Fig.1 Le rayonnement spectral de corps noirs à différentes températures. Notez que le maximum de chaque courbe suit une loi simple : $\lambda T = \text{constante}$ (courbe en rouge).

Parlons d'étoiles maintenant

Regardons le spectre d'une étoile obtenu avec un spectrophotomètre³, un appareil qui mesure le flux à chaque longueur d'onde (figure 2). Ce spectre ne ressemble pas du tout à celui d'un corps noir !

Essayons de comprendre pourquoi.

Pour le spectre de la figure 2, nous utilisons un photomultiplicateur sensible dans les régions UVB marquées sur la figure 1. En dehors, la sensibilité tombe progressivement à zéro.

³ Ce spectrographe avait été conçu par un collègue, N'guyen Doan, et j'avais participé aux premiers tests.

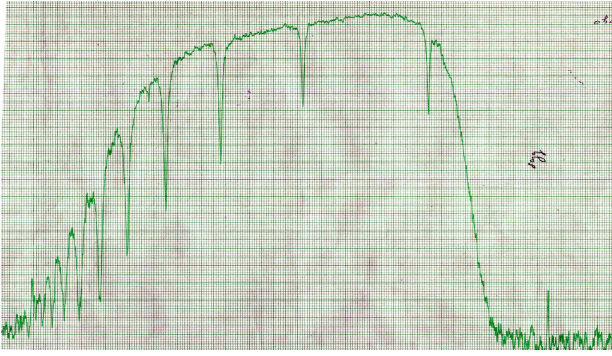


Fig.2 L'ultraviolet est à gauche, le rouge est à droite. La première raie visible en absorption, à droite, est la raie H β à 486,1 nm. Viennent ensuite, vers les plus courtes longueurs d'onde les raies H γ , H δ , etc.

Il va falloir prendre en compte la variation de la sensibilité spectrale de la chaîne d'acquisition (atmosphère, télescope, réseau, récepteur) pour le domaine accessible et deviner la partie manquante du spectre.

Mais ce n'est pas tout. Vous voyez des raies spectrales d'absorption (ici, il s'agit des raies de l'hydrogène de la série de Balmer) qui se forment dans l'atmosphère de l'étoile.

Il faut donc prendre en compte le contenu de l'atmosphère de l'étoile qui va, par les raies d'absorption, modifier la distribution spectrale initiale (celle du corps noir). L'effet est loin d'être négligeable. En effet, vous voyez que les raies spectrales ne sont pas infiniment fines. Or, on voit très bien sur la figure 2 que, vers la gauche (du côté ultraviolet), les raies de Balmer s'accroissent et produisent un décrochement progressif dans le spectre. La position de cette discontinuité change avec la largeur des raies. La forme du spectre est sérieusement modifiée.

Les calculs deviennent vite compliqués. Les astronomes⁴ ont calculé des modèles d'atmosphère stellaire pour des étoiles de différentes **températures**, de différentes **gravités** et de différentes **compositions chimiques**.

On compare chaque modèle théorique avec le spectre réel, après avoir pris en compte la sensibilité spectrale de la chaîne d'acquisition. On choisit le modèle théorique qui colle au mieux (à une constante multiplicative près). Après normalisation, l'intégrale R des deux spectres est la même. La

relation (2) nous donne alors la température qu'on appelle la **température effective** de l'étoile. C'est la température du corps noir qui émettrait le même rayonnement global, toutes longueurs d'onde confondues.

Nous pourrions plus simplement chercher le corps noir qui suit bien le continuum du spectre observé (entre les raies spectrales) dans un domaine spectral donné. La température serait alors la **température de couleur** pour ce domaine.

Si l'étoile était un corps noir parfait, en équilibre thermodynamique, les deux températures seraient identiques.

En pratique, nous ne sommes pas obligés de faire la spectrophotométrie de toutes les étoiles dont nous voulons la température effective. À partir des modèles théoriques on calcule une magnitude bolométrique m_b correspondant au flux intégré sur toutes les longueurs d'onde. On calcule également la magnitude théorique m_λ , intégrée sur la courbe théorique d'un filtre donné (caractérisé par λ).

La différence $m_b - m_\lambda$ s'appelle la correction bolométrique. Elle est tabulée pour les différents types d'étoiles et les différents filtres, grâce aux modèles.

La détermination de la température effective est alors simple. On mesure la magnitude apparente m_λ d'une étoile et on déduit la magnitude bolométrique en appliquant la correction bolométrique. On a ainsi directement une estimation du rayonnement global qui est proportionnel à σT_{eff}^4 .

Passons à l'expérience

Moyennant quelques hypothèses simplificatrices, nous allons essayer la méthode sur le Soleil.

Nous adoptons pour modèle celui du corps noir (Rel. 1) en négligeant les raies spectrales. Nous ne pouvons pas observer toutes les longueurs d'onde.

Nous n'observerons que le bleu (B) et le visible jaune (V) grâce à deux filtres colorés. Nous avons besoin de connaître la longueur d'onde effective de

⁴ Rendons un hommage à un pionnier dans ce domaine, Dimitri Mihalas, disparu en novembre 2013.

chaque filtre (ou mieux, sa courbe de réponse en fonction de λ)⁵.

Pour mesurer les flux, nous avons utilisé deux blocs métalliques, **rigoureusement identiques**, un pour chaque longueur d'onde. Ils sont calorifugés et noircis sur la face réceptrice. Seule la correction d'extinction atmosphérique sera à prendre en compte, car les blocs, exposés au Soleil, absorbent toutes les longueurs d'onde avec la même sensibilité. Nous n'avons pas besoin de connaître les caractéristiques des blocs métalliques, car elles entrent dans la constante multiplicative arbitraire, liée aux unités.

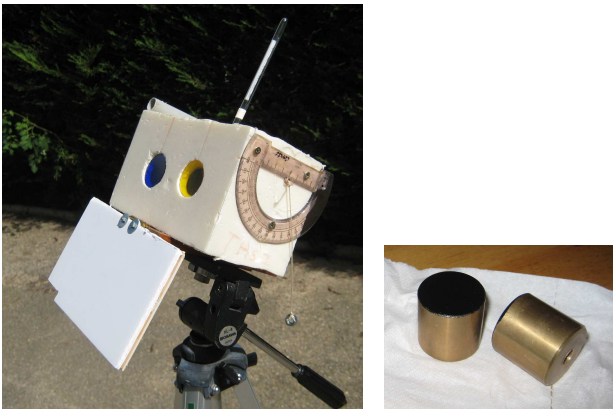


Fig.3 L'appareil de mesure. Le rapporteur sert à déterminer la hauteur du soleil au moment de la mesure. On reconnaît le thermomètre et le volet de fermeture. À droite les deux blocs récepteurs.

Nous mesurons alors la variation de température des blocs exposés au Soleil, en fonction du temps. Cette pente est directement proportionnelle⁶ au flux, du moins tant que la température n'est pas trop élevée. Le flux observé est corrigé de l'extinction atmosphérique par la relation :

$$F_{\lambda} \propto \text{pente} \times 10^{0,4k_{\lambda}/\cos Z},$$

où k_{λ} est le coefficient d'extinction atmosphérique ($k_B = 0,30$ et $k_V = 0,17$) et où Z est l'angle entre la direction d'observation et le zénith ($Z = 42^\circ$ le 19/08/2012 à 11h17 à Gap).

En utilisant un rapport des flux B et V, la constante multiplicative inconnue disparaît. Avec les pentes

⁵ Pour cet article, j'ai utilisé des filtres en verre. Des filtres photographiques devraient convenir, en particulier ceux vendus par le CLEA et dont la réponse spectrale est connue.

⁶ D'après la loi du calorimètre, la variation d'énergie ΔE collectée sur un cylindre récepteur est proportionnelle à sa variation de température ΔT . La variation temporelle $\Delta T/\Delta t$ est donc identique à R , à une constante multiplicative près.

trouvées (figure 4), le rapport des flux mesurés en B et V est alors :

$$\left(\frac{F_B}{F_V}\right)_{\text{observ}} = \frac{0,0063 \times 10^{(0,4 \times 0,30)/\cos(42)}}{0,0085 \times 10^{(0,4 \times 0,17)/\cos(42)}} = 0,871$$

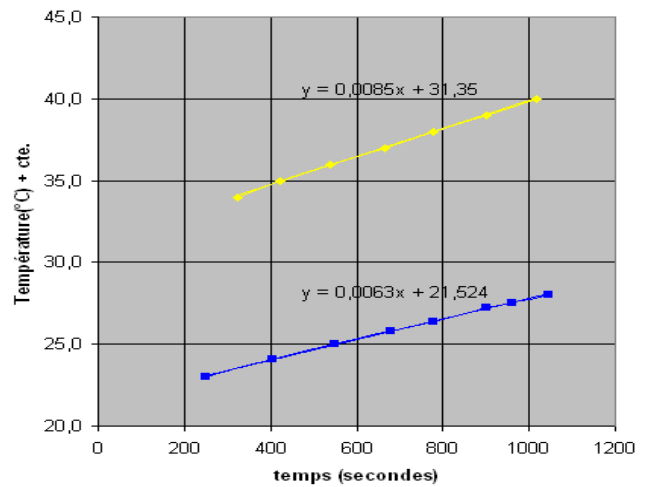


Fig.4. Les droites de variation de la température pour les deux longueurs d'onde B et V. La courbe en bleu B a été décalée de 10 °C pour la clarté du graphique.

Il ne reste plus qu'à trouver la température, en cherchant le corps noir qui donne le même rapport que celui observé. La relation (1) du corps noir, conduit à :

$$\left(\frac{F_B}{F_V}\right)_{\text{théorie}} = \left(\frac{\lambda_B}{\lambda_V}\right)^{-5} \cdot \frac{\exp\left(\frac{hc}{k \lambda_V T}\right) - 1}{\exp\left(\frac{hc}{k \lambda_B T}\right) - 1}$$

($hc/k = 0,014385 \text{ m} \times \text{K}$; $\lambda_B = 440 \times 10^{-9}$ m ; $\lambda_V = 550 \times 10^{-9}$ m)

Cette formule est programmée avec un tableur et calculée, par pas de 5 K, entre 8 000 K et 3 000 K. On trouve que :

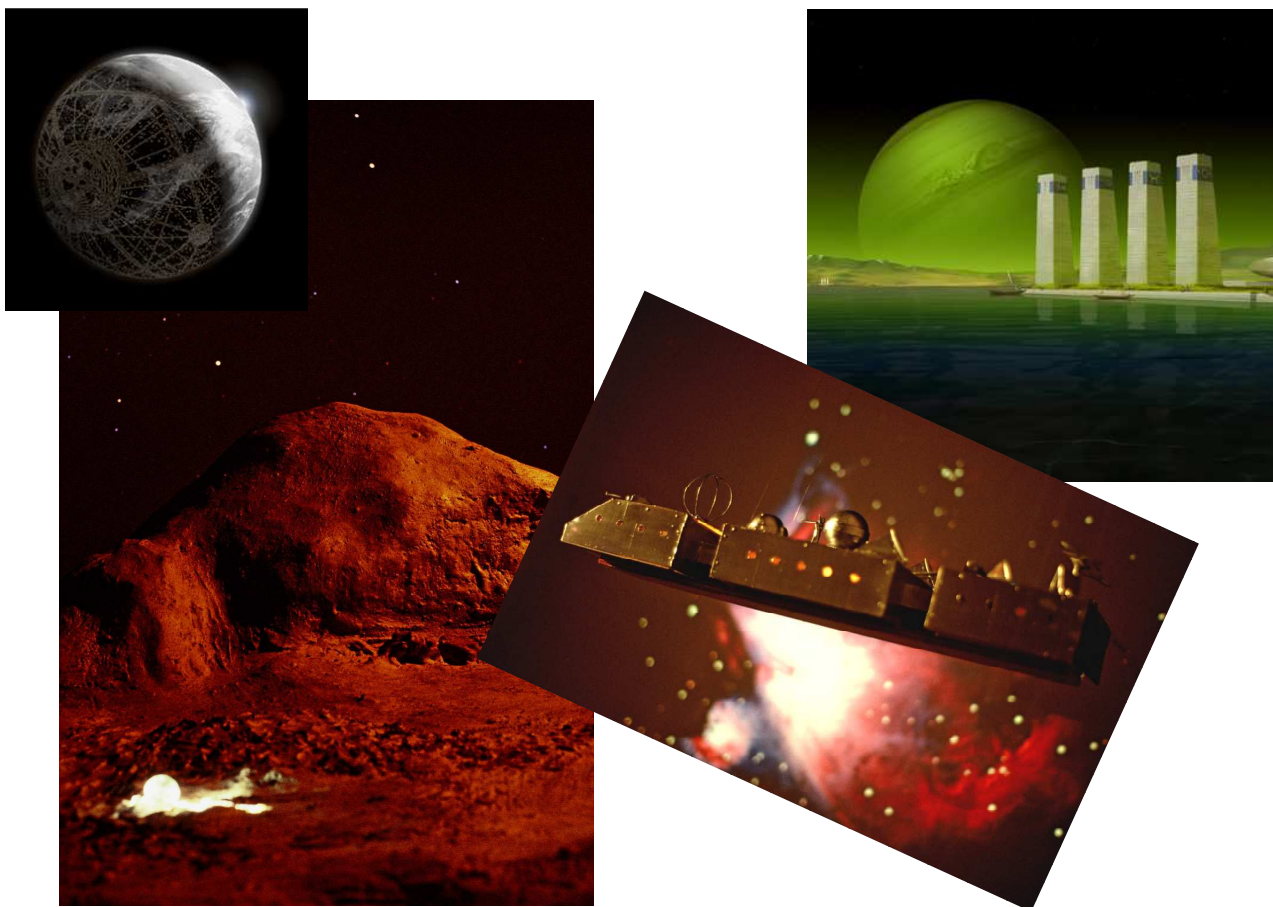
$$\left(\frac{F_B}{F_V}\right)_{\text{théorie}} = 0,871 \quad \text{pour } T = 5\,235 \text{ K.}$$

Ce serait la température effective du Soleil (aux erreurs de mesure près) si celui-ci était un corps noir parfait. (Rappel : $T_{\text{eff}}(\text{Soleil}) = 5\,750 \text{ K}$) ■



Soleil et Rayon vert, (photo Stéphane Guisard ESO)

ASTRONOMIE ET IMAGINAIRE



1. Représentation de Trantor, la planète-cité imaginée par Isaac Asimov (auteur Dark Attisios) ; 2. Planète imaginaire (auteur Franck Lewecke) ; 3 et 4. Maquette illustrant une nouvelle de science-fiction créée par des élèves du collège d'Échenon (21).

Astronomie et poésie

De très nombreux poètes ont été inspirés par le ciel et par notre connaissance de l'Univers. Il en existe trop pour tous les citer ici mais voici deux pistes pour effectuer des recherches.

- Jean-Pierre Luminet, astronome et poète à ses heures, a écrit une anthologie de la poésie à thème astronomique « Les poètes et l'Univers » au cherche-midi. On retrouve sa liste des auteurs sur le site de l'observatoire de Paris <http://luth2.obspm.fr/~luminet/Books/Antho.html>

- Le site <http://pages.infinit.net/noxoculi/poesie.html> propose de nombreux poèmes à thème astronomique.



Panneau extrait d'une exposition « la fourmière des abîmes » sur Victor Hugo et l'astronomie.

(Renseignements et contact : bernadette.pallegoix@club-internet.fr)

...
Les galaxies s'éloignent de plus en plus de nous
Et les unes des autres
Et nous nous éloignons aussi
Dans notre univers en dispersion.
Nous serons de plus en plus isolés.
L'espace de plus en plus vide.
Et de plus en plus froid.

...
Ernesto Cardenal, cantique cosmique

Pierre Causeret

ARTICLE DE FOND

Les planètes dans le cinéma de SF

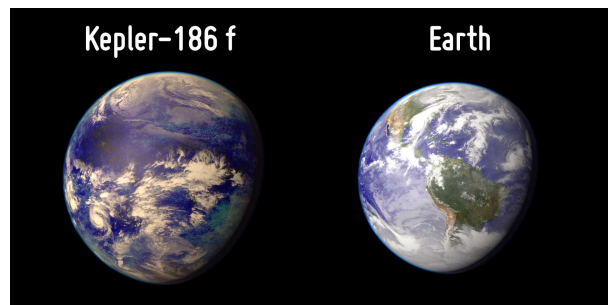
Roland Lehoucq, astrophysicien au CEA de Saclay

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

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

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

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



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

Quelle orbite pour Tatooine ?

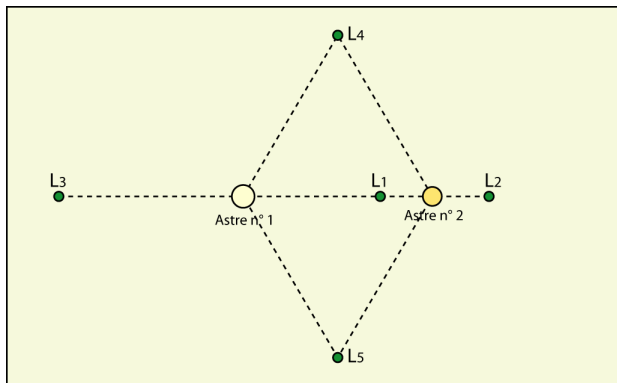
La saga Star Wars regorge de planètes curieuses dont certaines ont marqué les esprits. La plus célèbre est sans aucun doute la chaude et désertique Tatooine, repère de brigands galactiques sur laquelle règne le fameux et puissant Jabba le Hutt. Vous avez sûrement remarqué que cette planète a pour particularité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

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

Crédit : PHL UPR Arexibo NASA

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

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



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

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

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

Kamino, une planète-océan ?

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

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

Les anneaux de Geonosis

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

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

Mustafar, la planète infernale

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

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

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

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

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

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

Le monde d'Avatar

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

Le système d'alpha du Centaure



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

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

Où est située Polyphème ?

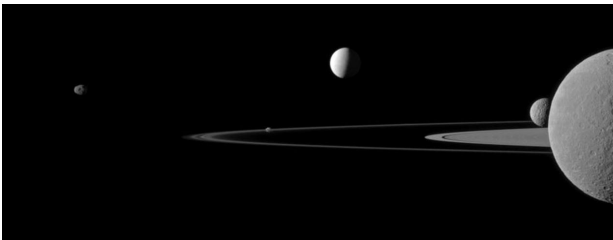
Imaginons quand même qu'une planète de cette taille existe dans le système d'alpha Centauri, où pourrait-elle être située ? Deux contraintes viennent limiter nos choix. Il faut d'abord que son orbite soit stable ce qui, dans un système stellaire binaire, n'est pas acquis d'avance, comme on l'a vu avec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

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

Quelle est l'orbite de Pandora autour de Polyphème ?

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

AVEC NOS ÉLÈVES

Les deux infinis

Cécile Poujol, enseignante en lettres au lycée Claude Bernard à Paris

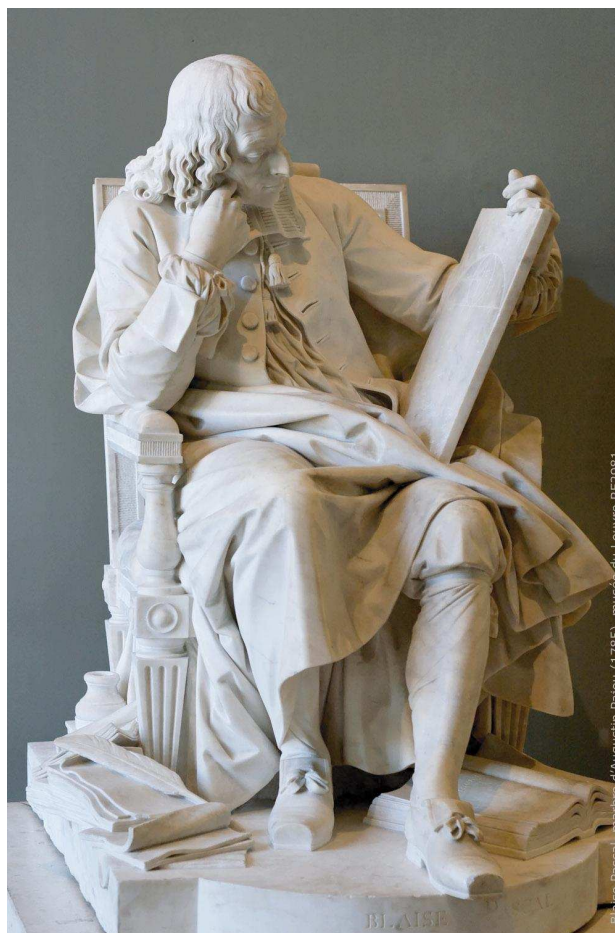
Cécile Poujol nous présente ici une étude en 1^{ère} S d'un texte de Blaise Pascal (1623-1662), extrait des Pensées (1670), à la croisée de l'astronomie et de la littérature.

En classe de première scientifique, dans le cadre de la préparation à l'oral du baccalauréat de français, je propose tous les ans une séquence que j'intitule « Science et littérature », et qui correspond à la rubrique du programme sur l'argumentation : « La question de l'Homme dans les genres de l'argumentation, du XVI^e siècle à nos jours ». Mon objectif est d'étudier, dans cette séquence, en quoi les découvertes scientifiques ont fait évoluer la vision que les écrivains ont du monde, et en particulier de la place de l'homme dans l'univers. Ma séquence comporte un groupement de textes, dans lequel figure l'extrait des Pensées de Pascal qui nous intéresse ici, ainsi que l'étude d'une œuvre intégrale : Micromégas de Voltaire ; le groupement de textes comporte des extraits d'œuvres des XVI^e et XVII^e siècles, tandis que l'étude de Micromégas permet d'envisager le XVIII^e siècle, avec les découvertes de Newton.

Le texte de Pascal dans le groupement sur « Science et littérature »

Mon groupement commence par deux textes du XVI^e siècle, avec tout d'abord un extrait des Essais de Montaigne, tiré du livre III qui s'intitule « Sur les boiteux » ; l'auteur cherche à y convaincre le lecteur de la nécessité de reconnaître son ignorance, s'il veut progresser sur la voie d'une connaissance véritable et bien fondée. Le deuxième texte est de Rabelais, il s'agit de la célèbre lettre de Gargantua à Pantagruel dans le roman du même nom, Pantagruel, et qui est connue pour la sentence qu'elle contient : « Science sans conscience n'est que ruine de l'âme » ; cette lettre a été appelée « l'hymne triomphal de la Renaissance », même si elle témoigne d'un certain tiraillement entre la soif de connaissances caractéristique de cette époque et les impératifs religieux également très importants alors. J'aborde ensuite le XVII^e siècle, avec le texte de Pascal, « Les deux infinis » ; et je termine par un extrait du « Premier soir » des Entretiens sur la pluralité des mondes de Fontenelle, dans lequel un

aristocrate expose le système héliocentrique de Copernic à une marquise réticente à l'idée que la Terre aie pu perdre sa place au centre de l'univers. Dans tous ces textes il est donc question de la connaissance, de sa place, de sa valeur, des acquis mais aussi des inquiétudes qu'elle peut apporter, ainsi que des limites auxquelles elle se heurte.



Pascal et la science de son temps

Pascal a vécu à une époque de grands bouleversements. La découverte du Nouveau Monde, l'héliocentrisme de Copernic, la ruine de la physique d'Aristote après Galilée ont un impact tel

que s'installe dans les esprits un sentiment profond d'instabilité, en ce qui concerne les connaissances ou la vision de l'homme ; ce sentiment correspond à la sensibilité baroque, qui a cours en Europe de 1570 à 1650 environ. Cette sensibilité est présente dans le texte des « deux infinis ».

Pascal a bénéficié de l'éducation que lui a donnée son père, Étienne Pascal, un esprit féru de science et de géométrie, qui a su maintenir en éveil la vive curiosité intellectuelle de son fils. Blaise Pascal est ainsi mis en contact avec les savants de son temps, en particulier ceux qui gravitent autour du père Marin Mersenne, comme Gassendi, un savant aux multiples centres d'intérêt, versé en théologie, en histoire, en sciences et en particulier en astronomie ; il rencontre le diplomate et mathématicien Carcavi, disciple de Galilée qui vient d'observer, en 1609-1610 les satellites de Jupiter ainsi que les cratères de la Lune qui font d'elle la sœur jumelle de la Terre et non un astre parfait ; il côtoie Adrien Auzout, qui a mesuré la distance de deux étoiles voisines, grâce aux perfectionnements apportés aux lunettes pour la mesure des petites distances angulaires ; il entend parler des découvertes de Harvey sur la circulation du sang en 1628, des lois de Kepler et de la méthode cartésienne. Les premiers travaux de Blaise Pascal portent sur la géométrie, et son Essai pour les coniques est imprimé dès 1640, alors qu'il n'a que seize ans !

Pascal et le jansénisme

La vision pascalienne de l'homme est profondément marquée par le jansénisme, courant théologique dont Pascal se rapproche à partir des années 1647-1648, avant d'avoir commencé à rédiger les Pensées. Le jansénisme est un courant du catholicisme initié par Jansénius, un théologien hollandais dont le livre, l'Augustinus, est paru en France vers 1640. Ce théologien affirmait restaurer les doctrines authentiques de Saint Augustin (354-430), en disant que l'homme, corrompu depuis le péché originel, ne pouvait jamais être assuré de son salut parce que la grâce, seul moyen de rédemption possible et qui dépendait exclusivement de la miséricorde divine, n'était pas donnée à tous. Cette vision pessimiste voire tragique de l'homme a laissé une empreinte forte dans l'œuvre de Pascal. Le texte des « deux infinis » en porte la marque, par exemple lorsque l'auteur y présente l'être humain comme étant en équilibre précaire entre deux abîmes, celui de l'infiniment grand et celui de l'infiniment petit, dans cette question purement rhétorique : « Qu'est-ce qu'un homme, dans l'infini ? » Rien, sous-entend-il.

Présentation du texte des « deux infinis »

Les Pensées sont un ouvrage inachevé, sans doute à cause de la mort prématurée de son auteur. Le texte se présente sous la forme de liasses de notes, avec des fragments très courts et d'autres, comme celui qui nous intéresse, de quelques pages. Les éditions successives des Pensées ont cherché à établir un ordre logique entre ces fragments, et des différences notables existent entre les éditions, les premières ont été élaborées alors que l'on ignorait le plan projeté par l'auteur ; ce plan a depuis été retrouvé. Le texte des « deux infinis » porte ainsi le numéro 72 dans l'édition Brunschvicg (1897), le numéro 199 dans l'édition Lafuma (1951) et le numéro 230 dans l'édition Sellier (1991).

Le projet de Pascal, lorsqu'il écrit les Pensées, est de faire l'apologie de la religion chrétienne. Pour cela, il va employer les ressources de l'écrivain bien entendu, mais aussi du géomètre. En effet, pour l'auteur de l'opuscule intitulé De l'esprit géométrique, composé vers 1655, la méthode qu'il a appliquée en géométrie est à mettre en œuvre même dans les écrits littéraires destinés à persuader le lecteur, y compris lorsqu'il s'agit de faire appel à ses émotions, à ses sentiments. Cette méthode consiste à fonder le raisonnement sur des définitions, des axiomes et des démonstrations qui respectent un certain nombre de règles.

Selon un plan rigoureux, le texte des « deux infinis » vise à faire prendre conscience au lecteur de la fragilité, de la petitesse dérisoire de l'homme, perdu dans le cosmos, dans l'infiniment grand ; mais, ce qui aggrave encore sa situation, c'est que l'homme apparaît comme un « colosse, un monde ou plutôt un tout » par rapport au monde de l'infiniment petit, l'autre dimension de l'univers dans lequel il est plongé. L'homme est donc dans une situation peu enviable, « égaré » dans un univers dont les dimensions ne sont pas à son échelle. Cette prise de conscience de sa fragilité doit l'amener à se tourner vers celui qui a créé un monde aussi fantastiquement démesuré, comme vers un refuge salvateur. Tel est le propos de ce texte.

Pascal, un visionnaire en avance de plusieurs siècles sur son temps ?

Ce qui est fascinant dans ce texte, c'est sa composition, rigoureusement symétrique : le premier paragraphe est consacré à l'infiniment grand, que le lecteur doit s'efforcer d'imaginer, progressivement, en dilatant ses facultés de représentation ; il doit

« enfler (ses) conceptions au-delà des espaces imaginables ». Il doit commencer par prendre de la hauteur, imaginer la Terre comme « un point » par rapport au Soleil, puis considérer celui-ci comme « une pointe très délicate » à l'égard des mouvements des astres « qui roulent dans le firmament ».

Ensuite, au deuxième paragraphe, il subit un premier choc, il doit revenir à l'échelle humaine, pour réaliser sa petitesse face au cosmos. La seule phrase du troisième paragraphe invite à la méditation sur la vulnérabilité humaine, avec la question rhétorique déjà citée : « Qu'est-ce qu'un homme, dans l'infini ? »

Le quatrième paragraphe inaugure un mouvement symétrique à celui que le lecteur vient d'accomplir : cette fois-ci, il va commencer son voyage vers l'infiniment petit, avec comme point de départ le plus petit animal connu à l'époque : « un ciron », un minuscule acarien. Le lecteur doit imaginer décomposer cet animal en ses différentes parties, jusqu'à arriver aux substances qui composent son sang.

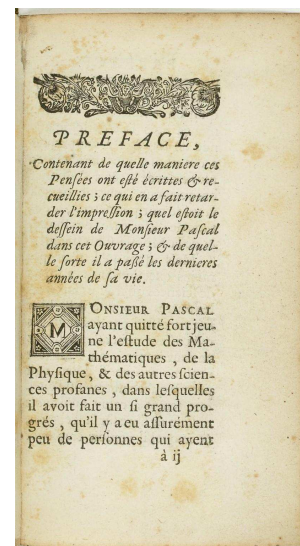
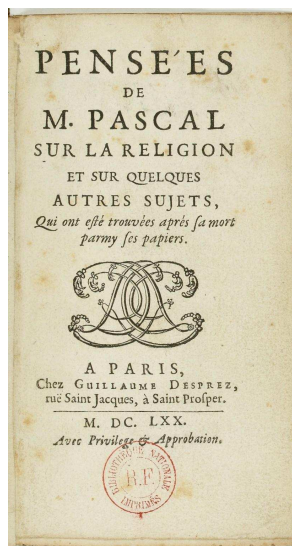
Le cinquième paragraphe est l'aboutissement de ce trajet vers l'infiniment petit, et réserve au lecteur une surprise magistrale : dans le sang de ce ciron, il doit imaginer qu'il trouve à nouveau, dupliqué en petit, un univers, et même, mieux que cela, « une infinité d'univers, dont chacun a son firmament, ses planètes, sa terre, en la même proportion que le monde visible » ! Évidemment, cette expérience intellectuelle est vertigineuse : comme dans les poupées russes, chaque univers a une terre, avec ses animaux, ses cirons, dont le sang contiendra à nouveau les éléments que nous venons d'imaginer ! C'est ce que l'on appelle la mise en abyme, et c'est par ce procédé que Pascal veut nous faire approcher l'idée d'infini.

Le dernier paragraphe de cet extrait est une invitation au lecteur à méditer sur ces découvertes, à considérer « ces merveilles » et à « les contempler en silence », sans chercher à en percer le mystère, puisque telle est la situation de l'homme : « infiniment éloigné de comprendre les extrêmes », « la fin des choses et leur principe sont pour lui invinciblement cachés dans un secret impénétrable. »

Le plus extraordinaire, dans cette aventure imaginaire, est la représentation que Pascal donne de l'infiniment petit. En effet, Pascal aurait-il eu, avec deux cent cinquante ans d'avance, l'intuition du modèle de l'atome, composé d'un noyau et d'électrons gravitant autour, tel qu'il a été proposé au début du XX^e siècle ? Pascal, un génie visionnaire qui aurait imaginé l'infiniment petit

conformément au modèle planétaire proposé par Rutherford en 1910 ?

Voilà qui mérite quelques approfondissements : qu'est-ce qui incite Pascal à imaginer l'univers ainsi ? Ce questionnement guide, en guise de problématique, mon explication de texte.



Pensées de M. Pascal sur la religion, et sur quelques autres sujets, qui ont été trouvées après sa mort parmi ses papiers. Édition de 1670 G. Desprez. (source Gallica. Bibliothèque nationale de France, département Réserve des livres rares).

Problématique : Quelles influences scientifiques, religieuses et artistiques peut-on voir se croiser dans ce texte ?

Une vision du cosmos inspirée par la science.

Un monde vertigineux.

Le début du texte est un appel à adopter un autre point de vue sur le cosmos. Pascal invite le lecteur à contempler le monde d'en haut, à imaginer comment il le verrait depuis l'espace : « que l'homme contemple donc la nature entière », « qu'il regarde » ; cette vision de l'univers a lieu après les découvertes de Galilée, qui avec sa lunette a pris la mesure du nombre presque infini des astres, en plus d'avoir détruit la distinction entre le monde sublunaire et le monde supralunaire.

Mais très vite, la vue doit céder le pas à l'imagination pure, « tout ce monde visible n'est qu'un trait imperceptible (...) nulle idée n'en approche ».

Le lecteur doit ainsi changer radicalement d'échelle, et pour cela Pascal emploie des termes de géométrie : « que la terre lui paraisse comme un point », « ce vaste tour lui-même n'est qu'une pointe très

délicate ». L'aboutissement de cette élaboration de l'imagination est la formule la plus saisissante, qui suggère l'idée de l'infini, caractérisé par l'absence de centre : « c'est une sphère infinie dont le centre est partout, la circonférence nulle part. »

Cette vision correspond à un véritable bouleversement, puisque avant Copernic, c'était la Terre qui occupait le centre de l'univers.

Un univers en mouvement.

Le Soleil est d'abord valorisé : « une lampe éternelle pour éclairer l'univers », avant de se voir rétrogradé au même plan que les autres astres, avec la tournure restrictive « ne...que » : « ce vaste tour lui-même n'est qu'une pointe très délicate à l'égard de celui que ces astres (...) embrassent ».

Le mot « tour » comporte une connotation dynamique, notion que l'on retrouve dans le groupe verbal : « qui roulent dans le firmament ». L'univers est perçu comme étant en mouvement ; depuis Kepler on sait que les orbites des planètes sont elliptiques, et que leur mouvement n'est pas uniforme. Le texte de Pascal garde la trace du vertige produit par ces découvertes.

Une vision de l'homme et du cosmos influencée par le jansénisme et le baroque.

Le jansénisme.

L'homme apparaît perdu entre deux abîmes également vertigineux, l'infiniment grand et l'infiniment petit. La comparaison entre le cosmos et l'homme le montre bien, comme le souligne le parallélisme suivant : « que l'homme (...) considère ce qu'il est au prix de ce qui est » ; le vocabulaire est également dévalorisant pour son univers proche, avec les deux images suivantes : « ce canton détourné de la nature, (...) ce petit cachot où il se trouve logé, j'entends l'univers ».

La question rhétorique, qui sous-entend la vulnérabilité de l'homme, sollicite l'adhésion du lecteur à ce jugement dépréciatif : « Qu'est-ce qu'un homme, dans l'infini ? »

Face à l'infiniment petit, l'homme n'est pas mieux loti puisque il est devenu « un colosse, un monde ou plutôt un tout à l'égard du néant où l'on ne peut arriver » : ce qui frappe ici, c'est la disproportion de l'homme et son incapacité à appréhender cet « abîme nouveau », dont il ne peut qu'imaginer l'existence.

Le dernier paragraphe conclut sur cette situation inconfortable de l'homme, en accumulant les oppositions : « Car enfin qu'est-ce que l'homme

dans la nature ? Un néant à l'égard de l'infini, un tout à l'égard du néant, un milieu entre rien et tout ». Cette manière de considérer la condition humaine porte la marque du jansénisme. Celui-ci affirme la faiblesse de l'homme corrompu par le péché originel et la toute-puissance de l'action divine, qui accorde ou refuse inexorablement le salut. Le texte est empreint de cette dimension tragique.

Le baroque ou le parallèle entre l'infiniment grand et l'infiniment petit.

La construction du texte repose sur la symétrie entre les deux infinis. En effet, le lecteur est amené à les appréhender de la même manière, par des changements d'échelle successifs ; le premier paragraphe traite de l'infiniment grand, tel que l'homme peut le voir puis tel qu'il peut l'imaginer ; les deux suivants envisagent l'homme par rapport à lui ; ensuite, le trajet vers l'infiniment petit commence, avec un paragraphe pour ce que l'on peut voir du ciron, et un autre pour ce que l'on peut en imaginer ; le dernier paragraphe fait la synthèse des deux approches.

On a donc un texte qui est construit en miroir, l'homme étant placé au milieu : l'infiniment petit est le reflet de l'infiniment grand. Par ailleurs, les changements d'échelle créent une impression de vertige, et à la découverte de l'infiniment petit culmine l'effet de surprise : on retrouve là des caractéristiques du baroque, qui vise à surprendre, à impressionner, à miser sur le spectaculaire. On y repère aussi les thèmes privilégiés du baroque : l'instabilité, le mouvement, les oppositions, et l'idée que les apparences sont trompeuses. Dans l'imaginaire baroque, le monde n'est constitué que de trompe-l'œil, de miroitements incertains, parfois flatteurs, parfois inquiétants.

Mon hypothèse est que Pascal, profondément influencé par cet imaginaire, a conçu l'infiniment petit comme le reflet pur et simple de l'infiniment grand ; c'est ce qui pourrait expliquer que son évocation de l'infiniment petit ressemble au modèle planétaire de l'atome avancé par Rutherford.

Le texte des « deux infinis » est à la fois un témoignage de l'état des connaissances scientifiques de son temps et de la sensibilité de son époque ; si son écriture est classique, par la clarté de sa composition et de son projet, son imaginaire est baroque, et cela se ressent par les effets spectaculaires ménagés par l'auteur. Dans ce texte, Pascal est également géomètre et janséniste, il parvient à décrire la situation de l'homme comme tragique en employant le lexique de la géométrie. Ici la science devient le tremplin de l'imagination, et avec elle le lecteur a matière à contempler pour ensuite méditer. ■

Pensées de Pascal, 1670 : les deux infinis.

L199,B72,S230.

Que l'homme contemple donc la nature entière dans sa haute et pleine majesté, qu'il éloigne sa vue des objets bas qui l'environnent. Qu'il regarde cette éclatante lumière mise comme une lampe éternelle pour éclairer l'univers, que la terre lui paraisse comme un point au prix du vaste tour que cet astre décrit, et qu'il s'étonne de ce que ce vaste tour lui-même n'est qu'une pointe très délicate à l'égard de celui que ces astres, qui roulent dans le firmament, embrassent. Mais si notre vue s'arrête là, que l'imagination passe outre. Elle se lassera plutôt de concevoir que la nature de fournir. Tout ce monde visible n'est qu'un trait imperceptible dans l'ample sein de la nature, nulle idée n'en approche. Nous avons beau enfler nos conceptions au-delà des espaces imaginables, nous n'enfantons que des atomes au prix de la réalité des choses. C'est une sphère infinie dont le centre est partout, la circonférence nulle part. Enfin c'est le plus grand [des] caractères sensibles de la toute-puissance de Dieu que notre imagination se perde dans cette pensée.

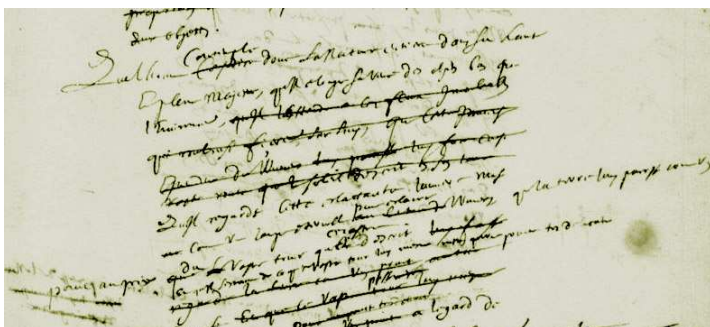
Que l'homme étant revenu à soi considère ce qu'il est au prix de ce qui est, qu'il se regarde comme égaré dans ce canton détourné de la nature, et que de ce petit cachot où il se trouve logé, j'entends l'univers, il apprenne à estimer la terre, les royaumes, les villes et soi-même, son juste prix.

Qu'est-ce qu'un homme, dans l'infini ?

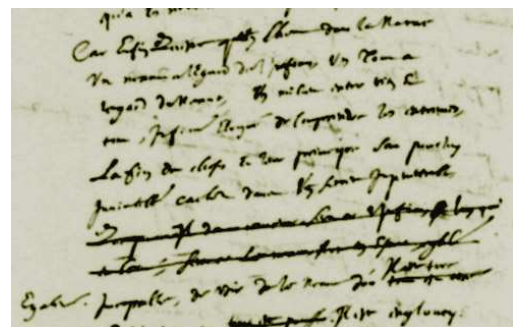
Mais pour lui présenter un autre prodige aussi étonnant, qu'il recherche dans ce qu'il connaît les choses les plus délicates, qu'un ciron lui offre dans la petitesse de son corps des parties incomparablement plus petites, des jambes avec des jointures, des veines dans ses jambes, du sang dans ses veines, des humeurs dans ce sang, des gouttes dans ces humeurs, des vapeurs dans ces gouttes, que divisant encore ces dernières choses, il épuise ses forces en ces conceptions, et que le dernier objet où il peut arriver soit maintenant celui de notre discours. Il pensera peut-être que c'est là l'extrême petitesse de la nature.

Je veux lui faire voir là-dedans un abîme nouveau. Je lui veux peindre non seulement l'univers visible, mais l'immensité qu'on peut concevoir de la nature dans l'enceinte de ce raccourci d'atome. Qu'il y voie une infinité d'univers, dont chacun a son firmament, ses planètes, sa terre, en la même proportion que le monde visible ; dans cette terre, des animaux, et enfin des cirons, dans lesquels il retrouvera ce que les premiers ont donné ; et trouvant encore dans les autres la même chose sans fin et sans repos, qu'il se perde dans ces merveilles aussi étonnantes dans leur petitesse, que les autres par leur étendue ! Car qui n'admira que notre corps, qui tantôt n'était pas perceptible dans l'univers imperceptible lui-même dans le sein du tout, soit à présent un colosse, un monde ou plutôt un tout à l'égard du néant où l'on ne peut arriver ?

Qui se considérera de la sorte s'effraiera de soi-même et se considérant soutenu dans la masse que la nature lui a donnée entre ces deux abîmes de l'infini et du néant, il tremblera dans la vue de ces merveilles ; et je crois que sa curiosité se changeant en admiration, il sera plus disposé à les contempler en silence qu'à les rechercher avec présomption. Car enfin qu'est-ce que l'homme dans la nature ? Un néant à l'égard de l'infini, un tout à l'égard du néant, un milieu entre rien et tout, infiniment éloigné de comprendre les extrêmes; la fin des choses et leur principe sont pour lui invinciblement cachés dans un secret impénétrable.



Début du texte manuscrit de Pascal (Que l'homme...)



et fin du texte (Car enfin ...)

(source Gallica. Bibliothèque nationale de France, département des manuscrits)

AVEC NOS ÉLÈVES

Voyages dans le cosmos

Danielle Martinigol et Daniel Benest

Danielle Martinigol, professeur de lettres aujourd'hui en retraite et auteure de romans de science-fiction a travaillé autour de la SF avec Daniel Benest, astronome chercheur au CNRS et maintenant lui aussi retraité mais toujours vulgarisateur en astronomie (et aussi collaborateur bénévole à l'Observatoire de Nice). Ils nous livrent ici chacun leur tour leurs réflexions et leur témoignage sur le sujet.

La science-fiction : initiation et présentation de travaux possibles avec des élèves

Voyons quelques réflexions rapides pour présenter un genre littéraire souvent mal connu. Le mot science-fiction a toujours eu mauvaise presse. Ce genre littéraire, hélas essentiellement cinématographique pour le grand public, possède pourtant un nom noble. Dans les universités, on appelle la SF, la littérature conjecturale.

Elle s'appelait autrefois scientifiction puis anticipation puis vinrent la spéculative fiction et plus récemment l'heroic-fantasy, le cyber punk, le steam punk, la science fantasy et la fantasy. On voit apparaître maintenant des sous-genres fantasy urbaine, dark fantasy... Bref, la liste est longue. Voilà bien des vocables pour une littérature qui n'a finalement qu'une différence essentielle avec la Littérature avec un grand L. : la science fiction s'autonorme.

Cela signifie que la science-fiction est un genre qui a des codes si particuliers qu'il faut les connaître pour entrer dans les livres sans être trop déconcerté. La science-fiction demande l'adhésion du lecteur. Nul auteur généraliste ne penserait à demander au lecteur son accord pour lui raconter une histoire se déroulant de nos jours, dans des décors connus et avec des personnages semblables à vous et moi. L'écrivain de romans contemporains se lance sans prendre de précaution à l'égard de son lecteur.

L'écrivain de science-fiction, lui, doit obtenir l'accord tacite de son lecteur avant même la fin du premier chapitre. Il va l'emmener sur de lointaines planètes, lui faire vivre un futur étrange, lui faire rencontrer des personnages extraterrestres ou hors normes... Pour que la relation auteur/lecteur fonctionne, il faut obtenir la suspension volontaire de l'incrédulité. Il faut que s'établisse sans restriction le pacte de lecture.

Je m'explique. Lorsque vous entrez dans un théâtre, vous savez, en vous asseyant dans votre beau

fauteuil de velours rouge, que vous allez voir sur scène des acteurs interpréter le rôle de personnages. Ce n'est pas vraiment Roméo ni Juliette qui sont là. Ce sont des personnes qui leur donnent de la chair. Vous suspendez volontairement votre incrédulité, ceci afin de jouir pleinement du spectacle en admettant, le temps du spectacle, que vous avez bel et bien Roméo et Juliette devant les yeux.

Lorsque vous ouvrez un livre de science-fiction, la suspension volontaire de l'incrédulité est primordiale (certes, tout roman vous la demande... ce n'est pas la vie de vraies personnes que vous lisez, vous savez que ce sont des personnages, mais vous acceptez de jouer le jeu et de croire que les personnages existent pour de bon le temps de votre lecture, tout au moins).

Si vous refusez d'admettre tant soit peu qu'il puisse y avoir d'autres mondes, qu'ils peuvent avoir des habitants et qu'on peut aller le rendre visite en vaisseaux spatiaux, vous n'aimerez jamais la science-fiction. Si vous aimez la science-fiction, c'est que vous acceptez que l'auteur vous fasse découvrir autre chose que le connu référencé sous le vocable : notre bonne vieille Terre !

Si vous acceptez de suspendre votre incrédulité pour partir de gaieté de cœur là où vous entraînent les auteurs de SF, vous avez de grandes chances de devenir un fan le pacte de lecture fonctionnant alors à plein. Forts de cet accord du lecteur, où nous emmènent les écrivains de SF ?

Le thème souverain de la SF est le voyage dans l'espace. Les destinations que nous proposent les auteurs sont multiples.

Tout d'abord, la Terre... Tout est exploré allez-vous me dire. Que nenni ! Et les hypothèses de la Terre Creuse, et le fond des mers, et l'infiniment petit... Voyage au centre de la Terre, Abyss, Les fourmis... Ensuite la proche banlieue : la Lune bien sûr. 2001, l'odyssée de l'espace vous permettra d'y trouver un monolithe noir qui va nous emmener vers la troisième étape : le système solaire. Sur la plus haute marche du podium : Mars. Cette brave planète rouge nous a valu des hectolitres d'encre coulant à

flots dans de prétendus canaux ! Encore aujourd'hui le vocable évident pour désigner un extraterrestre reste le Martien.

Sortons du système solaire : voici la Galaxie. Belle voie lactée si grande avec ses cent mille années-lumière qu'il fallait impérativement inventer un moyen de la sillonner dans tous les sens. Ainsi naquit l'hyper-espace.

« Qu'est-ce que c'est ? » demandent souvent les élèves. Je réponds que c'est un abracadabra farfelu dans l'état actuel des connaissances scientifiques, que c'est une notion est purement science fictive.

Ce qui n'empêche pas une démonstration. Prenez une feuille de papier, pliez la pour faire se superposer deux des coins de la feuille et concluez : passer par l'hyper-espace : c'est ça ! C'est replier l'espace pour se déplacer d'un point à l'autre instantanément. Tout le monde suit ? Mais Madame, ça n'existe pas ? Qui a dit que ça existait ? Dans science-fiction il y a fiction. Ne jamais oublier cette vérité première qui évite de sombrer dans le délire d'achats d'abris souterrains pour d'hypothétiques fins du monde. Abris que l'on retrouve à vendre d'occasion sur des sites qui en vantaient les mérites peu de temps auparavant. CQFD Les élèves comprennent toujours le concret et le vécu. Paradoxal pour aborder un genre qui occupe une place d'honneur dans ce qu'on appelle désormais les littératures de l'imaginaire ou encore transfiction.

Mais si nous revenions à la Galaxie ? Elle se décompose en trois grandes régions.

Le cœur où palpitent des étoiles plus proches les unes des autres que des humains dans le métro. (Voir à ce propos le métro galactique imaginé par Daniel Benest à partir de mes romans).

Les bras spiraux, qui réunissent en d'immenses courbes les soleils sur tout le tour du disque.

Les grands extérieurs qui sont à Paris ce que sont les lointaines banlieues avec leurs terminus de RER. Sortir de la Galaxie demande un peu d'audace, mais qu'à cela ne tienne, pas mal d'auteurs s'y frottent. J'ai moi-même tenté la chose dans ma trilogie d'Autremer. Mais aller très loin dans l'univers, c'est prendre un double risque.

Tout d'abord celui de tomber dans des trous noirs, des trous de vers, des vortex, des conjonctions de branes, des dimensions alternatives etc. autant d'horizons des événements prêts soit à nous dévorer tout cru soit à nous ouvrir les portes de possibles infinis.

Le second risque est de rencontrer... quelqu'un !

La question récurrente posée à l'astronome en conférence tout comme à l'écrivain de SF en animation est toujours la même : sommes-nous

seuls dans l'Univers ? Ce qui permet d'aborder un second thème majeur de la SF : celui de l'extraterrestre. Revoilà nos petits hommes verts. La Guerre des Mondes a de l'avenir. L'être humain a toujours eu peur que quelqu'un ne vienne prendre sa place. C'est normal, c'est humain. Et ce n'est pas la pléthore de films montrant des extraterrestres débarquant sur la Terre pour nous anéantir qui va encourager les jeunes à la tolérance envers l'étranger ou l'amitié entre les peuples. Cette catégorie de blockbusters est anxiogène. Mais il ne sert à rien de tenter de détourner l'attention des jeunes en refusant d'en parler. Au contraire. Démontrons l'absurdité de certains scénarios comme celui du film où les E.T. sont allergiques à l'eau. Mauvaise pioche que de venir chez nous. Deux films très anciens ont fait la joie de mes élèves pendant des années : Star man et Enemy mine. J'ai terminé ma carrière d'enseignante l'année de sortie d'Avatar. Signe du destin ? Depuis où que j'aie rencontré mes lecteurs, tous ont vu le film lequel permet d'aborder le troisième thème, celui du double (ou des doubles).

Dans le thème du double (ou *des* doubles). La science-fiction offre une brochette de doubles assez intéressants : le robot, le cyborg, l'androïde, le clone, le mutant et les êtres virtuels. J'ai personnellement apporté récemment ma contribution en ajoutant à la liste des nanêtres, êtres nanotechnologiques, modulables à souhait. Un régal pour un écrivain.

À tout seigneur, tout honneur, pour terminer évoquons les robots.

Un robot est une machine. On le fabrique. On ne peut pas le tuer. Même s'il a une apparence totalement humaine (voir Intelligence Artificielle, le film de Spielberg) tout au plus, peut-on le casser et le jeter au premier dépôt d'ordures robotiques. Plusieurs robots ont marqué ma vie. Le premier fut sans doute celui du film : Le jour où la Terre s'arrêta, dans les années 50. Certains fans resteront toujours inconditionnels de Robbie, le robot du film Planète interdite. J'adore aussi, comme tout le monde, le grand robot doré C6PO et R2D2 de Star Wars et j'avoue, sans fausse honte que le robot Einstein, personnage essentiel du roman Les Mange-forêts que j'ai écrit sous le pseudonyme de Kim Aldany avec Alain Grousset, a été fortement inspiré par celui de C3PO (son nom en VO).

Un robot peut donner l'illusion d'être humain, mais il ne le sera jamais. Les répliquants de Blade Runner posent le problème de la condition humaine face à la conquête spatiale et à l'exploitation de planètes extraterrestres. Si l'homme ne peut pas le faire, ses créations pourraient le faire. Mais qu'en est-il d'une

création plus perfectionnée que son créateur ? Débat philosophique passionnant à aborder, même avec des élèves très jeunes.

Le père des robots en science-fiction fut Isaac Asimov. Ce grand scientifique américain a imaginé trois lois devenues célèbres. Les lois de la robotique mettent des verrous indispensables à d'éventuelles dérives des comportements des robots envers les humains.

1/ Un robot ne peut porter atteinte à un être humain, ni, restant passif, permettre qu'un être humain soit exposé au danger.

2/ Un robot doit obéir aux ordres que lui donne 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.

Asimov fait dire à un de ses personnages qu'un humain qui respecterait ces lois serait « un homme très bon ».

Anecdote : à la première de 2001 l'odyssée de l'espace, Asimov est sorti furieux de la salle en voyant l'ordinateur Hal tuer les astronautes qu'il avait à sa charge. "Ils ne respectent même pas les lois de la robotique !" s'est-il écrié.

Ils ? Stanley Kubrick et l'auteur du roman : Arthur C. Clarke. Pas n'importe qui. 2001 l'odyssée de l'espace est le seul film de science-fiction au succès mondial où les vaisseaux spatiaux ne font pas de bruit dans le vide interplanétaire. Rien que pour cela, ça vaut le coup de le revoir !

Témoignage à propos d'un atelier d'écriture

Destination le futur à Mâcon. J'y ai rencontré des classes de cinquième et quatrième qui avaient déjà longuement travaillé sur mes mondes, lesquels ne sont en fait que des avatars du nôtre et de son avenir menacé...

Après de fructueux échanges, les jeunes se sont attelés à la tâche toute nouvelle pour eux de l'écriture... Tout était passionnant, mais confus, mal construit, sans enchaînement dans les différentes parties... Bref. J'ai pris mon sabre laser et j'ai tranché dans le vif. Les paragraphes giclaient à la poubelle, les phrases trop longues mouraient sous mes gestes rageurs, les caractéristiques des personnages explosaient sous mon ironique décapage... Une heure plus tard, les planètes avaient des noms, les personnages des prénoms, des sentiments et des buts dans leurs vies de papier, et les élèves, eux, avaient... du pain sur leur planche galactique !

J'apprécie cette collaboration avec ces auteurs en herbe. Je pense que le travail est fécond malgré la première réaction coléreuse : *Mais elle démonte tout ce qu'on fait !* Chacun comprend que rien ne vaut un bon écrémage pour qu'un texte devienne digeste et palpitant. Le fait de montrer mes manuscrits raturés par l'éditeur remet les pendules à l'heure. Un auteur corrige ? Pourquoi pas moi, se dit l'élève. « Bonne route vers le futur à vous et à vos héros. » Sur ces mots je quitte les classes concernées par le projet. Mais il reste de nombreuses étapes. Le futur ne manque jamais de surprendre. Les enfants se pressent autour de moi pour une dédicace sur les livres qu'ils ont lus.

« Madame, on ne vous oubliera pas. Madame, on a aimé vos livres. Madame, vous nous avez fait rire. Madame, merci de nous avoir aidés à construire nos histoires, Madame, continuez à écrire des livres pour nous faire rêver... »

Le nombre de gentils et touchants témoignages qui me parviennent après des rencontres ou des ateliers par mël est impressionnant. Ces expériences de rencontres auteur-lecteurs ou d'ateliers d'écriture me dopent pour poursuivre mon travail d'écrivain pour la jeunesse. Et lorsque la conversation s'oriente sur l'espace, les étoiles, les planètes et le vaste univers autour de nous, j'adore voir briller les yeux de mon auditoire en évoquant mes connaissances modestes acquises au contact de mon ami Daniel depuis plus de vingt ans que nous nous connaissons. Depuis ce soir inoubliable où il me montra Albireo au télescope. J'étais en train d'écrire *Les oubliés de Vulcain*. J'ai situé ma planète poubelle dans le sillage de cette belle étoile double. Ce roman reste à ce jour mon best-seller. La collaboration écrivain-astronome lui a porté chance. Comme à tous les autres où Daniel a corrigé mes erreurs. Merci à lui, et merci à mes lecteurs.

Danielle Martinigol ■

Bibliographie de D. Martinigol (www.martinigol.fr)

L'or bleu, Livre de poche Jeunesse Hachette.

Les oubliés de Vulcain, Livre de poche Jeunesse Hachette.

C.H.A.R.L.Ex, coll. Soon, Syros (suite des oubliés de V.)

Cantoria, collection Le Maedre, L'Atalante.

Anthologie Jules Verne 15 voyages extraordinaires, Flammarion

Et avec Alain Grousset :

L'enfant-mémoire, Livre de poche Jeunesse Hachette.

Les Mange-forêts (pseudo Kim Aldany) Nathan poche.

Le témoignage de Daniel Benest

Lors d'animations dans des écoles, collèges et lycées, il m'arrive de raconter comment les astronomes ont acquis et précisé leurs connaissances des mouvements des astres et de leur nature, de la préhistoire à nos jours. J'y ajoute parfois en parallèle, quelques digressions sur l'évolution des idées en matière de voyages vers les cieux et les autres mondes, un des grands thèmes de la science-fiction ; bien sûr, les voyages imaginaires vers la Lune font partie des « futurs antérieurs » depuis Apollo 11, mais tous les espaces et les mondes supralunaires (même l'idée d'une occupation permanente de notre satellite) restent à la SF, sans compter les infinis des univers parallèles, uchronies comprises.

J'en donne ici quelques exemples.

Je commence par ouvrir un parapluie, le « parapluie des étoiles », dont l'intérieur montre la carte du ciel autour du Pôle Nord céleste et le manche constitue l'axe du Monde ; en quelque sorte un mini-planétarium. Cet outil permet de montrer la rotation apparente de la voûte céleste, où les étoiles sont fixes les unes par rapport aux autres et sont groupées par les astronomes en constellations. Le spot d'un pointeur laser y figure le déplacement des 7 astres « errants » parmi les étoiles : la Lune, le Soleil et les 5 astres d'apparence stellaire visibles à l'œil nu que les Grecs appelèrent planètes (Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne).

Il est très facile de constater soir après soir le déplacement de la Lune parmi les étoiles, ainsi que ses phases, ce qui se reproduit pour l'un tous les 27,3 jours (révolution sidérale) et pour les autres tous les 29 jours et demi (révolution synodique ou lunaison) ; nos ancêtres du Paléolithique le savaient sans doute déjà.

En observant selon la saison quelles sont les dernières étoiles visibles avant l'aube, plus précisément quelle étoile se lève juste avant le Soleil – le « lever héliaque » de cette étoile (le lever héliaque de Sirius, annonçant la crue du Nil, était bien connu des anciens Égyptiens), le déplacement du Soleil par rapport aux étoiles au cours de l'année peut être mis en évidence.

Quant aux planètes, plus difficile à distinguer des étoiles parmi lesquelles elles errent, les plus anciens documents astronomiques les citant montrent des tableaux de positions en fonction du temps et en déduisent des régularités : « elles sont passées par ici, elles repasseront par là » ; par exemple les planètes de Jupiter et de Saturne (comme les

appelaient les anciens) reviennent chacune dans la même constellation après un périple de respectivement une douzaine et une trentaine d'années.

C'est d'ailleurs à cette époque que l'on peut trouver les premières mentions (à notre connaissance) de voyages vers les cieux ; les mythologies babylonienne et biblique en citent en effet la tentative humaine de la Tour de Babel et les allers-retours sol-ciel d'extra-terrestres – nommés « anges » – sur l'Échelle de Jacob.

Du gratte-ciel à l'ascenseur spatial

« Ils dirent encore : Allons ! bâtissons-nous une ville et une tour dont le sommet touche au ciel... ».
(la Bible, Genèse 11:4)

« Il eut un songe. Et voici, une échelle était appuyée sur la terre, et son sommet touchait au ciel. Et voici, les anges de Dieu montaient et descendaient par cette échelle ». (Genèse 28:12)

Puis les Grecs, à partir du 7^e siècle av. J.-C. sortent les 7 « planètes » de la voûte céleste et les font tourner dans l'espace autour de la Terre sur des orbites circulaires – ou sur des combinaisons de cercles – parcourues à vitesses constantes. Aristote démontre dans son « Traité du Ciel » (v. -350) que la Terre est une boule ; un siècle après, Ératosthène en mesure la circonférence.

Aristarque de Samos mesure la taille de la Lune puis en déduit sa distance avec une bonne précision pour l'époque ; un globe terrestre et un globe lunaire presque 3,5 fois plus petit placé à 30 fois le diamètre de la Terre donnent une bonne idée des rapports taille-distance.

Il calcule ensuite la distance de la Terre au Soleil puis en déduit sa taille ; cependant, ses résultats sont largement sous-estimés (3 fois celle de la Terre au lieu de 100 fois), dus à la précision insuffisante de l'époque – environ 10' (ou arcminutes) – sur la mesure des angles entre les directions des astres ; ce qu'un de ces vieux grand compas en bois pour dessiner des cercles à la craie sur un tableau noir permet de simuler. Archimède, jeune contemporain d'Aristarque, nous dit que ce dernier en a déduit que le petit (la Terre) tourne autour du gros (le Soleil) ! D'autres écrits antiques nous indiquent qu'Aristarque en a été accusé d'impiété et s'est enfui.

Par ailleurs, Hipparque range les étoiles en 6 « grandeurs », ou classes de luminosité, que l'on peut visualiser en allumant plusieurs ampoules de différentes puissances.

Enfin, Ptolémée, dernier grand astronome de l'Antiquité (2^e siècle ap. J.-C.), fait la synthèse des connaissances astronomiques dans un livre baptisé plus tard « l'Almageste » par les astronomes arabes. Mais les distances des 5 planètes restent inconnues, d'une part à cause de la précision insuffisante pour pouvoir les mesurer directement par les parallaxes, d'autre part car le modèle géocentrique ne fournit aucune méthode théorique permettant de les calculer.

Parallèlement, c'est à cette époque que paraît un des premiers livres de S.F. libre de dieux, demi-dieux, quarts de dieux, etc. car les extra-terrestres qui y interviennent (luniens en guerre contre les solaires, et leurs alliés respectifs) sont de simples mortels et le mode de voyage Terre-Lune est un tourbillon qui emporte le bateau du narrateur jusqu'à notre satellite, moyen certes quelque peu fantaisiste vu à l'aune de notre modernité mais néanmoins « rationnel » (i.e. rien de magique) : il s'agit de « Histoire véritable » par Lucien de Samosate (125-192).

Lucien, premier en SF

« Première partie [...] notre vaisseau fut enlevé par un tourbillon [...] et commença à voguer par le ciel [...] tant que nous abordâmes au huitième [jour] en une grande île ronde et luisante qui était suspendue en l'air [...] la lune [...] la guerre qu'il avait contre les habitants du soleil [...]. Pour les alliés, il y avait trente mille psyllotoxotes de l'étoile de l'ours [...]. On attendait soixante et dix mille strutobalanes et cinquante mille hippogéranes, des astres qui sont au-dessus de la Cappadoce [...]. Pour l'armée du soleil [...]. A côté, étaient cinq mille cynobalanes qu'avaient envoyés les habitants de la Canicule [...]. On attendait des frondeurs de la voie de lait, mais il n'y vint que des néphélocentaures [...] conduits par le sagittaire du zodiaque [...] ». (Lucien, *Histoire véritable*, trad. Perrot d'Ablancourt - 1654, Actes Sud série Les Belles Infidèles, 1988, pp. 36-43).

Sautons plus d'un millénaire jusqu'à la première partie du 16^e siècle où Copernic reprend l'héliocentrisme d'Aristarque mais, la précision ne s'étant guère améliorée depuis ce dernier, les parallaxes annuelles des étoiles restent inobservables.

La situation commence à se débloquer après 1570 lorsque l'astronome danois Tycho Brahe construit de bien meilleurs instruments qui lui permettent de décupler la précision, jusqu'à 1 arcmin ; la parallaxe annuelle des étoiles reste néanmoins inobservable.

Toutefois ce gain amène Kepler (1571-1630), favorable au modèle copernicien, à découvrir que les planètes ne circulent pas sur des cercles autour

du Soleil mais sur des ellipses et que leur vitesse est variable (*Astronomia Nova* - 1609, trad. Jean Peyroux, Librairie Blanchard, 1979).

C'est d'ailleurs Kepler qui rêve qu'il lit un livre dont le héros voyage vers la Lune grâce à des Luniens disposant d'une biotechnologie plus évoluée (sans préciser, mais cependant quelque peu mêlée de fantaisies) leur permettant de parcourir l'espace interplanétaire vide et froid sans en pâtir ; il semble qu'il soit le premier à s'inquiéter de ces propriétés spatiales.

Le Songe de Kepler

« De nouvelles difficultés se présentent alors : le froid intense et l'impossibilité de respirer. Nous remédions au premier en utilisant un pouvoir inné en nous, à la seconde en passant des éponges humides sous ses narines ». (Kepler, *Le songe, ou Astronomie Lunaire* - 1634, trad. Michèle Ducos, Presses Universitaires de Nancy, 1984, p. 33.

La suite de l'histoire est plus connue. La lunette de Galilée et le télescope de Newton – ainsi que la loi de gravitation de ce dernier – qui voient augmenter progressivement la précision des observations : de 10" (ou arcsecondes) vers 1700 à 1" vers 1800, ce qui permet d'enfin mesurer la première parallaxe d'une étoile en 1838.

J'en profite alors pour montrer une maquette du Système Solaire au 150 milliardième, où le Soleil est une petite ampoule de lampe de poche de 1 cm de diamètre, notre Terre une pointe d'épingle de 0,1 mm à 1 m du Soleil, Jupiter et Saturne des têtes d'épingle colorées de 1 mm à respectivement 5,2 et 9,5 m, de même qu'Uranus (découvert par W. Herschel en 1772) et Neptune (découvert par Le Verrier, Galle et Adams en 1846) à 20 et 30 m ; à cette échelle, la plus proche étoile (une autre petite ampoule de lampe de poche de 1 cm de diamètre) est à ... 250 km !

Les voyages vers la Lune continuent, par exemple ceux de Cyrano de Bergerac (*Histoire comique des États et Empires de la Lune et du Soleil*, 1650, Éditions Galic, 1962) par des moyens plus ou moins fantaisistes popularisés en 1897 par Edmond Rostand dans sa célèbre pièce. Il sera suivi deux siècles plus tard par Edgar Poe qui envoie en 1835 son héros Hans Pfaall vers notre satellite en ballon mais avec cabine pressurisée (*Aventure sans pareille d'un certain Hans Pfaall*, la 5^e des *Histoires Extraordinaires*).

Venu de plus loin, de Sirius, le *Micromégas* (1752) de Voltaire se déplace en jouant de la gravitation

des astres rencontrés. Cent ans après, Defontenay (1819-1856) nous fait part – via une météorite – de l'existence d'une civilisation évoluée qui règne sur un cortège de planètes orbitant autour d'une étoile multiple (découverte des étoiles doubles par W. Herschel vers 1800) située à 200 années-lumière, et utilisant des astronefs "antigrav" – dont l'idée sera reprise un demi-siècle plus tard par H.G. Wells dans Les premiers hommes dans la Lune (Charlemagne-Ischir Defontenay, Star ou Psi de Cassiopée - 1854, Denoël – coll. Présence du Futur n° 145, 1972). Et après ? Après, c'est la découverte de la spectroscopie vers 1855 et le développement de

l'astrophysique, c'est la Relativité Restreinte et la limite maximale absolue qu'est la vitesse de la lumière, c'est la découverte des galaxies et de l'expansion de l'Univers, etc. Mais ceci, comme dit Kipling, « est une autre histoire ».

C'est aussi Jules Verne et H.G. Wells, et toute la S.F. du 20^e siècle – dont l'invention de l'hyperespace pour pouvoir dépasser de fait la vitesse de la lumière et parcourir les galaxies jusqu'à l'infini et au-delà – et du début du 21^e. Mais cela, mon amie Danielle Martinigol le raconte dans son exposé. **Daniel Benest**

Carte de la galaxie avec les positions des planètes citées dans les romans de Danielle Martinigol

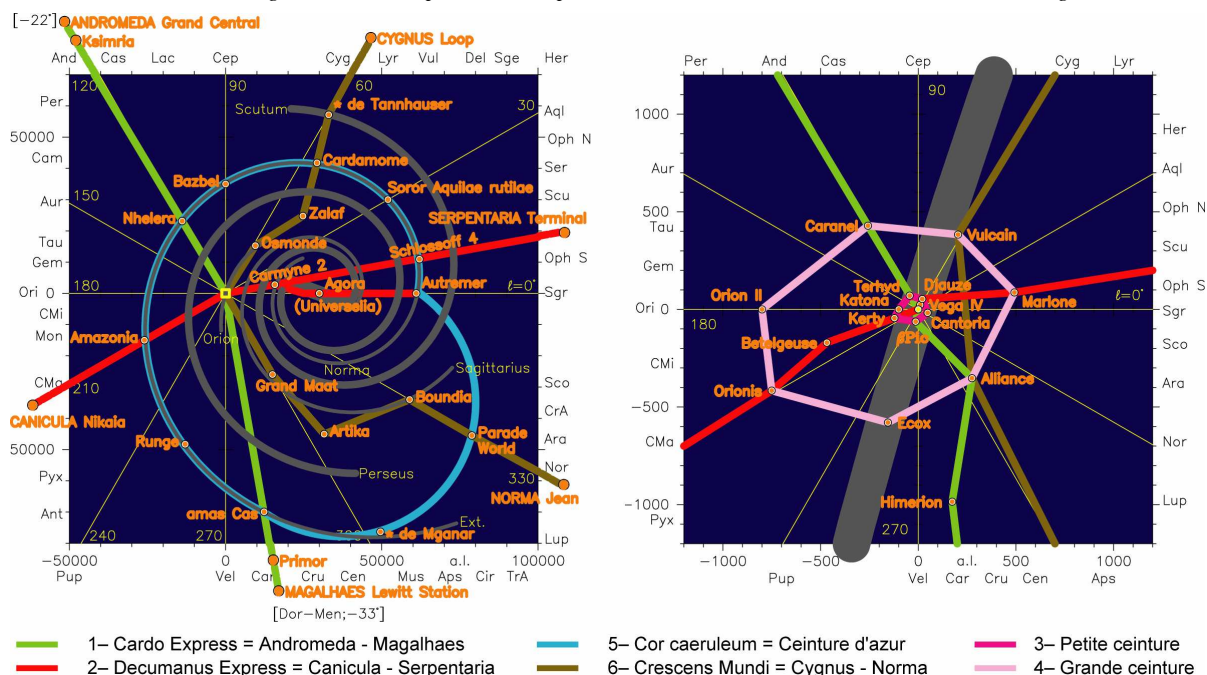


Fig.1. Le métro galactique de Danielle Martinigol, joignant la plupart des planètes (visitées ou citées) nommées dans ses livres, plus une à laquelle Danielle n'avait pas donnée de nom ; j'y ai pourvu et j'ai ajouté les têtes de lignes avec des noms de mon cru. S'y superpose en grisé un schéma de la structure connue de notre Galaxie : la barre centrale et les 4 principaux bras spiraux avec leurs noms, auxquels s'ajoute un morceau de bras appelé « éperon d'Orion » où se situent notre Soleil et notre Terre. Autour du cadre, centré sur la Terre (d'où rayonnent les directions des longitudes galactiques de 30° en 30°) et gradué en années-lumière, sont indiqués les noms abrégés des constellations dans lesquelles on observe – ne serait-ce qu'en partie – la Voie Lactée ; l'abréviation en 3 lettres de leur nom latin fut officialisé définitivement par l'UAI vers 1925 ; quelques exemples : CMa pour Canis Majoris (le Grand Chien), Nor pour Norma (la Règle) ou encore Oph pour Ophiucus, dit aussi le Serpente. J'y ai ajouté les latitudes galactiques de la galaxie d'Andromède M31 (en haut à gauche) et du Grand Nuage de Magellan (en bas), ainsi que les constellations où l'on peut observer le GNM.

Fig.2. Agrandissement du carré doré au centre de la figure 1. En grisé l'éperon d'Orion. Le disque doré au centre symbolise notre Soleil. On retrouve autour du cadre quelques-unes des constellations de la Voie Lactée. ■

Tracé des constellations CLEA

Si vous observez les cartes du ciel de l'été pages 33 et 34, vous verrez que les dessins des constellations ont changé. Une constellation est une région bien définie du ciel depuis 1930 mais il n'y a pas de tracé officiel des lignes joignant les étoiles. Chacun peut faire les dessins qu'il veut. Les membres du CLEA ont des habitudes différentes en fonction des cartes utilisées ou des personnes qui les ont initiés à l'observation du ciel. Les tracés des pages 33 et 34 sont le résultat de discussions et de négociations entre plusieurs membres du CLEA. Nous avons essayé de choisir des dessins clairs et reconnaissables tout en respectant l'histoire lorsque cela paraissait possible.

LE COIN DES PETITS CURIEUX

De la vie sur Kepler 186f ?

ÉMILIE – Alors, tu as regardé la vidéo comparant la taille des étoiles ?

ALEXIS – Oui, je suis allé sur le site. Jamais j’aurais imaginé que les étoiles pouvaient être si grosses. La maîtresse nous l’a montré en classe.

ÉMILIE – Ça c’est bien que la maîtresse vous montre cette vidéo.

ALEXIS – Tu sais j’aimerais bien que tu me parles de la nouvelle exoplanète qui a été découverte, comme cela je pourrais le raconter aux autres élèves.

ÉMILIE – Sais-tu comment elle s’appelle ?

ALEXIS – Non, mais tu vas me le dire.

ÉMILIE – Kepler 186f. Elle porte ce nom car elle a été découverte grâce au télescope Kepler, autour de l’étoile 186 qui est une naine de la constellation du Cygne. La masse de cette étoile est la moitié de celle du Soleil.

ALEXIS – Ce télescope va pouvoir en découvrir d’autres ?

ÉMILIE – Non car il est tombé en panne l’an dernier, mais on étudie encore les données qu’il a recueillies.

ALEXIS – Et pourquoi la lettre **f** dans le nom ?

ÉMILIE – Cela signifie que c’est la cinquième planète découverte autour de l’étoile 186. On réserve la lettre **a** à l’étoile.

ALEXIS – Est-ce que les quatre autres planètes ressemblent à la Terre ?

ÉMILIE – Oui, mais elles sont très proches de l’étoile, tandis que Kepler 186f est assez éloignée pour que l’eau puisse exister à l’état liquide.

ALEXIS – Qu’est-ce que cela peut faire qu’il y ait de l’eau liquide ?

ÉMILIE – Sur Terre on pense que la vie est apparue dans les océans et donc on cherche dans l’univers des endroits où l’eau liquide peut exister.

ALEXIS – Est-ce qu’il y a de la vie sur cette planète ?

ÉMILIE – Écoute, je vais te dire un secret, mais promets moi de ne pas en parler à tes copains.

ALEXIS – Si c’est un secret, OK.

ÉMILIE – Tu sais que je suis en contact avec des gens très sérieux qui font partie d’un organisme appelé CLEA.

ALEXIS – Ils s’intéressent aux exoplanètes ?

ÉMILIE – Pas seulement, ce sont des passionnés d’astrophysique et certains sont en contact avec beaucoup d’autres chercheurs dans le monde.

ALEXIS – C’est quoi le secret ?

ÉMILIE – Il paraît que des sondes ont enregistré des informations provenant de Kepler 186f.

ALEXIS – Des extraterrestres ont parlé ?

ÉMILIE – Non, ce sont des enregistrements numériques, il y a des écrits et des images.

ALEXIS – Ouah ! Qu’est-ce que l’on voit ?

ÉMILIE – La planète ressemble beaucoup à la Terre. Tu sais que les deux tiers de la surface de la Terre sont couverts par les océans. Sur l’exoplanète, c’est l’inverse. Il y a surtout des terres et de nombreux lacs, parfois très grands.

ALEXIS – Est-ce qu’il y a des animaux ? Des dinosaures ?

ÉMILIE – Je ne sais pas, on voit surtout de grandes herbes qui sont d’un vert très foncé et la lumière est chaude, comme au moment du coucher du Soleil sur Terre.

ALEXIS – En dehors des plantes, il n’y a rien d’autre qui vit ?

ÉMILIE – Si, il y a des habitants, ils sont plus petits que nous et ils se ressemblent tous. Ils marchent comme nous sur deux jambes et se déplacent parfois en volant dans des engins qui ont des formes d’œufs.

ALEXIS – Et leurs maisons comment sont-elles ?

ÉMILIE – Il n’y en a pas sur les nombreuses images. Ils vivent peut-être dans le sol.

ALEXIS – Pourquoi tu dis cela ?

ÉMILIE – À certains endroits on voit du blanc, c’est peut-être de la neige. J’ai l’impression qu’il doit faire froid là-bas.

ALEXIS – On voit des enfants ?

ÉMILIE – Oui et les gens vivent très longtemps là-bas car le jour dure presque 24 h, mais l’année ne dure que 130 de nos jours.

ALEXIS – Ce doit être super !

ÉMILIE – Tu sais tout ce que je t’ai raconté de la vie sur Kepler 486f ...

ALEXIS – Oui, je sais c’est un secret.

ÉMILIE – Non, ce n’est pas cela le secret. En fait je viens de te raconter le rêve que j’ai fait cette nuit.

Jean Ripert ■

ARTICLE DE FOND

Le polissage d'un miroir

Manuela Rimbault

M2 Astronomie & Astrophysique Observatoire de Paris, Ingénieure Centrale Nantes

Voici une future astronome qui se lance dans l'aventure du polissage d'un miroir. Elle présente les aspects techniques des différentes étapes en donnant des conseils. Évidemment sa bible est « La construction d'un télescope d'amateur » de Jean Texereau, auteur, passionné d'astronomie qui nous a quitté cette année. L'apprentissage de la taille de miroirs s'effectue à l'Observatoire astronomique de la Sorbonne par la Commission des Instruments de la SAF (Société Astronomique de France).

Polir son miroir, voilà une idée ! Si l'expérience vous tente, prévoyez une centaine d'heures, de l'abrasif, des bras en bonne forme et surtout, une motivation à toute épreuve ; capable de faire face à un éventuel retour à la sphère, ou bien au sournis creux central... Les lignes qui suivent présentent les grandes étapes de la réalisation d'un miroir. Elles vous donneront peut-être envie de passer à l'action !

Pourquoi tailler son propre miroir ?

Les raisons sont multiples, citons par exemple le plaisir de fabriquer son télescope de A à Z, l'occasion de se confronter aux difficultés réelles rencontrées par les fabricants de l'époque pré-industrielle, la possibilité de réaliser un instrument sur mesure, avec des configurations aussi nombreuses que l'imagination le permet. Vous pourrez ainsi rester standard avec un Dobson ouvert à 6, un Strock, ouvert à 5, ou bien opter pour un système plus exotique, comme un Dall Kirkam.

Un miroir plus ouvert vous apportera plus de luminosité, vous permettra de raccourcir la focale et donc de pouvoir observer au zénith debout, offrira un bon équilibre via un centre de gravité proche du primaire. Mais, il sera plus difficile à paraboliser...

Passons donc aux différentes étapes de l'élaboration d'un miroir.

Tout d'abord, il vous faut acquérir un morceau de verre, disponible dans le commerce sous la forme de cylindres. Choisissez bien sûr un verre au faible taux de dilatation thermique, à savoir un borosilicate, Pyrex ou Zérodur, pour ne citer que deux marques.

L'ébauchage, le réunissage et le doucissage

La première étape, l'ébauchage a pour objet de commencer à creuser le miroir et à rabattre les bords de l'outil. On frotte le centre du miroir sur les

bords de l'outil de manière à ce que le disque-miroir se creuse au centre et le disque-outil voit ses bords se rabattre.

À chaque étape, on utilise un abrasif, du carborundum dans un premier temps, dont la taille diminuera au fur et à mesure que les irrégularités s'amenuiseront (dès cette étape, l'état de surface commence à s'améliorer). Le verre brut présente des irrégularités facilement observables à la loupe binoculaire, il est intéressant d'observer régulièrement l'évolution de la surface.



Miroir : outil phase d'ébauchage fait de plâtre et carreaux de céramique, abrasif : carborundum.

L'outil est un cylindre de plâtre (plâtre synthétique, qui ne craint pas l'eau), sur lequel on a collé des carreaux de céramique, en ménageant des interstices d'environ 5 mm.

Miroir dessus, outil dessous, saupoudrez le carborundum 80 (taille du grain) avec un peu d'eau. Nous voilà prêts à ébaucher. Comment ? En frottant l'outil sur le miroir avec des courses rectilignes, et en tournant régulièrement autour de ce dernier, tout en faisant pivoter l'outil. Le bruit généré à cette étape est assourdissant, on entend clairement le

moment où l'abrasif est usé, signe qu'il faut recharger. Tourner, frotter, tourner, frotter... Vous verrez apparaître un disque central, qui va progressivement s'étendre vers les bords (les bords, ce sont les pires !). En effet, la force s'applique principalement au centre, qui est donc creusé en premier. Lorsqu'on atteint le dernier anneau, on peut passer à la taille inférieure, du carbo 60. N'oubliez pas de jeter un œil à la binoculaire : observer l'évolution de la surface est très intéressant, et motivant. À ce niveau, les différences sont frappantes.

Naturellement, votre miroir prend la forme d'une calotte sphérique. Vous devez arrêter de creuser lorsque votre flèche est atteinte.

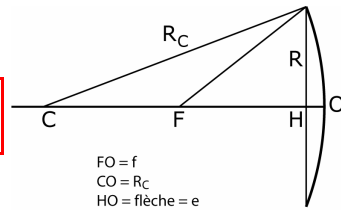
Calcul de la flèche

$$R_C^2 = R^2 + (R_C^2 - e)^2 \Leftrightarrow R^2 - 2R_C e + e^2 = 0$$

$$\Leftrightarrow R_C = \frac{R^2 + e^2}{2e} = \frac{1}{2} \left(e + \frac{R^2}{e} \right) \approx \frac{R^2}{2e} \text{ car } e \ll R$$

Or, $R_C = 2f$ donc

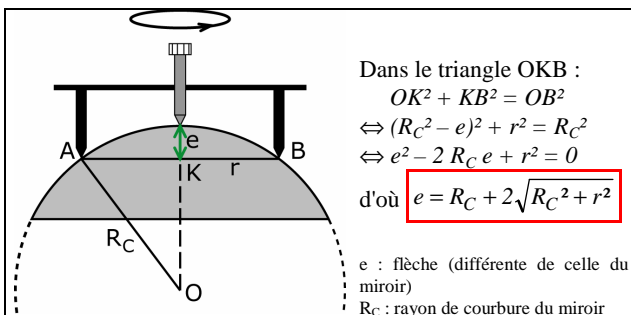
$$e \approx \frac{R^2}{2R_C} = \frac{D^2}{8R_C} = \frac{D^2}{16f}$$



Cette valeur est déterminée par votre choix de focale (cf encadré ci-dessus). Deux outils vous permettront de mesurer la flèche : le profondimètre, qui n'est rien d'autre qu'un pied à coulisse, et le sphéromètre. Vous êtes alors au carbo 120.

Sphéromètre

Permet de déterminer la flèche à partir d'une portion de sphère.



Pour plus de précision, la flèche est déterminée par moyenne des mesures sur le miroir et sur l'outil.

Tout en améliorant la surface au fil des grains de plus en plus petits, votre outil s'est adapté à votre miroir. Il est maintenant nécessaire de peaufiner cette complémentarité, sans pour autant continuer de creuser significativement pour ne pas modifier la flèche obtenue. C'est ce que permettent les grains de tailles inférieures, allant du 120 au 220. Votre outil

va épouser la forme sphérique du miroir jusqu'à en être parfaitement complémentaire : c'est le réunissage. Le réunissage consiste à ce que l'outil et le miroir voient leurs formes se rapprocher et se réunir. On obtient une sphère concave pour le miroir et une sphère convexe pour l'outil.

L'étape suivante sera le doucissage pendant lequel l'état de surface va encore s'améliorer.

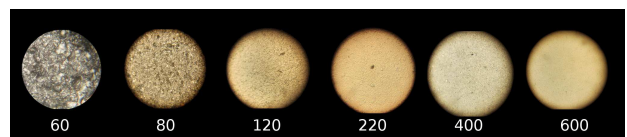
Comment savoir lorsqu'il est temps de changer de grain ? En observant la surface à la binoculaire. Si des structures de tailles correspondant au grain précédent sont encore visibles, il faut continuer jusqu'à les éliminer. Lorsqu'on n'observe plus de trous plus grands que les autres, on peut passer au grain suivant. Attention à ne pas brûler les étapes, ce ne serait qu'une perte de temps car plus on descend en taille, plus il est difficile d'estomper un gros défaut.

Durant tout ce travail, il faut être très vigilant à ne pas mélanger les grains. Un unique grain de taille supérieure vous trace inévitablement une belle rayure. Dans ce cas, pas le choix : retour au grain de taille correspondante pour la faire disparaître...

Plus nous avançons, plus les temps nécessaires à chaque étape sont courts. Nous arrivons au grain de taille 400, puis 600. On peut même finir par 5 minutes de grenat W16.

Vous en avez fini avec la phase de doucissage.

Il faudra prêter attention au chanfrein, qui ne doit jamais disparaître, sous peine de créer des éclats. Refaites-le dès qu'il commence à disparaître, grâce à une plaque incrustée de diamant. Placez-vous sous un robinet, et frotter à 45°, de l'intérieur vers l'extérieur.



Grains : évolution de l'état de surface du miroir lors de la phase d'ébauchage et doucissage.

Le polissage

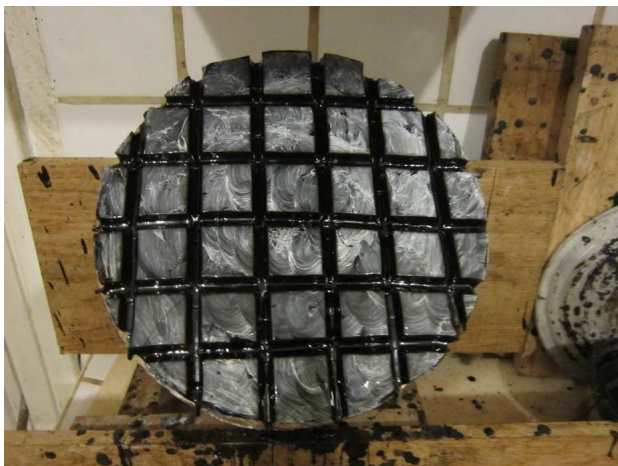
Une grande étape est effectuée. Passons aux choses sérieuses. Nous allons désormais côtoyer les nanomètres.

Avant toute chose, nous changeons de salle. Un grain étranger serait fatal, ou presque. Nous fabriquons également un nouvel outil, puisque les caractéristiques que nous en attendons sont différentes.

Un nouvel outil

Nous allons aborder la phase de polissage, dont le but est d'enlever le « gris ». Contrairement aux étapes précédentes qui ont permis de modifier la surface en donnant des « coups de pelle » dans la matière, et faisant ainsi disparaître des morceaux ; le polissage consiste en une érosion des points les plus hauts. Le but étant de supprimer les « pics » pour se ramener au plus près possible des « creux ». Le matériau adéquat est la poix, qui est suffisamment fluide pour se réunir au miroir, tout en étant suffisamment abrasive, une fois chargée de cérium, terre rare qui accompagnera maintenant notre travail.

Nous commençons donc par créer ce nouvel outil : cylindre de plâtre coulé sur le miroir pour en avoir la forme complémentaire, sur lequel on dépose (une fois qu'il a durci bien sûr), une couche d'un centimètre d'épaisseur de poix liquide (chauffée doucement pour ne pas faire évaporer les composés volatils). Lorsque cette couche est solidifiée, nous la quadrillons de sillons à l'aide d'un fer à souder aménagé. Voici nos carreaux formés.



Carreaux poix : outil phase de polissage, carreaux de poix, abrasif : cérium.

Nous sommes fin prêts pour le polissage. Enlever le gris est très long et nécessite un œil expérimenté pour le discerner. Nous pourrions mettre à profit un rayon de soleil se réfléchissant sur les bords du miroir pour le voir, puis, proches du but, l'appareil de Foucault sera nécessaire.

La parabolisation

Enfin ! Nous sommes contents d'arriver à cette étape cruciale de la finalisation. Mais ne croyez pas être tiré d'affaire ! Non, non. La parabolisation peut durer quelques heures comme elle peut vous occuper plusieurs semaines.

Actuellement, vous avez une belle sphère, de surface lissée. Plus question ici de modifier l'état de cette dernière. En revanche, c'est de la forme du miroir qu'il va falloir se charger. Afin que les rayons focalisent tous au même endroit, le miroir doit être parabolique. Or, la sphère génère ce que l'on nomme des défauts de sphéricité : suivant la provenance des rayons incidents et donc de leur point de réflexion sur le miroir, ceux-ci se réfléchiront plus ou moins en avant du point focal. C'est le joli phénomène que vous observez dans votre bol de thé, ou de café !

Si la sphère se forme naturellement, il n'en va pas de même de la parabole. Nous devons à Léon Foucault, un appareil optique fabuleux et astucieux : l'appareil de Foucault ou Foucault-mètre. Je ne m'étendrai pas ici sur le principe de fonctionnement qui fait intervenir quelques notions d'optique géométrique et de trigonométrie. Le lecteur intéressé pourra cependant se reporter au très bon livre de Jean Texereau *La construction du télescope d'amateur*.



Foucault : Le principe du Foucault-mètre est d'envoyer un fin faisceau de lumière depuis de centre de courbure et d'observer sa réflexion en coupant les rayons réfléchis grâce à un couteau.

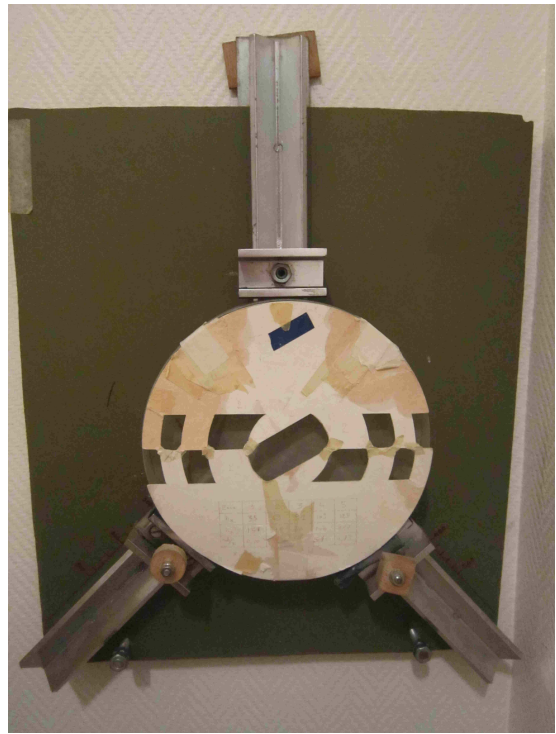
Dès lors, finies les longues heures passées à frotter en ayant l'impression de ne pas avoir d'action sur le miroir. Au contraire, il faudra être avare de ses mouvements, compter le nombre de tours, et procéder par essai - vérification - correction.

Grâce à des mouvements différents sur le miroir, placé au-dessus de l'outil, nous déformons la sphère pour l'amener progressivement à la parabole. Plus votre miroir est ouvert, plus la parabole à atteindre s'éloigne de la sphère, plus elle sera difficile à obtenir.

Après quelques courses, nous vérifions les modifications apportées par un test au Foucault. Nous calculons ensuite les pentes, relevées au moyen d'un écran de Couder placé sur le miroir lors du test. Un logiciel vous permettra de visualiser la forme du miroir. Vous déduirez alors la suite à donner. À ce stade très délicat, se faire conseiller par un chevronné n'est pas du luxe.

Armez-vous de patience, de motivation, entourez-vous d'autres polisseurs jamais à cours d'anecdotes sur leurs déboires passés... Et vous finirez par obtenir un miroir à $\lambda / 10$!

Polir son miroir est un acte très gratifiant lorsqu'on est enfin à l'oculaire. Polir en groupe est aussi beaucoup plus motivant, les novices pouvant bénéficier des conseils indispensables des plus expérimentés. N'hésitez pas à rejoindre un club, c'est vraiment la meilleure façon d'apprendre. Ensuite (ou simultanément) débute une nouvelle aventure, celle de la construction du télescope !



Cache : On utilise un cache (du carton fait très bien l'affaire) dans lequel sont découpées plusieurs zones. L'intensité de la lumière dans des zones diamétralement opposées nous renseigne sur la forme du miroir. On observe en fait la déformation par rapport à la sphère, pour laquelle on obtient une teinte plate (éclairage uniforme du miroir). ■

Remue-ménages



Cette photo a été prise au mois d'avril 2014.

On demande de trouver quelle est la phase de la Lune ici.

Pour vous aider, deux détails de l'image ont été agrandis.

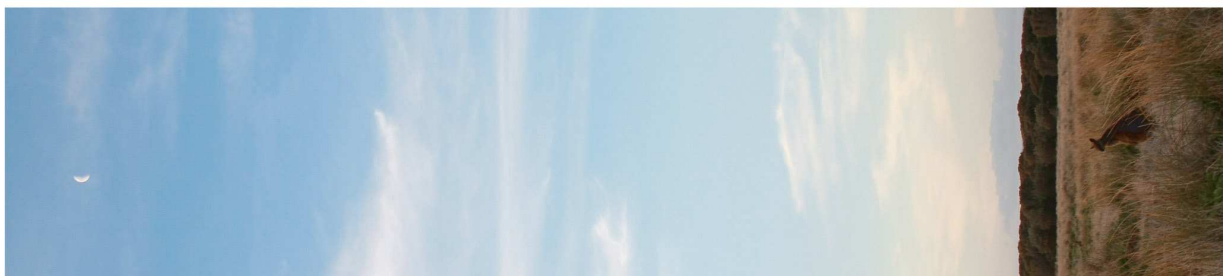
Questions supplémentaires :

- trouver quel jour la photo a été prise (nouvelle Lune le 30 mars 2014) ;
- à quelle heure (en temps universel) ;
- dans quelle direction visait l'appareil.

On ne demande pas l'âge du photographe.



Cahiers Clairaut n° 146



Réponses page 40

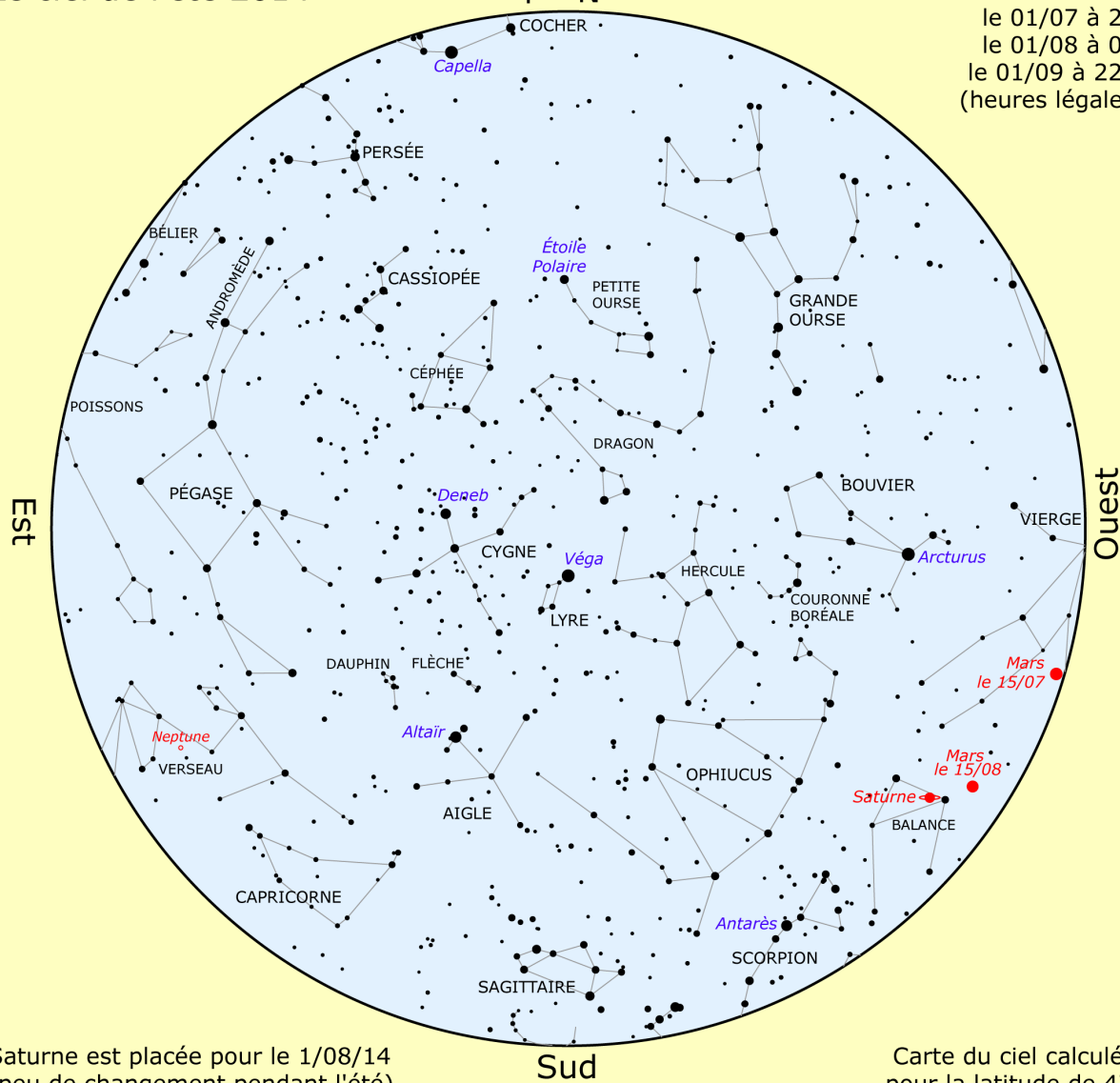
Le ciel de l'été 2014

latitude 47° N

Le ciel de l'été 2014

Nord

Ciel valable
le 01/07 à 2 h
le 01/08 à 0 h
le 01/09 à 22 h
(heures légales)



Saturne est placée pour le 1/08/14
(peu de changement pendant l'été)

Carte du ciel calculée
pour la latitude de 47°

Visibilité des planètes

On peut essayer d'apercevoir **Mercury** dans le ciel du matin mi juillet à l'est, un peu en-dessous Vénus.

Vénus est encore visible le matin, assez basse au-dessus de l'horizon est, mais c'est la fin de cette période d'observation. Elle passera derrière le Soleil en octobre.

Mars reste visible le soir mais elle s'éloigne et son diamètre apparent passe de 10" à 6" pendant l'été. Un beau rapprochement avec Saturne sera visible le soir la deuxième quinzaine d'août (écartement 3,5° le 25/08).

Jupiter passe derrière le Soleil le 24 juillet, on la retrouve ensuite en août dans le ciel du matin.

Saturne est encore visible le soir tout l'été mais elle se couche de plus en plus tôt (plus de 5 h après le Soleil fin juin, moins de 2 h fin septembre).

Quelques événements (heures légales)

21/06 : solstice d'été à 12 h 51.

4/07 : la Terre est au plus loin du Soleil (1,0167 ua).

24-25/07 (matin) : rapprochement Lune Vénus Mercure.

12/08 : maximum des Perséides. L'observation de ces étoiles filantes sera gênée par la Lune presque pleine.

18/08 (matin) : beau rapprochement Vénus-Jupiter (0,2°) à rechercher à l'est juste avant le lever du Soleil.

23-24/08 (matin) : rapprochement Lune Jupiter Vénus.

31/08 (soir) : conjonction Lune-Saturne (<1°).

23/09 : équinoxe d'automne à 4 h 28 min.

Lune

Nouvelle Lune : les 27/06, 27/07, 25/08.

Pleine Lune : les 12/07, 10/08, 9/09.

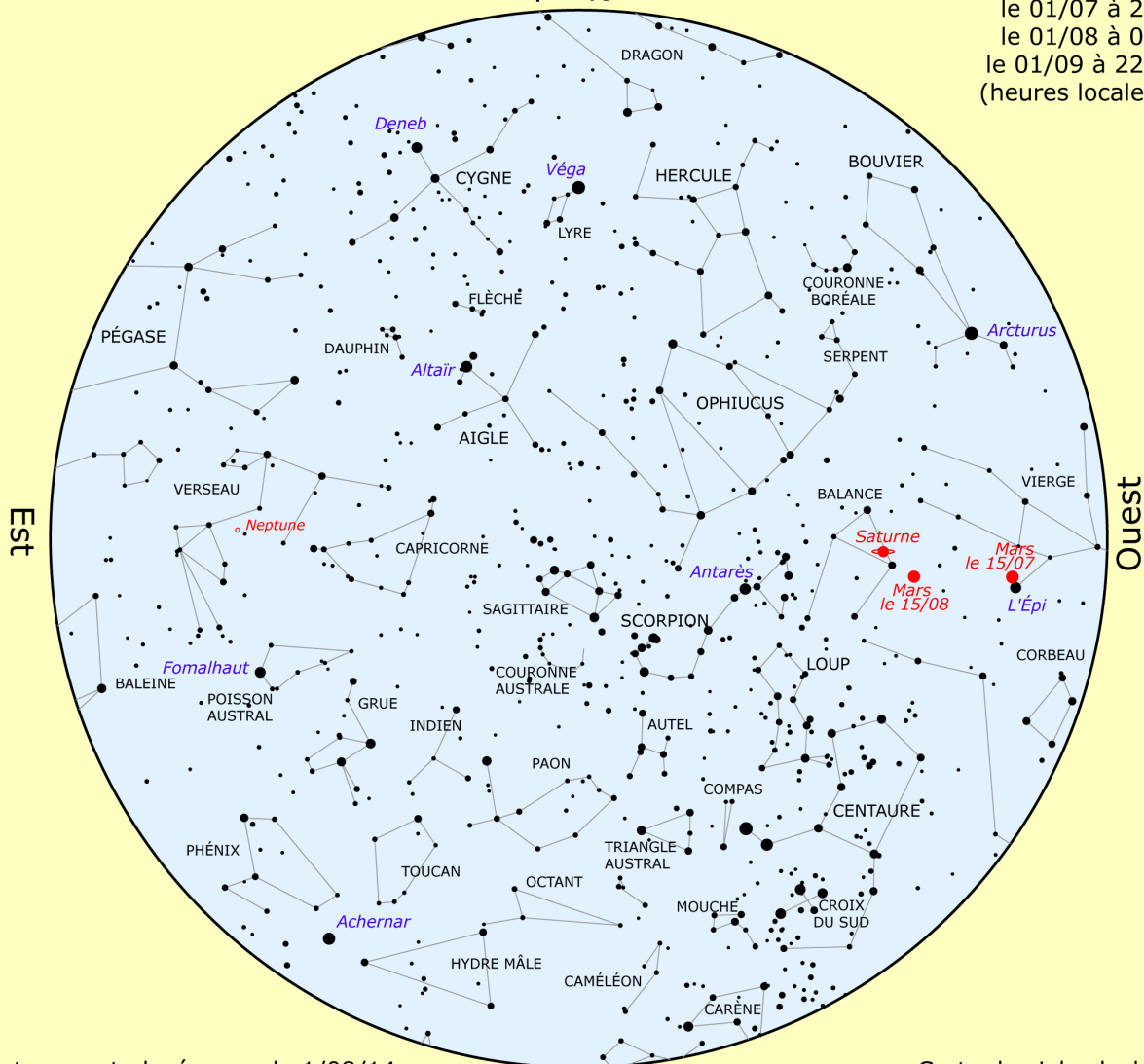
Le ciel de l'été 2014

latitude 21° S

Le ciel de l'été 2014

Nord

Ciel valable
le 01/07 à 2 h
le 01/08 à 0 h
le 01/09 à 22 h
(heures locales)



Saturne est placée pour le 1/08/14
(peu de changement pendant l'été)

Carte du ciel calculée
pour la latitude de 21°S

Visibilité des planètes

On peut essayer d'apercevoir **Mercure** dans le ciel du matin mi juillet à l'est, un peu en-dessous Vénus et le soir fin septembre.

Vénus est encore visible le matin, assez basse au-dessus de l'horizon est, mais c'est la fin de cette période d'observation. Elle passera derrière le Soleil en octobre.

Mars reste visible le soir mais elle s'éloigne et son diamètre apparent passe de 10" à 6" pendant l'été. Un beau rapprochement avec Saturne sera visible le soir la deuxième quinzaine d'août (écartement 3,5° le 25/08).

Jupiter passe derrière le Soleil le 24 juillet, on la retrouve ensuite en août dans le ciel du matin.

Saturne est encore visible le soir tout l'été mais elle se couche de plus en plus tôt.

Quelques événements (heures légales)

21/06 : solstice d'été à 12 h 51.

4/07 : la Terre est au plus loin du Soleil (1,0167 ua).

24-25/07 (matin) : rapprochement Lune Vénus Mercure.

12/08 : maximum des Perséides. L'observation de ces étoiles filantes sera gênée par la Lune presque pleine.

18/08 (matin) : beau rapprochement Vénus-Jupiter (0,2°) à rechercher à l'est juste avant le lever du Soleil.

23-24/08 (matin) : rapprochement Lune Jupiter Vénus.

31/08 (soir) : conjonction Lune-Saturne (<1°).

23/09 : équinoxe d'automne à 4 h 28 min.

Lune

Nouvelle Lune : les 27/06, 27/07, 25/08.

Pleine Lune : les 12/07, 10/08, 9/09.

AVEC NOS ÉLÈVES

Mirages cosmiques

Johan Richard, astronome CRAL observatoire de Lyon

Les lentilles gravitationnelles, un sujet bien compliqué pour des élèves ? L'auteur nous présente des pistes qu'il a testées avec des élèves pour les sensibiliser au sujet et leur faire calculer ... la masse de galaxies.

Nous décrivons ici un phénomène naturel très utilisé en astronomie : la déflexion de la lumière par les galaxies massives, qui fait un effet de loupe appelé « lentille gravitationnelle ». Même si ce phénomène peut sembler très complexe (son explication physique fait appel à la Relativité), il est étonnamment facile à illustrer par des observations et des expériences concrètes simples, que nous avons pu présenter dès la classe de troisième. Au lycée, ce phénomène peut servir d'application pour illustrer des notions telles que la gravitation, la matière noire, la cosmologie et la relativité, en lien avec les programmes des classes de première et terminale scientifiques. Enfin, la notion peut être approfondie dans le cadre d'un T.P.E.

Description du phénomène

Le principe est le suivant : dans l'Univers la présence d'un objet massif s'accompagne d'une déformation de l'espace environnant due à son champ de gravitation. Un rayon lumineux provenant d'une source astrophysique et passant à proximité de cet objet massif va suivre cette déformation et son trajet ne sera plus rectiligne : il subira un changement d'orientation, ou déflexion, d'un petit angle α , dont on peut retrouver l'expression avec des hypothèses simplificatrices (voir encadré). Même si cet effet se produit dans le vide, il s'apparente, sous sa forme et dans les équations, à la déflexion d'un rayon lumineux dans une lentille convergente (figure 1). Pour cette raison, on parle souvent de « lentille gravitationnelle ».

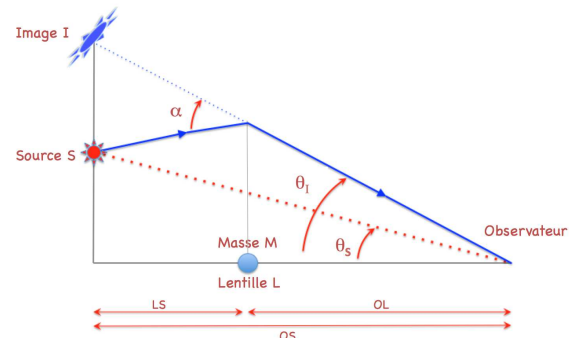
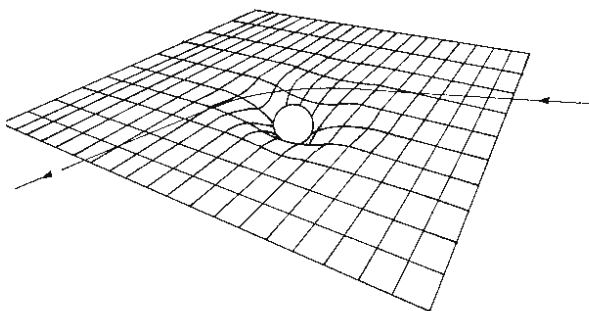


Fig.1. Colonne précédente, illustration de la déformation de l'espace autour d'une masse, et de son influence sur le trajet d'un rayon lumineux. Ci-dessus, représentation de la déflexion α du rayon lumineux provenant d'une source S, et qui est vue depuis l'Observateur O sous la forme d'une image I. Les distances mises en jeu (voir encadré) sont OL, LS et $OS \approx OL+LS$.

L'utilité d'un tel effet en astrophysique vient du fait que cette lentille naturelle agit comme un instrument optique supplémentaire sur la ligne de visée entre la source lumineuse lointaine et l'observateur. Tout comme dans une lunette ou un télescope, les rayons lumineux déviés vont créer une amplification de l'image de la source distante, la faisant apparaître plus grande et plus lumineuse (d'un facteur pouvant atteindre plusieurs dizaines d'unités). On parle ainsi de « télescope gravitationnel » ou « télescope naturel ».

Les cas les plus extrêmes de lentille gravitationnelle se produisent en cas d'alignement parfait entre des sources astrophysiques. Dans ce cas, les rayons lumineux peuvent prendre des chemins différents et produire plusieurs images de la source pour l'observateur (figure 2). Cet effet spectaculaire de multiplication d'images s'apparente à un mirage optique : on parle de « mirage gravitationnel ». Même si ce phénomène était prédit depuis les années 1930 comme une application de la théorie de la Relativité, il a fallu attendre les années 1980 pour pouvoir en observer le premier exemple. Nous connaissons maintenant des centaines de mirages de ce type ; et leur étude révèle une mine d'informations sur la source lumineuse ainsi que sur la masse de l'objet responsable de la déformation.

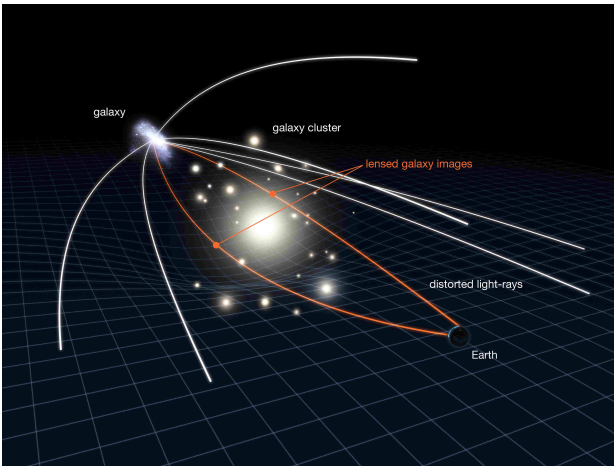


Fig.2. Effet de mirage gravitationnel : la lumière d'une galaxie distante prend deux trajets différents pour atteindre la Terre. © NASA, ESA and L. Calcada

Mise en évidence par l'expérience

La première notion que nous pouvons illustrer avec les élèves est l'effet de déflexion des rayons lumineux. Pour cela, on peut représenter l'influence gravitationnelle d'un objet sur un espace à deux dimensions. Nous utilisons : un grand drap résistant (une taille de 2x2m est suffisante), un objet lourd que l'on place au centre, et une balle légère (ou une bille) lancée en ligne droite sur le drap. Lorsque le drap est tendu en hauteur ; le poids central va le déformer et illustrer (par analogie) la courbure de l'espace autour d'un objet massif. On peut ainsi comparer la trajectoire de la bille (représentant un rayon lumineux) en présence ou non de l'objet massif : l'effet de courbure de l'espace (le drap) va dévier la trajectoire du photon (la bille) au lieu de le laisser se propager en ligne droite (Figure 3).

Une deuxième expérience utilise les propriétés de déformation des rayons lumineux qui sont identi-



Fig.3. Représentation de la courbure de l'espace avec un drap tendu.

ques à celles d'une lentille en verre. Il est en effet possible de fabriquer une « lentille » avec un profil de verre reproduisant (de manière approximative) l'effet d'un corps massif sur une source d'arrière-plan. Le profil correspondant est très proche de celui de la partie inférieure d'un verre à pied (figure 4a). Nous avons ainsi coupé et limé les pieds de plusieurs verres pour un plus grand confort d'utilisation.

En observant une source ponctuelle ou une grille régulière tracée sur une feuille de papier au travers d'une de ces lentilles de verre on arrive très facilement à reproduire les effets visuels d'une lentille gravitationnelle (figure 4), en particulier :

- La déformation et l'amplification des dimensions à proximité du centre de la lentille, visible sur la grille (figure 4b) ;
- La formation de grands arcs et d'images multiples (mirages) à partir d'une source ponctuelle (figure 4c) ;
- Dans le cas d'alignement parfait on voit apparaître un anneau complet, également appelé anneau d'Einstein. (figure 4d).

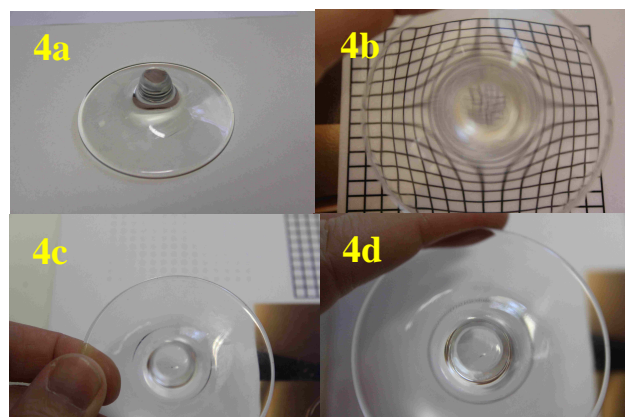


Fig.4. Observation d'images obtenues au travers d'une lentille fabriquée à partir d'un verre à pied.

Exercice d'application: mise en évidence de matière noire dans les amas de galaxies

En complément des expériences illustrant le principe de l'effet de lentille gravitationnelle, nous proposons aux élèves un exercice d'application basé sur des observations astrophysiques d'amas de galaxies obtenues à l'aide du télescope spatial Hubble. Les amas de galaxies sont les structures les plus massives de l'Univers qui forment un système lié par la gravitation. On y trouve donc de nombreux effets de lentille gravitationnelle, et parmi les plus spectaculaires (figure. 5).

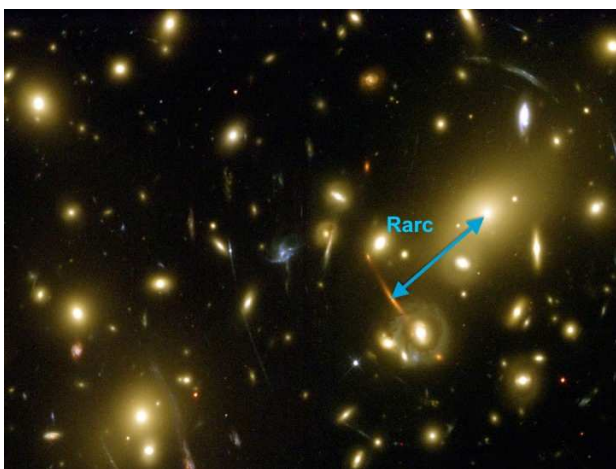


Fig.5. Observation d'amas de galaxies et mesure de la distance d'un arc gravitationnel (d'une couleur orangée) au centre de l'amas.

L'objectif est le suivant : à partir de la position d'un grand arc gravitationnel dans les images d'amas de galaxies, il est possible de remonter à la masse totale contenue dans un cercle centré sur l'amas et tangent à cet arc, en appliquant une équation simplifiée.

On peut déterminer la masse contenue dans un cercle de rayon R_{arc} , en fonction des distances entre l'observateur, la lentille et la source (voir figure 1) suivant l'équation suivante :

$$M(< R_{\text{arc}}) = \frac{c^2}{4G} \frac{D_{\text{OS}}}{D_{\text{LS}} D_{\text{OL}}} R_{\text{arc}}^2$$

(voir encadré en fin de texte)

Avec c , la vitesse de la lumière dans le vide et G , la constante de la gravitation universelle.

Soit en utilisant des milliers et des milliards d'années lumière (kal et Gal) :

$$M(< R_{\text{arc}}) = \frac{1 \text{ Gal}}{D_{\text{LS}}} \frac{D_{\text{OS}}}{D_{\text{OL}}} \frac{R_{\text{arc}}^2}{1 \text{ kal}} \frac{c^2}{4G} \frac{1 \text{ kal}}{1 \text{ Gal}} 1 \text{ kal}$$

$$\frac{c^2}{4G} \frac{1 \text{ kal}}{1 \text{ Gal}} 1 \text{ kal} = \frac{(3 \times 10^8)^3}{4 \times 6.67 \cdot 10^{-11}} 10^{-6} \times 10^3 \times 3.1 \cdot 10^7 = 1.6 \times 2 \cdot 10^{39} \text{ kg}$$

soit en milliards de masses solaires ($2 \cdot 10^{39} \text{ kg}$) :

$$M(< R_{\text{arc}}) = 1.6 \frac{D_{\text{OS}} (\text{Gal})}{D_{\text{LS}} (\text{Gal}) D_{\text{OL}} (\text{Gal})} R_{\text{arc}} (\text{kal})^2$$

Le travail se déroule en petits groupes (3 ou 4 personnes) avec une règle et une calculatrice. Les élèves doivent identifier un arc gravitationnel sur les images, mesurer sa distance en cm depuis le centre de l'amas, et appliquer la formule correspondante pour retrouver la masse totale au cœur de l'amas. Ils auront pour cela besoin de l'échelle des images (conversion cm en kal), la distance de l'amas de galaxies en Gal (fournie) et la distance de la source amplifiée (en Gal, fournie au cas par cas).

Exemple d'application numérique : un amas à $D_{\text{OL}} = 2 \text{ Gal}$, une source à $D_{\text{OS}} = 5 \text{ Gal}$, une échelle $1 \text{ cm} = 38 \text{ kal}$ et une distance $R_{\text{arc}} = 8 \text{ cm}$ donnent une masse $M \approx 123 \text{ 200}$ milliards de soleils.

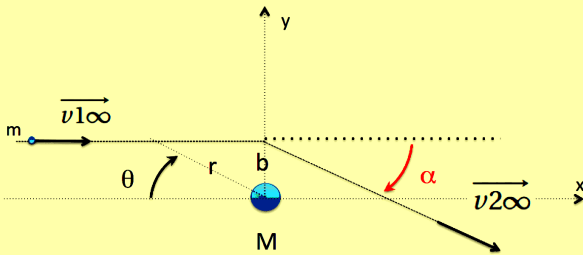
Le résultat obtenu, en milliards de fois la masse du Soleil, peut être (en moyenne) divisé par 100 pour trouver l'équivalent en nombre de galaxies, une galaxie contenant environ 100 milliards de fois la masse du Soleil. Bien entendu nous travaillons ici avec des hypothèses simplificatrices (distribution de matière symétrique,...) et des ordres de grandeur. Les valeurs varient d'un arc à l'autre mais les élèves trouvent un résultat variant d'une centaine à un millier de galaxies.

Les élèves sont alors amenés à comparer ce résultat à l'observation : dans le même cercle pour lequel ils ont estimé la masse, ils n'observent qu'une à plusieurs dizaines de galaxies. La grande différence entre ces deux valeurs correspond en effet à la présence de matière noire, qui n'apparaît pas dans les observations sous forme lumineuse mais dont l'effet influence la position des arcs gravitationnels.

Angle de déflexion de la lumière et équation des lentilles

Une expression classique de l'angle de déflexion peut être retrouvée par un problème de physique très similaire à l'expérience de Rutherford sur les particules chargées.

On considère les équations de physique classique pour une particule de masse m en trajectoire rectiligne avec une vitesse c , et qui passe à proximité d'une masse M prise à l'origine avec un paramètre d'impact b (Figure A).



Cette particule est soumise uniquement à la force centrale gravitationnelle et subit donc une accélération :

$$\vec{a} = -\frac{GM}{r^2} \vec{u}_r$$

À tout instant, la projection verticale de cette accélération vaut :

$$\vec{a}|_y = -\frac{GM}{r^2} \sin \theta$$

La conservation de l'énergie cinétique au cours de la trajectoire nous donne une vitesse de norme constante égale à c , notamment à l'infini (instants t_1 et t_2):

$$\|\vec{v}_{1\infty}\| = \|\vec{v}_{2\infty}\| = c$$

La conservation du moment cinétique nous donne en prenant la valeur initiale à l'infini :

$$m r^2 \frac{d\theta}{dt} = mcb = Cte$$

Par conséquent, la projection sur l'axe vertical de la vitesse finale à l'infini (instant t_2) nous donne par intégration de l'accélération verticale :

$$\vec{v}_{2\infty}|_y = c \sin(\alpha) = -\int_{t_1}^{t_2} \frac{GM}{r^2} \sin(\theta(t)) dt$$

Soit :

$$\sin(\alpha) = -\int_0^{\pi+\alpha} \frac{GM}{c^2 b} \sin(\theta) d\theta$$

On considère de petites déflexions ($\alpha \ll 1$), soit

$$\cos(\pi + \alpha) \approx -1 \text{ et } \sin \alpha \approx \alpha$$

Ce qui nous donne l'expression de l'angle de déflexion :

$$\alpha = 2 \frac{GM}{c^2 b}$$

Cette dernière équation n'est valable que pour une particule de masse non nulle et des vitesses classiques. Pour le cas du photon de masse nulle qui se déplace à la vitesse de la lumière, on obtient par la Relativité Générale une valeur double :

$$\alpha = 4 \frac{GM}{c^2 b}$$

Une application numérique directe est la déflexion d'un rayon lumineux au voisinage du Soleil. On a alors $M = 2 \times 10^{30}$ kg et au bord du Soleil $b = 6,95 \cdot 10^8$ m. Ce qui nous donne :

$$4 \times 6,672 \cdot 10^{-11} \times 2 \cdot 10^{30} / (3 \cdot 10^8 \times 3 \cdot 10^8 \times 6,95 \cdot 10^8) = 8,53 \cdot 10^{-6} \text{ radians} = 1,75''$$

C'est la valeur historiquement mesurée par Sir Arthur Eddington en comparant les positions des étoiles au bord du Soleil lors de l'éclipse totale de 1919. Sa mesure confirmera la prédiction relativiste d'Einstein.

À partir de l'expression de l'angle de déflexion α et de la figure 1 nous pouvons retrouver l'équation des lentilles, qui donne géométriquement la relation entre la position de l'image et de la source correspondante pour des petites déflexions (angles α , θ_I et $\theta_S \ll 1$ assimilables à leur tangente) :

$$\theta_I D_{OS} = \theta_S D_{OS} + \alpha D_{LS}$$

Dans le cas d'un alignement parfait de la source on a $\theta_S = 0$ et $R_{arc} = \theta_I D_{OL}$ la distance où se produit un grand arc dans l'amas, ce qui donne :

$$R_{arc} = \alpha \frac{D_{LS} D_{OL}}{D_{OS}} \quad \text{et } \alpha = 4 \frac{GM}{c^2 R_{arc}}$$

Soit l'expression de la masse en fonction de la distance de l'arc, mesurée :

$$M = \frac{c^2}{4G} \frac{D_{OS}}{D_{LS} D_{OL}} R_{arc}^2$$



VIE DE L'ASSOCIATION

Journées de formation de l'académie de Bordeaux

Château d'Abbadia - Hendaye

C'est sous les ors et tentures du Château d'Abbadia, à Hendaye, que se sont déroulées les 3^{es} journées d'initiation à l'Astronomie pour les professeurs de Collège et de Lycée de l'Académie de Bordeaux, dans le cadre de leur Plan Académique de Formation.



La bibliothèque du château

Rappelons que ces journées sont organisées conjointement par Vincent Besnard (Délégué Adjoint à l'Action Culturelle, côté Rectorat, et Roseline Jamet, côté CLEA, avec la participation des animateurs-maison que sont Jean Ripert, Jean-Luc Fouquet, Brigitte Garreau et votre modeste serviteur.

Lors des précédentes journées, qui se sont tenues à l'Observatoire de Floirac, près de Bordeaux, s'était manifesté le désir, de part et d'autre, de « décentraliser » la future session dans un autre département de l'Académie. Était alors née l'idée de se retrouver au Château d'Abbadia, propriété de l'Académie des Sciences, cette dernière souhaitant, de son côté, voir se développer des actions pédagogiques en ces murs célèbres, mais lourds à entr'ouvrir autant qu'à entretenir. C'est donc avec la représentante sur place de la Vieille Dame, Céline Davadan (non, ce n'est pas elle, la « Vieille Dame »), que s'est finalisée l'organisation de ces journées, qui ont vu une trentaine d'enseignants (15 collèges, 15 lycées, essentiellement Math. Phys. SVT), venus des 4 départements de l'Académie de Bordeaux, découvrir, dans un premier temps, l'étonnant édifice qui nous accueillait, puis, ensuite, les non moins « étonnantes » activités qui leur ont été proposées pendant ces 2 jours.

Activités concentrées en 5 ateliers, 4 conférences, une soirée d'observation sous abri et une passionnante visite du château, qui a vu certains stagiaires quitter les lieux à une heure inhabituellement tardive !

Chaque journée s'est ouverte sur une conférence matinale : la première sur l'« **Histoire de l'Astronomie** » (Mme Oxotéguy, Société Populaire d'Astronomie de la Côte Basque, membre du CLEA), et la seconde sur les « **Méthodes de détection des exoplanètes**, et leur impact sur les théories de formation

planétaire » (Frédéric Pitout, IRAP de Toulouse, membre du CLEA lui aussi). La « conf » du mardi après-midi, ouverte au public (selon nos souhaits), s'est tenue au Centre des Congrès Antoine d'Abbadie, à Hendaye-Plage. Elle portait au départ sur le projet « **FRIPON** » (n'y pensez même pas, petits coquins !), mais, par la « grâce » d'un intervenant remplaçant, simple amateur (mais bien éclairé quand même, Philippe Dupouy, Dax), elle s'est étendue à d'autres sujets, et jusqu'à l'heure de l'apéritif au comptoir du café voisin... La dernière conférence, présentée par Alain Baudry (Observatoire de Bordeaux), portait sur « **ALMA** », et fut peut-être un peu « abstraite », à moins que les stagiaires, après le repas, n'aient commencé à s'abstraire un tantinet eux-mêmes. Quant aux ateliers, c'est dorénavant du domaine de la routine pour nos valeureux « animateurs-maison », tant l'affaire est bien rôdée. Brigitte Garreau (et Gérard Prédignac) décodait la « **Couleur des étoiles** », et les reflets des casseroles en cuivre, dans l'ombre froide (brrrr) de la profonde cuisine du château.



Une cuisine bien froide malgré les lampes à alcool !

Plus haut, Jean-Luc Fouquet faisait son petit bonhomme de chemin entre le Soleil (« **Cadrans solaires** ») et la Lune (« **Phases et éclipses** »), en distribuant des carrés de chocolat, sous le regard attentif de Roseline, notre grande ordonnatrice, qui veillait à tout, entre deux pauses-café. Monsieur JR (Jean Ripert) fit une nouvelle démonstration de son autorité naturelle en dirigeant l'atelier « **Spectro** », puis, tel l'acrobate sans filet, au cours d'un « **Relevé de taches solaires** »... sans soleil, mais où il fit cependant toute la lumière sur les exos qui suivirent (« **Détermination de la période de révolution** » de l'astre absent).



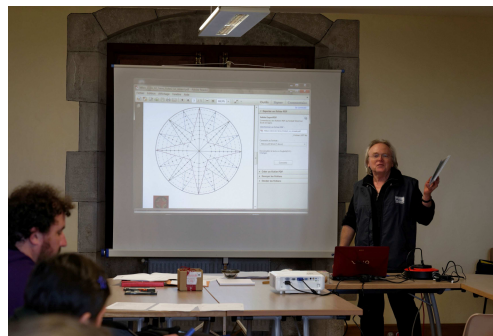
L'étude d'un spectre sous l'œil du CLEA et du rectorat !

Les intempéries nous ont, hélas, privé de notre habituelle « **Soirée d'observation** », qui fut remplacée par une plus chaleureuse, mais tout aussi instructive animation sous le planétarium gonflable de la Société Astro susnommée, habilement pilotée par Jacques Aurio, et conclue, fort tardivement, par un petit jeu de « partage des connaissances » acquises à l'occasion qui nous a bien plu.



Au chaud dans le planétarium !

Les chemins détrempés par les mêmes intempéries nous ont aussi privé de la balade jusqu'à la Rose des Vents, installée sur la falaise voisine surplombant la mer, et qui eut été une idéale introduction à l'activité « **Renard et Rose des Vents** » que j'ai développée, avec mes stagiaires, d'après le **H.S. 10**.



Qui veut un HS 10 ?

Le tout s'est achevé par la visite du château, construit par Viollet-le-Duc pour Antoine d'Abbadie, savant « multicartes » de la fin du 19^e, dirons-nous pour simplifier, et dont Céline Davadan, la « châtelaine » mandatée par l'Académie des Sciences, nous a fait découvrir « la vie et l'œuvre » à travers les multiples pièces (dont une magnifique bibliothèque), peintures murales, installations et objets divers à vocation scientifique, et en particulier la **lunette méridienne**, pour le moment hors service, mais qui pourrait peut-être bientôt retrouver espoir...

Notre espoir à nous est de nous revoir, et de voir ces journées à nouveau reconduites en 2015, tant nous avons apprécié d'en être les chevilles ouvrières : les (bonnes) habitudes se prennent vite !

*Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network. Vr aussi "Vigie-Ciel" (... sur le Web!).

Daniel Paupart ■

Solutions du remue méninges

Il ne s'agit pas d'un kangourou de zoo mais d'un vrai kangourou sauvage, plus précisément un wallaby. On est donc en Australie, dans l'hémisphère sud. Comme on n'a pas la tête dans le même sens que dans l'hémisphère nord, on voit la Lune à l'envers. Sur la photo, c'est le côté gauche de la Lune qui est éclairé, donc en Europe, on voyait le côté droit éclairé. Il suffit de retourner l'image pour s'en convaincre. Il s'agit donc d'un premier quartier. Nos amis de l'hémisphère sud l'auront trouvé facilement.

Le jour

Le 30 mars étant un jour de nouvelle Lune, le premier quartier s'est produit 7 ou 8 jours plus tard, on peut vérifier qu'il a eu lieu le 7 avril. En réalité, la Lune est très légèrement en croissant sur la photo, c'était la veille du premier quartier, le 6 avril.

Heure et direction

Le terminateur de la Lune (limite jour/nuit) sur la photo est presque vertical, la Lune devait passer au méridien donc plein nord en Australie (alors qu'en Europe la Lune passe au méridien plein sud). Au moment du premier quartier, la Lune a 6 heures de retard sur le Soleil. Ce dernier passant au méridien à midi solaire, il devait être 18 h en heure solaire. Pour avoir l'heure TU, il faut tenir compte de la longitude du lieu d'observation. L'Australie est comprise entre 110° et 150° de longitude est, ce qui correspond à un décalage compris entre un peu plus de 7 h et 10 h. Il devait donc être, en heure TU, entre 8 h et 11 h. Il était en réalité 7 h 48.

On pourrait aussi s'amuser à mesurer la hauteur de la Lune à partir de son diamètre apparent pour en déduire la latitude du lieu d'observation.

Écoles d'Été d'Astronomie



Vous souhaitez débiter en astronomie ?

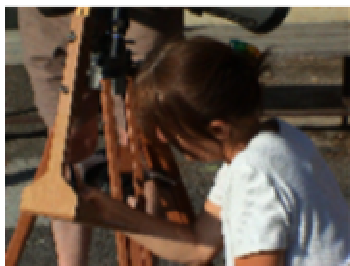
Vous souhaitez vous perfectionner ?

Vous avez le projet d'animer un club ?

Venez participer à une école d'été d'astronomie, au col Bayard, à 1 200 m d'altitude, dans un cadre prestigieux.



Des exposés accessibles à tous



Des ateliers pratiques et des observations

Toutes les activités sont encadrées par des astronomes professionnels et des animateurs chevronnés.

Renseignements sur le site du CLEA

Voir la vidéo à l'adresse :

accs.ens-lyon.fr/clea/aLaUne/EEA-clea

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, ...

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 Écoles d'Été d'Astronomie).

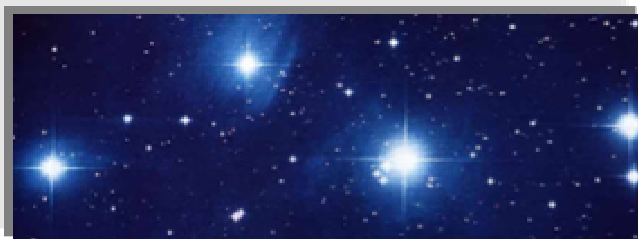
Vous pouvez retrouver ces productions sur le site de vente : <http://ventes.clea-astro.eu/>

Le formulaire de commande est sur le site

Le site internet

Une information toujours actualisée

www.clea-astro.eu



LES CAHIERS CLAIRAUT

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 141 - Mars 2013 7 €



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 CFEED
5, rue Thomas Mann
case courrier 7078
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 2014 :	10 €
Abonnement CC pour 2014 :	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 MERCUËS

Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979
Numéro CPPAP : 0315 G 89368
Prix au numéro : 9 €
Revue trimestrielle : numéro 146 juin 2014