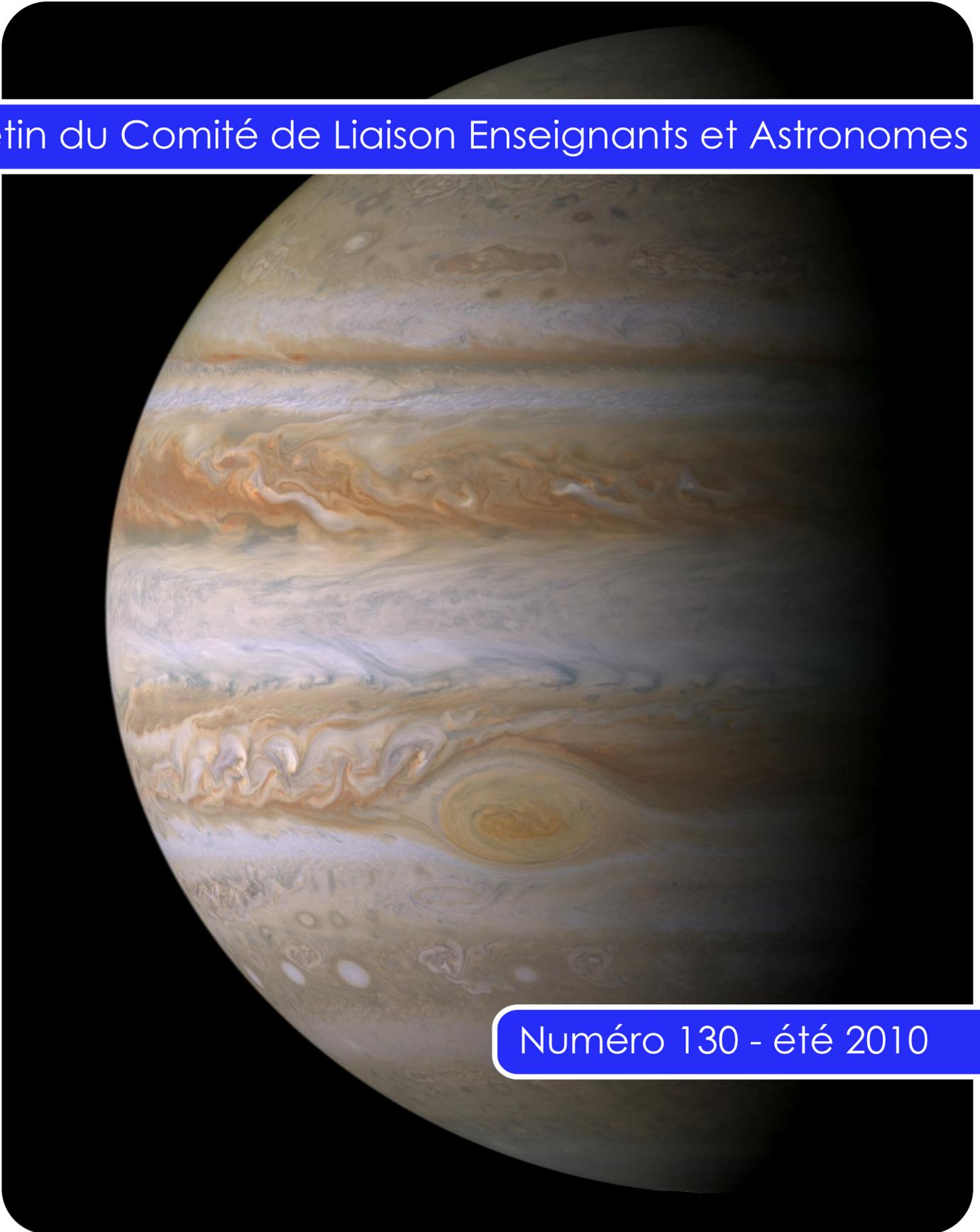


LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 130 - Juin 2010 8 €

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes



Numéro 130 - été 2010



ISSN 0758-234X

Comité de Liaison Enseignants 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.

Membres d'honneur : Jean-Claude Pecker
Évry Schatzman

Présidents d'honneur :
Lucienne Gougouenheim,
Georges Paturel

Bureau du CLEA pour 2010

Présidente : Cécile Ferrari

Trésorier : Jean Ripert

Trésorière Adjointe : Danièle Maurel

Secrétaire : Christian Larcher

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: Cécile Ferrari

Responsables du site :

Francis Berthomieu et Charles-Henri Eyraud

Merci à tous celles et ceux qui ont permis la réalisation de ce Cahiers Clairaut, nous citerons : Francis Berthomieu, Michel Bobin, Alain Bremond, Pierre Causeret, André Debackère, Brigitte Gareau, Lucienne Gougouenheim, Christian Larcher, Pierre Le Fur, Florine Martinet, Roger Meunier, Georges Paturel, Gérard Prédignac, Jean Ripert.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 130, afin de faire connaître la revue autour d'eux.

Nous nous excusons auprès de ceux qui nous ont envoyé des articles que nous n'avons pas encore publiés.



Image de Jupiter prise le 29 décembre 2000 par la sonde Cassini alors en route vers Saturne, d'une distance de 10 millions de km.

Il s'agit d'une mosaïque composée de 27 photos.

Les plus fins détails mesurent 60 km.

Crédit:
NASA/JPL/Space Science Institute.

AGENDA

L'Assemblée Générale du CLEA se tiendra le dimanche 21 novembre à Bordeaux.

Nous nous réunirons dans les locaux de Cap Sciences, CCSTI d'Aquitaine.

Les Cahiers Clairaut

Été 2010 n° 130

Éditorial

Comme l'indique l'extrait des statuts qui se trouve en deuxième page de couverture, la création du CLEA avait pour objectif de "promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux de l'enseignement". Depuis lors un peu d'astronomie et un peu d'astrophysique sont apparues dans les programmes de physique-chimie et de SVT.

À la prochaine rentrée scolaire une nouvelle mouture des programmes de physique-chimie en classe de seconde devrait permettre aux enseignants d'introduire encore un peu d'astronomie dans leur enseignement. Ce programme devient thématique et l'un des trois thèmes a pour titre "L'Univers". Dans le préambule de ce programme on peut lire : "Le thème de l'Univers, des grandes structures cosmiques à la structure de la matière, en passant par les étoiles, planètes et le système solaire, permet de présenter une unité structurale fondée sur l'universalité des lois et des éléments". De fait, ce programme n'est pas fondamentalement différent du précédent mais l'approche thématique peut le rendre plus signifiant, en favorisant l'approche historique, la coopération interdisciplinaire et en donnant aux enseignants une liberté pédagogique plus grande.

Le thème de ce numéro d'été est consacré à l'étude de Jupiter et de ses satellites. Vous verrez comment à partir des travaux historiques de Römer on peut montrer que la célérité de la lumière est finie et demander aux élèves d'en déduire une valeur approchée. Ce texte pourrait instaurer un débat sur la question.

En dehors de ce thème et des rubriques habituelles vous trouverez une étude historique sur les preuves expérimentales de la rotation de la Terre suivie d'un article de fond portant sur une modélisation mathématique de la déviation vers l'est des corps tombant en "chute libre".

Je souhaite à tous d'excellentes vacances d'été et un beau ciel étoilé.

Christian Larcher
Pour la rédaction

Larcher2@wanadoo.fr

Avec nos élèves

Station Spatiale Internationale : distance et altitude

Pierre Le Fur p 2

Potin de la Voie Lactée (1)

Roger Meunier p 6

Thème : JUPITER

p 7

Jupiter : notions de base et repères historiques

Pierre Causeret p 8

Histoire

Les planètes médicéennes de Jupiter : de la "découverte" aux calculs astronomiques de Galilée

Alain Brémond p 11

Réalisation

Traitement d'imagerie planétaire sous Iris

Brigitte Gareau, Gérard Prédignac p 19

Avec nos élèves

Vitesse de la lumière : Römer revisité

Francis Berthomieu p 22

Observation

Identification des satellites galiléens de Jupiter à partir d'images CCD

André Debackère p 25

Remue-méninges

Pierre Causeret p 27

Nouvelle

BD + 36° 2538

Florine Martinet p 28

Histoire

Chute

Christian Larcher p 31

Article de fond

Chute dans un puits

Georges Paturel p 34

Ciel de printemps

Pierre Causeret p 36

Jeux

La navette de l'espace lettres

Michel Bobin p 37

Solution p 38

Potin de la Voie Lactée (2)

Roger Meunier p 38

Vie de l'association

Évry Schartzman p 39

Solutions remue-méninges p 40

AVEC NOS ÉLÈVES

STATION SPATIALE INTERNATIONALE: DISTANCE ET ALTITUDE

Pierre Le Fur, MPSI /ISEN Toulon
Formateur en astronomie, Académie de Nice

Le site "heavens-above .com" nous convie à étudier et observer les satellites artificiels, en particulier la station spatiale internationale, "ISS". Nous proposons la construction d'une maquette en carton permettant d'appréhender les conditions nécessaires à la détermination de la distance à l'observateur et de l'altitude de l'orbite, par la méthode de la parallaxe ou triangulation.

L'été nous offre le temps et l'opportunité de se laisser charmer par ce crépuscule dégradé de bleus intenses à clairs, caractéristique de ces douces soirées tardives. Si l'oreille est parfois distraite par le vol agaçant de moustiques, le calme s'impose dans l'obscurité naissante et les yeux commencent à capter le délicat scintillement des premières étoiles qui apparaissent une à une sur le fond bleu-noir. Une sorte de sérénité envahit le spectateur, ces instants semblent subtils et éternels.

Mais voilà, brusquement, qu'un point lumineux apparaît à l'horizon sud-ouest, grandit en s'élevant dans l'éther puis culmine brillamment au dessus de l'observateur étonné, une minute plus tard. L'astre inattendu domine alors de son éclat le dieu Jupiter qui s'élève dignement au dessus de l'horizon sud-est. L'objet poursuit sa course régulière et majestueuse vers le nord-ouest et disparaît avant de toucher l'horizon comme gommé de la carte du ciel. Ce surprenant ballet céleste frappe notre imaginaire et capte notre attention : Quelle est cette superbe étoile qui danse d'un horizon à l'autre en quelques minutes ? Est-elle artificielle ou naturelle ? À quelle vitesse ce bolide se déplace-t-il ? À quelle distance évolue-t-il ? Pourquoi son éclat varie-t-il ? Le reverra-t-on bientôt ?

Les réponses à ces questions pourraient être obtenues en quelques clics sur internet et nous ne nous priverons pas d'utiliser notre ordinateur connecté sur le Réseau. Mais nous allons réaliser une maquette afin de matérialiser ces informations et suggérer comment elles peuvent être obtenues ou vérifiées.

Ciel ou paradis ? : "heavens-above"

Si les étoiles visibles à l'œil nu semblent innombrables, les sites internet dédiés à l'astronomie

ne le sont pas moins. Mon choix s'est fixé sur "http://www.heavens-above.com" qui est, à mon sens, un petit paradis pour les observateurs de satellites.

Tout commence par une **page de présentation** sur laquelle il faut déjà s'enregistrer (figure 1). On choisit "**Configuration**" pour préciser la localisation de l'observateur avec "**switch observing sites**". Nous verrons dans la suite toute l'importance de cette étape préalable à l'utilisation de "**heavens above**". Désormais l'on peut lire sous "**configuration -> current observing sit**" le nom et les coordonnées du lieu d'observation.

Configuration
Current observing site: **Toulon, 43.1170°N, 5.9330°E**
[Switch](#) observing sites
[Change](#) your personal configuration
AvantGo channel discontinued, please [click here](#) for details

Satellites
10 day predictions for: [ISS](#) | [Genesis-1 / 2](#) | [Envisat](#) | [HST](#)
Daily predictions for all satellites brighter than magnitude:
(brightest) [3.5](#) | [4.0](#) | [4.5](#) (dimmmest)
Iridium Flares
[next 24 hrs](#) | [next 7 days](#) | [previous 48 hrs](#)
[Daytime flares for 7 days](#) - see satellites in broad daylight!
[Spacecraft escaping the Solar System](#) - where are they now?
[Radio amateur satellites](#) - 24 hour predictions (all passes)
[Select](#) a satellite from the database
[Enter/edit observations](#)
[Select observations](#)
[Height of the ISS](#) - how does it vary with time

Astronomy
Comets currently brighter than mag. 12

Fig.1. Page de présentation.

L'initialisation étant faite, l'exploration du menu peut commencer. Notre choix se porte sur "Satellites" en laissant provisoirement de côté "Astronomy et Miscellaneous".

La deuxième page "ISS Visible Passes" que nous allons afficher s'ouvre en cliquant "10 days predictions for: ISS". Nous voyons alors apparaître à l'écran quelques lignes suivies d'un tableau mystérieux... (figure 2).

ISS - Visible Passes										
Search period start: 00:00 Saturday, 24 April, 2010										
Search period end: 00:00 Tuesday, 4 May, 2010										
Observer's location: Toulon, 43.1170°N, 5.9330°E										
Local time zone: Central European Summer Time (UTC + 2:00)										
Orbit: 333 x 343 km, 51.6° (Epoch Jan 11)										
Click on the date to get a star chart and other pass details.										
Date	Mag	Starts			Max. altitude			Ends		
		Time	Alt.	Az.	Time	Alt.	Az.	Time	Alt.	Az.
24 Apr	-0.8	04:29:42	16	NNW	04:30:57	21	NNE	04:33:11	10	ENE
24 Apr	-3.5	06:03:15	10	WNW	06:06:02	72	SW	06:08:50	10	SE
25 Apr	-1.9	04:48:20	17	NW	04:50:08	36	NNE	04:52:46	10	E
26 Apr	-3.6	05:07:20	20	WNW	05:09:08	88	WSW	05:11:57	10	SE
27 Apr	-0.1	03:55:42	10	E	03:55:42	10	E	03:55:43	10	E
27 Apr	-2.6	05:26:57	22	W	05:27:58	29	SW	05:30:27	10	SSE
27 Apr	-1.4	21:48:54	10	SSW	21:49:41	15	S	21:49:41	15	S
28 Apr	-1.1	05:47:21	10	SSW	05:47:21	10	SSW	05:47:23	10	SSW
28 Apr	-3.6	22:07:10	10	SW	22:09:55	68	SE	22:10:25	52	E
29 Apr	-1.9	20:52:06	10	S	20:54:09	19	SE	20:56:13	10	E
29 Apr	-2.3	22:26:07	10	WSW	22:28:48	44	NNW	22:30:16	22	NE
30 Apr	-3.4	21:10:06	10	SW	21:12:49	54	SE	21:15:32	10	ENE
30 Apr	-1.0	22:45:29	10	WNW	22:47:49	23	NNW	22:49:24	15	NNE
1 May	-2.6	21:28:54	10	WSW	21:31:37	52	NNW	21:34:21	10	NE
1 May	-0.4	23:05:02	10	NW	23:06:55	16	N	23:08:01	14	NNE
2 May	-1.1	21:48:08	10	W	21:50:33	25	NNW	21:52:57	10	NE
2 May	-0.3	23:24:25	10	NW	23:26:04	14	N	23:26:19	14	N
3 May	-0.5	22:07:37	10	WNW	22:09:35	17	NNW	22:11:32	10	NNE
3 May	-0.1	23:43:24	10	NNW	23:44:25	14	NNW	23:44:25	14	NNW

Fig.2. Deuxième page.

Nous cliquons la date du jour d'observation sur le tableau et là, enfin, s'affiche la carte du ciel rayée par la trajectoire apparente d'ISS accompagnée d'heures caractéristiques du passage (figure 3)

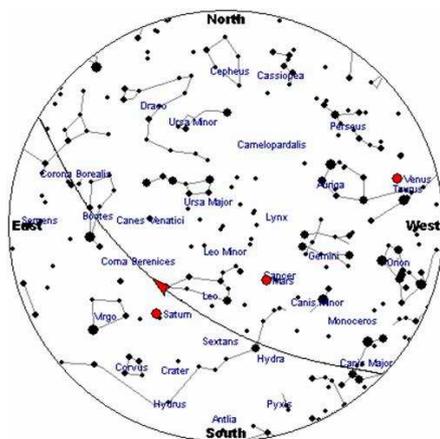


Fig.3a. Carte du ciel du 30 avril

Cette troisième et dernière feuille "Visible Pass Details" lève le voile sur l'étonnante observation

crépusculaire : c'est le passage de la Station Spatiale Internationale (ISS) qui a troublé la quiétude du ciel crépusculaire.

Pass Details	
Date:	Friday, 30 April, 2010
Satellite:	ISS
Observer's Location:	Toulon (43.1170°N, 5.9330°E)
Local Time:	Central European Time (GMT + 1:00)
Orbit:	333 x 343 km, 51.6° (Epoch 11 Jan)

Fig.3b. Visible Pass Detail.

Les éphémérides ISS : lecture du tableau principal

Comment relier nos observations et la liste des données de ce site "Heavens Above" ? Quelles informations nous seront réellement utiles ?

Revenons à la deuxième page "ISS Visible Passes". (figure 2). Les colonnes du tableau se suivent et nous indiquent tout d'abord l'éclat de ce satellite (magnitude, "mag"), à son maximum de luminosité lors du passage étudié.

Puis le groupe suivant "Starts" nous éclaire sur les conditions du début d'observation : heure de début, "Time", puis l'élévation angulaire ou hauteur au dessus de l'horizon, "Alt". 0° représente la direction horizontale et 90° celle du zénith (verticale). Enfin "Az" précise dans quelle direction par rapport aux points cardinaux (azimut) l'objet sera visible. Le logiciel a ainsi calculé des coordonnées locales altazimutales et horaires. D'où l'importance d'une initialisation géographique correcte.

Les trois colonnes regroupées sous le nom "Max altitude" reprennent les éléments de "Starts" mais adaptés à l'instant de passage au maximum d'altitude de la Station au dessus de l'horizon.

Enfin on termine la lecture de ce tableau par les données (toujours en trois colonnes) relatives à l'instant de disparition du satellite à la vue de l'observateur, "Ends". En réalité deux possibilités s'offrent au lecteur-observateur :

- soit le satellite disparaît effectivement dans le cône d'ombre de la Terre car il n'est plus éclairé
- soit on reprend les hypothèses des éphémérides "Heavens Above" ; on considère arbitrairement qu'il n'est plus visible en dessous de 10° de hauteur par rapport à l'horizon.

Ce sont d'ailleurs les mêmes hypothèses qui ont été prises pour le calcul du début de sa visibilité. La suite est connue puisqu'en cliquant la ligne du passage concerné surgit la carte du ciel à l'heure du passage.

Une triangulation "en carton"

En introduisant successivement deux lieux d'observations éloignés d'au moins cent kilomètres, ici Toulon et Nice (124 km), nous constatons que les caractéristiques du même passage (30 avril 2010) diffèrent sensiblement (figures 4 et 5), même si les traces sur les cartes célestes de la page "**Visible Pass Details**" se ressemblent (figures 6 et 7).

Date	Mag	Starts			Max. altitude			Ends		
		Time	Alt	Az	Time	Alt	Az	Time	Alt	Az
30 Apr	-3.4	21:10:23	10	SW	21:13:06	55	SE	21:15:50	10	ENE

Fig.4 : Repérons la ligne correspondant au passage du 30 avril 2010 (observateur à Nice).

Date	Mag	Starts			Max. altitude			Ends		
		Time	Alt	Az	Time	Alt	Az	Time	Alt	Az
30 Apr	-3.4	21:10:06	10	SW	21:12:49	54	SE	21:15:32	10	ENE

Fig.5 : Repérons la ligne correspondant au passage du 30 avril 2010 (observateur à Toulon).

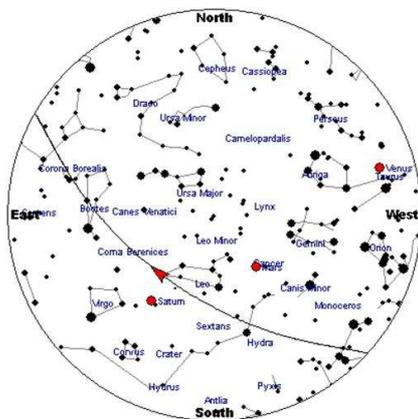


Fig.6. Carte générale du passage pour un niçois.

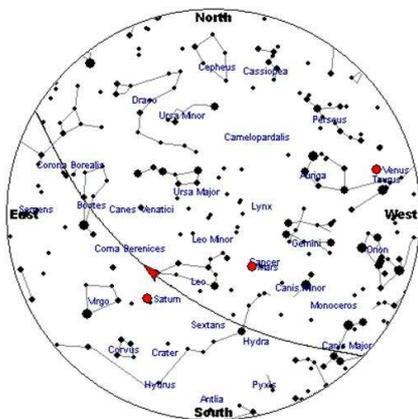


Fig.7. Carte générale du passage pour un toulonnais.

Intéressons nous à l'instant où ISS passe au maximum de hauteur pour un observateur toulonnais, soit 21 h 12 min 49 sec en cette date du 30 avril 2010. L'astronome varois remarque alors que le satellite culmine à 54° de hauteur et qu'il est visible dans la direction sud-est (45° à l'est du méridien). À Nice, il faut attendre 17 secondes pour retrouver une situation identique. Les cartes détaillées du passage issues de la **troisième et dernière feuille** (cf I) "**Visible Pass Details**" montrent clairement la différence : (fig. 8 et 8 bis). On constate qu'il est possible de mesurer l'angle de parallaxe d'ISS, en repérant sur une des deux cartes (au choix) les positions respectives d'ISS à un même instant, vue depuis Nice (N) et Toulon (T).

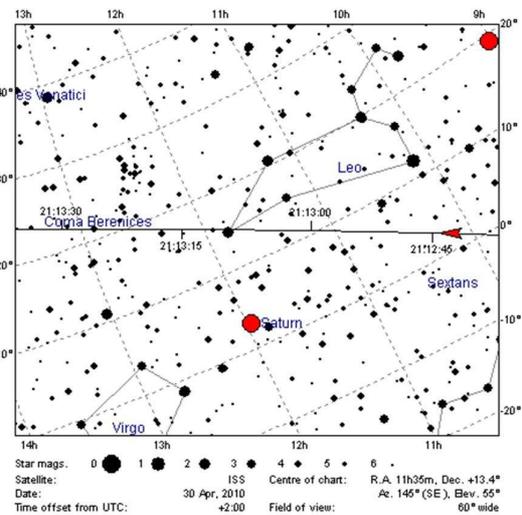


Fig.8. Carte détaillée de la trajectoire apparente vue depuis Nice. La flèche repère la position N de l'ISS à 21 h 12 min 45 s.

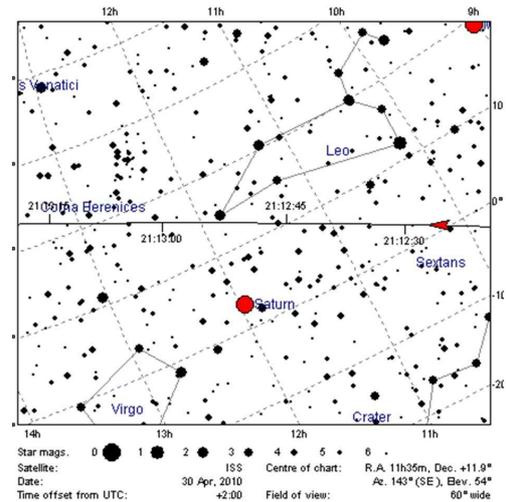


Fig.8 bis. Carte détaillée de la trajectoire apparente vue depuis Toulon. La flèche repère la position T de l'ISS à 21 h 12 min 45 s.

Prenons l'exemple de 21 h 12 min 45 sec. Sur un tirage papier de cette carte céleste, on détermine

avec une règle graduée la distance linéaire (en mm) entre ces deux points (figure 9). Obtenir la conversion en distance angulaire (en °d'angle) ne pose pas de problème puisque ces cartes sont munies d'une échelle très claire, en déclinaison ; mesurer la correspondance en longueur d'un angle de 10° (différence d'ascension droite) se réalise **le long d'un méridien céleste**.

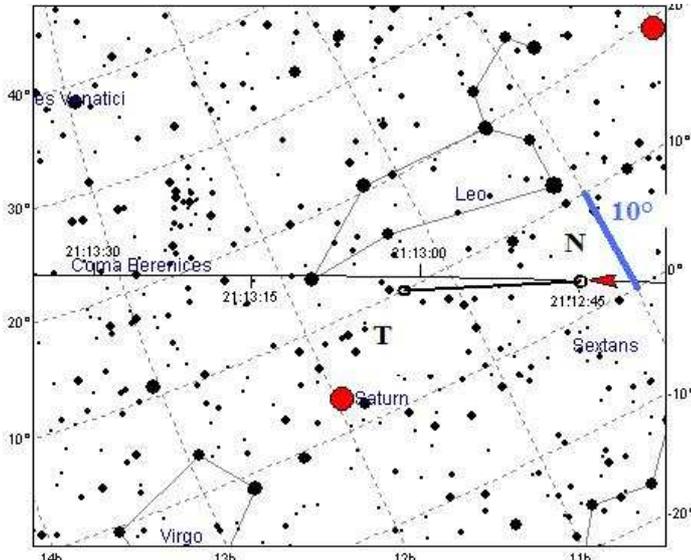


Fig.9. Mesure de l'angle de parallaxe $p=TN$ à l'aide de l'échelle. $P = TN = 16,3^\circ$ environ.

Dans l'exemple qui nous intéresse, l'angle de parallaxe p ainsi déterminé correspond à $16,3^\circ$. Matérialisons toutes ces données à l'aide d'un tirage de carte de la région Provence-Corse provenant de "Google Earth" (figure 10). Un double secteur en carton bristol pointé sur Toulon représente la direction de visibilité (notée D_T) de l'ISS : 45° est et 54° de hauteur.

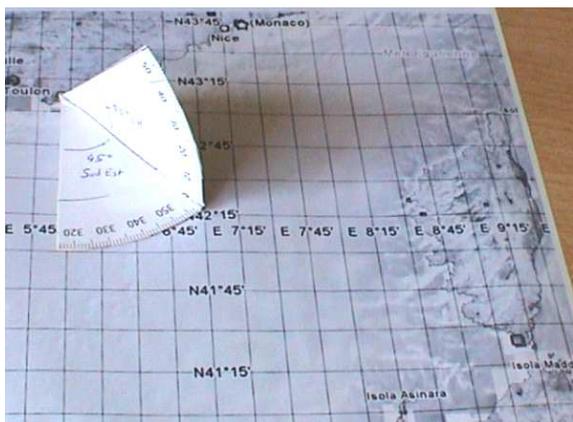


Fig.10. Matérialisation de la direction de visibilité de l'ISS le 30 avril à 21 h 12 min 45 sec ,depuis Toulon, à l'aide d'une carte de la région Toulon/Nice/Corse. (45° sud-Est, 54° de hauteur).

Préparons un carton rigide pour concrétiser l'angle de parallaxe de $16,3^\circ$. Chaque arête représente les directions d'observations de l'ISS depuis Toulon et

Nice : D_T et D_N . La station spatiale se situe donc à l'intersection de ces deux directions, soit le sommet de l'angle. Si l'on fait glisser le côté D_T parallèlement à lui-même, le long du double secteur cartonné, on trouve une position où D_N passe par Nice. Alors, en coupant aux ciseaux le segment Toulon-Nice, on réalise la maquette définitive présentée figure 11.

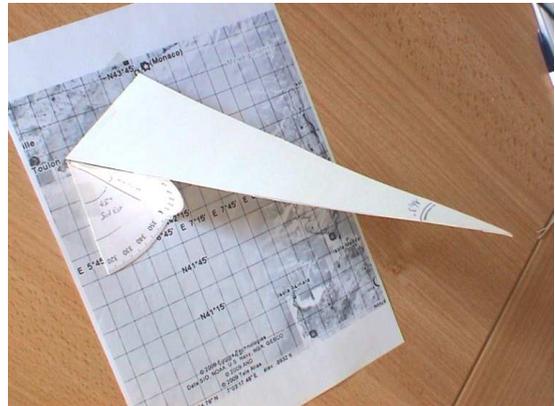


Fig.11. Maquette complète des observations de l'ISS le 30 avril à 21 h 12 min 45 sec : le triangle de carton matérialise l'angle de parallaxe $p = 16,3^\circ$, sa base est Toulon-Nice.

Exploitation de la maquette

À l'aide d'un double décimètre, on mesure la distance Toulon-ISS (ou Nice-ISS) qu'on rapporte à l'échelle de la carte. De même on obtient l'altitude : distance verticale ISS/carte, dans l'hypothèse où l'on néglige la courbure de la Terre.

Ces résultats peuvent être vérifiés puisqu'un tableau situé sous la carte générale de passage (feuille "Visible Pass Details") indique en clair la distance à l'observateur (**Event : Maximum "altitude"** ; Distance: 435 km / Toulon). 5 lignes plus haut, les caractéristiques de l'orbite (333×343 km) permettent de contrôler l'altitude d'ISS environ 335 km à cette date (fig. 12 et 13).

Pass Details				
Date :	Friday, 30 April, 2010			
Satellite :	ISS			
Observer's Location :	Nice (43.7000°N, 7.2500°E)			
Local Time :	Central European Time (GMT + 1:00)			
Orbit :	333 x 343 km, 51.6°(Epoch 11 Jan)			
Sun altitude at time of maximum pass altitude	-7.5°			
Event	Time	Altitude	Azimut	Distance (km)
Rises above horizon	21:08:25	0°	227°(SW)	2,073
Reaches 10°altitude	21:10:23	10°	223°(SW)	1,246
Maximum altitude	21:13:06	55°	145°(SE)	398
Drops below 10°altitude	21:15:51	10°	65°(ENE)	1,254
Sets	21:17:51	0°	61°(ENE)	2,089

Fig.12. Précisions sur les conditions de passage à Nice.

Dans le tableau "epoch" indique la date à laquelle les paramètres sont calculés à l'aide d'éphémérides réactualisées (tous les tableaux de mesure

précédents : figures 2, 4, 5, 13, 14) évoluent jour après jour.

Pass Details				
Date :	Friday, 30 April, 2010			
Satellite :	ISS			
Observer's Location :	Toulon (43.1170°N, 5.9330°E)			
Local Time :	Central European Time (GMT + 1:00)			
Orbit :	333 x 343 km, 51.6° (Epoch 11 Jan)			
Sun altitude at time of maximum pass altitude	-6.9°			
Event	Time	Altitude	Azimut	Distance (km)
Rises above horizon	21:08:07	0°	226°(SW)	2,072
Reaches 10° altitude	21:10:06	10°	222°(SW)	1,245
Maximum altitude	21:12:49	54°	143°(SE)	404
Drops below 10° altitude	21:15:33	10°	64°(ENE)	1,253
Sets	21:17:33	0°	60°(ENE)	2,088

Fig.13. Les conditions de passage à Toulon.

Notons que l'altitude d'ISS ne cesse de varier et qu'on peut visualiser les valeurs en fonction du temps en utilisant Home/Satellites/Height of the ISS de ce site.

Terminons par la comparaison qualitative entre notre maquette et la carte de la trace au sol du passage qu'on obtient en cliquant "Orbit" en haut et à droite de la page "Visible Pass Details". On constate qu'à 21 h 12 min 45 s la station survolait un point de la méditerranée entre la Corse et la Sardaigne à l'ouest de ces îles. La figure 14 montre la projection au sol de la trajectoire complète.

Il ne faut pas attendre de cette réalisation cartonnée une grande précision, mais son intérêt réside dans son adaptabilité géographique et temporelle. À vous de choisir vos villes, vos dates d'observations ou d'accroître la précision avec une maquette de grande taille et des données plus précises (voir IV, tableau avec "Event..."). On pourra même jumeler deux établissements de la même région et réaliser des clichés.

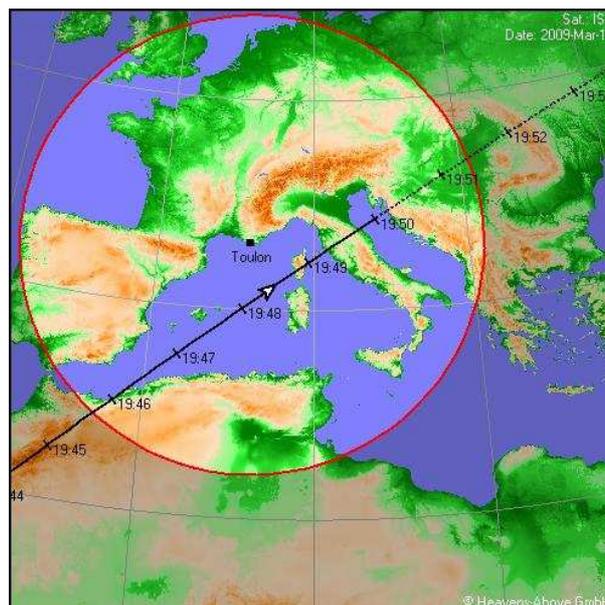


Fig.14. Exemple de trace en projection sur le sol de l'orbite d'ISS pour un passage similaire à celui du 30 avril 2010 autour de 21 h 13 min (les horaires indiqués ne correspondent pas au passage étudié).

Les élèves de tous âges sont capables d'observer les passages de l'ISS pourvu qu'on leur indique clairement l'heure et la direction d'observation à utiliser. On retiendra surtout les quelques soirs où ISS illumine le ciel avec un éclat important (magnitude plus faible que 0) et une grande hauteur ("Max altitude" supérieure à 45°). L'effet de curiosité est garanti... Il ne reste plus alors qu'à explorer "heavens-above" et à découper quelques feuilles de carton.

POTINS DE LA VOIE LACTÉE (1)

Roger Meunier, Le Châtelet en Brie

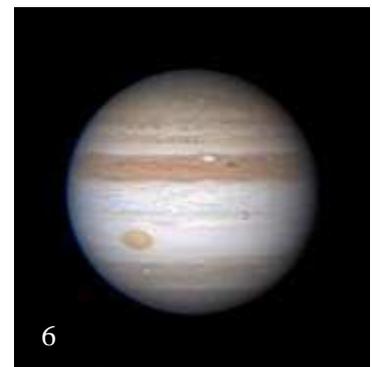
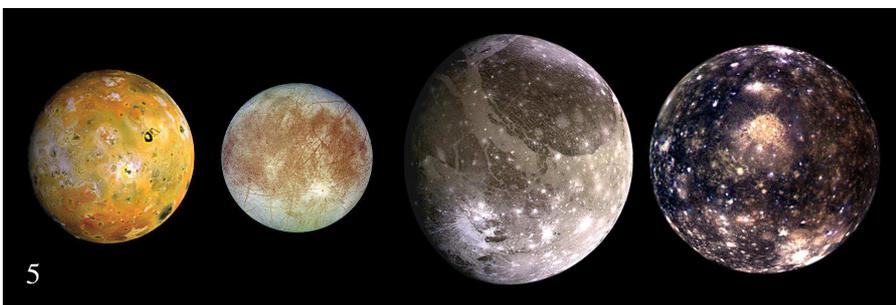
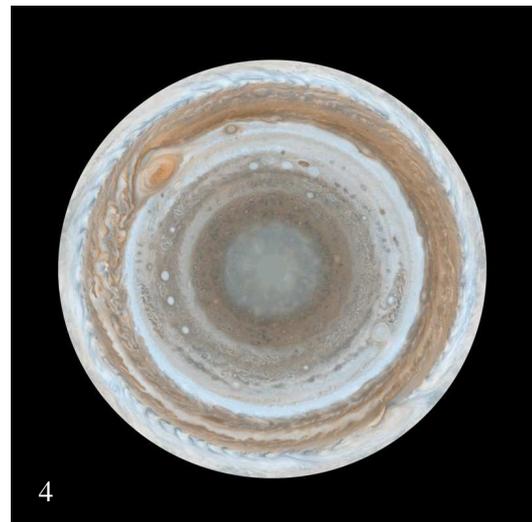
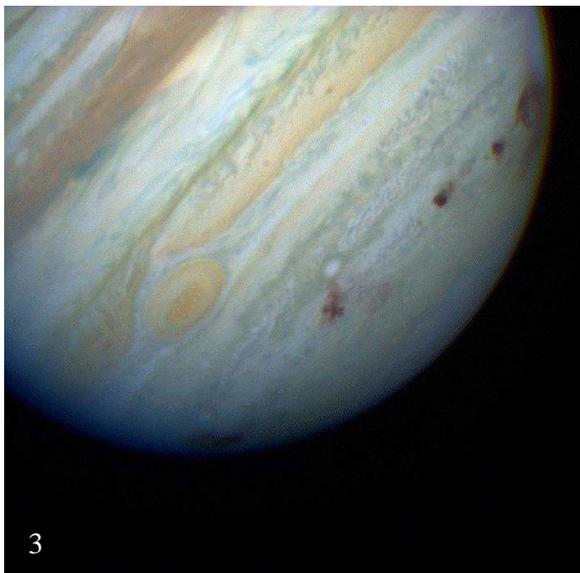
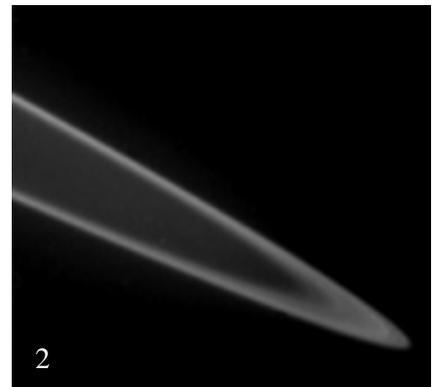
1. On a trouvé de l'eau sur la Lune : 3 équipes indépendantes en ont observé à sa surface (concentration : 0.5 l sur la surface d'un terrain de foot) alors que l'on a longtemps crû qu'elle en était dépourvue. L'eau a été détectée par spectrographie visible et infrarouge où sont présentes de nombreuses bandes d'absorption.

D'où vient elle ? Elle pourrait résulter de l'interaction de l'hydrogène provenant du vent solaire avec l'oxygène des minéraux de la surface lunaire pour former des molécules d'eau ; ce qui expliquerait la présence de l'eau dans le premier millimètre du sol.

2. De l'eau a également été détectée sur l'astéroïde 24 Themis grâce au spectre infrarouge de la lumière solaire réfléchiée par cet astéroïde. Annonce des équipes d'Andrew Rivkin de l'Université Johns Hopkins, et de Humberto Campins, de l'Université de Floride centrale. Référence Nature, vol 464, pp. 1320-1321 et pp. 1322-1323, 2010. In Pour la Science n°392 – juin 2010 p. 11

I. Lune secrète : la sonde japonaise Selene offre de nouvelles images de la face cachée de la Lune sur le site : wms.selene.jaxa.jp

THÈME : JUPITER



1. Jupiter dans le Scorpion, au-dessus d'Antarès, crédit Pierre Causeret ; **2.** Anneaux Jupiter, crédit NASA ; **3.** traces de la chute de la Comète Shoemaker Levy 9 : © NASA/Hubble Space Telescope Comet Science Team ; **4.** Jupiter du pôle sud NASA/JPL/Space Science Institut **5.** Les quatre satellites galiléens crédit photo : NASA/JPL/DLR ; **6.** Jupiter a perdu une bande (peut-être cachée par des nuages d'altitude) photo Anthony Wesley 18 mai 2010.

Jupiter, notions de base et repères historiques

Pierre Causeret, pierre.causeret@wanadoo.fr

La planète Jupiter passe à l'opposition à la fin de l'été. C'est le moment de l'observer et de la faire observer à nos élèves. Voici quelques rappels sur les phénomènes observables, les techniques d'observation et l'histoire des découvertes.

Jupiter à l'œil nu

Jupiter sera situé à l'opposé du Soleil le 21 septembre 2010. Ce jour-là, la planète se lèvera au coucher du Soleil et se couchera à son lever. Elle sera donc visible pendant les 12 heures de la nuit.



Fig.1. Jupiter à l'opposition le 21 septembre

Sa magnitude sera de -2,8, ce qui en fait de loin l'objet le plus lumineux de cette région du ciel. Jupiter sera en effet dans la constellation des Poissons, tout à côté du Verseau, dans une région très pauvre en étoiles brillantes. Vous pourrez suivre sa rétrogradation de fin juillet à fin novembre. Son amplitude est plus faible que la dernière rétrogradation de Mars (10° contre 20°) à cause de son plus grand éloignement.

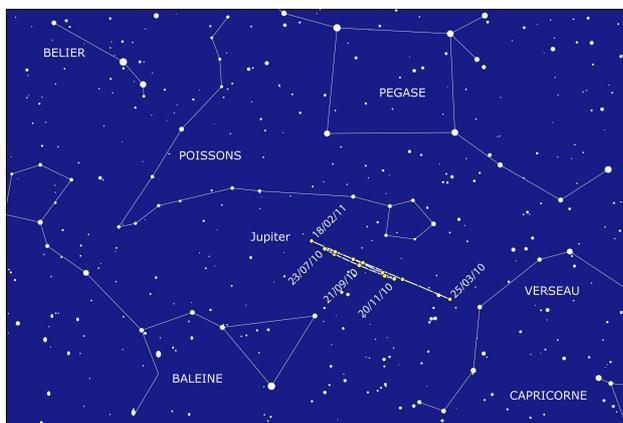


Fig.2. Jupiter et la rétrogradation de 2010, entre Poissons, Baleine et Verseau.

Les oppositions de Jupiter reviennent tous les 13 mois environ (sa révolution synodique) et se décalent à peu près d'une constellation. Au bout de 12 ans (révolution sidérale), Jupiter revient dans la même région du ciel. Les prochaines oppositions de Jupiter auront lieu en octobre 2011 dans le Bélier puis en novembre 2012 dans le Taureau...

Jupiter au télescope

Avec la Lune et Saturne, Jupiter fait partie des objets les plus spectaculaires à observer dans un petit instrument. On y voit les deux bandes principales de l'atmosphère de Jupiter ainsi que les quatre satellites galiléens, Io, Europe, Ganymède et Callisto. L'observation de ces satellites avec des élèves et le suivi de leur position sont des activités toujours riches. On peut réaliser une maquette pour mieux comprendre pourquoi on les voit toujours presque alignés. On peut aussi facilement simuler ces mouvements avec un logiciel de géométrie.

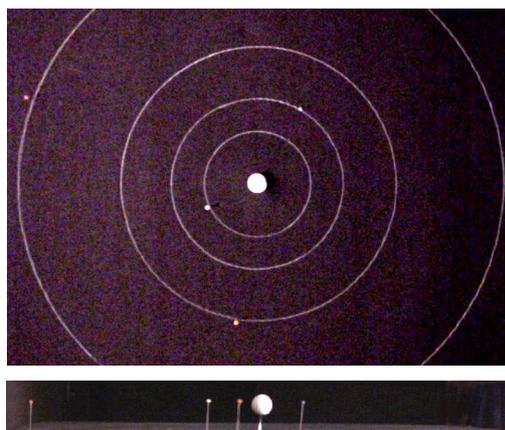


Fig. 3. Une maquette de Jupiter et de ses satellites, vue de haut et vue de profil à l'échelle de 1 cm pour 80 000 km. Les rayons des orbites sont de 5,3 cm, 8,4 cm, 13,4 cm et 23,5 cm. Jupiter mesure 1,7 cm de diamètre

	Io (I)	Europe (II)	Ganymède (III)	Callisto (IV)
Période (jours)	1,76914 j	3,55118 j	7,15455 j	16,68902 j
Distance à Jupiter (km)	422 000	671 000	1 070 000	1 883 000
Diamètre (km)	3 640	3 130	5 270	4 810
Magnitude à l'opposition	5	5,3	4,6	5,6

Tab.1. Caractéristiques des satellites de Jupiter

Si on connaît la période de rotation d'un satellite ainsi que sa distance à la planète, on peut calculer la masse de Jupiter.

Les phénomènes des satellites de Jupiter

En tournant autour de Jupiter, les satellites peuvent passer devant la planète, projeter leur ombre à sa surface, se cacher derrière la planète ou encore traverser l'ombre de Jupiter (figure 4).

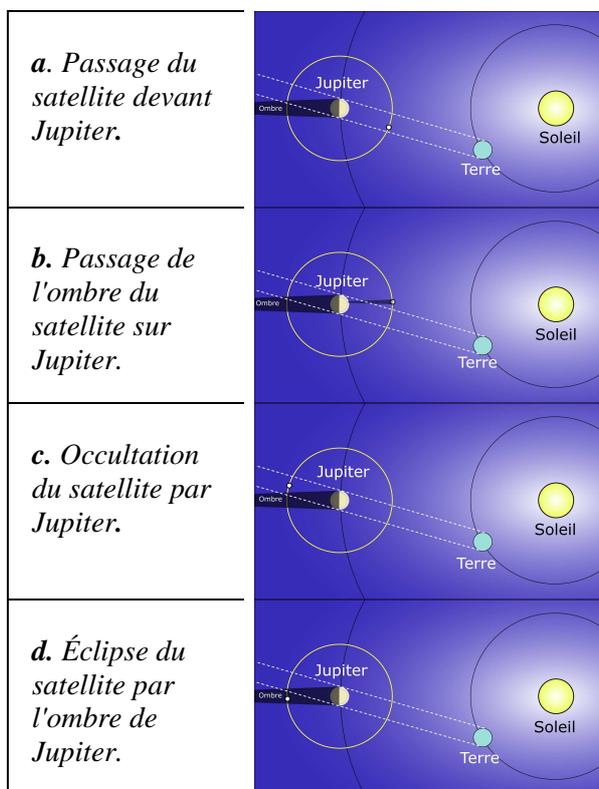


Fig.4. Les quatre types de phénomènes classiques des satellites de Jupiter. D'un dessin à l'autre, seule la position du satellite change.

Passage du satellite devant la planète (figure 4a).

Abréviations : P.C. (Passage Commencement) et P.F. (Passage Fin). Le phénomène est visible depuis la Terre si Jupiter est levé mais dans la pratique, il est très difficile de voir un point clair sur fond clair.

Passage de l'ombre du satellite sur Jupiter (figure 4b)

Abréviations : O.C. (Ombre commencement) et O.F. (Ombre Fin). Il vaut mieux utiliser un fort grossissement pour l'observer.

Occultation du satellite par la planète (figure 4c)

Abréviations : IM (Immersion) et EM (Émersion). Le satellite se cache derrière la planète.

Éclipse du satellite par Jupiter (figure 4d)

Abréviations : E.C. (Éclipse Commencement) et E.F. (Éclipse Fin). Suivant la position de la Terre sur son orbite, on ne voit qu'un seul des deux phénomènes (E.F. sur la figure 4d). On peut voir exceptionnellement les deux à l'instant de l'opposition.

Les horaires de ces phénomènes sont donnés sur différents sites comme celui de L'Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides (www.imcce.fr) ou dans de nombreux ouvrages.

Juillet									
j	hhmm.m	sat	ph.	j	hhmm.m	sat	ph.	j	hhmm.m
1	139.2	I	E.C.	8	2015	III	P.F.	16	6 7
1	517	I	EM.					16	1324
1	743	III	O.C.	9	042	I	O.C.	16	16 2
1	1057	III	O.F.	9	2 3	I	P.C.	16	1612

Fig.5. Page du site de l'IMCCE donnant les horaires des phénomènes des satellites pour juillet 2010. Sur la ligne 1, on lit que le 1er juillet à 13 h et 9,2 min (139,2), le satellite Io (I) commencera à être éclipsé (E.C.)

Jupiter, ses satellites et le problème de la longitude

Avec les grands voyages à partir du XVI^e siècle, il était important de pouvoir retrouver une nouvelle terre et donc de connaître sa latitude et sa longitude. La latitude se détermine facilement avec la hauteur de l'étoile Polaire par exemple. Pour la longitude, le problème est plus délicat. L'écart de longitude entre deux points sur Terre correspond à un décalage horaire. Il est facile de trouver son heure locale. Mais il est plus difficile de connaître l'heure du méridien origine en l'absence d'horloge précise utilisable sur un bateau. Une des méthodes consiste à connaître l'heure au méridien de Paris d'évènements astronomiques et de comparer avec l'heure locale de l'évènement que l'on aura observé. Il peut s'agir d'éclipses de Lune (mais c'est rare), de la position de la Lune par rapport aux étoiles ou encore d'éclipses de satellites de Jupiter. On n'utilise pas les passages ou occultations qui dépendent de la position de l'observateur ni les passages de l'ombre un peu délicat à observer. Si on observe un début d'éclipse de Io, on note l'heure locale, on compare avec l'heure prévue à Paris et l'écart donne directement la longitude. Mais pour cela, il faut des tables précises, ce qu'a essayé de faire Römer à la fin du XVII^e siècle.

Photographier les satellites de Jupiter

Pour travailler sur les positions des satellites de Jupiter, la photo est plus précise que le dessin. Il faut un champ d'au moins 21' si on veut pouvoir photographier Jupiter au centre et Callisto au plus loin. Si on dispose d'un champ un peu plus petit, il faudra parfois décentrer la planète. Voici deux méthodes simples utilisables avec des élèves.

Avec un appareil photo numérique (APN) compact



Fig.6. Installation de l'APN sur la lunette avec un oculaire de 20 mm.

Il existe des systèmes de fixation d'un petit appareil sur un instrument pour que son objectif soit parfaitement dans l'axe de l'oculaire. Il faut que l'oculaire choisi se prête à ce type d'image.

On vise Jupiter à l'œil, on règle la netteté, on installe l'APN, on règle si possible en manuel le temps de pose et éventuellement la netteté. Suivant le type d'APN, les résultats sont très variables. On peut avoir davantage de détail en zoomant avec l'appareil mais si on veut faire des images à différentes dates, on risque d'avoir à chaque fois une focale différente et de gros problèmes pour comparer les clichés. Des essais sont indispensables.



Fig.7. Résultat sans zoom, pose de 1 seconde



Fig.8. En zoomant et avec une pose plus courte (1/50 s)

Avec une webcam

Une webcam sans objectif peut s'adapter sur un porte oculaire moyennant un adaptateur fabriqué ou acheté (figure 9). L'ordinateur est alors indispensable. Avec une lunette de 800 mm de focale, une webcam dont le capteur mesure 4 mm de longueur donne un champ de 17'. Il faut donc utiliser une focale pas trop longue si on veut faire des images des satellites (600 mm par exemple), une grande focale avec éventuellement une lentille de Barlow servira à faire des images de la planète. Pour l'utilisation de la webcam, vous trouverez de nombreuses aides dans les clubs d'astronomie ou sur Internet.



Fig.9. Installation de la webcam sur la lunette (ici avec une barlow).

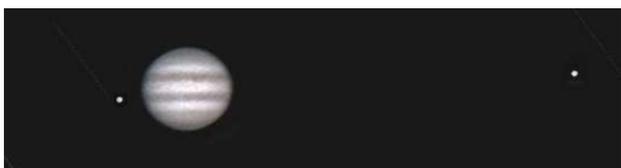


Fig.10. Jupiter et deux de ses satellites pris avec une webcam. La luminosité des satellites a été augmentée ici avec un logiciel de retouche photo (photo SAB).

Jupiter, histoire des découvertes

1610 (janvier) : Galilée découvre les quatre principaux satellites de Jupiter.

1660 : Cassini observe des taches et des bandes sombres dans l'atmosphère de Jupiter. Il calcule ainsi sa période de rotation.

1664-1665 : Hooke et Cassini ont sans doute observé ce qu'on appellera plus tard (1876) la grande tache rouge.

1676 : Römer montre que la vitesse de la lumière est finie grâce à l'observation des éclipses de satellites (voir page 9).

1938 : Observation de nouvelles taches à la surface de Jupiter. Celles-ci ont fusionné à la fin du siècle.

1973-74 : Premiers survols par les sondes Pioneer 10 et Pioneer 11 qui confirment que la planète possède une source interne de chaleur.

1979 : survols par Voyager 1 et Voyager 2. Nombreuses analyses de l'atmosphère, présence d'un anneau ténu, analyse de la grande tache rouge, volcanisme sur Io...

1992 Survol par la sonde solaire Ulysse.

1994 (juillet) : chute des morceaux de la comète Shoemaker Levy 9 qui produira des taches sombres dans l'atmosphère.

1995 Arrivée de Galileo qui se met en orbite autour de Jupiter. Nombreuses images des satellites, lâcher d'une petite sonde dans l'atmosphère de Jupiter. Galileo finira aussi sa vie sur Jupiter en 2003.

2000 Survol par la sonde Cassini en route pour Saturne.

2007 Survol par New Horizons en route pour Pluton.

Carte d'identité de Jupiter

Rayon équatorial : 71 490 km (11,2 × rayon Terre)
 Aplatissement : 7 %
 Masse : $24,8 \times 10^{27}$ kg (318 × masse Terre)
 Période de rotation : 9 h 55 min
 Inclinaison de l'équateur sur l'orbite : 3°
 Albédo moyen : 52%
 Composition de l'atmosphère : 75% d'hydrogène 24% d'hélium (en masse)
 Masse volumique : 1,3 g/cm³

Jupiter dans les Cahiers Clairaut

CC 7 & 8 Les satellites de Jupiter par André Brahic début 1980

CC 24 & 25 Satellites de Jupiter (Pierre Le Fur, Jean Ripert) avec calcul de la masse de la planète.

CC 57 La vitesse de la lumière et Roemer (Josée Sert) avec l'historique

CC 65 Une page de Kepler

CC 25 Lecture de Kepler (K. Mizar)

Les planètes médicéennes de Jupiter : de la "découverte" aux calculs astronomiques de Galilée.

Alain Brémond

Société Astronomique de Lyon. Observatoire de Saint Genis Laval.

Alain Brémond nous propose ici une étude approfondie de travaux peu connus de Galilée. Il est allé chercher aux sources, dans les carnets originaux de ce grand physicien et nous explique par le détail ses essais de production de tables de position des satellites galiléens ou "planètes médicéennes".

L'une des découvertes astronomiques les plus emblématiques de l'œuvre de Galilée est certainement celle des satellites de Jupiter. Beaucoup la connaissent par sa publication dans son ouvrage, le *Sidereus Nuncius*, traduit par *Le Messager des étoiles*. Or, il ne s'agit là que d'une étape préliminaire des travaux de Galilée sur ce sujet, et le reste est peu connu, alors qu'il s'agit du véritable travail d'astronome de Galilée. Il est vrai que ces travaux n'ont pas été publiés de façon aussi claire et brillante que ses autres travaux scientifiques : il faut en chercher les résultats dans des écrits consacrés à d'autres sujets et surtout dans ses carnets.

Les sources

Les observations des satellites de Jupiter réalisées de 1610 à 1619 sont consignées dans deux carnets. Ils sont disponibles dans les œuvres complètes publiées en italien et en latin en deux éditions successives (références en fin d'article).

Le **premier carnet** contient les observations commencées le 7 janvier 1610. D'abord rédigées en italien, elles sont écrites en latin quand il décide de les utiliser en vue d'une publication afin de s'assurer la priorité de ses découvertes.

Galilée mène en parallèle ses observations stellaires et ses observations sur les satellites de Jupiter jusqu'au 24 janvier 1610. Depuis la seconde observation du 23 janvier 1610 et jusqu'à la première du 24, il trace un quadrillage sur le papier, ce qui semble démontrer le projet de dessiner une carte céleste, projet dont on n'a pas trouvé de suite. Un schéma du Grand Chien est dessiné dans ce format. Dans ce carnet, on trouve les observations des planètes médicéennes jusqu'au 26 avril 1610. Elles sont accompagnées d'illustrations, exception faite des derniers jours : 24, 25 et 26 où il ne donne que leur description.

Le **second carnet**, de forme oblongue, contient en outre quelques observations de Benedetto Castelli, son élève et ami. Les observations de ce carnet vont jusqu'au 29 mai 1613. Il y a quelques lacunes car Galilée dit avoir fait 300 observations alors qu'on n'en retrouve que 176. On peut en conclure, soit qu'il a exagéré, soit que certaines observations ont été perdues, soit enfin qu'il n'a pas tout noté. Ce carnet contient les mesures et les premières tables des mouvements des satellites.

D'autres documents épars ont été rassemblés et classés par Favaro.

La **troisième lettre solaire** se termine par un post-scriptum dans lequel Galilée présente une série d'observations soigneusement dessinées, allant du premier mars au 8 mai 1613.

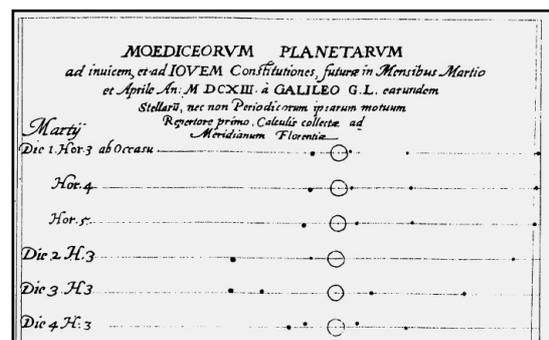


Fig.1. Jupiter et ses satellites dessinés par Galilée

Elles sont accompagnées d'un texte dans lequel Galilée aborde la difficulté de distinguer les satellites lorsqu'ils sont proches l'un de l'autre et surtout de Jupiter très brillant. Il aborde aussi la question des éclipses par l'ombre de Jupiter qui varient en durée, variation que Galilée attribue aux mouvements annuels de la Terre et à celui de Jupiter. Enfin il liste une série de difficultés rencontrées dans ce type de travail, qu'il s'agisse

des observations aussi bien que des calculs sujets à des erreurs.

Les observations publiées dans le *Sidereus Nuncius* s'étalent entre le 7 janvier et le 2 mars. En réalité Galilée avait observé Jupiter auparavant mais n'avait rien décelé : "Donc, le 7 janvier de cette année 1610, à une heure de la nuit, alors que j'observais les étoiles à la lunette, Jupiter se présenta, et comme je disposais d'un instrument tout à fait excellent, je reconnus que trois petites étoiles, il est vrai toutes petites mais très brillantes étaient près de lui (ce que je n'avais pas observé auparavant en raison de la faiblesse de la lunette)". Pour chaque observation Galilée précise la date et l'heure en heures italiques, notées *ab occasu*, et dessine la position des satellites par rapport à Jupiter en marquant par des tailles variables leur magnitude apparente. Les heures italiques commencent une demi-heure après le coucher du Soleil. Galilée les transforme en heures comptées à partir du passage du Soleil au méridien, notées *a meridie*, en utilisant des tables qui sont largement disponibles de son temps.

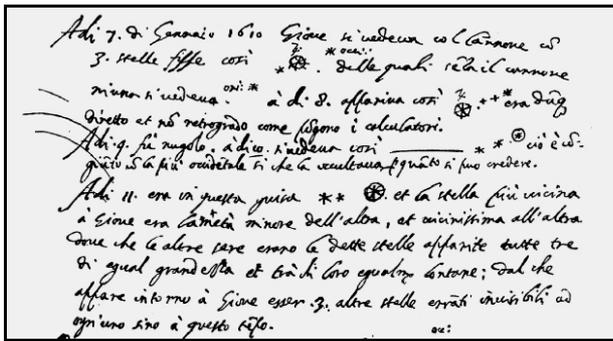


Fig.2. Premières observations du 7 au 11 janvier 1610. On peut lire "Donc le 7 janvier de 1610, Jupiter se présentait à la lunette ainsi : * * O * ..."

À partir du 11 janvier il donne la distance angulaire de chacun des satellites en rayons de Jupiter grâce au dispositif qu'il décrit dans la première partie du *Sidereus Nuncius*, c'est à dire en observant avec un œil Jupiter dans sa lunette et avec l'autre une grille de référence (voir référence 1 page 27-29).

Dès le mois de mars, chaque satellite est en outre repéré par un numéro : 1 pour le plus proche et 4 pour le plus éloigné. Rien n'indique comment Galilée a pu les différencier. Or il s'agit là d'un travail très difficile. Il n'a pu le faire que grâce à des observations répétées, minutées et soigneusement notées. Il est probable qu'il l'a fait en repérant d'abord le plus éloigné et le plus proche, les plus faciles. Il faut noter que toute interruption prolongée des observations obligeait à tout recommencer. C'est pour cela que Galilée s'attelle à la tâche de réaliser des tables qui permettraient de prédire la position de

chaque satellite. La première table sera calculée en 1611.

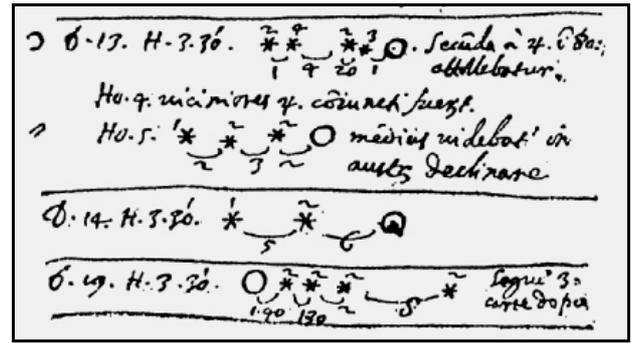


Fig.3. Observations des 13, 14 et 19 décembre 1610. Galilée note la distance des satellites et les identifie par un numéro. Sur la première ligne, on lit par exemple que le satellite n°3 (Ganyède) est à 1 rayon de Jupiter.

Le calcul des orbites et des périodes des planètes médicéennes

Ayant trouvé le moyen de repérer chaque satellite, Galilée peut, par des observations minutieuses et soigneusement notées, calculer le rayon de chaque orbite en fonction du rayon de Jupiter et déterminer leur période en comptant le temps nécessaire pour un retour à une même position. Ce sont ces données qui lui permettront de construire le premier Jovilabe (figure 5). Dans ce premier modèle, les distances, mesurées en rayon de Jupiter, sont représentées par $3 \frac{1}{2}$, $5 \frac{2}{3}$, $8 \frac{5}{6}$ et $15 \frac{1}{3}$ ¹. Dans un second Jovilabe, qu'il commence à utiliser pour ses calculs de 1611, on trouve les valeurs de $3 \frac{5}{6}$, $6 \frac{1}{5}$, $8 \frac{2}{5}$ et 15 et dans le quadrant d'un autre : 4, 7, 10 et 13 et dans un autre encore $4 \frac{3}{4}$, $7 \frac{1}{3}$, $10 \frac{1}{8}$ et 18. Au printemps 1612 enfin, il donne de nouvelles valeurs : $4 \frac{2}{3}$, $8 \frac{2}{3}$, 14 et 24. Il se sert longtemps de ces dernières valeurs. Mais le 2 août 1627 il communiquera de nouvelles valeurs à Benedetto Castelli : $5 \frac{11}{16}$, $8 \frac{5}{8}$, 14 et 25 (les valeurs réelles 5,9 ; 9,4 ; 15 et 26,4 sont légèrement supérieures).

Un repère, la Grande conjonction du 15 mars 1611

Pour prédire les positions futures ou anciennes des satellites, il est nécessaire de partir d'une date à laquelle les positions des satellites sont précises, ce qui constitue alors une référence. Cette

¹ On n'employait pas encore les décimales à l'époque de Galilée.

situation s'offre à Galilée le 15 mars 1611 entre quatre et neuf heures de la nuit, moment où il voit Jupiter apparemment dépourvu de satellites. À partir de cette observation, il en conclut que tous les satellites devaient se trouver soit devant, soit derrière Jupiter, en conjonction apparente, et il prend cette date comme référence pour le calcul des mouvements.

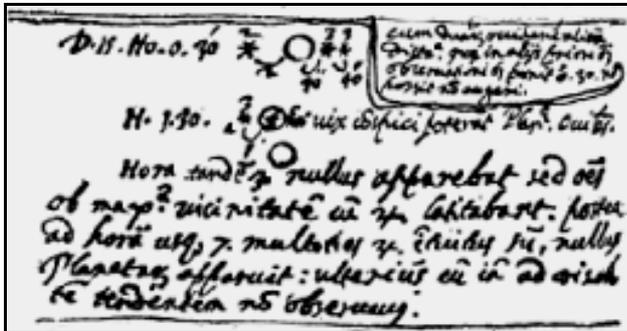


Fig. 4. Description par Galilée de l'observation unique du 15 mars 1611 (image extraite du carnet). Cette nuit, à un moment où à un autre, les quatre satellites sont passés devant ou derrière Jupiter.

Le 15 mars 1611 5h de la nuit "²" est au périégée²
 4h "... est à l'apogée
 6h "... est à l'apogée
 9h "...." est à l'apogée

Galilée désignera cette observation comme la Grande conjonction du 15 mars 1611. Les positions de ces satellites seront ce jour-là de 0° pour les trois les plus éloignés et de 180° pour le premier. "Pour le premier satellite, le point de départ était éloigné de 180° de l'apogée ; dans cette circonstance, on doit en tenir compte pour l'interprétation des calculs relatifs à ce satellite". Galilée décide de ne faire aucune différence dans le calcul des quatre satellites, puisqu'à cette date, l'angle Jupiter-Terre-satellite était pour chacun de 0°. Mais comme on le voit dans ses Jovilabes, Galilée tenait compte dans ses calculs de ce décalage de 180° pour le premier satellite.

Les Jovilabes

Contrairement à ce qui est présenté parfois, ce n'est pas au début un instrument mais un simple graphique. Il permet, à partir des positions observées de chaque satellite de prédire sa position orbitale autour de Jupiter. Il existe une ambiguïté car une position sur le plan de visée peut correspondre à deux positions orbitales. Le doute est levé si l'on connaît la direction du mouvement du satellite selon qu'il s'éloigne ou se rapproche de Jupiter.

² Galilée parle d'apogée et de périégée pour les satellites pour dire s'ils sont derrière ou devant Jupiter vus depuis la Terre. Il désigne parfois les satellites par un nombre de points de 1 à 4.

Pour le construire, Galilée a dû d'abord déterminer le rayon des orbites et la période de chaque satellite. Ces Jovilabes successifs l'aident dans les calculs des tables.

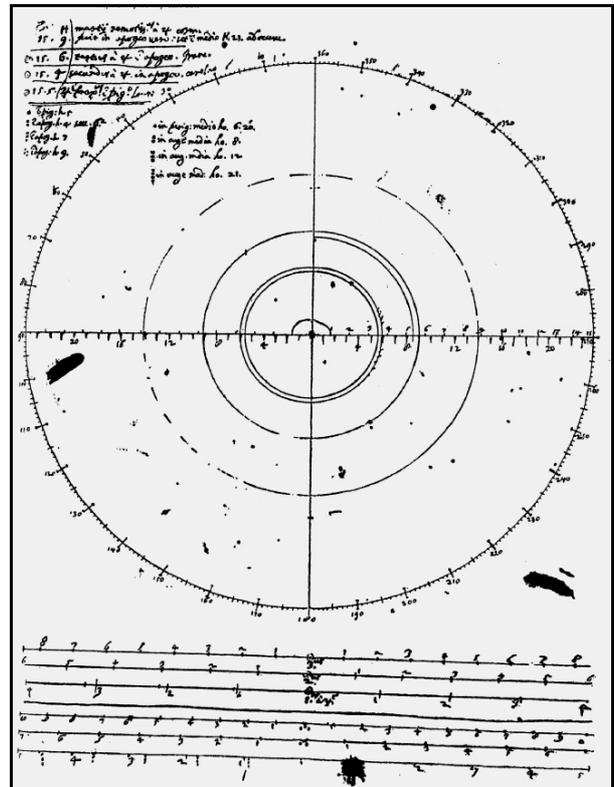


Fig.5. Le premier Jovilabe. Jupiter est au centre, entouré des quatre orbites des satellites. La droite horizontale porte les distances entre les satellites et Jupiter, en fractions du rayon de celui-ci. Le dernier cercle est gradué en degrés. Les lignes du bas donnent les projections des satellites et de Jupiter telles que les voit l'observateur terrestre.

Méthodes de calcul des tables

Il existe plusieurs difficultés pour interpréter les carnets de Galilée. D'abord il n'est jamais très explicite sur ses méthodes de calcul. D'autre part les documents n'étaient pas bien classés et on ne trouve pas toujours une correspondance précise entre les calculs et les tables qui en résultent. Enfin Galilée fait souvent des corrections sans précisément le dire et, souvent aussi, sans préciser à quelle table des mouvements des satellites il se réfère. Néanmoins il est possible de donner un schéma général assez exact de sa façon de procéder, même si certains calculs particuliers sont parfois difficiles à interpréter.

La première chose qu'a faite Galilée, c'est de calculer les vitesses angulaires de rotation de chaque satellite. A partir de ces observations, il donne des tables des mouvements moyens de chaque satellite pour une heure, un jour...

À partir de l'observation de référence du 15 mars 1611, il va pouvoir donner des positions pour n'importe quelle époque. Pour cela il lui suffit de calculer une différence entre les deux époques en heures, multiplier ce temps par la vitesse angulaire de chaque satellite et l'ajouter ou la retrancher à la position initiale. Il doit le faire pour chaque satellite puisque la position de référence correspond à des heures différentes. Il doit tenir compte aussi du fait que pour le premier satellite la référence est le périégée alors que c'est l'apogée pour les trois autres. La différence est de 180°. Ainsi, Galilée peut-il positionner chaque satellite sur son orbite propre sur un Jovilabe. Il peut alors lire directement sa position par rapport à Jupiter.

Galilée dresse alors des tables pour des époques proches, se hasarde même à des prévisions pour des dates plus lointaines et modifie ses Jovilabes.

Voici l'exemple d'un calcul pour le second satellite, aujourd'hui Europe (figure 6) où Galilée écrit :

"Le 22 janvier 1613 à 4 h 30 de la nuit, soit 9 h 30 à partir du passage du Soleil au méridien, le satellite Europe était à l'apogée vrai³, mais il fut à l'apogée moyen le 22 à 6 h 43 a meridie*."

Le renvoi indique :

"*Il était au périégée moyen le 25 avril 1611 à 9 h 40 a meridie. La différence entre ces deux dates est de 637 jours, 21 heures et 3 minutes, soit 15 309 heures. Ce qui correspond à $15\,309/42,666 = 359$ demi-tours (du satellite), soit 64 620 degrés ce qui fait 637 et 7/8 jours environ"

Galilée continue :

"Le 13 février 1611 à 5 heures a meridie, il fut au périégée vrai ; mais il fut au périégée moyen à 7 heures a meridie.

La différence (entre le 22 janvier 1613 et le 13 février 1611 aux heures dites) est de 708 jours 23 heures 43 minutes (Galilée sépare par un point les heures, minutes, secondes aussi bien de temps que d'angles). Soit 17 015 heures 43 minutes. Pour faire un demi-tour, le satellite met 42 heures 2/3 (42,666). Si on divise le nombre d'heures, soit 17 015,43 par 42 2/3, on obtient le nombre de demi-tours réalisés dans ce temps. On trouve 399 qui correspondent à 71 820 degrés. Il a donc fait entre les deux époques à peu près 399 demi-tours (en réalité 398,8). Au total il a parcouru $399 \times 180 = 71\,820^\circ$ entre ces deux dates. Alors cette étoile fait ce nombre de degrés en 709 jours. Alors en un seul jour elle

³ Le périégée vrai (perigeo vero), pour Galilée, est l'alignement Terre, satellite, centre de Jupiter et le périégée moyen (perigeo medio) est l'alignement Soleil, satellite centre de Jupiter

achève $101^\circ 17' 51'' 22'''$ " (sic) que Galilée arrondi dans la première ligne de la table à $101^\circ 18'$. C'est la position du satellite autour de Jupiter sur le Jovilabe à cette date prise, pour le reste de la table, comme point de référence. Il ajoute ensuite $101^\circ 18'$ pour passer au jour suivant. Naturellement quand cette somme dépasse 360° , il soustrait cette valeur à la somme obtenue (comme sur la ligne 4). Au fur et à mesure qu'on s'éloigne des périodes qui sont à la base des calculs, Galilée arrondit les valeurs, sachant bien qu'il persiste des sources d'erreurs et que les valeurs observées vont s'éloigner des valeurs prédites par la table :

En 10 jours $292^\circ 56' 33'' 40'''$ arrondi à 293°
 En 100 jours $49^\circ 25' 36'' 40'''$ arrondi à 50°
 En 500 jours $247^\circ 8' 3'' 20'''$ arrondi à 250°
 En 1000 jours $134^\circ 16' 6'' 40'''$ arrondi à 140°

Galilée dit enfin (texte en bas à droite) : cette table prend pour point de départ (racine) le 1^{er} janvier 1613 à la position $263^\circ 30'$ soit (?) $257^\circ 30'$ ce qui doit en principe correspondre au jour 1 de la table.

1613, Ianuarii d. 22, h. 4.30 ab occasu, quae fuit h. 9.10' a meridie; fuit in auge vera; sed in auge media fuit d. 22, h. 6.43' a meridie ^{ae} .		n. 1	101	18
1611, Februarii d. 13, h. 5 a meridie, fuit in perigeo vero; sed in medio fuit h. 7 a meridie.		2	232	36
Tempus intermedium sunt dies 708, h. 23. 43, qui sunt horae 17015.43. Et quia semicirculatio absolutiva h. 42 2/3, proxima; si numerum horarum 17015.43' per h. 42 2/3 dividerimus, habebimus quot semicirculationes in tali tempore conficiuntur. Sunt autem 399, quae continent gr. 71820. Tot igitur gradus conficit stella diebus proxime 709. Igitur singulis diebus absolvit gr. 101.17' 51". 22". Et in d. 10, gr. 292. 56. 33. 40;		3	303	54
in d. 100, 49. 25. 36. 40;		4	45	12
in d. 500, 247. 8. 3. 20;		5	148	30
in d. 1000, 134. 16. 6. 40.		6	247	48
		7	349	6
		8	90	24
		9	191	42
		10	293	0
		20	296	
		30	139	
		40	98	
		50	25	
		60	318	
		70	251	
		80	184	
		90	117	
		100	50	
		200	100	
		300	150	
		400	200	
		500	250	
		600	300	
		700	350	
		800	40	
		900	90	
		1000	140	

Cam hac tabula pone radicem : prima diei Ianuarii 1613 in gr. 263.30, seu 257.30.

^{ae} : fuit in perigeo medio 1611, Aprilis d. 25, h. 9.40 a meridie. Sunt dies intermedii 637, h. 21. 3, horae nempe 15309, quibus conficiuntur semicirculationes 359, quae sunt gr. 64620, qui absolvuntur diebus 637 2/3 proxime.

Fig.6. Calculs effectués par Galilée pour établir une table de prédiction des positions du second satellite. Retranscription du texte manuscrit de Galilée.

Galilée construit ses tables rapidement et les vérifie soit avec des observations antérieures, soit avec des observations postérieures. Il déclare : "plus le temps passait, plus je devais faire des corrections des tables, en particulier pour les satellites les plus éloignés de Jupiter". La quête de la précision est un souci constant de Galilée. Il

multiplie les observations au cours d'une même nuit et améliore la précision de ses mesures des distances : "Je notais simplement ces intervalles en proportion du diamètre du corps de Jupiter, à l'œil et bien que l'erreur ne dépassât pas la minute d'arc, ce n'était pas assez cependant pour la détermination précise de la grandeur de l'orbite de ces étoiles. Mais maintenant que j'ai trouvé le moyen de mesurer sans erreur de plus d'une petite seconde⁴ je vais poursuivre mes observations"⁵. L'instrument auquel Galilée se réfère et qu'il nomme le micro-mètre, il commence à l'utiliser pour la seconde observation du 31 janvier 1612. Le tableau 1 donne les résultats obtenus par Galilée en avril 1611.

Satellite	1	2	3	4
Période	1j 18h 1/2	3j 13h 1/3	7j 4h	16j 18h
Vitesse angulaire	8° 23' / h	4° 12' / h	2° 05' / h	0° 54' / h
Rayon de l'orbite	3,5	5,7	8,8	15,3
a^3/T^2	13,6	14,6	13,2	12,7

Tab.1. Paramètres mesurés en avril 1611. Le rayon de l'orbite est en fraction du rayon de Jupiter, la vitesse en degrés par heure. Le rapport de la troisième loi de Kepler⁶ a été calculé par nous pour illustrer la précision des calculs de Galilée.

Une lettre du 31 janvier 1612 adressée à Julien de Médicis, ambassadeur de Toscane à Prague accompagne un exemplaire du Discours. Ce dernier, en contact avec Kepler, se fait l'intermédiaire entre lui et Galilée qui écrit : "Je pense qu'il [Kepler] appréciera la façon dont j'ai finalement trouvé la période (de révolution) des planètes médicéennes et comment j'ai construit des tables exactes, ce qui permet même de retrouver leurs positions passées et futures avec une précision d'une petite seconde"(sic).

Avec cette nouvelle confiance, Galilée construit une nouvelle table dans laquelle les positions sont en degrés, minutes et secondes arrondies à la demi-minute. A partir du 16 juillet 1616, Galilée utilise une table qu'il nomme "Tabula bona". Il la conserva un certain temps, n'apportant que des corrections mineures pour le premier et le troisième satellite puis d'autres encore pour le 3^e satellite en octobre 1616 jusqu'à la table dite de Bellosguardo⁷ qu'on

⁴ Galilée s'avance beaucoup car la précision des instruments était plutôt de l'ordre de la minute d'arc.

⁵ Discours sur deux systèmes du monde... vol IV p 64.

⁶ Cube du demi-grand axe divisé par le carré de la période.

⁷ Du nom de la ville où résidait Galilée lorsqu'il écrivit une lettre à Benedetto Castelli pour lui indiquer ses dernières valeurs des orbites des satellites (2 août 1627).

trouve souvent citée dans les calculs du début de l'année 1617.

Correction héliocentrique : la prostaphérèse⁸.

Galilée comprend que les imprécisions de ses prévisions viennent de son point de vue terrestre. Pour une même position du satellite sur son orbite autour de Jupiter, sa position apparente vue de la Terre dépend des positions respectives de la Terre et de Jupiter (figure 7). Convaincu de la véracité du modèle héliocentrique de Copernic, il estime qu'il faudrait se placer sur le Soleil pour corriger cette erreur et donc calculer des positions héliocentriques.

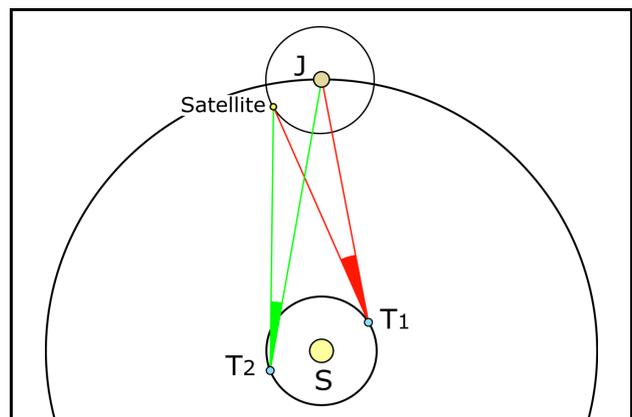


Fig.7. Pour une même position du satellite sur son orbite, l'angle mesuré depuis la Terre varie suivant la position respective de la Terre et de Jupiter. T1 et T2 sont les positions de la Terre à deux dates, pour une même position de Jupiter et du satellite.

Il lui faut donc transformer les positions géocentriques observées en positions héliocentriques calculées. Il introduit ce qu'il appelle la prostaphérèse. C'est à la fin de 1611 qu'il entreprend de nouveaux calculs. Mais comment tenir compte de cette élongation ?

Comme celle-ci varie sans arrêt, Galilée comprend qu'il devrait se lancer dans des calculs longs et fastidieux. Mais il est pressé et qui plus est, seul pour tout faire. Il a alors l'idée d'utiliser une méthode graphique, peut-être moins précise mais plus simple. Il ne va plus calculer mais mesurer des angles sur deux cercles.

Il dessine deux cercles concentriques avec des

⁸ La prostaphérèse est un terme utilisé par Ptolémée dans l'Almageste : c'est la différence entre le mouvement vrai et le mouvement moyen d'une planète ou son lieu vrai et son lieu moyen. Pour Galilée c'est l'angle séparant la Terre du Soleil vus depuis Jupiter Il appelle élongation l'angle Soleil-Terre-Jupiter et commutation l'angle Terre-Soleil-Jupiter.

rayons dans un rapport d'un peu plus de 5, ce qui correspondait aux connaissances de 1611 pour les distances moyennes de la Terre et de Jupiter au Soleil (figure 8). Il divise le petit cercle, représentant l'orbite de la Terre, en arcs de 10° chacun. J est la position de Jupiter sur le grand cercle et A le point opposé. À partir du point 0° , il trace le diamètre [JA] qui passe par le centre du Soleil, et, à partir du point A, il dessine sur le grand cercle des divisions en degrés. Du point J il fait partir des droites qui vont couper les divisions du petit cercle.

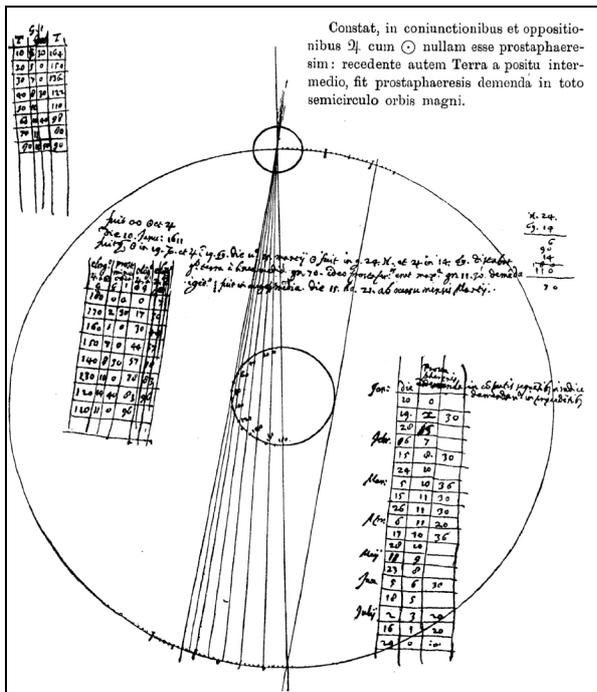


Fig.8. Sur une même page, figure le dessin géométrique de la solution et les tables de calculs⁹.

Il est clair que, lorsque Jupiter vu depuis la Terre se trouve en opposition avec le Soleil (Terre en T_0 sur la figure 9), la prostaphère T_0JS est nulle. Mais la Terre se déplace, l'angle JTS représente pour un instant donné l'élongation géocentrique de Jupiter, JST , l'élongation héliocentrique de la Terre à Jupiter et TJS la prostaphère cherchée. On démontre que cet angle TJS est la moitié de l'angle CSA , angle qui est mesuré pour chaque position de la Terre T sur son orbite (propriété de l'angle inscrit et de l'angle au centre). Il suffit de graduer le grand et le petit cercle pour connaître la prostaphère pour chaque valeur de l'élongation géocentrique de Jupiter connue par les tables de Magini. Les valeurs de celles-ci sont symétriques par rapport à l'axe JA .

Il est facile de mesurer également la position de la Terre pour laquelle la prostaphère est identique : le

⁹ Un appareil en cuivre tiré de cette méthode est exposé au musée de l'histoire de la science à Florence. Il n'est pas de Galilée lui-même.

segment [JC] coupe le petit cercle en deux points correspondant à une même valeur de la prostaphère.

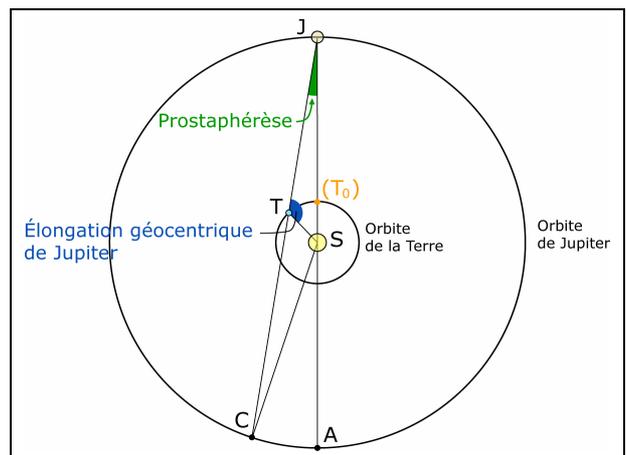


Fig.9. La prostaphère. J représente Jupiter, T, la Terre, S le Soleil et A le point opposé à J par rapport au Soleil.

Avec ce raisonnement et cette figure Galilée forme sa première table de prostaphère, écrite à la main, située en haut et à gauche de la feuille. Elle correspond à des positions de la Terre séparées de 10° , de 0° jusqu'à 180° . Au-delà de 90° , il fait la démarche inverse et mesure, pour la prostaphère donnée par le calcul précédent, la position de la Terre sur son orbite. L'erreur maximale par rapport au calcul est de $13'$.

T	°	'	T
0°	0	0	180°
10	2	30	164°
20	4	50	150°
30	7	0	136°
40	8	30	122°
50	10		110°
60	10	40	98°
70	11		90°
80	11	50	80°

Tab.2. Premier calcul de prostaphère en degrés et minutes d'arc.

T représente la position de la Terre en degrés à partir du point T_0 de la fig. 9, dans le sens antihoraire (de 0° à 90°).

Dans une seconde table, Galilée mesure la prostaphère (table 3) pour des valeurs de l'élongation de 180° à 110° puis, comme pour la table 2, donne la valeur de l'élongation pour ces valeurs de la prostaphère.

Élongation Soleil-Jupiter	Prostaphère	Élongation Soleil-Jupiter
180°	$0^\circ 00'$	0°
170°	$3^\circ 30'$	17°
160°	$1^\circ 00'$	30°
150°	$7^\circ 00'$	44°
140°	$8^\circ 30'$	57°
130°	$10^\circ 00'$	78°
120°	$10^\circ 40'$	83°
110°	$11^\circ 00'$	96°

Tab.3 : Données écrites par Galilée au milieu et à gauche de la page de la figure 8.

Sur les lignes inscrites dans le grand cercle et dans l'opération posée à droite (figure 8), Galilée calcule, à partir des longitudes écliptiques du Soleil et de Jupi-ter données par les tables de Magini, un savant de ses amis, l'angle qu'ils font par rapport à la Terre pour plusieurs jours différents. Ces longitudes sont données par rapport aux signes du Zodiaque. Avec la seconde table, et les élongations ainsi calculées, Galilée réalise la table des éphémérides pour la période du 10 janvier au 29 juillet 1611. Le 10 janvier était une date remarquable, celle où Jupiter et le Soleil étaient en opposition (JTS = 180°) et le 29 juillet la date où ils étaient en conjonction (JTS = 0°) (table 4).

Mois	Jour	Prosta-phérèse
Janvier	10	0° 00
	19	2° 30
	28	5° 00
Février	6	7° 00
	15	8° 30
	24	10° 00
Mars	5	10° 36
	15	11° 30
	26	11° 30

Mois	Jour	Prosta-phérèse
Avril	6	11° 20
	17	10° 36
	28	10° 00
Mai	11	9° 00
	23	8° 00
Juin	5	6° 30
	18	5° 00
Juillet	2	3° 20
	16	1° 20
	29	0° 00

Tab.4. Ephémérides tirées des calculs précédents (tableau situé en bas et à droite sur la figure 8).

Avec la prostaphérèse, Galilée a corrigé les mouvements des satellites. Cassini qui l'ignorait écrivit ¹⁰: "Ni Galilée, ni les autres astronomes ne séparent du mouvement propre des satellites les apparences qui leur arrivent par celui de Jupiter autour du Soleil. C'est pourquoi ils ont pris pour mouvement simple et égal un mouvement composé d'un égal et d'un inégal..." Ceci est inexact, mais Cassini n'avait jamais eu connaissance des travaux de Galilée que nous venons de voir, car ils n'avaient jamais été publiés.

Excentricité des orbites

Elle était bien connue depuis Hipparque et Ptolémée. La table pour 1611 est calculée avec une distance moyenne de Jupiter au Soleil constante. Or cette distance varie avec le temps. Pour la période du 6 septembre 1612 au 23 septembre 1613, il utilise la valeur moyenne de 5,47 rayons de l'orbite terrestre¹¹ comme rayon de l'orbite de Jupiter.

Comme Galilée trouvait fastidieux de refaire ces calculs en permanence, il détermine deux tables de

¹⁰ J. des Savants 14 sept 1676 (voir Lalande T III p 138 édition de 1792).

¹¹ C'est l'Unité astronomique (U.A.).

prostaphérèse, une pour les plus grandes distances de Jupiter au Soleil (5,48), l'autre pour les petites distances (4,97). Il peut ainsi calculer toutes les valeurs intermédiaires.

Jour	Élongation de Jupiter	Prosta-phérèse	Élongation de Jupiter	Jour
	0°	0° 00	360°	
6	5°	0° 45	355°	23
12	10°	1° 30	350°	17
19	15°	2° 25	345°	10
25	20°	3° 15	340°	4

Tab.5. Extrait de la table pour septembre 1612.

Avec ces nouvelles données, introduisant la prostaphérèse et une correction de l'excentricité, les prédictions semblent nettement améliorées; cependant elles ne sont pas encore parfaites.

Essai d'éphémérides pour le premier satellite (Io) utilisant la prostaphérèse

Il s'agit de calculer leur position pour le 22 mars 1612 à 12 h 30 (table 6). La date de référence est le 18 mars¹² à 6 heures 20 minutes. À ce moment Jupiter passe de l'opposition à la conjonction. De plus le 22 mars, l'élongation de cette planète était de 224° 52' et croissait pendant les deux jours suivants de 1° 30' : la prostaphérèse devait donc être ajoutée.

	Io
Date à mesurer (j, h et m)	22. 12. 30
Date de référence	18. 06. 20
Temps écoulé entre les deux dates	04. 06. 10
Position du satellite en ° pour la date de référence	342,34
Mouvement pour le nombre de jours : 4	813,12
Pour le nombre d'heures : 6	80,82
Pour les minutes : 10	1,41
Prostaphérèse	9,30
Somme	1246,99
Position du satellite sur le cercle (en °)	167°

Tab.6. Calculs de position des satellites en tenant compte de la prostaphérèse. Les valeurs sont calculées en décimales de degré pour une vitesse angulaire de 8,47° par heure correspondant à la période de Io de 1 jour et 18 h ½. Avec le Jovilabe il peut donner ensuite la position du satellite tel qu'il est observé depuis la Terre soit à 1,5 rayon de Jupiter du côté occidental.

Pour la date suivante, il suffit à Galilée d'ajouter aux positions de la dernière ligne le mouvement du satellite, c'est-à-dire sa vitesse angulaire

¹² Galilée ne se réfère plus à la conjonction de mars 1611 car il a établi des repères intermédiaires.

multipliée par le temps écoulé durant cette période. Tant que les dates sont proches, il ne fait pas de correction des mouvements relatifs de la Terre et de Jupiter car il considère qu'ils sont négligeables. A noter que, dans les tables, les positions apparentes du Soleil et de Jupiter sont données en degrés dans les signes du zodiaque, chaque signe ayant une distance de 30° (figure 10).

1611, Maii d. 6, h. 3 ab occasu, sed a meridie 10. 4'.
 ☉ fuit in gr. 15 ♉; Terra in gr. 15 ♍; ♃ in 19 ♋: ex quo
 prostaferesis est gr. 10.30', quam debemus auferre, quia computus fit
 retrocedendo.

Fig.10. "Le 6 mai 1611 à 3 heures (de la nuit) mais à 10 h 4 m (après midi). Le Soleil était au degré 15 du Taureau ; la Terre au degré 15 de la Vierge, Jupiter au degré 19 du Cancer. Ceci fait que la prostaphérese est de 10° 30', que nous devons retrancher car l'élongation était décroissante."

L'erreur de 1619

Galilée veut calculer les positions pour le 14 novembre 1619 à 5 h par rapport à une date repère du 14 octobre à 6 h. La différence est de 30 jours et 23 heures mais Galilée, un peu précipitamment, fait son calcul comme si sa date repère était le 14 octobre à midi, portant la différence à 31 jours et cinq heures, soit une erreur de six heures. Celle-ci va le suivre dans tous ses calculs ce qui lui donnera des écarts entre les observations et les prédictions de - 53° 30' pour le premier satellite et de - 14° 15' pour le troisième, décalages que Galilée qualifie de "*maximae exhorbitantiae*". S'il a pu croire sérieusement devoir attribuer cette erreur à sa théorie plutôt qu'à une erreur de calcul, on comprend que, dégoûté, il remit à plus tard la recherche d'une erreur qui ne s'était jamais produite auparavant. Ce seront les derniers calculs de la main de Galilée à propos des satellites de Jupiter. Il interrompt probablement ses travaux et passa à autre chose. Cette erreur fit dire à Galilée¹³, dix ans plus tard, qu'étant "*plus occupé par la géométrie que par les calculs, il fallait accorder plus de valeur à celle-ci qu'à ceux-là.*"

Néanmoins, Galilée n'avait pas du tout désespéré de pouvoir parvenir à construire des tables des mouvements moyens encore plus exactes, car, comme nous le savons maintenant, il put obtenir, à la fin de 1619, avec l'appui de Julien de Médicis, ambassadeur de Toscane à Madrid, de reprendre des négociations avec l'Espagne (initiées une première fois en 1616) pour la détermination des longitudes en mer, avec l'observation des éclipses des satellites médicéens. Mais l'impossibilité de mesurer des positions sur un navire en perpétuel mouvement,

¹³ Opere volume V parte 2 page 422.

malgré le casque qu'il inventa en 1617, le *celatone*, empêcha l'utilisation des satellites de Jupiter dans cet objectif¹⁴.

Il reviendra à Cassini¹⁵ de perfectionner les calculs de Galilée en prenant en compte tous les paramètres qui interviennent. La précision obtenue en 1668 lui vaudra d'être appelé à Paris l'année suivante par Colbert. Il utilisera cette méthode pour évaluer la longitude, mais sur Terre cette fois, afin de redessiner avec plus de précision la position des côtes de France. C'est aussi grâce à ces études que Römer mettra en évidence la non-instantanéité de la vitesse de la lumière.

Références

1. Le Messager céleste. Traduction avec compléments sous la direction d'Alain Brémond disponible sur le site du CLEA.
2. Le opere de Galileo Galilei. Antonio Favaro Ed. Florence, Tipographia Barbera, 1907. Ce travail qui a bénéficié de l'analyse de l'astronome italien Schiaparelli nous a été fort utile.

Dans les Cahiers Clairaut

- Jean Ripert. Mesure de la masse de Jupiter avec un chronomètre. Cahiers Clairaut 1984, n°25.
- P. Le Fur. Quatuor planetes circum iovis: medicea sidera. Cahiers Clairaut. 2009, n° 125.

Définitions de Galilée

Heure *ab occasu* : heure de la nuit (dont le début est ½ heure après le coucher du Soleil).

Heure *a meridie* : Heure calculée, à l'aide de table à partir du passage du Soleil au méridien).

Apogée vraie (*auge vera*) : position du satellite devant Jupiter (au centre) vu depuis la Terre.

Apogée moyenne (*auge media*) : même position telle qu'elle serait vue du Soleil.

Galilée donne les mêmes définitions pour le périégée. ■

¹⁴ Pour connaître cette histoire en détail: J.J. Fahie. Galilée - sa vie et son œuvre. 1903, John Murray, London.

¹⁵ Voir Delambre. Histoire de l'astronomie moderne. Tome II, pages 747 et suivantes. Paris 1821, chez Madame la Veuve Courcier. Disponible sur Gallica.

RÉALISATION

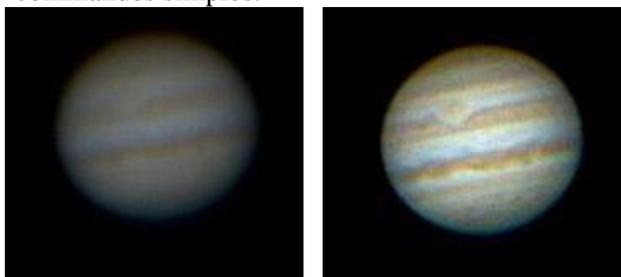
TRAITEMENT D'IMAGES PLANÉTAIRES SOUS IRIS

Brigitte Garreau, Gérard Prédignac, Thiviers

Depuis une dizaine d'années, les images de planètes des astronomes amateurs rivalisent en détails avec celles des professionnels, en particulier grâce aux progrès des logiciels de traitement d'images. Brigitte Garreau et Gérard Prédignac nous proposent ici d'initier des élèves à ces nouvelles techniques. Les images, le logiciel ainsi que le détail du traitement sont sur le CD qui accompagne ce numéro des Cahiers Clairaut.

Vu de la surface terrestre, le ciel ne peut s'observer qu'à travers l'atmosphère. Or cette dernière réduit considérablement la qualité des images que nous voyons dans nos télescopes. Et si vous voulez photographier une planète, vous avez bien peu de chance de le faire dans un "trou" de turbulence, ces fractions de secondes durant lesquelles l'atmosphère laisse passer quelques rares images nettes.

La solution est de prendre des centaines, voire des milliers d'images consécutives ! Difficile ? Non, en réalité, c'est ce que font les astronomes amateurs en utilisant des webcams CCD adaptées sur leurs télescopes. Reste à trier toutes ces images, seules les plus nettes seront gardées, puis superposées pour reconstruire une image de très bonne qualité, et ce, grâce à des logiciels spécialisés, dont plus particulièrement IRIS. Ce dernier est capable de trier des milliers d'images ; il sélectionne les meilleures, les classe, les aligne, et compile tous les fins détails de chaque image brute sélectionnée moyennant quelques commandes simples.



Une image brute du film et l'image finale
Fig.1. Ces deux images suffisent à comprendre l'intérêt d'un traitement avec IRIS.

IRIS, pour le plaisir.... et en classe

Notre club d'astronomie a animé à plusieurs reprises des ateliers traitement d'images

planétaires avec des scolaires, et notamment avec des élèves de classes primaires. IRIS, logiciel puissant et complexe, peut être utilisé de façon simple par des enfants à condition qu'il soit adapté et que la séance soit bien préparée : script de traitement simple (avec code couleurs), film à traiter pas trop important, images présélectionnées pour que l'atelier ne soit pas trop long.

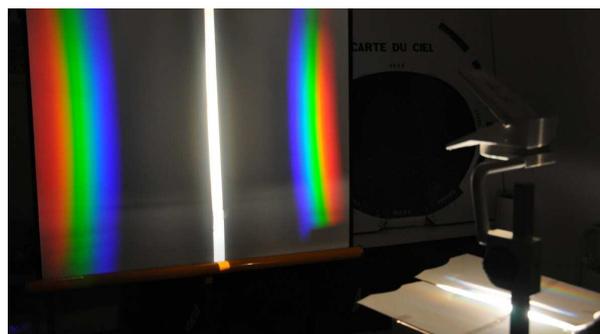


Fig.2. Décomposition de la lumière blanche à l'aide d'un réseau et d'un vidéo projecteur

Pour illustrer l'étape 1 du traitement du film par le logiciel Iris : la conversion des images du films en trois composantes rouge, verte et bleue, l'expérience de décomposition de la lumière blanche par un réseau, à l'aide d'un rétroprojecteur est présentée aux élèves. Cette méthode consiste à former une fente (de quelques millimètres de largeur) sur la fenêtre de projection du rétroprojecteur à l'aide de papier cartonné et à placer un réseau sur l'objectif de projection. On place le réseau au centre de la lentille, les traits du réseau parallèles à la fente. On obtient ainsi au centre de l'écran l'image de la fente et, de part et d'autre de celle-ci, les spectres résultant de la décomposition de la lumière blanche émise par la lampe du rétroprojecteur.

Pendant que les ordinateurs "travaillent" sur les étapes 1, 2 et 3 (étapes les plus longues du

traitement), on réalise une expérience de synthèse additive des trois couleurs primaires rouge, verte et bleue pour expliquer l'étape 4. Le matériel nécessaire est une source lumineuse à miroirs latéraux, trois filtres rouge, vert et bleu, un écran blanc. En superposant trois lumières colorées, on obtient la lumière blanche.



Fig.3. Additions des couleurs



Fig.4. Élèves de CM, Fête de la Science 2009

L'activité est captivante pour les enfants qui s'adaptent généralement très vite ; certains d'entre eux vont seuls jusqu'au bout du traitement sans l'aide d'un adulte !

Outre l'intérêt du travail sur ordinateur, c'est une réelle satisfaction pour chaque élève d'obtenir une belle et vraie image de planète. Et voilà bien l'occasion d'approfondir ses connaissances sur les planètes et le Système Solaire !



Fig.5. Image de la planète Jupiter réalisée par Quentin

IRIS, mode d'emploi

Sur le CD, vous trouverez :

- le film brut d'acquisition de JUPITER tel qu'il a été enregistré sur le télescope (en .avi);

- la version 5.58 (5 février 2010) du logiciel IRIS ;
- Le script complet de traitement pour obtenir une magnifique image de JUPITER.

Installation du logiciel

Vous trouverez la dernière version du logiciel IRIS sur le CD. Vous pouvez également la télécharger sur le site de son auteur Christian Buil : <http://astrosurf.com/~buil/iris/zip/iris.zip> IRIS est un logiciel gratuit (taille 3,2 Mo), et vous pouvez le distribuer librement, mais uniquement à des fins non commerciales.

Pour installer la version 5.58 (5 février 2010) :

- décompresser le fichier IRIS.ZIP dans le répertoire de votre choix. (par exemple : C:\Iris).
- copier éventuellement l'icône du programme IRIS.EXE sur votre bureau.

- lancer le programme, cliquer sur IRIS.EXE.

C'est tout ! Nous allons maintenant apprendre à utiliser, de manière très simple, ce puissant logiciel de traitement d'images astronomiques.

Paramétrage

Créez un dossier "TRAVAIL IRIS" sur votre disque dur dans lequel IRIS va archiver toutes les images intermédiaires du traitement. Il peut être sur C, D... mais attention : **prévoyez 4 à 5 Go d'espace disque disponible.**

Lorsque vous ouvrez IRIS, deux fenêtres apparaissent à l'écran : la fenêtre IRIS elle-même et une autre appelée "Seuils de visualisation", qu'il ne faut pas fermer, vous en aurez besoin plus tard.

Déroulez le menu "fichier" et cliquez sur "réglages".

Dans le cadre "Unité du CD-ROM", indiquez le chemin d'accès de votre unité de CD ou DVD.

Dans "chemin de répertoire de travail", indiquez le chemin d'accès du dossier "TRAVAIL IRIS".

Laissez les autres cases telles qu'elles sont et cliquez sur OK.

Ouvrez la fenêtre de commande en cliquant sur

l'icône .

Vous êtes prêt à traiter le film d'acquisition de JUPITER que le CLEA est heureux de vous offrir sur le CD joint à ce numéro.

Traitement

Le script complet est sur le CD. Si vous l'écrivez, imprimez-le en couleur. Voici les explications des différentes étapes du traitement.

1. Conversion du film .avi : IRIS charge toutes les images du film et les sépare en 3 composantes : rouge, verte et bleue.

2. Tri et classement : la fonction ">bestof" trie les images, et la fonction ">select" les classe de la plus nette à la plus floue.

3. Registration : Iris aligne toutes les images décalées par la turbulence atmosphérique. Ici aussi on abandonne toutes les images trop floues en ne gardant que les premières du classement réalisé à l'étape 2.

4. Addition d'une séquence : le logiciel empile, additionne toutes les images conservées, indépendamment dans chaque composante, afin d'en cumuler tous les détails. Après correction des seuils de visualisation, on obtient une image déjà bien améliorée dans chaque composante.

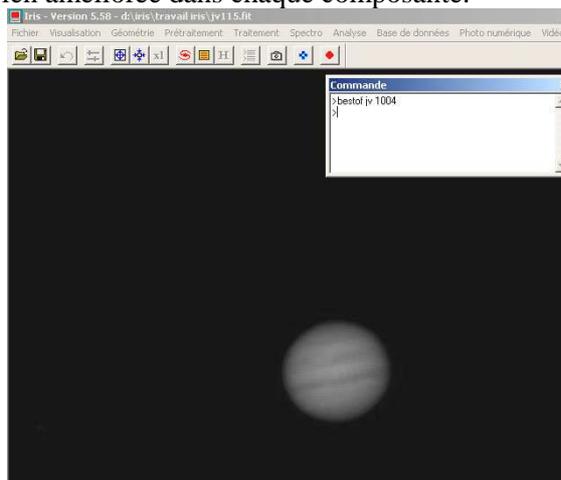


Fig.6. IRIS en plein travail

Les étapes suivantes vont renforcer la netteté et accentuer les détails.

5. Masque flou : on peut encore renforcer la netteté en utilisant parcimonieusement ce traitement.

6. Ondelettes : chaque image est décomposée en plusieurs images, très nettes, nettes, de moins en moins nettes... On reconstruit l'image en utilisant essentiellement les plus nettes. L'amélioration est spectaculaire, l'image dans chaque composante devient très nette.

7. Trichromie : c'est l'étape finale : on rassemble les trois composantes (rouge, vert, bleu) ainsi obtenues pour recomposer l'image couleur finale, que l'on n'oublie pas de sauvegarder.

8. Finitions éventuelles : une amélioration des contrastes, de la lumière, de l'équilibre des couleurs peut être obtenue en retravaillant l'image finale grâce à des logiciels comme Photoshop ou PaintShop.

Astuces et conseils

- Lorsque vous écrivez une commande, le symbole > doit toujours la précéder, sinon celle-ci n'est pas prise en compte.

- Si vous faites une erreur dans une ligne de commande, Iris vous renvoie la syntaxe à utiliser.

- Il faut user parcimonieusement des corrections ondelettes ou masque flou : une exagération de celles-ci détruit l'image plus qu'elle ne l'améliore. Il en est de même pour les seuils de visualisation.

- N'hésitez pas à grossir votre image avec les icônes bleues "zoom in", "zoom out" : ainsi vous maîtriserez plus facilement la qualité de votre travail.

- Les noms d'entrée et de sortie (ex. : jr pour Jupiter rouge, jv pour Jupiter vert, jb...) ne sont là qu'à titre indicatif. Vous pouvez donner les noms que vous voulez. Utilisez cependant des noms courts et faciles à reconnaître.

- Lorsque vous sauvegardez votre image finale, faites précéder le nom que vous lui donnez par 1 (par ex. : 1jupiter). Ainsi vous retrouverez plus facilement votre image parmi les 6 à 8 000 images intermédiaires que produit Iris dans le dossier de travail.

IRIS, avec quel ordinateur ?

IRIS fonctionne correctement sous Windows XP sur un Pentium III à 1 GHz avec au minimum 512 Mo de mémoire et bien sûr de la place sur le disque dur. Tout ce qui est supérieur convient d'autant mieux, mais il n'est pas utile d'avoir l'ordinateur dernier cri le plus puissant pour travailler sous IRIS.

Pour aller plus loin

Cet article ne prétend absolument pas remplacer l'excellent tutoriel de Christian BUIL sur son site. Peut-être paraîtra-t-il même trop rudimentaire pour certains. Son but est simplement de faire découvrir le traitement d'imagerie planétaire et les fonctions de base de ce logiciel qui permettent déjà d'obtenir des résultats très satisfaisants.

Si vous souhaitez aller plus loin, n'hésitez pas à vous rendre sur le site d'IRIS dont voici l'adresse : <http://astrosurf.com/~buil/iris/iris.htm>

Vous y trouverez absolument tout sur le logiciel : le mode d'emploi complet, de nombreuses leçons, la liste des commandes, des exemples de traitements, des conseils. ■

NDLR : Merci à Christian Buil de nous avoir donné l'autorisation de mettre le logiciel IRIS sur le CD.

Nouveaux programmes de seconde.

En septembre, vous trouverez dans le numéro d'automne et prochainement sur le site du CLEA des idées d'activités correspondant à ces nouveaux programmes.

AVEC NOS ÉLÈVES

Vitesse de la lumière : Römer revisité.

Francis Berthomieu, Montfort sur Argens

Depuis les travaux d'Albert Einstein sur la Relativité la constance de la vitesse c de la lumière dans le vide joue un rôle essentiel en physique. L'article qui suit propose de retrouver l'ordre de grandeur de la valeur de c en suivant la méthode que Römer a décrite en 1676 dans le « Journal des Scavants », une démarche qui correspond tout à fait aux attentes des nouveaux programmes de seconde.

1610 - Galilée pointe sa lunette vers le ciel et découvre les satellites de Jupiter. Du 7 janvier au 2 mars, il note avec précision les positions des 4 objets, et rend compte de ses observations dans "Le messenger céleste". Il reconnaît alors n'avoir pas encore déterminé leurs périodes... Quand ce sera fait, il pensera à utiliser cette "horloge" céleste pour aider à la détermination des longitudes, construira son "Jovilabe" (voir CC n° 125), et imaginera d'incroyables dispositifs pour utiliser une lunette astronomique depuis un navire en mouvement...

Pour résoudre le problème des longitudes, il faut établir des tables précises de position des satellites (voir page 9). Cassini, qui dispose d'instruments plus perfectionnés, reprend cette idée en 1668. Pendant l'hiver 1671-72, il s'associe à Picard et à Römer (qui observe depuis Uraniborg, l'observatoire fondé par Tycho Brahé, sur l'île suédoise de Hven), pour effectuer des observations simultanées des éclipses de Io : ils en déduisent la différence de longitude entre Uraniborg et Paris. C'est alors qu'ils découvrent certaines irrégularités dans le mouvement orbital de Io. A partir de 1672, Römer vient travailler aux côtés de Cassini à l'Observatoire de Paris où il poursuit son étude attentive des éclipses de Io.

1676 - Le "Journal des Scavants" (à retrouver dans sa version originale sur <http://gallica.bnf.fr> - lien direct sur notre site) relate la conclusion de cette étude : la lumière ne se propage pas instantanément...

2010 – Nous proposons ici de relire quelques extraits de ce document, de faire découvrir ces phénomènes à nos élèves à l'aide des éphémérides de notre époque et de voir dans quelle mesure il est possible d'en déduire un ordre de grandeur ou une valeur correcte de la vitesse de propagation de la lumière.

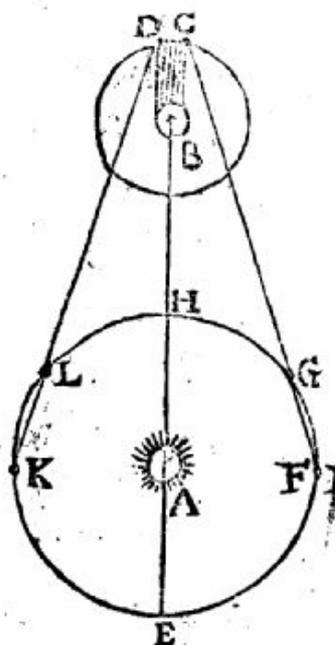


Fig.1. Éclipse de Io avec son commencement en C et sa fin en D

J'utiliserai le schéma que donne le "Journal des Scavants" pour présenter la situation (figure 1). Autour du Soleil (en A), un cercle représente la trajectoire de la Terre et quelques positions caractéristiques. En particulier, H matérialise la position de la Terre lors de l'opposition de la planète Jupiter, E sa position lors de la conjonction.

Jupiter est en B, avec son cône d'ombre, du côté opposé au Soleil. Le petit cercle qui entoure Jupiter représente la trajectoire de son satellite n°1, Io. Les points particuliers C et D donnent les positions respectives de Io lorsqu'il pénètre dans le cône d'ombre de Jupiter (commencement d'éclipse) et quand il en sort (fin d'éclipse).

Le schéma, fait sans aucun respect d'échelles et en supposant Jupiter immobile, permet néanmoins de bien comprendre que les commencements d'éclipses ne seront observables depuis la Terre, que si celle-ci s'approche de Jupiter, du côté des points F ou G, alors que, lorsqu'elle s'en éloigne, du côté des points L ou K, seules apparaîtront des fins d'éclipses.

Je transcris ci-dessous un premier extrait de l'article :

"Or, supposé que la Terre, étant en L, vers la seconde quadrature de Jupiter, ait vu le premier satellite, lors de son émerision ou sortie de

l'ombre en D, et qu'ensuite, environ 42 heures et demie après, à savoir après une révolution de ce satellite, la Terre se trouvant en K le voie de retour en D : il est manifeste que si la lumière demande du temps pour traverser l'intervalle LK, le satellite sera vu plus tard de retour en D qu'il n'aurait été si la Terre était demeurée en L, de sorte que la révolution de ce satellite, ainsi observée par les émerions, sera retardée d'autant de temps que la lumière en aura employé à passer de L en K, et qu'au contraire dans

l'autre quadrature FG, où la Terre s'approchant, va au devant de la lumière, les révolutions des immersions paraîtront autant raccourcies, que celles des émerions avaient paru allongées".

L'IMCCE fournit aisément les dates précises des phénomènes concernant Io (<http://www.imcce.fr> / [Éphémérides](#) / [Phénomènes célestes](#) / [Phénomènes des satellites](#)) ainsi que les positions de la Terre et de Jupiter pour toute date de notre choix. Voici les trajectoires de la Terre et de Jupiter en 2010 du 1/01 au 27/12 (un point tous les dix jours), obtenues en quelques clics avec les logiciels "Éphémérides" et "Regressi". On peut situer les positions lors de la conjonction et de l'opposition, mais aussi lors des deux quadratures. Notez que, cette année, le hasard a fait que ces quadratures auront pratiquement lieu aux dates de nos solstices !

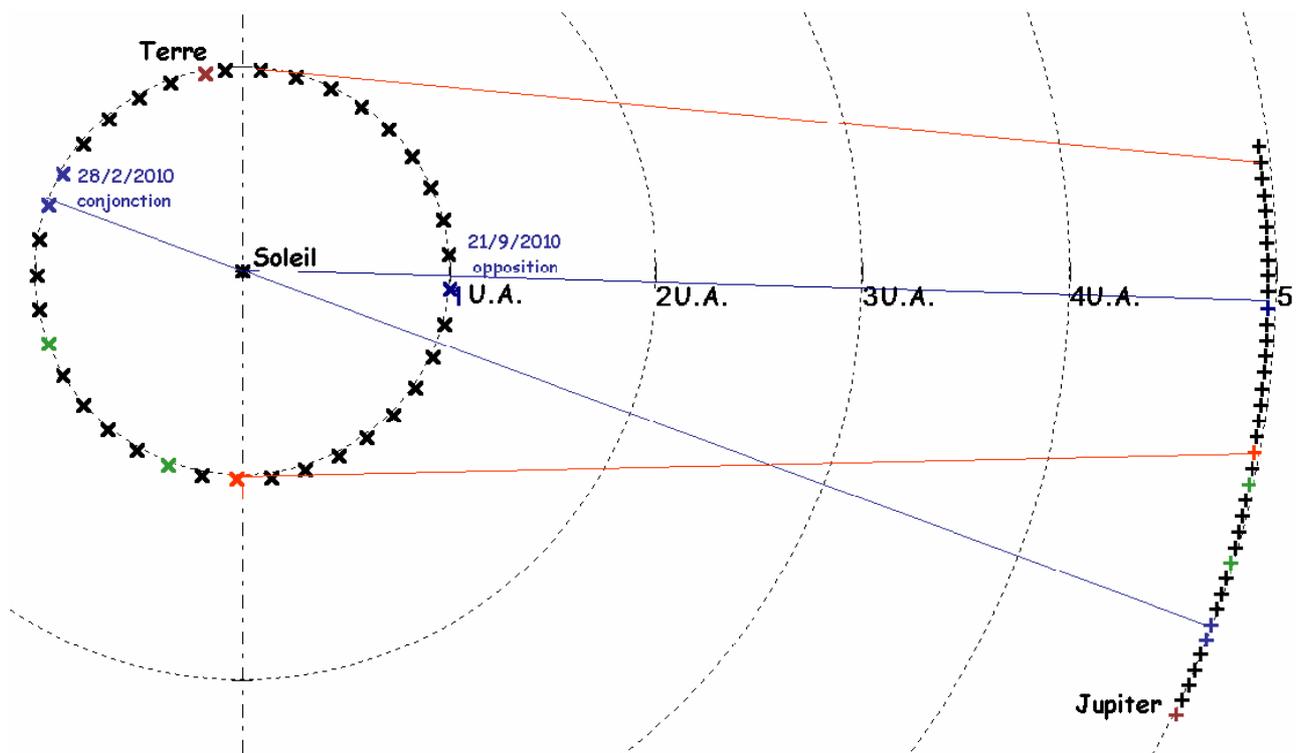


Fig.2. Positions de la Terre et de Jupiter du 1/1/2010 au 27/12/2010 (un point tous les 10 jours)

Le **tableau 1** rassemble quelques-unes des données de l'IMCCE : 11 commencements d'éclipses ont été choisis autour du 20 juin, proches de la première quadrature. Autour de l'opposition du 21 septembre, nous trouvons quelques commencements d'éclipses puis quelques fins. Et lors de la deuxième quadrature (en décembre), nous avons aussi choisi 11 fins d'éclipses. Ces données nous permettront de déterminer la période de révolution de Io autour de sa

planète, et de détecter d'éventuelles irrégularités...

Retrouvons quelques lignes du "Journal des Sçavants" qui nous informe d'une première découverte de Römer : "Après avoir examiné la chose de plus près, il a trouvé que ce qui n'était pas sensible en deux révolutions, devenait très considérable à l'égard de plusieurs prises ensemble, et que par exemple, 40 révolutions observées du côté de F, étaient sensiblement plus courtes que 40 autres, observées de l'autre côté".

Calculons la période moyenne de révolution de Io au moment des quadratures en nous basant sur la durée des 10 périodes que nous avons choisies (au lieu de 40). En juin, nous trouvons 42 h 28 min 30 s mais en décembre c'est 42 h 28 min 52 s. Nous voilà proches des 42 heures et demie de Römer. La précision des éphémérides de l'IMCCE sur l'heure des éclipses est de 0,1 min ou 6 secondes.

date	heure
Éclipses commencements	
11/06/2010	14 :25 :36
13/06/2010	8 :54 :00
15/06/2010	3 :22 :36
16/06/2010	21 :51 :06
18/06/2010	16 :19 :36
20/06/2010	10 :48 :06
22/06/2010	5 :16 :42
23/06/2010	23 :45 :06
25/06/2010	18 :13 :42
27/06/2010	12 :42 :12
29/06/2010	7 :10 :42
13/09/2010	9 :37 :42
15/09/2010	4 :06 :18
16/09/2010	22 :34 :54
18/09/2010	17 :03 :36
20/09/2010	11 :32 :12
Éclipses fins	
22/09/2010	8 :15 :12
24/09/2010	2 :43 :48
25/09/2010	21 :12 :24
27/09/2010	15 :41 :06
29/09/2010	10 :09 :42
10/12/2010	23 :49 :30
12/12/2010	18 :18 :24
14/12/2010	12 :47 :18
16/12/2010	7 :16 :06
18/12/2010	1 :45 :00
19/12/2010	20 :13 :48
21/12/2010	14 :42 :42
23/12/2010	9 :11 :36
25/12/2010	3 :40 :30
26/12/2010	22 :09 :18
28/12/2010	16 :38 :12
30/12/2010	11 :07 :06

Tableau 1

Le fait de déterminer la durée de 10 périodes permet de considérer que les périodes que nous avons obtenues sont connues avec une précision de l'ordre de la seconde : la différence de 12 secondes est donc significative et nous permet de valider la première découverte de Römer !

Revenons au texte original et au développement de l'idée que la lumière ne se propage pas instantanément : "La nécessité de

cette nouvelle Équation du retardement de la lumière est établie par toutes les observations qui ont été faites à l'Académie royale et à l'Observatoire depuis 8 ans, et nouvellement elle a été confirmée par l'émergence du premier satellite observée à Paris le 9 novembre dernier à 5 h 35 min 45 s du soir, 10 minutes plus tard qu'on ne l'eut dû attendre en la déduisant de celles qui avaient été observées au mois d'août lorsque la Terre était beaucoup plus proche de Jupiter, ce que M. Römer avait prédit à l'Académie."

Nous pouvons suivre la méthode de Römer. En cette année 2010, l'opposition de Jupiter aura lieu en septembre. En utilisant nos éphémérides, il est encore possible de calculer la période de révolution de Io à ce moment là. Nous disposons de quelques commencements d'éclipse avant l'opposition et de quelques fins d'éclipses après l'opposition. Nous obtenons une valeur moyenne de 42 h 28 min 37 s. La première fin d'éclipse qui suit l'opposition aura lieu le 22 septembre 2010 à 8 h 15 min 12 s. Comment prévoir (par exemple) la date et l'heure de la cinquantième fin d'éclipse qui suivra celle-ci ? Tout simplement en ajoutant ... 49 fois la période de 42 h 28 min 37 s. Le calcul vous paraît un peu délicat pour nos lycéens ? Rassurez-vous, c'est un jeu d'enfant avec un bon tableur utilisant des cellules aux formats "date" ou "heure"... Et l'on peut annoncer que la cinquantième fin d'éclipse devrait se produire le 18 décembre 2010 à 01 h 37 min 25 s ! Comparons avec les éphémérides de l'IMCCE : une fin d'éclipse est bien prévue ce jour là, mais ... à 01 h 45 min 00 s, soit 7 min 35 s plus tard ! Nous ne sommes pas loin des 10 minutes de retard annoncées en 1676.

Il semble clair aujourd'hui que Römer n'a pas tenté d'obtenir une valeur de la vitesse de propagation de la lumière. Nous pouvons néanmoins proposer à nos élèves de le faire : Si, entre l'opposition et cette 50^e éclipse, l'observation doit être "retardée" de 7 min 35 s, c'est que la lumière aura passé ce temps à parcourir une certaine distance supplémentaire. À l'opposition, la lumière devra parcourir la distance BH (3,95 UA entre Terre et Jupiter selon l'IMCCE). À la date de cette 50^e éclipse, elle devra parcourir davantage. La distance Terre-Jupiter sera alors 4,87 UA (éphémérides IMCCE) : un supplément de 4,87 – 3,95 = 0,92 UA. Nous avons la chance de mieux connaître la valeur de cette "Unité Astronomique" que notre ami Römer (1,50×10¹¹ m). La vitesse de propagation de la lumière est donc :

$$c = \frac{0,92 \times 1,50 \times 10^{11}}{7 \times 60 + 35} = 3,03 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Une valeur proche, à 1% près, de la valeur "officielle" qui aurait été encore meilleure avec la 54^e fin d'éclipse après l'opposition, celle de la nuit... de Noël : On aurait alors trouvé 2,99×10⁸ m/s... Un vrai cadeau, non ?

Une remarque pour finir : la modélisation de ces phénomènes est extrêmement complexe et Römer le savait bien, lui qui s'était « ...aperçu que le premier satellite de Jupiter était excentrique, et que d'ailleurs ses révolutions étaient avancées ou retardées à mesure que Jupiter s'approchait ou s'éloignait du Soleil, et même que les révolutions du premier mobile étaient inégales ». À méditer !

OBSERVATION

Identification des satellites galiléens de Jupiter à partir d'images CCD

André Debackère,
Atelier Scientifique du collège de Monistrol sur Loire

Les élèves d'un atelier scientifique ont pu identifier les 4 satellites découverts par Galilée en janvier 1610 sur des images réalisées lors de soirées d'observation en utilisant les connaissances acquises sur Jupiter et ses satellites depuis Galilée.

Les images ont été réalisées lors de quatre soirées d'observation les 10, 11, 14 et 15 octobre 2008 (les 12 et 13 le ciel était couvert), avec du matériel fourni par "Sciences à l'école", un Schmidt-Cassegrain de 200 mm avec réducteur de champ et une webcam EUHOU.

Prérequis

- Les satellites de Jupiter tournent dans le sens contraire des aiguilles d'une montre (vus du nord).
- On admettra en première approximation qu'ils décrivent des orbites circulaires centrées sur Jupiter.
- On admettra aussi que l'on voit le système jovien par la tranche depuis la Terre.

Nom	Io (I)	Europe (II)	Ganymède (III)	Callisto (IV)
Période de révolution en jours	1,77	3,55	7,16	16,69
Distance angulaire à Jupiter	2' 27"	3' 54"	6' 13"	10' 56"

Tab.1. Caractéristiques des satellites galiléens de Jupiter

Documents de travail

- Images à grand champ de Jupiter et de ses satellites avec le jour et l'heure de prise de vue étalées sur plusieurs jours.



Fig.1. Exemple d'image réalisée à l'atelier

- Logiciels de traitement d'images : Registax et SalsaJ.

Un peu de géométrie

Vu suivant l'axe des pôles de Jupiter, le mouvement de chaque satellite est un mouvement circulaire centré sur la planète. Vu de la Terre, le mouvement de chaque satellite est un mouvement circulaire projeté sur un diamètre (figure 2).

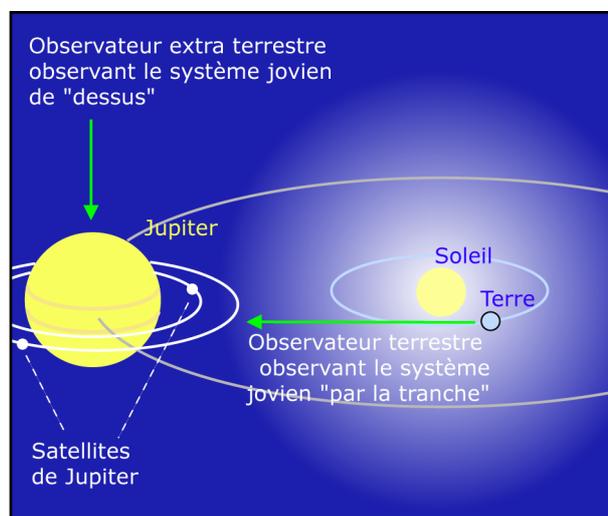


Fig.2. Jupiter vu depuis la Terre

Le schéma suivant (figure 3) montre une coccinelle se déplaçant sur un anneau circulaire, elle passe successivement par les positions 1, 2 et 3 mais lorsqu'on regarde le mouvement de la coccinelle par la tranche on observe qu'elle décrit un mouvement de va-et-vient sur le segment [AB].

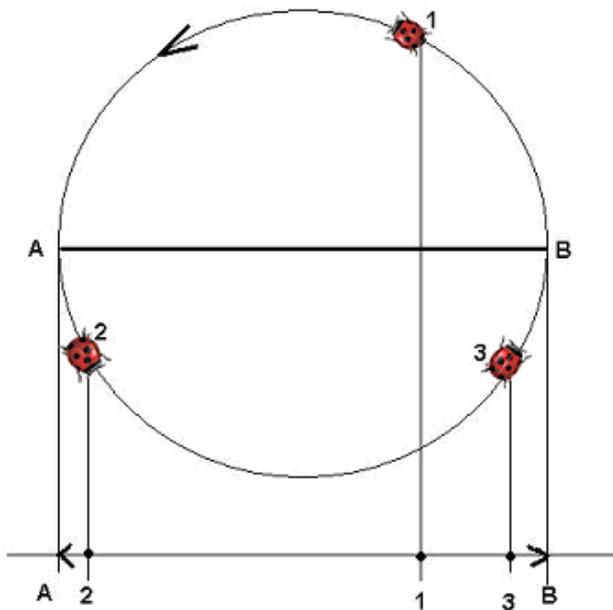


Fig.3. Image d'une coccinelle sur une orbite circulaire. Si on remplace la coccinelle par un satellite, on observe la position de celui-ci sur [AB] et on cherche où il est situé sur son orbite.

Préparation des images

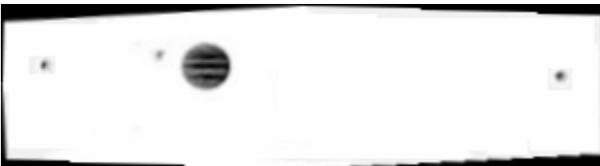
- Couper et enregistrer la partie intéressante de l'image



- Orienter les images en mettant les bandes de nuages de Jupiter parallèles au bord supérieur de la page.



- Passer les images en négatif.



- Utiliser le gabarit pour aligner verticalement les images.

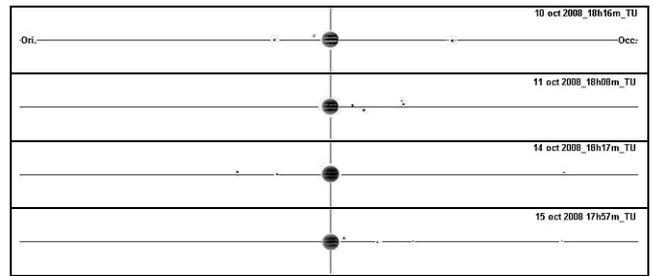
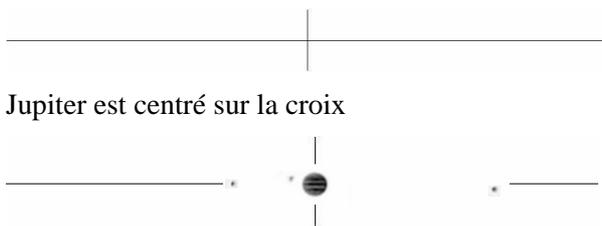


Fig.4. Résultats de quatre soirées d'observation

Exploitation des images

Il faut maintenant identifier ces "petits points" proches de Jupiter. Sur l'image du 10 octobre 2008 (figure 4), on s'intéresse au satellite situé à l'ouest. On le nomme "a". La figure 5 montre qu'il peut s'agir soit de Ganymède soit de Callisto car la droite passant par "a" et perpendiculaire à l'axe est-ouest coupe uniquement les orbites de ces deux satellites.

Il y a deux solutions pour la position de chacun des satellites, mais les positions les plus proches de l'observateur (C1 et G1) ne conviennent pas car le sens de révolution les éloignerait le jour suivant vers l'ouest ce que l'on n'observe pas sur l'image du 11 octobre 2008.

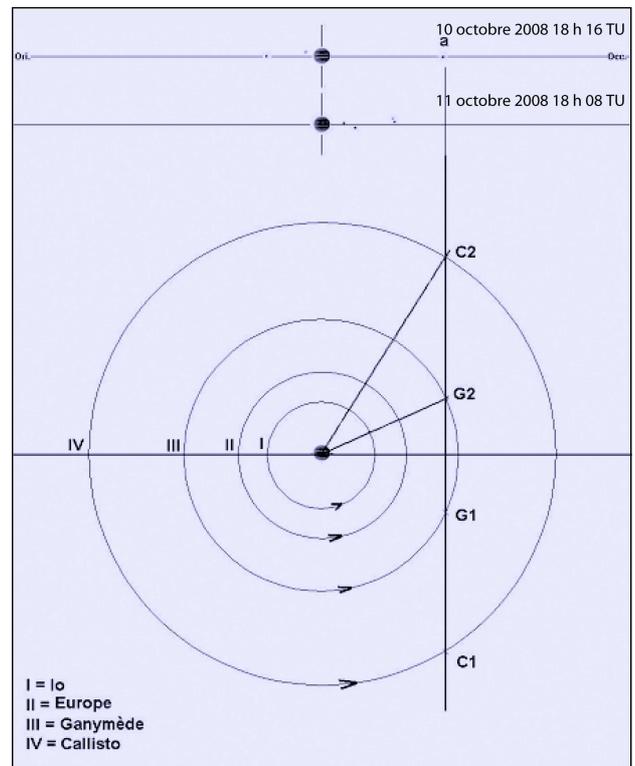


Fig.5. Recherche des positions de Ganymède et Callisto le 10 octobre (par manque de temps, les orbites ont été données toutes tracées aux élèves, leur rayon ayant été calculé à partir de la position de Callisto du 14 octobre).

Un peu de calcul et de géométrie

Pour aller plus loin il nous faut faire quelques calculs, en effet nous avons besoin de savoir de quel angle tourne chaque satellite en 1 jour. Nous allons nous servir du tableau 1. Nous ne ferons pour l'instant que le calcul pour Ganymède et Callisto.

Nom	Ganymède (III)	Callisto (IV)
Période de révolution en jours	7,16	16,69
Angle balayé par jour	50,3°	21,6°

Tab. 2. Vitesse de rotation de Ganymède et Callisto

Nous allons ensuite reporter ces angles à partir des positions C2 et G2 sur les orbites respectives et comparer les positions obtenues aux images suivantes (figure 6).

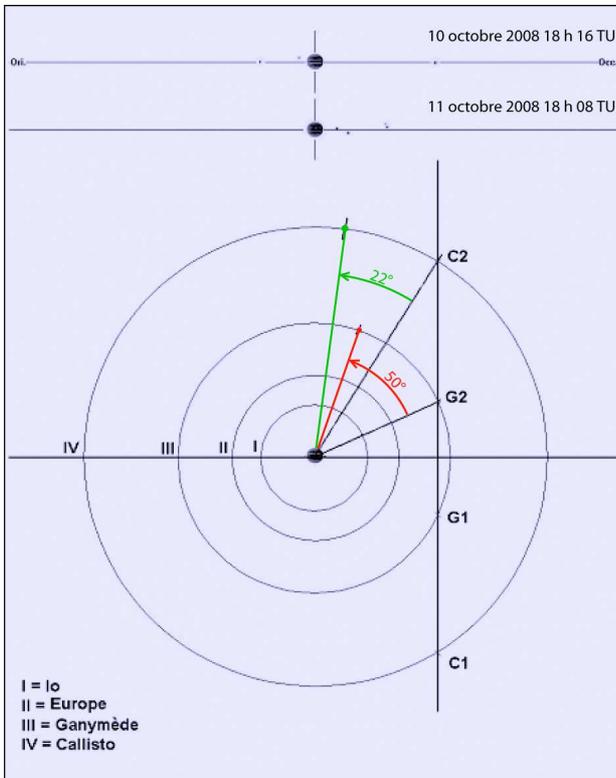


Fig. 6. Positions calculées de Ganymède et Callisto le 11 octobre.

On voit que les positions du 11 octobre pourraient correspondre aussi bien à Ganymède qu'à Callisto. Pour trancher entre les deux, avançons dans le

temps jusqu'à la prochaine image : celle du 14 octobre. Sur cette image l'identification s'améliore car le satellite situé le plus à l'ouest est trop éloigné de la planète et ne peut être que Callisto (IV). Par conséquent le satellite "a" du 10 octobre est Ganymède (III). En revenant en arrière une incertitude subsiste le 11 octobre entre Europe (II) et Callisto (IV). Sur l'image du 10, Callisto est identifié. De la même manière, on reconnaît Ganymède (III) sur l'image du 14.

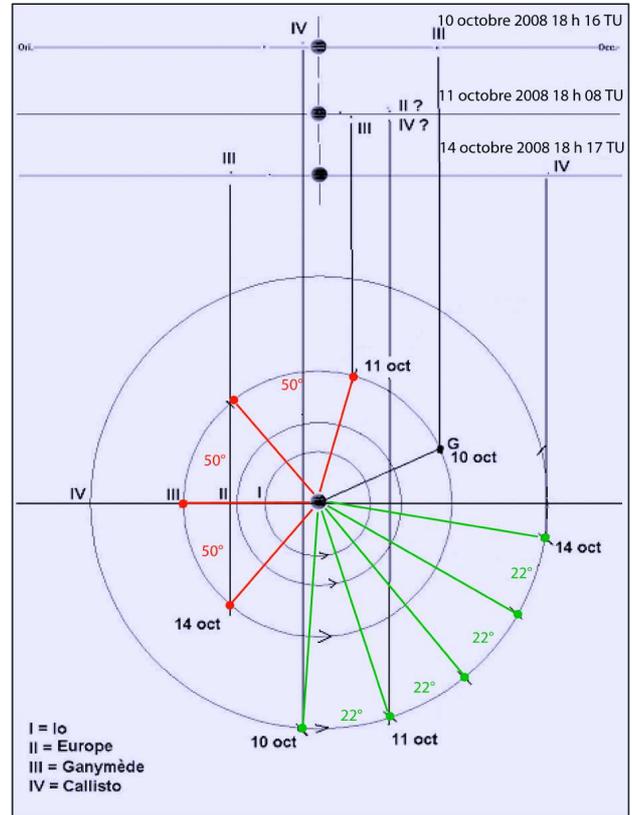


Fig. 7. Positions de Ganymède et Callisto du 10 au 14 octobre 2008

En continuant de la même manière, nous avons pu identifier les quatre satellites sur la photo du 15 octobre. Vous pourrez vous aussi essayer d'y parvenir.

Le lecteur pourra aussi remonter à l'identification des satellites sur les autres images en utilisant la méthode décrite dans cet article. ■

Remue méninges – Pierre Causeret

Cette année, Jupiter et Uranus passent à l'opposition le même jour, le 21 septembre. Dans combien de temps cela se reproduira-t-il ? Les périodes sidérales de la Terre, Jupiter et Uranus sont respectivement 365,256 jours, 4 335,355 jours et 30 708,16 jours.

Solution page 40

NOUVELLE

BD +36° 2538

Florine Martinet (2^{ème} prix du concours Jets-d'Encre 2009)

Le rôle possible de la science fiction.

En février 2009, des scientifiques, historiens et philosophes se sont réunis à Lyon, sous l'égide du Planétarium de Vaulx-en-Velin et du Musée des Confluences, pour débattre d'un sujet fascinant : sommes nous seuls dans l'Univers ? Ce débat a fait l'objet de la publication d'un livret où sont retranscrites les connaissances et les idées ayant trait à ce thème. Y figurent également quelques nouvelles de science fiction, produites lors d'un concours de nouvelles littéraires organisé en 2009, par le collectif Jets-d'encre, un groupement de bénévoles de l'Université Claude Bernard de Lyon. Pourquoi une telle symbiose entre débat scientifique et nouvelles littéraires de science fiction ? La raison est que, par l'imagination, le romancier peut faire, ce qu'on appelle en science, des expériences de pensée. Cet exercice est particulièrement utile dans les domaines où l'expérimentation directe n'est pas possible. Par exemple, comment se passerait la rencontre de deux civilisations radicalement différentes. Comment les individus communiqueraient-ils ? Seraient-ils heureux de partager leur savoir ? Seraient-ils déstabilisés en perdant leurs rêves ? La nouvelle qui est proposée dans le présent Cahier nous livre quelques pistes. A nous d'imaginer la suite ou d'autres voies. Signalons que le livret, contenant les minutes du débat et sept nouvelles originales sur le même thème, est proposé à la vente (voir le site du CLEA).

La pièce était sombre. Un courant d'air glacé passait à travers la fenêtre ouverte et faisait frissonner les rideaux. Cependant le vieil homme ne ressentait pas le froid, et se contentait de la protection dérisoire d'un gilet mité simplement posé sur ses épaules. Cela faisait déjà cinq heures que le soleil s'était couché, et depuis il n'avait pas bougé de son tabouret, le dos bien droit et l'œil collé à l'oculaire de son télescope. Il avait parcouru sans se lasser le ciel limpide du mois de mars, se dirigeant à travers les constellations comme on traverse un paysage familier. Les lentilles puissantes jouaient avec les rayons émanant de chaque astre, les captant à travers le temps et l'espace, les embellissant puis les abandonnant pour un nouveau partenaire, dans une danse lente et ensorcelée. Mais il ne fallait pas s'y fier : cette errance n'avait rien de hasardeux. Elle était parfaitement calculée et se termina comme chaque fois à un endroit précis, où brillait une étoile dont l'éclat était si faible qu'il se confondait parfois avec la luminosité du ciel lui-même. Mais le vieil homme pouvait distinguer chaque scintillement, chaque tressaillement de lumière, et la contemplait amoureusement. C'était son étoile. Il l'avait découverte un soir triste et silencieux, un de ces soirs où il ne supportait plus le bruit de la ville, ni la frivolité de ses semblables. Ce soir-là, il s'était isolé sur une colline avec sa lunette astronomique et une bouteille de whiskey irlandais. La bouteille était à présent posée sur une étagère poussiéreuse, son

liquide ambré luisant dans la pénombre. Il ne l'avait jamais ouverte.

Le ciel était toute sa vie. Il était né lors d'une nuit sans nuages, dans un de ces fossés qui bordent les routes de campagne. Son arrivée avait surpris ses parents sur le chemin menant à la clinique. La première chose qu'il avait contemplée de ses yeux tout neufs avait été la face blême de la lune, avant même le visage de sa mère. Dès qu'il avait ouvert les paupières, il s'était arrêté de hurler. La beauté du ciel nocturne l'avait marqué à jamais. Il avait été un cancre à l'école, solitaire et peu sociable. Il avait appris le nom et la position de chaque constellation et avait assidûment étudié la physique et les mathématiques pour pouvoir entrer à l'Observatoire de Paris, mais ses efforts n'avaient pas été à la hauteur de ses ambitions. Abandonnant alors ses études, il s'était fait embaucher comme ouvrier dans une petite fabrique de textile, où il effectuait un travail simple et répétitif, sans aucune responsabilité. Il n'avait pas de regrets. Pour lui, l'astronomie n'était pas une question de mesures, d'orbites ou de densité, mais plutôt une histoire passionnelle. Et chaque soir, lorsqu'il rentrait dans sa petite baraque au milieu des champs, il avait rendez-vous avec les astres. Les années avaient filé, sans qu'il ne prête attention ni à l'amitié, ni à l'amour. Les étoiles lui suffisaient.

BD +36° 2538 était sa préférée. Il lui parlait souvent, l'appelant sa douce, avec toutes les considérations qu'il aurait pu avoir pour une

femme. Il imaginait ses courbes, la pureté de sa lumière brûlante et se sentait irrésistiblement attiré, comme un papillon de nuit l'était par la flamme d'une bougie. Le plus beau jour de sa vie fut celui où il reçut cette lettre de l'Observatoire. Ce fut d'ailleurs la seule véritable lettre qu'il ne reçût jamais. Rédigée à la main d'une belle encre noire, elle portait le nom de baptême de l'étoile qu'il avait découverte : BD +36° 2538. Certes, la suite de chiffres n'était pas très romantique mais le vieil homme s'en fichait. Il lui suffisait de savoir que l'étoile était là, éternelle, veillant sur lui comme il veillait sur elle. Il l'aimait d'une façon que personne n'aurait pu comprendre.

Puis il avait vieilli et quitté son travail en emportant de maigres économies. À présent il était seul dans sa misérable maison, loin de la ville et de ses détestables lumières électriques. Son corps décharné par les longs jours de jeûne ne ressentait plus ni le froid, ni la fatigue. Le télescope était devenu une partie de lui-même, et lorsqu'il en détachait son œil, la réalité semblait désagréablement déformée. Il ne sortait plus que pour acheter quelques boîtes de conserves chez l'épicier quand la faim n'était plus supportable. Il n'avait aucun contact avec d'autres êtres humains, et cela lui convenait très bien.

Le télescope parvint à la fin de son voyage presque naturellement, sans que le mouvement des mains du vieil homme ne soit perceptible.

- Tu es la plus belle de toutes les étoiles, dit-il à sa douce d'une voix emplie d'émotion.

De sa demeure inaccessible, celle-ci sembla rayonner de plaisir.

Pourtant ce soir, il y avait quelque chose d'étrange dans l'air, quelque chose qui le mettait mal à l'aise et l'empêchait d'apprécier autant que d'habitude ses conversations solitaires. Il avait cependant attendu celle-ci avec impatience, maudissant chaque jour les nuages qui obscurcissaient le ciel. Il haïssait le mauvais temps.

Finalement, énérvé par l'agaçante sensation d'un regard posé sur sa nuque, le vieil homme renonça et détacha son œil de l'oculaire. Il se retourna sur son tabouret et se trouva face à deux invités inattendus.

Les deux êtres étaient grands et minces et émettaient un doux halo bleuté dans la pénombre. Leurs yeux sans pupilles étaient tels des puits d'or fondu. Ils étaient nus, parfaitement asexués et leur belle peau lisse ne possédait aucun défaut. Leur crâne légèrement allongé vers l'arrière ne portait pas le moindre cheveu. Dans leur visage aux traits harmonieux ne s'ouvrait aucune bouche. Leur expression était neutre mais il semblait se dégager d'eux une sorte de bienveillance paternelle.

Le vieil homme les contempla sans broncher. Cela faisait bien longtemps qu'il n'était plus traversé par la brutalité d'émotions telles que la surprise ou la peur. Il attendit simplement que les explications viennent d'elles-mêmes. Une voix mélodieuse retentit à l'intérieur de sa tête.

- Nous avons besoin de votre aide, Humain.

Il n'y eut d'autre réponse que le silence.

- Nous souhaitons établir des relations avec votre planète, reprit la voix.

Le vieil homme se demanda lequel parlait, car les deux êtres étaient parfaitement identiques et parfaitement immobiles.

- Nous pouvons beaucoup vous offrir. Nous possédons un savoir absolu sur l'Univers, qui semble tant vous fasciner.

Enfin, l'intérêt du vieil homme s'éveilla. Une petite lueur de curiosité naquit dans ses yeux délavés.

- Par exemple, ces étoiles que vous observez, expliqua la créature, ce sont en réalité des boules de gaz en fusion. Nous avons développé une technologie permettant de les domestiquer pour en tirer une énergie considérable. Cela vous intéresserait sûrement.

Non, cela ne l'intéressait pas du tout. Il n'aimait pas que l'on parle des étoiles comme de vulgaires objets physiques, des objets dont on pouvait se servir. Elles avaient toujours été libres, pures et inaccessibles et devraient toujours le rester. Il était impossible qu'on puisse ainsi les réduire en esclavage.

Sa voix s'éleva alors dans la pièce, une voix éraillée comme étonnée de sa propre existence.

- Parlez-moi de BD +36° 2538.

Les extraterrestres restèrent impassibles. Alors il leur indiqua le télescope d'un geste de la main. Une des créatures se pencha gracieusement vers l'instrument et y plaça son œil doré.

- Cette étoile ? Il est surprenant que vous la voyiez encore, commenta-t-elle. Elle est morte il y a déjà plus de cinq cents ans.

Brusquement, le vieil homme ressentit le froid qui régnait dans la pièce et celui-ci en profita pour se frayer insidieusement un chemin jusqu'à ses os. Il ne pouvait y croire. Sa douce, sa lumière, la compagne de ses nuits ? Son étoile adorée était en réalité un simple amas de poussière qui avait rendu l'âme bien avant sa naissance ?

- Nous connaissons toute votre galaxie, continua l'extraterrestre en se relevant. Chacune de ses étoiles, de ses planètes est classifiée. Nous avons donné un numéro à chaque astéroïde. Nous avons posé des traceurs sur les comètes qui la parcourent pour suivre leur route. Cette galaxie n'a plus aucun

mystère pour nous. Et nous pouvons tout vous apprendre, déclara-t-il un peu théâtralement, tout ce que nous savons.

Le vieil homme regarda le ciel, et l'espace d'un instant fut envahi par le désespoir. La sensation fut si violente qu'elle faillit l'engloutir. La douleur passa rapidement, mais déchira quelque chose en lui. Quelque chose de très profond, caché dans l'endroit le plus sombre de son âme.

La créature n'avait pas cessé de parler, sa voix harmonieuse décrivant l'étendue du savoir que possédait leur peuple. Elle semblait convaincue que l'homme allait les aider à prendre contact avec les gens importants de sa race, subjugué par leur science. Elles l'avaient choisi lui, parce qu'elles avaient remarqué sa fascination pour le ciel. Sa lunette toujours braquée sur les étoiles avait attiré leur attention. Un observateur aussi attentif serait sans aucun doute heureux de sortir de l'ombre et de participer au mouvement de vie qui était seul capable d'animer la mortelle froideur de l'espace. C'est ce qu'elles avaient pensé et elles ne doutaient pas d'avoir raison.

Mais le vieil homme ne les écoutait qu'à moitié. Une volonté sèche et impassible guidait ses pensées. Une seule chose lui importait à présent. Il interrompit la voix sans montrer la moindre politesse.

- Savez-vous rendre les gens immortels ? questionna-t-il.

Les créatures parurent perplexes, puis lui répondirent par la négative.

- C'est d'ailleurs une des rares choses que nous sommes incapables de faire, précisèrent-elles. Mais ce n'est qu'une question de temps. Cependant, si cela vous intéresse, nous pouvons prolonger votre existence humaine de plusieurs dizaines d'années.

- Parfait, marmonna le vieillard en levant sa carcasse décharnée de son tabouret.

Il se dirigea vers les étagères poussiéreuses clouées au mur. Leur désordre et leur saleté étaient à l'image de la pièce, encombrée de conserves vides, de chiffons et de livres aux pages déchirées. Il s'étira difficilement et attrapa la bouteille de whiskey qu'il n'avait jamais vue. Un ovale de bois propre et brillant resta tracé dans la couche de poussière grise, témoin des années qu'elle avait passé là, immobile, attendant son heure.

- Qu'est-ce que c'est ? demanda un des êtres avec curiosité en tendant une main fine aux longs doigts bleutés.

- Une tradition, répliqua le vieillard. Pourrez-vous le boire ?

Les créatures n'ayant pas de bouche, il était logique de se poser la question. Mais elles le rassurèrent :

elles étaient parfaitement capables d'absorber la nourriture terrienne.

Il sortit de la pièce en leur demandant de l'attendre. Il descendit les escaliers et entra dans la cuisine qui se trouvait au rez-de-chaussée, ouvrit la bouteille et la posa sur la table. Puis il se mit à fouiller dans les placards dont la peinture jaune s'écaillait. Quelques instants plus tard, il trouva ce qu'il cherchait : une vieille boîte de métal rouillée, emplie d'une poudre gris anthracite.

Sans aucune hésitation, il versa le plus de poudre possible dans la bouteille d'alcool et mélangea avec vigueur. Le liquide se troubla un instant, puis redevint limpide. Lorsqu'il revint dans la chambre, les extraterrestres lui tendirent leurs belles mains fines jointes en coupe.

- Versez, ordonnèrent-ils.

Le vieil homme s'exécuta et vit l'alcool ambré être avidement absorbé par la peau bleue des créatures. Il vida la bouteille, le liquide se déversant du goulot avec générosité.

Les yeux d'or fondu s'emplirent de couleurs inconnues et les corps bleus furent secoués de tremblements, le halo s'en dégageant se faisant plus intense. Ils étaient en transe, dévorés par des plaisirs exaltants. Puis, avec un gémissement inaudible pour des oreilles humaines, ils s'affalèrent lentement, leurs corps parfaits disposés sur le sol malpropre comme un tableau peint par un artiste à l'imaginaire torturé. Leur peau se couvrit de taches noires et le halo bleuté s'éteignit.

Le vieil homme eut un regard désintéressé pour les deux cadavres étendus par terre. Dans quelques jours, il faudrait qu'il range tout ce désordre. Mais rien ne pressait. Il retourna dans la cuisine, posa la bouteille vide dans l'évier et rangea la boîte métallique à sa place. Il se souvenait pour quelle raison il l'avait achetée. Il avait toujours dû se battre contre les rats qui venaient détruire le peu de nourriture rangé dans ses placards. Leur engeance était très résistante. Il avait essayé plusieurs substances mais il n'y avait que l'arsenic qui en venait à bout. Cette poudre grise et mortelle était un miracle.

Enfin, il retourna s'asseoir sur son tabouret. La lunette de son télescope n'avait pas bougé et BD +36° 2538 y brillait d'un éclat inaccoutumé. Le vieil homme sourit. Il savait que de sa lointaine demeure perdue à travers l'espace et le temps, l'étoile le remerciait.

- Jamais ma douce, murmura-t-il. Jamais personne ne nous séparera. ■

Une question historique :

Où tombe une pierre lâchée du haut d'une tour ? Au pied de la tour ? Vers l'ouest ? Vers l'est ?

Christian Larcher, Le Perreux sur Marne

Dans ce qui va suivre nous allons examiner différents arguments utilisés au cours de l'histoire pour affirmer ou réfuter le mouvement de la Terre. Nous montrerons que Newton avait déjà perçu que la rotation de la planète devait provoquer une très légère déviation vers l'est des corps qui tombent en chute libre. Le raisonnement simple de Newton donnait une bonne approximation du phénomène mais l'adéquation avec les données expérimentales restait insuffisante. De nombreuses études, qui se poursuivirent jusqu'au XX^e siècle, conduisirent à introduire un facteur 2/3 dans l'évaluation obtenue par Newton, assurant ainsi une bonne compatibilité avec les données expérimentales.

Pour Aristote, la Terre ne tourne pas sur elle-même ; si tel était le cas, une pierre lâchée du haut d'une tour n'arriverait pas à son pied, car pendant sa chute la Terre se serait dérobée en allant vers l'est ; la pierre tomberait donc à l'ouest de son point de départ. Deux mille ans plus tard il en est pratiquement toujours ainsi pour Tycho Brahé (1546-1601). Giovanni Borelli (1608-1679) écrit en 1668 : "Tout ce qui s'élève dans le ciel (oiseaux, nuages) ne partage plus de lien solide avec la Terre et doit, pour un observateur resté sur la Terre, se déplacer vers l'ouest à grande vitesse. Ce n'est pas le cas donc la Terre ne tourne pas".

L'argument paraît convaincant. Un autre argument était aussi avancé : si la Terre était animée d'un mouvement de rotation il devrait en résulter un fort courant d'air...

Galilée (1561-1642) indique qu'une pierre lâchée du sommet d'une tour pourrait garder en elle, "un mouvement indélébile", "un mouvement imprimé" acquis dès le départ ce qui pouvait justifier de sa chute au pied de la tour.

Une autre expérience est tentée en 1634 par l'abbé Marin Mersenne (1588-1648) ; elle consiste à tirer des coups de canon à la verticale. Mais comme aucun boulet n'est retrouvé il en conclut qu'ils se perdent dans l'éther...

Peu après, Newton (1642-1727) considère que quand un corps chute du haut d'une tour il garde sa vitesse d'entraînement. Mais il pense que la bille doit tomber très légèrement à l'est et il propose de mettre expérimentalement en évidence ce fait.

Dans une lettre, datée du 28 novembre 1679 et adressée au physicien Robert Hooke, il écrit : "étant donné qu'avant sa chute le corps était plus éloigné du centre de la Terre que les parties de la Terre

auxquelles il parviendra dans sa chute il en résulte que le mouvement d'ouest en est du corps sera plus important que le mouvement d'ouest en est de ces parties de la Terre (...). L'écart [par rapport à la verticale] sera très petit ; néanmoins je l'estime suffisant pour permettre de juger du fait" (Alexandre Koyré ; Études newtoniennes ; Gallimard 1968 p.282)

Déjà dans le "dialogo" (sur les deux systèmes du monde), publié en 1632, Galilée faisait remarquer que lorsqu'un bateau à voile se déplace, le sommet de son mât parcourt une distance plus grande que son pied. Puisque celui-ci est plus proche du centre de la Terre. Même Simplicio a compris puisqu'il dit que lorsqu'un homme voyage : "Sa tête fait un voyage plus grand que ses pieds".

Dans le langage formel actuel, le raisonnement de Newton consiste à dire que cette déviation résulte uniquement du fait que la vitesse linéaire "horizontale" d'un corps est d'autant plus grande que sa distance à l'axe de rotation de la Terre est plus élevée.

Calculons la déviation dans cette conception :

Si la tour est située sur l'équateur, donc perpendiculaire à l'axe de rotation de la Terre, la vitesse horizontale d'un point A situé au sommet de la tour est (en notant ω_0 la valeur de la vitesse angulaire de la Terre autour de cet axe) :

$v_A = \omega_0(R_T + h)$ par rapport à l'axe de rotation, alors que la vitesse d'un point B, situé au pied de la tour, est $v_B = \omega_0 R_T$

Comme v_A est plus grand que v_B , le corps qui tombe parcourt un arc plus grand que ne le fait le

pied de la tour dans le même intervalle de temps. La bille va donc un peu plus loin vers l'est que le pied de la tour. Calculons la différence, selon l'horizontale, entre la distance parcourue par le point A et celle parcourue par le point B (pied de la tour) situé à l'équateur pendant le temps t de chute en comptant positivement les déplacements vers l'est.

$$\Delta x = (VA - VB)t = \omega_0 (R_T + h).t - \omega_0 R_T.t = \omega_0 h t$$

Si l'on suppose négligeable la résistance de l'air, la chute est uniformément accélérée et la durée de la chute est liée à la hauteur de chute par la relation :

$$h = 1/2 g t^2 .$$

La chute est alors considérée comme parabolique.

En notant Δx_N (N pour Newton) la déviation vers l'est calculée dans la conception de Newton, on en déduit qu'à l'équateur :

$$\Delta x_N = 1/2 \omega_0 h . (2h/g)^{1/2}$$

$$\text{soit, en fonction de } h : \Delta x_N = \omega_0 (2/g)^{1/2} h^{3/2}$$

$$\text{ou encore } \Delta x_N = \omega_0 h . (2h/g)^{1/2}$$

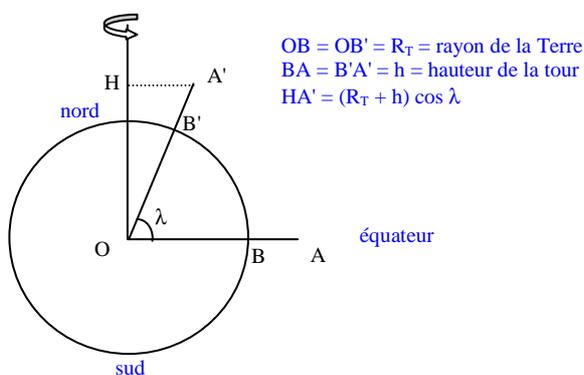


Fig.1. Chute depuis A ou A'

Si la tour est située en un point de latitude λ , la distance du point A' à l'axe de rotation de la Terre (voir figure 1) est :

$$d_{A'} = (R_T + h) \cos \lambda$$

Et celle du point B' :

$$d_{B'} = R_T \cos \lambda$$

La déviation est donc nulle aux pôles ($\lambda = 90^\circ$) et maximale à l'équateur.

Pour $\lambda = 45^\circ$ et $h = 30$ m avec $\omega_0 = 7,292 \cdot 10^{-5}$ rad/s
 $\Delta x_N = 3,82$ mm

Quand les expérimentateurs étudient la chute d'une bille

La vérification expérimentale est très délicate car la déviation est très faible et donc très sensible aux différentes perturbations. Celles-ci résultent de l'influence des mouvements de l'air, d'éventuelles vibrations, de la manière de lâcher la bille mais également de la manière de repérer son impact **au sol**. De plus cette déviation vers l'est est mesurée à partir de la verticale, mais comment déterminer cette verticale ? (1)

(1) nous y reviendrons dans un prochain numéro.

1679 – Hooke réalise l'expérience dans une salle dont la hauteur est de 8,23 m. Il aurait observé une déviation vers le sud-est. Cette affirmation est peu crédible, car pour cette hauteur, la valeur théorique est de l'ordre de 0,5 mm.

1679 – Jean-Dominique Cassini (I) utilise un puits de 56 m de profondeur situé dans le bâtiment Perrault de l'observatoire de Paris (il est toujours visible), mais on n'a pas retrouvé ses résultats.

1790-1791 – l'abbé Guglielmi réalise l'expérience du haut de la Torre degli Asinelli de Bologne ($\lambda = 44,5^\circ$) haute de 77,96 m. Il obtient une déviation vers l'est de 1,889 cm alors que l'évaluation de Newton conduirait à $\Delta x = 1,62$ cm.

1802 – Benzenberg du haut de la tour Saint-Micheal à Hambourg ($\lambda = 53,55^\circ$ et $h = 76,4$ m) observe une déviation vers le sud-est. La déviation observée vers l'est est de 0,9 cm alors que la théorie de Newton donne 1,15 cm.

Il refait l'expérience en 1804 dans un puits de mine à Schlebusch ($\lambda = 51,05^\circ$) profond de 85,1 m. Il dit avoir obtenu en moyenne sur 29 chutes

$\Delta x = 11,5 \pm 2,9$ mm (déviation théorique 16,2 mm selon Newton).

1831 – Reich dans un puits de mine de Freiberg en Saxe ($\lambda = 51^\circ$) observe une déviation vers l'est de 2,83 cm pour une hauteur de chute de 158 m (la valeur calculée selon la théorie de Newton serait de 4,11 cm).

Il trouve également une déviation vers le sud de 0,5 cm ...

1902 – le professeur Hall de l'Université de Harvard opère avec une hauteur de chute de 23 m dans une tour ($\lambda = 39^\circ$ nord). À la suite d'un millier de chutes il trouve une déviation vers l'est de $\Delta x = 0,15$ cm alors que la valeur calculée avec le modèle de Newton serait de 0,28 cm. La hauteur est plus faible que dans les expériences précédentes, mais le travail est mené avec beaucoup plus de soin :

- pour éviter les courants d'air Hall utilisait "un tube de 34 cm de diamètre en coton de traversin d'une seule pièce, tendu par des cintres et des poids de haut en bas de la tour",

- pour déterminer les points d'impact des billes au sol Hall, en 1903, utilisait des assiettes contenant une mixture de suif. L'opération n'était pas facile : si la température est trop basse (par exemple 15° C) le suif est trop dur, il s'émiette, ou se fracture exagérément sous l'impact des billes ; il faut alors ajouter du saindoux. Si la température augmente de quelques degrés le

mélange devient trop tendre et les billes viennent heurter l'assiette ; on ajoute alors un peu de cire d'abeille. Enfin pour repérer la position du centre de masse de chaque bille Hall disposait un "chapeau pointu" posé sur la bille.

1903 – Flammarion à Paris expérimente avec des billes d'acier lâchées du haut de la coupole du Panthéon. Il relate cette expérience, réalisée le 3 juin 1903, dans le Bulletin de la SAF (Société Astronomique de France). Il avait fondé cette société en 1887.

"Nous avons profité de l'installation du pendule au Panthéon pour faire une série d'expériences sur la chute des corps et examiner si le mouvement de rotation de la Terre se manifeste dans cette chute de 68 m de hauteur".

"Un objet situé à 68 m au dessus du sol tourne un peu plus vite que le sol, et la vitesse dont il est animé n'étant pas détruite lorsqu'on l'abandonne à la pesanteur, tend à le faire tomber à 8 mm à l'est de la verticale marquée par le fil à plomb". (Bulletin de la SAF de l'année 1903 p. 329 et suivantes).

Les billes utilisées mesurent 15,84 mm de diamètre et leur masse est de 16,25 g.

Les billes en tombant laissent des empreintes assez profondes sur un plaque en plomb de 2,5 mm d'épaisseur ce qui permet de faire des mesures précises (figure 2).

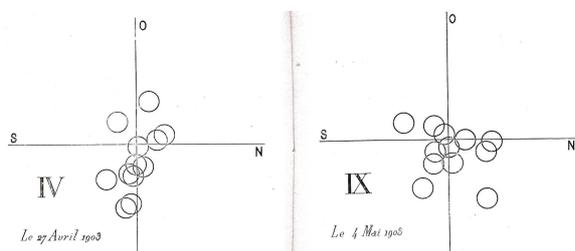


Fig.2. Trace des impacts sur les plaques de plomb

Camille Flammarion utilise un dispositif comportant un électro-aimant sans rémanence, ce qui permet de libérer la bille sans lui communiquer de vitesse initiale autre que celle d'entraînement par la Terre ! Il vérifie que les billes ne conservent pas une aimantation résiduelle, réalise l'expérience de jour et de nuit pour s'affranchir des vibrations éventuellement occasionnées par le passage des voitures (peu nombreuses à l'époque).

Au total il réalise 169 chutes en 14 séries du 20 avril au 14 mai 1903. Il obtient d'assez nombreuses traces qui s'écartent de la valeur théorique. Il attribue l'écart à des mouvements d'air sous la coupole et conclut que la déviation vers l'est est prépondérante ; il l'estime à 0,76 cm vers l'est alors que la valeur théorique de 1,20 cm avec le modèle de

Newton.

Comparaison des déviations expérimentales et calculées

Date - lieu	h en m	λ en degrés	Δx exp en cm	Δx calculé d'après Newton en cm	Δx en cm calculé avec modèle actualisé
1790 Bologne	77,9 6	44,5	1,89	1,62	1,08
1802 Hambourg	76,4	53,55	0,9	1,15	0,77
1804 Schelbush	85,1	51,05	1,15	1,62	1,08
1831 Freiberg	158	51	2,83	4,11	2,74
1902 Harvard	23	39	0,15	0,28	0,19
1903 Paris	68	48,51	0,76	1,20	0,8

Le résultat théorique de Newton n'est pas conforme aux observations ; la déviation a bien lieu vers l'est mais avec une valeur plus faible que celle calculée.

La colonne de droite du tableau indique les valeurs calculées avec un modèle actualisé.

Notons que la déviation observée en 1790 semble avoir été surévaluée.

Où est l'erreur ?

En fait trois questions sont à reprendre compte tenu des connaissances actuelles de physique : à quoi est due cette déviation ? Quelle est la valeur de cette déviation ? Existe-t-il réellement une déviation vers le sud ?

L'article de Georges Paturel qui suit présente une modélisation mathématique de la déviation vers l'est des corps tombant en "chute libre". Ces questions pourront être reprises ultérieurement.

Koyré Alexandre: Études galiléennes ; Éditions Hermann, 1966

Koyré Alexandre: Études newtoniennes ; Éditions Gallimard 1968

Koyré Alexandre: Chute des corps et mouvement de la Terre ; Éditions Vrin 1973.

Newton Issac: Principia Christian Bourgeois ; Éditeur 1985.

Gapaillard Jacques: Et pourtant elle tourne ; Seuil 1993.

Galilée : Dialogue sur les deux grands systèmes du monde Points Sciences ; Seuil 2000.

BUP n° 842 mars 2002 Déviation vers l'est sans force de Coriolis, mais avec une calculette p. 523.

BUP n° 850 janvier 2003 Les preuves expérimentales des mouvements de la Terre p. 25

Reflets de la physique n° 17 janvier 2010 Petite histoire de la force de Coriolis p.18

La chute dans un puits

Georges Paturel, Observatoire de Lyon

Quand la chute des corps sur la Terre est étudiée en prenant en compte la rotation de la Terre, une nouvelle accélération apparaît : l'accélération de Coriolis. On peut ainsi interpréter les expériences historiques de Reich faites en 1833 dans un puits de mine.

Introduction

On peut facilement imaginer une expérience de la chute d'une masse m , par exemple une boule en plomb, dans un puits très profond. La boule va-t-elle arriver exactement à la verticale du point de lâcher ? L'expérience a été faite en 1833, par Ferdinand Reich à Freiberg. Pour une chute dans un puits de mine de 158 m de profondeur, la déviation entre le point de chute observé et le point attendu (donné par un fil à plomb) est de 28 mm. La déviation est toujours dans le sens de la rotation, c'est-à-dire vers l'est. Peut-on comprendre qualitativement et quantitativement ce phénomène ?

C'est ce que nous nous proposons de faire dans cet article.

Analyse de la chute

Pour l'instant nous supposons que le puits est situé à l'équateur. La figure 1 schématise l'expérience.

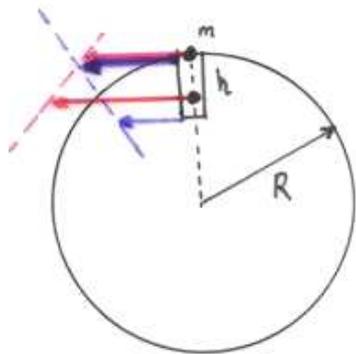


Fig.1. Chute dans un puit à l'équateur en vue du nord.

Quand la boule est maintenue au sommet du puits, sa vitesse horizontale est évidemment égale à celle des bords du puits. Mais le fond du puits a une vitesse horizontale moindre. En effet, le puits fait un tour en 24 heures, entraîné par la rotation de la Terre. Mais les points au sommet parcourent une circonférence plus longue : $2\pi R$, alors que les points du fond du puits parcourent une circonférence plus petite : $2\pi(R-h)$. Donc le fond du puits a une vitesse horizontale plus petite.

On conclut que, si après le lâcher, la vitesse horizontale de la boule restait constante, la boule prendrait de l'avance et tomberait à l'est de la verticale. Il peut sembler que nous ayons compris qualitativement le résultat. Je dis "sembler", car ce n'est pas encore correct.

En effet, quand la boule tombe en chute libre et se rapproche de l'axe de rotation, elle doit conserver le moment angulaire initial qu'elle avait par rapport au centre de la Terre. C'est cette loi qu'utilise le patineur pour tourner plus vite sur lui-même quand il rapproche ses bras de son axe de rotation. La vitesse horizontale de la boule va croître quand elle se rapproche du fond du puits, afin que soit conservée la quantité $m.v.r$. (r est le rayon auquel se trouve la boule et v est sa vitesse horizontale au même point). Si r diminue, v doit augmenter. Donc, pour reprendre une expression maladroite que j'avais eue en expliquant le phénomène : "non seulement la vitesse horizontale de la boule est constante, mais elle augmente".

Accélération de Coriolis

Sur la base de notre analyse, nous allons calculer l'accélération horizontale (en direction de l'est) que prend la boule par rapport au puits (i.e., par rapport au système tournant). C'est l'accélération de Coriolis. Nous supposons que la boule est lâchée depuis un rayon r , quelconque et qu'elle tombe d'une hauteur infinitésimale dh . La vitesse horizontale au moment du lâcher, est w . La vitesse horizontale à la position $r-dh$, causée par la rotation de la Terre est¹ :

$$v = w \frac{2\pi(r-dh)}{2\pi r} = \frac{w(r-dh)}{r}$$

¹ Notez que l'angle entre $\vec{\omega}$ et \vec{v}_{chute} est $\frac{\pi}{2} + \lambda$.

La vitesse horizontale de la boule après la chute sur une hauteur dh est (en vertu de la conservation du moment angulaire) :

$$v' = w \frac{r}{(r - dh)}$$

De sorte que l'excès infinitésimal de vitesse, dv de la boule par rapport au bord du puits est :

$$dv = v' - v = w \left[\frac{r}{r - dh} - \frac{r - dh}{r} \right]$$

En développant et en simplifiant, compte tenu du fait que dh est très petit devant r on trouve :

$$dv = 2w \frac{dh}{r}$$

Si on divise par l'intervalle de temps $d\tau$, infinitésimal, que la boule met pour tomber d'une hauteur infinitésimale dh , on obtient l'accélération cherchée a .

$$a = \frac{dv}{d\tau} = 2 \frac{w}{r} \frac{dh}{d\tau}$$

Notons que $dh/d\tau$ est la vitesse de chute instantanée de la boule, v_{chute} , à la distance r du centre et que w/r est la vitesse angulaire ω (constante pour une rotation d'un corps solide : $\omega = w/r = V/R$). On retrouve ainsi la forme classique de l'accélération de Coriolis :

$$a = 2 \omega \cdot v_{chute}$$

Si la vitesse de chute n'est pas perpendiculaire à l'axe de rotation (ce qui arrive quand l'expérience n'est plus faite à l'équateur - voir la figure 2), il faut considérer uniquement la composante de chute le long de la perpendiculaire à l'axe de rotation.

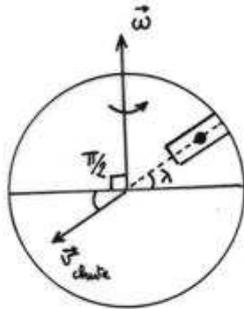


Fig.2.

L'équation devient (λ étant la latitude du lieu) :

$$a = 2 \omega \cdot v_{chute} \cos \lambda,$$

ce qui se résume par la formule vectorielle² :

$$\vec{a} = 2 \vec{\omega} \wedge \vec{v}_{chute}$$

Calcul de la déviation

Nous allons calculer maintenant la déviation du point de chute de la boule par rapport à la verticale quand la boule arrive au fond du puits. Nous pourrions comparer

² Notez que l'angle entre $\vec{\omega}$ et \vec{v}_{chute} est $\frac{\pi}{2} + \lambda$.

avec les résultats expérimentaux de Reich. Le calcul (inspiré du livre de mécanique de Bruhat) est un peu plus complexe car il fait intervenir une équation différentielle, heureusement facile à résoudre.

L'accélération horizontale s'écrit (x étant la déviation cherchée) :

$$a = \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = 2 \omega \cdot v_{chute} \cos \lambda.$$

La dynamique de la chute donne la valeur de v_{chute}

$v_{chute} = g \cdot t$, où g est l'accélération de la pesanteur. On trouve donc que :

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = 2 \omega \cdot g \cdot t \cos \lambda.$$

En intégrant une première fois, on en tire la vitesse :

$$\frac{dx}{dt} = 2 \omega \cdot g \cos \lambda \cdot \left(\frac{t^2}{2} \right) = \omega \cdot g \cos \lambda \cdot t^2.$$

En intégrant à nouveau, on obtient la déviation en fonction du temps de chute :

$$x = \omega \cdot g \cos \lambda \cdot \frac{t^3}{3}.$$

Quant au temps de chute t , il est relié à la hauteur totale de chute h par la dynamique usuelle :

$$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2.$$

En combinant ces deux dernières équations on obtient la déviation totale pour la hauteur h :

$$x = \frac{1}{3} \omega \cdot g \cos \lambda \cdot \left(\frac{2h}{g} \right)^{\frac{3}{2}}$$

Application numérique

Sachant que la latitude de Freiberg est de $50^{\circ}55'$ et reprenant les données de Reich on trouve :

$$x = \frac{1}{3} \times \frac{2\pi}{24 \times 3600} \times 9,81 \times \cos(51^{\circ}) \times \left(\frac{2 \times 158}{9,81} \right)^{\frac{3}{2}}$$

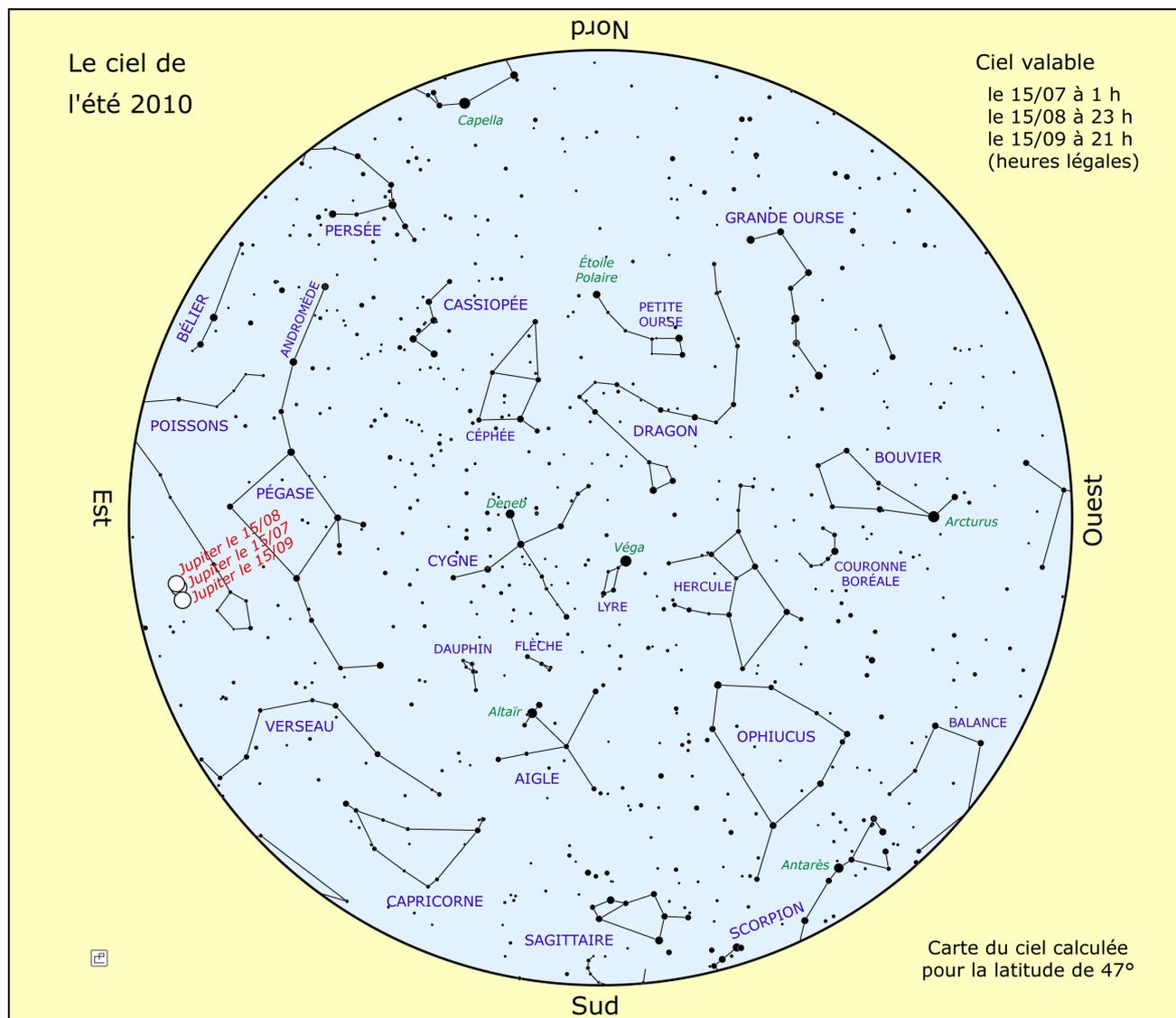
Le résultat du calcul donne $x = 0,0274$ m (27,4 mm) en excellent accord avec l'observation de Reich.

Ce résultat m'a conduit à penser qu'on devrait pouvoir refaire l'expérience avec une hauteur plus faible... J'espère que ce petit calcul suscitera des vocations pour l'expérimentation. ■

Dans le n°126 sur la rotation de la Terre, j'avais abordé rapidement le problème de la déviation vers l'est mais de manière incomplète et de ce fait erronée, comme Newton. Georges Paturol m'avait signalé cette erreur et a bien voulu apporter ces quelques précisions importantes.

Pierre Causeret

Le ciel de l'été 2010



Visibilité des planètes

Mercure sera visible le matin autour du 20 septembre (et difficilement le soir la 2e quinzaine de juillet).

Vénus est observable le soir tout l'été à l'horizon ouest mais très basse. L'élongation de Vénus augmente jusqu'au 20 août et pourtant sa visibilité diminue à cause de la position de l'écliptique.

On pourra voir trois planètes dans le ciel du soir.

En juillet, de gauche à droite Saturne, Mars et Vénus.

Fin juillet début août, Mars passe en dessous de Saturne.

Du 5 au 10 août, les trois planètes tiennent dans un cercle de 3°. Puis Vénus rattrape Mars le 17 août. Et en septembre, les trois planètes se perdent dans les lueurs du couchant.

Jupiter est visible en deuxième partie de nuit dans les Poissons, avec Uranus à proximité (à moins d'un degré autour du 20 septembre).

Quelques événements (en heure légale)

21/06 13 h 28 : Solstice d'été.

26/06 : Éclipse partielle de Lune invisible en Europe.

06/07 : Périhélie. La Terre est au plus loin du Soleil, à 1,016702 UA ou 152 096 450 km.

11/07 : Éclipse totale de Soleil visible du Pacifique.

07/08 : Élongation maximale de Mercure (27° 22' E)

12/08 : Maximum des Perséides.

20/08 : Élongation maximale de Vénus (45° 58' E).

20/08 : Opposition de Neptune.

19/09 : Élongation maximale de Mercure (17° 52' O).

21/09 : Opposition de Jupiter.

21/09 : Opposition d'Uranus.

23/09 5 h 09 : Équinoxe d'automne.

Lune

Pleine Lune : 26/06, 26/07, 24/08, 23/09

Nouvelle Lune : 11/07, 10/08, 8/09

JEUX

La navette de l'espace lettre

Michel Bobin, Le Val Saint Germain

Michel Bobin récidive avec ce nouvel "espace lettre" qui vous donnera à découvrir un extrait d'un texte astronomique d'un auteur qui nous a récemment quitté. La règle n'a pas changé. Il s'agit de trouver des mots à partir de leur définition puis de reporter, grâce aux numéros des cases, les lettres ainsi trouvées dans la grille du bas. Le texte s'étoffant, cette grille elle-même vous aidera à reporter, grâce à leur codage, des lettres dans les grilles de définitions. Pour vous aider, la première colonne en rouge de la grille de définitions contient le nom de l'auteur du texte ainsi que le titre de l'ouvrage où l'extrait fut puisé.

Notre 9 ^e médaille Fields pour les proches	A	38	9	103	77	165	169	91	86	
Sort de teigneux	B	149	23	78	109	123	171	8	70	
Route pour cantonnier	C	116	43	119	67	66	76	162	174	
Notre 7 ^e boule, si lointaine	D	167	72	127	173	50	61			
Somme compensatoire	E	118	33	133	92	71	17			
Prélèvement obligatoire	F	74	10	20	159	130				
Comme une star parfois super	G	56	102	114	150	29	110	140	121	
Quasi quasar (1911-1960)	H	113	111	170	97	108	90	132		
Chimiste au jargon célèbre depuis 1789	I	107	155	163	58	95	172	65	28	
Fondée par Marius, Olivetti l'enrichit	J	81	161	115	59	63				
Bien roulé, il peut se faire allumer	K	15	6	164	1	4	168	16	52	24
Comme Mychkine pour Dostoïevski	L	125	105	22	156	124				
Travaille sur groseille, peut-être au Quesnoy	M	5	49	68	79	39	146	41		
Feu colonel, une palme de piano pour Michèle ?	N	134	175	60	143	166	55	96		
Apportez un chagrin	O	30	11	128	19	57	7			
Céleste sudiste à l'embouchure du fleuve	P	73	64	21	14	112	129	46	89	
Ancêtre du tapis de mulot	Q	25	87	18	148	144	44	151	157	
Fus attentif	R	12	2	141	45	47	104			
Courbe d'errant	S	106	32	98	13	142	37	147		
Mît la main (à la pâte ?)	T	27	139	154	62	85	3			
Une filature à vélo ? Un pavé dans la piscine ?	U	177	26	83	51	137	36	100		
Parménide ou Zénon	V	84	42	117	178	122	54			
Dans l'éponge ou sur le Soleil	W	94	136	53	176	88	126	153		
Envoyât dans l'espace	X	99	120	93	69	75	35	48		
Pour un graveur acide	Y	34	131	40	138	101	82	160	145	
Par lui, la rame agit	Z	152	31	158	135	80				

K1	R2		T3	K4	M5	K6	O7	B8	A9	F10	O11		R12	S13	P14	K15	K16	E17		Q18	O19		F20	P21	L22	B23	K24	Q25	U26	T27	I28	G29		O30	Z31
S32	E33	Y34	X35	U36	S37		A38	M39	Y40	M41	V42	C43		Q44	R45	P46	R47	X48		M49	D50	U51	K52	W53	V54		N55	G56	O57		I58	J59	N60	D61	T62
J63	P64	I65	C66	C67	M68		X69	B70		E71	D72	P73	F74	X75	C76		A77		B78	M79	Z80	J81	Y82	U83	V84		T85		A86	Q87	W88	P89	H90	A91	
E92	X93	W94		I95	N96	H97	S98	X99	U100	Y101	G102	A103	R104		L105	S106		I107	H108	B109	G110	H111	P112		H113	G114	J115		C116	V117		E118	C119	X120	G121
V122		B123	L124		L125	W126		D127		O128	P129	F130	Y131	H132	E133	N134	Z135		W136	U137	Y138	T139	G140	R141	S142	N143	Q144	Y145	M146	S147	Q148		B149		G150
Q151	Z152	W153	T154	I155	L156	Q157		Z158		F159	Y160	J161	C162	I163	K164	A165		N166	D167		K168	A169		H170		B171	I172	D173	C174	N175	W176	U177	V178		

Solution page 38

POTINS DE LA VOIE LACTÉE (2)

1. Au mois de mai dernier, le corps de Nicolas Copernic a été inhumé à nouveau dans la cathédrale de Frombork en Pologne, 557 ans après sa mort.

Chanoine de cette cathédrale il y fut inhumé dans une tombe anonyme en mai 1453. À la demande de l'archevêque de Frombork, des recherches furent entreprises en 2004. Un an plus tard les archéologues retrouvèrent un corps dont l'âge au moment du décès correspondait aux 70 ans de Copernic. Une reconstitution du visage par ordinateur montra une forte ressemblance avec les portraits connus de l'astronome.

Des cheveux trouvés en Suède, dans un ouvrage daté de 1518 qui avait appartenu à l'astronome ont permis de réaliser des tests ADN. Ceux-ci réalisés en Pologne et en Suède sur les cheveux et une dent du crâne ont levé le doute.

2. L'ESO a choisi le Chili pour l'implantation du E-ELT, European Extremely Large Telescope (couverture du CC128). Bien que plusieurs sites étaient en compétition, l'ESO a préféré le Cerro Armazones à 20 km à vol d'oiseau de Paranal. Ce télescope sera composé d'un miroir principal de 42 m réalisé à partir de 906 éléments hexagonaux et d'un miroir secondaire de 6 m. Avec sa surface collectrice 25 fois plus grande que celle d'un télescope de 8 m, il donnera des images 18 fois plus fines que celle de Hubble, et ce, malgré les effets de turbulence.

Sa construction débutera en 2011 avec une première

lumière espérée en 2018. Il devancera de justesse deux télescopes américains prévus vers 2020 : le télescope Magellan de 24 m (7 éléments de 8,4 m) qui sera implanté au Chili et un télescope de 30 m composé de 36 éléments hexagonaux qui sera construit au sommet de Mauna Kea à Hawaï. (*Futura Science*)

3. Avancement du chantier ALMA (Atacama Large Millimeter/sub millimeter Array) : la première antenne vient d'être acheminée à 5000 m d'altitude ; elle pèse environ 100 tonnes et à terme, une soixantaine d'autres antennes de 12 et 7 m de diamètre devront la rejoindre. Les observations devraient commencer fin 2011 avec 3 antennes.

4 Véra : on vient de détecter au Pic du Midi le champ magnétique de Véra, située à 25 a.l. de la Terre ; il a même été mesuré à 50 microteslas, soit une valeur comparable au champ moyen de la surface terrestre (c'est aussi le même ordre de grandeur que le champ magnétique du Soleil calme

5. Cristaux cométaires : on a constaté que des comètes provenant des régions froides du système solaire contenaient des cristaux de silicates, nécessitant des températures élevées pour se former ; comment l'expliquer ? En observant une jeune étoile de type solaire avant et après éruption, on a constaté la présence de cristaux après éruption dus à la cuisson de particules minérales présentes dans le disque entourant l'étoile.

Solution du jeu de la page 37

La citation : "Au treizième siècle, un philosophe polonais Witelo avait publié une perspective. Ce traité d'optique a nourri les réflexions de Kepler sur le sujet et il a intitulé paralipomènes à Vitellon l'ouvrage qu'il y consacra"

Walusinski, Ciel passé présent aux éditions études vivantes, Paris Québec 1981.

Gilbert Walusinski (31/01/1915 - 13/01/2006) est un pilier fondateur du CLEA (voir CC 113) et un acteur incontournable de l'enseignement mathématique dans la France du 20e siècle. Brochure hommage APMEP 471.

A. Wendelin Werner, fut en 2006 la 9^e médaille Field française et la 3^e issue du labo de maths d'Orsay.

C. "Sur la route de Louviers, il y avait un cantonnier...".

H. 1% des galaxies, celles de Seyfert, ont un noyau dont l'énergie fait qu'elles s'approchent des quasars.

I. Martin Klaproth, chimiste et minéralogiste allemand, étudiant le Zircon ($ZrSiO_4$), autrefois nommé jargon de Ceylan), découvrit le Zirconium.

J. Ivree pour les Français ou Ivrea pour les Italiens, fondé par Marius, cité du Piémont, célèbre par ses industries graphiques. Olivetti y fut fondée en 1908.

L. Mychkine est le héros de Fedor Dostoïevsky, dans l'Idiot (1868).

N. Pierre Palmade et Michèle Laroque, le colonel Laroque et les "Croix de Feu", et le festival de piano à Laroque d'Anthéron.

P. Achernar, alpha Eridani, non visible en France. Son nom arabe est Al Akhir Al Nahr (embouchure du fleuve) ; l'Eridan représentant le Pô ou le Nil dans l'antiquité.

Q. Roubaix, son industrie textile, ses pavés du Paris-Roubaix et son Musée-Piscine.

LA VIE ASSOCIATIVE

ÉVRY SCHATZMAN



Évry Schatzman, qui nous a quittés en avril dernier à l'âge de 89 ans, a profondément marqué l'astronomie française par les impulsions qu'il a données à un moment clé qui vit la naissance de l'école française d'astrophysique. Impulsion due aux pistes qu'il a ouvertes, grâce à ce que Jean-Claude Pecker a appelé "une rare intuition créatrice", mais aussi aux élèves dont il a su s'entourer.

Le jeune physicien entré en 1939 à l'École Normale Supérieure de la rue d'Ulm s'est tourné vers l'astrophysique par un hasard de circonstances. Circonstances hautement tragiques. Les lois antijuives de Vichy l'avaient contraint à la clandestinité et à chercher refuge dans un lieu retiré : ce fut l'Observatoire de Haute-Provence avec la complicité de son directeur Jean Dufay. Il y assistait Charles Fehrenbach dans les observations que celui-ci menait avec le télescope de 120, le seul qui fut en service alors, et eut tout loisir pour y fréquenter la bibliothèque astronomique où il prit en particulier connaissance du compte rendu d'un colloque portant sur la structure des étoiles naines blanches, thème qui devint, la guerre terminée, son sujet de thèse ; il fit aussi à l'OHP la rencontre de Daniel Chalonge et Daniel Barbier, qui furent, avec Henri Mineur, les fondateurs de l'école de spectroscopie stellaire en France.

L'école française d'astronomie implantée dans le cadre spécifique des Observatoires était engagée dans l'astronomie de position et la mécanique céleste ; le principal recrutement se faisait parmi les étudiants de

formation mathématique. Le rapprochement avec la physique n'allait donc pas de soi, d'autant que l'astrophysique naissante manquait de rigueur, à la fois par la qualité limitée des données d'observation et la manque d'outils physiques pour les interpréter. Pour des chercheurs qui souhaitaient une très haute précision dans la mesure des mouvements des planètes, l'imprécision de l'astrophysique avait un côté peu engageant. Ceci explique que, en 1946, Évry Schatzman fut recruté au CNRS et, qui plus est, dans la section de physique et non dans celle d'astronomie.

Il mit alors toute son énergie à lancer ou développer la recherche en astrophysique théorique, à soutenir les projets qui lui paraissaient innovants – ce fut le cas de la radioastronomie – et à s'investir dans l'enseignement pour y attirer des étudiants susceptibles de s'intéresser à ces projets. Il fut le premier titulaire d'une chaire d'astrophysique, le créateur du DEA d'Astrophysique et, conjointement avec Jean-Loup Delcroix du DEA de Physique des Plasmas.

Les recherches d'Évry Schatzman ont fourni des idées motrices, dans de nombreux domaines, par exemple sur la diffusion des éléments dans les milieux astrophysiques, l'origine thermonucléaire de l'énergie stellaire, les ondes sismiques de pression et de gravité qui parcourent la masse du Soleil, ou l'évolution des étoiles. Il fit pour l'une des assemblées générales du CLEA, une conférence, reproduite dans le numéro 80 des Cahiers, qui traitait de ces sujets.

Évry Schatzman était convaincu de l'importance qu'il y a à diffuser les connaissances scientifiques – en faisant une distinction sévère entre science et technique – et fut l'auteur de plusieurs ouvrages en ce domaine ; il apporta un soutien particulièrement important à notre association qui bénéficia grâce à lui, pendant plusieurs années, d'un financement du CNRS.

Beaucoup parmi les astronomes du CLEA, pourraient témoigner de l'influence qu'Évry Schatzman a exercé sur leur parcours scientifique. À commencer par ceux qui ont fait partie de son laboratoire, tels Nicole Bel, André Brahic, Suzy Collin-Souffrin ou Jean-Paul Zahn. Ou encore ceux qu'il a engagés dans les voies qu'il jugeait importantes : la spectroscopie stellaire de l'école Chalonge (Michèle Gerbaldi) ou la radioastronomie (Lucette Bottinelli et moi-même).

Je terminerai sur une note plus personnelle. Je lui dois mon orientation vers l'astrophysique alors que

j'étais de formation mathématicienne, sans goût particulier pour la physique qui me semblait un univers clos. C'est son enseignement, en licence, qui m'a

montré qu'il y avait des questions non résolues et des choses à découvrir...

Lucienne Gougenheim

"D'aucuns disent que j'ai été la locomotive en France dans le domaine de l'astrophysique théorique ; si c'est vrai, c'est surtout par personnes interposées. Je veux dire par là qu'il y a ce que j'ai fait personnellement et ce qu'ont fait ceux que j'avais formés. Autrement dit, c'est parce que des gens ont pris le relais que cela s'est opéré. J'ai beaucoup plaidé pour certaines directions de recherche qui se sont révélées fécondes.

Je me souviens, en 1950, être allé passer trois jours à Leyde où Oort m'a dit qu'ils avaient un problème d'interprétation des rayonnements émis par la nébuleuse du Crabe. À cette époque, je ne connaissais en matière de rayonnement que le domaine optique et j'ai cherché si, au moyen d'un certain nombre de processus optiques, on pouvait expliquer certaines particularités de la nébuleuse du Crabe. J'ai dû travailler un mois ou deux sur ce problème. Je n'ai rien trouvé et j'ai abandonné. Or à la même époque, Schklovsky en URSS, un théoricien qui était justement en contact avec des radioastronomes, a pensé à un mécanisme qui était l'émission de rayonnements par un électron qui tourne dans un champ magnétique. Cela s'appelle le rayonnement synchrotron. Schklovsky a montré que le rayonnement de la nébuleuse du Crabe donnait une information sur le champ magnétique du milieu ambiant.



Mon ignorance totale de ce mécanisme de la physique faisait que je n'y avais pas pensé. J'ai trouvé la signification de ce genre de relation culture - découverte tellement significative, que dans un colloque organisé par Gérard Simon à Lille, j'ai donné cet exemple pour montrer comment une certaine culture - même en dehors du champ où l'on travaille - est essentielle à la découverte. C'est une affaire qui m'a servi de leçon par la suite.

Je dois dire qu'il y a eu des cas où j'ai eu beaucoup de peine à faire entendre que le but de l'astrophysique n'était pas simplement de ramasser des données mais de comprendre. S'il y a une chose que j'ai peut-être obtenue, en tant que sillage de formation, c'est de faire reconnaître l'idée qu'on fait de l'astrophysique pour comprendre ce qui se passe".

Extrait de "Entretien avec Évry Schatzman" (J.-F. Picard, le 24 février 1987)

<http://picardp1.mouchez.cnrs.fr/Schatzman.html>

Solution du remue méninges page 27.

Une méthode consiste à trouver les périodes synodiques de Jupiter et d'Uranus puis à chercher un multiple commun de ces deux nombres.

Rappelons que la période synodique de Jupiter (que je noterai PSJ) est le temps qui sépare deux oppositions. Elle se calcule avec la formule $1/PSJ = 1/365,3 - 1/4335,4$. On obtient 398,9 jours pour PSJ. Et 369,7 jours pour Uranus (PSU). Comment trouver ensuite un multiple commun de ces deux nombres ? D'autant plus qu'on ne cherche pas une solution exacte. C'est un problème bien connu des amateurs de calendrier qui se résout par le développement en fractions continues. On cherche une fraction, un quotient de deux entiers, qui soit le plus proche possible de PSJ/PSU.

Je passe sur la résolution (voir par exemple le livre de J Lefort sur les calendriers) et je vous donne les solutions : 13/12, 14/13, 27/25, 41/38, 396/367... Prenons la solution 41/38, qui est déjà assez précise.

$PSJ/PSU \approx 41/38$ signifie $38 \times PSJ \approx 41 \times PSU$. On a bien trouvé un "presque multiple" commun de PSJ et PSU, qui vaut environ 15 156 jours.

On peut calculer que, 15 156 jours après le 21 septembre 2010, ce sera le 20 mars 2052. On peut vérifier que ce jour-là, les trois planètes seront presque alignées. Leurs longitudes héliocentriques seront de 179,9° (Terre), 180,6° (Jupiter) et 177,5° (Uranus). L'écart est quand même de 3° mais les vitesses des planètes ne sont pas constantes...

On peut noter que cette méthode permet de manière plus générale de retrouver un alignement de trois planètes en cherchant des fractions proches de $(1/T1 - 1/T2)/(1/T2 - 1/T3)$ où T1, T2, T3 sont les périodes sidérales de ces planètes.

La vitesse des planètes n'étant pas constante, la méthode n'est pas toujours précise.

Patrick Rocher de l'IMCCE me signale une opposition d'Uranus le 12/01/2038 suivie 2 jours plus tard par celle de Jupiter. Ces deux oppositions se produisent 9976 jours après le 21/09/2010, ce qui correspond à $25 \times PSJ$ ou $27 \times PSU$ (fraction 27/25).

Pierre Causeret

Colloque de l'Association des Planétariums de Langue Française (APLF) du 13 au 16 mai à Dijon.

Pierre Causeret et Jean Ripert qui représentaient le CLEA, ont fait une présentation de notre association et des Cahiers Clairaut (nombreux sont les membres de l'APLF qui sont abonnés aux CC).

les contacts ont été fructueux et nous avons obtenues diverses informations.

Le CLEA qui possède l'un des premiers planétariums mobiles de France a adhéré à l'APLF, cette adhésion a été parrainée par Agnès Acker et Marie-France Duval, bien connues des membres du CLEA.

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

Les productions du CLEA ⁽¹⁾

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)

Le formulaire de commande est sur le site.

(1) vente aux adhérents uniquement

Planétarium

Il est possible également de louer le planétarium gonflable (starlab) du CLEA. Cette année 2010, il sera en Région Midi-Pyrénées. (uniquement pour le planétarium contact : jean.a.riper@wanadoo.fr)

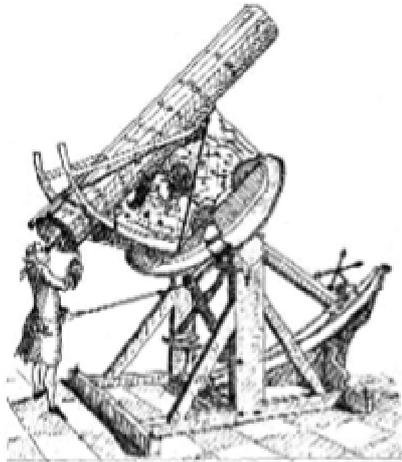
Le site internet

Une information toujours actualisée

www.clea-astro.eu



LES CAHIERS CLAIRAUT



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

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

COMMENT NOUS JOINDRE ?

Informations générales :

www.clea-astro.eu

ou

www.ac-nice.fr/clea

Siège Social :

CLEA,
Observatoire de Lyon
69561 ST-Genis Laval CEDEX

École d'Été d'Astronomie :

cecile.ferrari@cea.fr

Cahiers Clairaut :

larcher2@wanadoo.fr

Ventes des productions :

www.clea-astro.eu

Site internet :

berthomi@ac-nice.fr

Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2010 : 5 €
Abonnement pour 2010 : 30 €
Tarif réduit, abonnement : 28 €
Abonnement + adhésion : 35 €

Chèque à l'ordre du CLEA, à envoyer à :
Jean Ripert
Impasse de Mouyracs
46090 PRADINES

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

Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979
Numéro CPPAP : 0310 G 89368
Prix au numéro : 8 €
Revue trimestrielle : numéro 130, juin 2010