

LES CAHIERS CLAIRAUT

N° 136 - Décembre 2011 7 €

1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
FÉVRIER Les jours augmentent de 1 h 32	Février Les jours augmentent de 1 h 30	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 34	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 34	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 33	Février Les jours augmentent de 1 h 30	Février Les jours augmentent de 1 h 34
1 S Ella 2 D Prés. du Seign. 3 L Blaise 06		1 M Ella 2 M Présentation 3 J Blaise 4 V Véronique	1 M Ella 2 J Présentation 3 V Blaise	1 J Ella 2 V Présentation 3 S Blaise	1 S Ella 2 D Présentation 3 L Blaise	1 D Ella 2 M Présentation 3 L Blaise

Bulletin du Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

1999	2000	2001	2003	2004	2005
Février Les jours augmentent de 1 h 35	Février Les jours augmentent de 1 h 38	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 35	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 31	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 35	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 32
1 L Ella 2 M Présentation 3 M Blaise 4 J Véronique 5 V Agathe 6 S Gaston 7 D Eugénie	1 M Ella 2 M Présentation 3 J Blaise 4 V Véronique 5 S Agathe 6 D Gaston 7 L Eugénie 8 M Jacqueline 9 M Apolline 10 M Arnaud 11 J N.-D. Lourdes 12 V Félix 13 S Béatrice 14 D Valentin 15 L Claude 16 M Mardi-Gras 17 M Cendres 18 J Bernadette 19 V Gabin 20 S Aimée 21 D 1 ^{er} Dim. Carême	1 J Ella 2 V Prés. Seign. 3 S Blaise 4 D Véronique 5 L Agathe 6 M Gaston 7 M Eugénie 8 J Jacqueline 9 V Apolline 10 S Arnaud 11 D N.-D. de Lourdes 12 L Félix 13 M Béatrice 14 M Valentin 15 J Claude 16 V Julienne 17 S Alexis 18 D Bernadette 19 L Gabin 20 M Aimée 21 M Pierre Damien 22 J Isabelle 23 L Lazare 24 S Modeste 25 V Roméo 26 D Nestor 27 D Honorine 28 L Romain 29 M Auguste	1 S Ella 2 V Prés. Seign. 3 M Blaise 06 4 M Véronique 5 M Agathe 6 M Gaston 7 J Eugénie 8 D Jacqueline 9 L Apolline 10 M Arnaud 11 M N.-D. de Lourdes 12 M Félix 13 M Béatrice 14 V Valentin 15 S Claude 16 D Julienne 17 L Alexis 18 M Bernadette 19 M Gabin 20 J Aimée 21 S Pierre Damien 22 D Isabelle 23 L Lazare 24 M Mardi-Gras 25 M Cendres 26 J Nestor 27 V Honorine 28 S Romain 29 D Carême	1 D Ella 2 M Prés. du Seign. 06 3 M Blaise 4 M Véronique 5 J Agathe 6 S Gaston 7 S Eugénie 8 D Jacqueline 9 L Apolline 10 M Arnaud 11 M N.-D. de Lourdes 12 J Félix 13 V Béatrice 14 S Valentin 15 D Claude 16 L Julienne 17 M Alexis 18 M Bernadette 19 J Gabin 20 S Aimée 21 S Pierre Damien 22 D Isabelle 23 L Lazare 24 M Mardi-Gras 25 M Cendres 26 J Nestor 27 V Honorine 28 S Romain 29 D Carême	1 M Ella 2 M Prés. Seign. 3 J Blaise 4 V Véronique 5 S Agathe 6 D Gaston 7 L Eugénie 8 M Mardi-Gras 9 M Cendres 10 J Arnaud 11 V N.-D. de Lourdes 12 S Félix 13 D Carême 14 L Valentin 15 M Claude 16 M Julienne 17 J Alexis 18 V Bernadette 19 S Gabin 20 D Aimée 21 L Pierre Damien 22 M Isabelle 23 M Lazare 24 J Modeste 25 V Roméo 26 S Nestor 27 D Honorine 28 L Romain 29 M Auguste

1900
Février

1 J S. Ignace
2 V PURIFICATION
3 S. Blaise
4 D S. Gilbert
5 L S. Agathe
6 M S. Doroth.
7 M S. Romain
8 J S. Jean de M.
9 V S. Apolline
10 S S. Scholastiq.
11 D SEPTUAGES.
12 L S. Eulalie
13 M S. Grégoire
14 M O. S. Valentin
15 J S. Faustin
16 V S. Julienne
17 S S. Théodote
18 D SEXAGESIME
19 L S. Gabin
20 M S. Silvain
21 M S. Pépin
22 J S. Isabelle
23 V S. Milburne
24 S S. Mathias
25 D QUINQUAGES.
26 L S. Nestor
27 M MARDI-GRAS
28 M CENDRES

L'année russe retardée de 12 jours

2006	2007	2008	2010	2011	2012
FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 31	Février Les jours augmentent de 1 h 30	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 31	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 30	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 33	FEVRIER Les jours augmentent de 1 h 38
1 M Ella 2 J Prés. du Seign. 3 V Blaise 4 S Véronique 5 D Agathe 6 M Gaston 7 M Eugénie 8 M Jacqueline 9 J Apolline 10 V Arnaud 11 S N.-D. de Lourdes 12 D Félix 13 L Béatrice 14 M Valentin 15 M Claude 16 J Julienne 17 V Alexis 18 S Bernadette 19 D Gabin 20 L Aimée 21 M Pierre Damien 22 M Isabelle 23 J Lazare 24 V Modeste 25 S Roméo 26 D Nestor 27 L Honorine 28 M Mardi-Gras	1 J Ella 2 V Prés. du Seigneur 3 S Blaise 4 D Véronique 5 L Agathe 6 M Gaston 7 M Eugénie 8 J Jacqueline 9 V Apolline 10 S Arnaud 11 D N.-D. de Lourdes 12 M Félix 13 M Béatrice 14 M Valentin 15 J Claude 16 V Julienne 17 S Alexis 18 D Bernadette 19 L Gabin 20 M Mardi-Gras 21 M Cendres 22 J Isabelle 23 S Lazare 24 V Modeste 25 D 1 ^{er} dim. de Carême 26 L Nestor 27 M Honorine 28 M Romain	1 V Ella 2 S Prés. du Seign. 3 D Blaise 4 L Véronique 5 M Mardi-Gras 6 M Cendres 7 J Eugénie 8 V Jacqueline 9 S Apolline 10 D Carême 11 L N.-D. de Lourdes 12 M Félix 13 M Béatrice 14 J Valentin 15 V Claude 16 S Julienne 17 D Alexis 18 L Bernadette 19 M Gabin 20 M Aimée 21 J Pierre Damien 22 D Isabelle 23 L Lazare 24 M Mardi-Gras 25 L Roméo 26 M Nestor 27 M Honorine 28 J Mi-Carême 29 V Auguste	1 L Ella 2 M Prés. du Seigneur 3 M Blaise 4 V Véronique 5 V Agathe 6 S Gaston 7 D Eugénie 8 L Jacqueline 9 M Apolline 10 M Arnaud 11 J N.-D. de Lourdes 12 V Félix 13 M Blaise 14 M Véronique 15 M Agathe 16 M Gaston 17 J Eugénie 18 D Jacqueline 19 L Apolline 20 M Arnaud 21 M N.-D. de Lourdes 22 J Félix 23 M Blaise 24 M Véronique 25 M Agathe 26 S Gaston 27 D Eugénie 28 L Jacqueline 29 M Apolline 30 M Arnaud 31 J N.-D. de Lourdes 32 V Félix	1 M Ella 2 M Prés. du Seigneur 3 J Blaise 4 V Véronique 5 S Agathe 6 D Gaston 7 L Eugénie 8 M Jacqueline 9 M Apolline 10 M Arnaud 11 V N.-D. de Lourdes 12 S Félix 13 D Carême 14 L Valentin 15 M Claude 16 M Julienne 17 J Alexis 18 V Bernadette 19 S Gabin 20 D Aimée 21 L Pierre Damien 22 M Isabelle 23 M Lazare 24 J Modeste 25 V Roméo 26 S Nestor 27 D Honorine 28 L Romain 29 M Auguste	1 M Ella 2 J Prés. du Seigneur 3 V Blaise 4 S Véronique 5 D Agathe 6 M Gaston 7 M Eugénie 8 M Jacqueline 9 J Apolline 10 V Arnaud 11 S N.-D. de Lourdes 12 D Félix 13 L Béatrice 14 M Valentin 15 M Claude 16 J Julienne 17 V Alexis 18 S Bernadette 19 D Gabin 20 L Aimée 21 M Pierre Damien 22 M Isabelle 23 J Lazare 24 V Modeste 25 S Roméo 26 D Carême 27 L Honorine 28 M Romain 29 M Auguste

Numéro 136 - hiver 2011



Comité de Liaison Enseignants et Astronomes

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

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

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

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

Présidents d'honneur :

Jean-Claude Pecker
Lucienne Gouguenheim,
Georges Patrel

Bureau du CLEA pour 2011

Présidente : Cécile Ferrari
Trésorière: Roseline Jamet
Trésorier Adjoint : Jean Ripert
Secrétaire : Jean-Luc Fouquet
Secrétaire Adjoint : Christian Larcher

Responsables des groupes

Vie associative : Jean-Michel Vienney

Cahiers Clairaut : Christian Larcher

Productions Pédagogiques : Pierre Causeret

Communication : Charles-Henri Eyraud

École d'Été d'Astronomie: Danièle Imbault

Responsables du site :

Francis Berthomieu et Charles-Henri Eyraud



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

André Brack, Pierre Causeret, Charles-Henri Eyraud, Cécile Ferrari, Jean-Luc Fouquet, Véronique Hauguel, Jean-Jacques Hillairet, Christian Larcher, Chantal Lecoutre, Georges Lecoutre, Pierre Magnien, Lionel Muller, Jean Ripert, Béatrice Sandré, Liliane Sarrazin-Vilas, Françoise Suagher, Sylvie Thiault.

Les auteurs recevront plusieurs numéros 136, afin de faire connaître la revue autour d'eux.

Image de couverture, le mois de février de 1992 à 2012.

On peut vérifier que les années 1992, 1996, 2000, 2004, 2008 et 2012 ont été bissextiles. L'année 1900 ajoutée au centre de l'image est particulièrement intéressante car on vérifie que février n'a que 28 jours comme l'exige la réforme du calendrier grégorien. De plus, il est noté : l'année russe retarde de 12 jours. Il s'agit du décalage entre le calendrier julien, toujours en vigueur en Russie en 1900, et le calendrier grégorien (l'image des 21 mois de février est disponible sur le site pour les abonnés numériques).

Les Cahiers Clairaut

Hiver 2011 n° 136

Éditorial

Après avoir étudié les cadrans solaires dans la partie thématique du numéro publié au solstice d'été, nous vous proposons, pour le solstice d'hiver, une étude des calendriers.

Les cadrans solaires servaient à mesurer des durées ou intervalles de temps courts, mais pour se libérer des contraintes de la Nature, pour organiser la vie civile ou religieuse, il fallait pouvoir anticiper le retour des saisons, des fêtes religieuses ou civiles, des anniversaires. Les calendriers (le mot vient du latin *calandare* qui signifie appeler) permettent de faire connaître ces dates à l'avance. Ils sont calés sur des jalons ou balises naturelles faciles à repérer, par exemple les solstices. La publication des Cahiers Clairaut coïncide avec les 4 balises que constituent les solstices et les équinoxes de mars et septembre.

En pratique il existe de très nombreux calendriers variant selon les cultures et les religions.

Chaque calendrier a ses particularités par exemple le nôtre en 2012 contiendra un jour de plus, l'année est dite bissextile. Vous découvrirez pourquoi et d'où vient cette dénomination.

Le calendrier maya contient un cycle de 13 "baktuns" (400 ans) soit 5 200 ans et il se termine le 21 décembre 2012 dans notre calendrier. De là à parler de la fin d'un monde, voire de la fin du monde tout court... Vous apprendrez également dans cet article que le sigle GMT peut avoir plusieurs significations.

Parmi les articles de fond vous trouverez la seconde partie de l'article sur la vie dans l'Univers. Le robot américain Curiosity devrait se poser sur Mars en août 2012 apportant peut-être une réponse prochaine sur l'hypothèse d'une vie ancienne sur la planète rouge.

Un autre article de fond porte sur l'effet Doppler-Fizeau appliqué à la détection des exoplanètes. Un bel exemple d'illustration des prochains programmes de terminale S.

Christian Larcher, pour l'équipe.

Le calendrier inca

Nous n'avons pas pu publier par manque de place un article d'Alain Brémond sur le calendrier inca. Vous le trouverez dans le prochain numéro.

Article de fond

La vie dans l'Univers : de la chimie à l'astronomie
André Brack (partie 2) p 2

Avec nos élèves

Taches solaires et Géogébra
Sylvie Thiault p 5

Thème : LES CALENDRIERS p 9

Notions de base
Pierre Causeret p 10

Article de fond

À propos des années bissextiles
Françoise Suagher p 12

Avec nos élèves

Une activité en CM autour du calendrier
Véronique Hauguel p 17

Histoire

Cycle lunaire, nombre d'or et épacte
Véronique Hauguel p 18

Avec nos élèves

Le calendrier musulman à l'école
Liliane Sarrazin-Vilas p 22

Calendriers et fractions continues
Pierre Causeret p 24

Histoire

Les calendriers mayas et l'astronomie sous-jacente
Philippe Merlin p 25

Jeux

Mots croisés p 29

Article de fond

Doppler
Cécile Ferrari p 30

Potins de la Voie Lactée

Roger Meunier p 33

Ciel d'hiver

Pierre Causeret p 34

Lecture pour la Marquise

Histoire de l'heure en France
Christian Larcher p 35

Optique
Béatrice Sandré p 36

Vie de l'association

Le CLEA en Ardèche
Jean-Luc Fouquet p 37

AG 2011 p 39

Réabonnements, solutions mots croisés p 40

ARTICLE DE FOND

La vie dans L'Univers : de la chimie à l'astronomie

André Brack

Centre de biophysique moléculaire, CNRS, Orléans, brack@cnsr-orleans.fr

Dans le précédent numéro, André Brack nous a présenté la chimie prébiotique, celle qui a précédé l'émergence de la vie. Dans ce numéro, il va nous faire faire un tour du système solaire avant d'aborder d'autres horizons.

La recherche d'une vie extra-terrestre

La recherche d'une vie extraterrestre va se concentrer prioritairement sur les corps célestes présentant des conditions similaires à celles qui ont permis l'apparition de la vie terrestre, à savoir l'eau et les molécules organiques. Les molécules d'eau sont très répandues dans l'Univers car elles résultent de la combinaison d'hydrogène et d'oxygène, les deux éléments réactifs les plus répandus dans le cosmos où ils représentent respectivement 70 % et 0,92 % de la masse totale de la matière ordinaire. Quant aux molécules carbonées, les radio-astronomes ont identifié dans l'espace interstellaire plus de 100 molécules contenant du carbone contre seulement 11 molécules contenant du silicium, montrant clairement que la chimie du carbone est plus créative que celle du silicium

Mars

Les résultats fournis par les missions martiennes Mariner 9, Viking 1 et 2, Mars Pathfinder, Mars Global Surveyor, Mars Odyssey, Mars Express, les deux Mars Exploration rovers Spirit et Opportunity et la sonde Phoenix indiquent clairement (fig 1) que Mars a abrité de grandes quantités d'eau à sa surface.

La présence permanente d'eau suppose une température constamment voisine ou supérieure à 0°C, température atteinte probablement dans le passé grâce à l'existence d'une atmosphère dense générant un effet de serre important. Grâce à cette atmosphère, la planète a pu accumuler des micrométéorites à sa surface à l'instar de la Terre. Les ingrédients qui ont permis l'apparition de la vie sur Terre étaient donc rassemblés sur Mars.



Fig.1. Echus Chasma, région martienne riche en traces d'eau, photographiée par la caméra stéréo à haute résolution de Mars Express (crédit ESA).

Il est dès lors tentant de penser qu'une vie élémentaire de type terrestre ait pu apparaître et se développer sur la planète rouge. Les sondes Viking n'ont pas trouvé de molécules organiques à la surface de Mars mais certaines météorites SNC (d'après les trois classes de météorites Shergotty, Nakhla et Chassigny) renferment des molécules organiques. Ces météorites, aujourd'hui au nombre de 50, proviennent très probablement de Mars. Parmi elles, figure la fameuse météorite ALH 84001 présentée comme renfermant des nano bactéries martiennes fossilisées. Cette interprétation est aujourd'hui abandonnée.

La mission américaine Mars Science Laboratory aura précisément comme objectif, en 2012 de rechercher des indices d'une éventuelle vie martienne. Les espoirs européens reposent sur la mission ExoMars actuellement à l'étude pour un lancement en 2018.

Europe

Europe, le satellite de Jupiter, pourrait bien présenter des environnements marins ressemblant aux sources sous-marines terrestres. Europe tourne à une distance d'environ six cent mille kilomètres de Jupiter, donc suffisamment près pour être réchauffé par l'effet de marée dû au champ gravitationnel très important de la planète géante. La surface présente peu de cratères d'impacts ce qui suggère un remodelage continu de la surface par des phénomènes cryovolcaniques ou tectoniques. La sonde Galileo a enregistré un champ magnétique induit dans celui de Jupiter traduisant la présence d'un conducteur électrique, très probablement de l'eau salée. Des dépôts de sels ont été observés à la surface d'Europe par spectroscopie dans le proche infrarouge, dépôts qui pourraient provenir de remontées d'eau océanique salée. Toutes ces observations plaident en faveur de l'existence d'un océan sous-glaciaire sous quelques dizaines de kilomètres de banquise, la chaleur nécessaire au maintien de l'eau à l'état liquide étant apportée par les fortes marées internes.



Fig.2. Surface d'Europe. Crédit: NASA/JPL/University of Arizona.

Il est maintenant important de savoir s'il existe sur Europe un magma capable de transférer la chaleur du cœur planétaire vers le fond océanique pour créer des sources hydrothermales et, par conséquent, des molécules organiques. La mise en évidence d'un magma sur Europe fait partie des objectifs prioritaires de l'exploration d'Europe actuellement à l'étude. Si Europe a maintenu une activité de marée et une activité hydrothermale sous glaciaire, une vie microscopique a pu y apparaître et y est peut-être encore active aujourd'hui. Europe apparaît de plus en plus comme un lieu privilégié du système solaire pouvant héberger de l'eau liquide et une vie microscopique en activité.

Titan

Titan, le plus gros satellite de Saturne, possède une atmosphère dense de 1,5 bar constituée essentiellement d'azote (plus de 90%) mais aussi de méthane et d'un peu d'hydrogène. L'atmosphère renferme également d'épais brouillards d'aérosols organiques. Les observations recueillies par les missions Voyager et Cassini-Huygens et les mesures faites à partir de la Terre indiquent clairement la présence de nombreux hydrocarbures et de nitriles dans ce milieu. Parmi ces composés organiques figurent l'acide cyanhydrique, l'acétylène, le cyanoacétylène, véritables passages obligés de la chimie prébiotique. Titan représente donc un véritable laboratoire de production de composés prébiotiques à l'échelle planétaire.

Le chromatographe en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (GC-MS) de la sonde Huygens de la mission NASA-ESA Cassini-Huygens lancée en octobre 1997 a mesuré en janvier 2005 la composition chimique et les abondances isotopiques, depuis une altitude de 140 km jusqu'à la surface : azote et méthane sont les principaux constituants de l'atmosphère, les rapports isotopiques $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ suggèrent une fourniture permanente de méthane dans l'atmosphère, la surface est "mouillée" par du méthane liquide et est riche en composés organiques (cyanogène, éthane,...) et la présence de ^{40}Ar traduit l'existence d'une activité géologique interne.



Fig.3. Lumière du Soleil réfléchie à la surface d'un lac de Titan. Crédit photo : NASA/JPL/University of l'Arizona.

Bien que des traces de vapeur d'eau aient été détectées par le satellite ISO dans la haute atmosphère, la température de l'ordre de -180°C , régnant près de la surface y interdit la présence d'eau liquide. Toutefois, les modèles de structure interne et les données de la mission Cassini-Huygens, suggèrent la présence d'aquifères profonds. Cet océan contiendrait environ 10% d'ammoniac et aurait une épaisseur d'environ 100 km. Il

serait situé entre deux épaisses couches de glace d'eau. Il est possible que pendant les premières dizaines de millions d'années qui ont suivi la formation de Titan, cet océan ait été en contact avec l'atmosphère sur un fond rocheux, une situation analogue à celle des océans terrestres. Il est dès lors possible d'y envisager l'émergence d'une vie.

Encelade

L'orbiteur saturnien Cassini a observé l'activité géophysique d'Encelade, un autre satellite de Saturne. Plusieurs des instruments de la mission ont mis en évidence la présence de gigantesques panaches de plusieurs centaines de kilomètres émis au pôle sud.

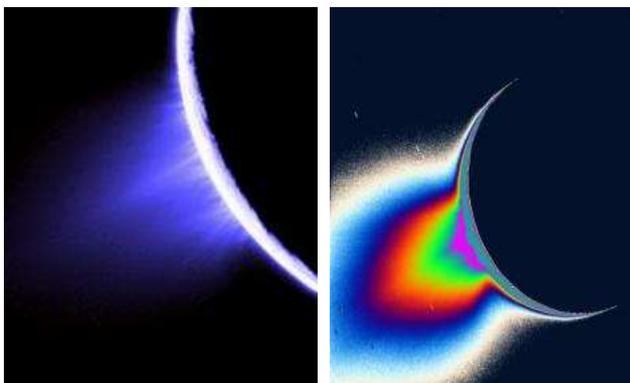


Fig.4. Projections au pôle sud d'Encelade ; à droite, image en fausses couleurs mettant en évidence les détails du panache.

Crédit photo : NASA/JPL.

Ces panaches sont principalement constitués de glace et de vapeur d'eau, mais contiennent aussi de nombreux composés organiques, méthane, acétylène, propane. Ces geysers pourraient provenir de réservoirs internes d'eau liquide sous pression, en contact avec un magma rocheux, hypothèse confortée par la présence de sel dans les panaches. Les conditions indispensables à l'apparition et au développement de la vie seraient donc présentes au sein d'Encelade.

Les exoplanètes

Au-delà du Système Solaire, la chimie organique est universelle. Il ne reste plus qu'à trouver de l'eau. En avril 2011, le catalogue des exoplanètes comptait 544 planètes extrasolaires. Les télescopes spatiaux COROT, lancée le 27 décembre 2006, et KEPLER lancé le 6 mars 2009 ont déjà détecté des planètes telluriques en orbite autour d'autres étoiles mais, à ce jour, seule l'une d'elles aurait une température compatible avec la présence d'océans. La recherche de la vie sur les planètes extrasolaires ne peut se faire que par l'analyse spectrale de ses manifestations, apparaissant comme des singularités

dans l'atmosphère. C'est précisément le cas de l'oxygène terrestre dont la présence permanente est liée à l'existence de la vie. Pour des raisons pratiques, il est plus facile de rechercher la signature de l'ozone O₃, dans le spectre infrarouge à 9,6 mm. La présence simultanée d'ozone (donc d'oxygène), de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone apparaît aujourd'hui comme une signature probante d'une vie planétaire exploitant largement la photosynthèse. Le projet européen Darwin/IRSI (Infrared Space Interferometer) consiste à placer une flottille de quatre télescopes spatiaux qui seront couplés dans l'espace pour analyser les atmosphères planétaires par interférométrie et y rechercher des singularités dues à une activité biologique.

Conclusion

Les qualités exceptionnelles de la chimie du carbone associée à l'eau confèrent à ce couple un rôle privilégié dans la recherche de vie extraterrestre. Mais est-ce suffisant ? La probabilité de l'émergence de la vie va dépendre du degré de complexité de la chimie de l'origine de la vie, du nombre et de la diversité des molécules nécessaires. Si le processus est simple, toute planète rocheuse, dotée d'une taille suffisante pour retenir une atmosphère et à la bonne distance de l'étoile pourrait faire émerger la vie. Les spécificités de la Terre, comme le champ magnétique permanent, la tectonique de plaque, l'existence d'un satellite, ne seraient pas requises, a priori. La découverte de la première vie extraterrestre apporterait une preuve de simplicité en démontrant le caractère répétitif du processus. Cette deuxième genèse est devenue l'obsession des exobiologistes. Sa découverte tirerait la Terre de sa solitude cosmique.

Bibliographie

- La vie est-elle universelle? Brack, A. et Leclercq, B., EDP Sciences (2003).
 Et la matière devint vivante, Brack, A. Le Collège de la Cité, Éditions Le Pommier (2004).
 Découvrir la vie extraterrestre, Brack, A., Minipomme, le Pommier (2007).
 Looking for life. Searching the Solar System. Clancy, P., Brack, A. et Horneck, G., Cambridge University Press, Cambridge (2005).
 La vie dans l'Univers, entre mythes et réalités, Brack, A. et Coliolo, F. Éditions La Martinière (2009).
 Catalogue des exoplanètes : <http://www.obspm.fr/encycl/catalog.html>
 Catalogue des météorites martiennes : http://www.nirgal.net/meteori_table.html
 Catalogue des molécules interstellaires : http://www.astrochymist.org/astrochymist_ism.html

AVEC NOS ÉLÈVES

Étude des taches solaires à l'aide de GeoGebra

Sylvie Thiault, s.thiault@orange.fr

Sylvie Thiault nous propose ici une activité classique, la détermination de la période de rotation du Soleil, mais traitée avec ses élèves d'une manière originale, en utilisant un logiciel de géométrie combiné à un tableur.

L'activité solaire a repris début 2011 en même temps que le club astronomie du Lycée Jean-Paul Sartre de Bron (69). Les élèves ont observé chaque semaine le Soleil et ont vu qu'il comportait des taches. Ils ont consulté le site du satellite SDO¹ (<http://sdo.gsfc.nasa.gov>) pour voir le point de vue sans atmosphère. Pas de doute : il y a des taches sur le Soleil, elles semblent se déplacer... Comment pourrait-on évaluer leurs dimensions ? Comment pourrait-on mesurer leurs déplacements ? Un outil nous a permis de répondre avec une bonne approximation à nos questions : le logiciel GeoGebra². Ce travail vient en complément de celui réalisé par l'atelier astronomie du collègue Gérard Philippe de Saint-Priest avec Chantal et Georges Lecoutre (CC n° 120).

Après une observation du Soleil au Solarscope et la comparaison de l'observation directe à l'image diffusée sur SDO, (prise moins d'une heure avant notre observation !), il a été admis que la tache observée est sur le Soleil. Nous avons dans un premier temps suivi la démarche proposée sur papier dans le n° 120 des Cahiers Clairaut (hiver 2007). Mais les autres taches... est-ce qu'elles "font pareil" ? Comment faire pour étudier un grand nombre de taches ?

Il faut avoir recours à un traitement automatisé des images ! Bien sûr Iris est plus adapté au traitement d'images, mais GeoGebra est familier aux élèves et leur permet d'être vite opérationnels.

¹ SDO est un satellite à orbite géosynchrone qui se déplace sur une orbite qui fait un angle de 28° avec le plan de l'équateur terrestre.

² GeoGebra est un logiciel libre utilisé principalement par les enseignants de maths (<http://www.geogebra.org>)

La sélection des images

Le site du satellite SDO (Solar Dynamics Observatory) propose des images du Soleil réalisées à l'aide de différents instruments (figure 1).

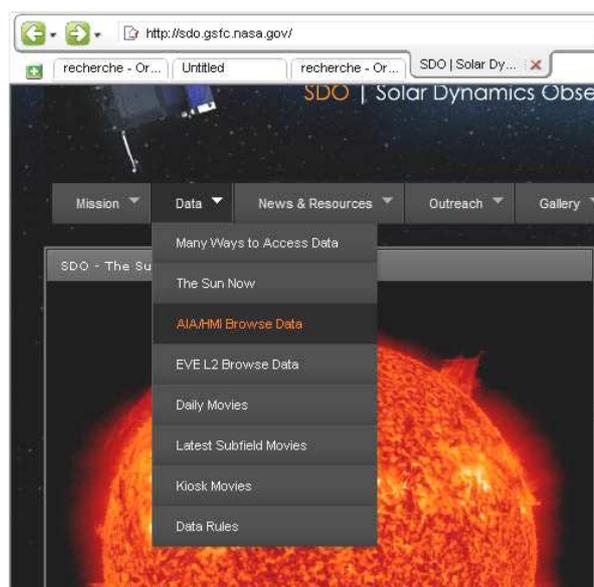


Fig.1. La page d'accueil du site du satellite SDO.

Les images sont carrées, elles ont toutes le même cadrage et l'axe du Soleil est placé verticalement. Nous avons choisi les images fournies par l'instrument AIA4500 qui enregistre dans la longueur d'onde de 450 nm.

On choisit dans les images sélectionnées deux images d'une même tache (comment savoir si c'est bien la même tache qu'on suit ?)

Il faut prendre de préférence des images où les taches ne sont pas trop au bord apparent du Soleil pour éviter les problèmes de déformation trop importante due à la projection.

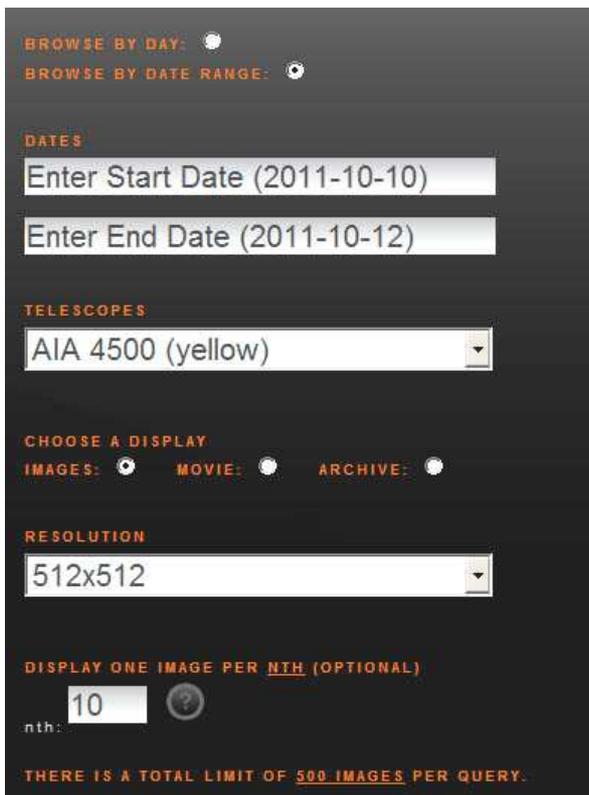


Fig.2. Le choix des images.

Les images sont choisies pour qu'un intervalle entier de jours les sépare, ce qui évitera les calculs d'intervalles de temps complexes.

Les noms de fichiers sont au format : YYYY_MM_DD_HHMMSS_512_4500.jpg.

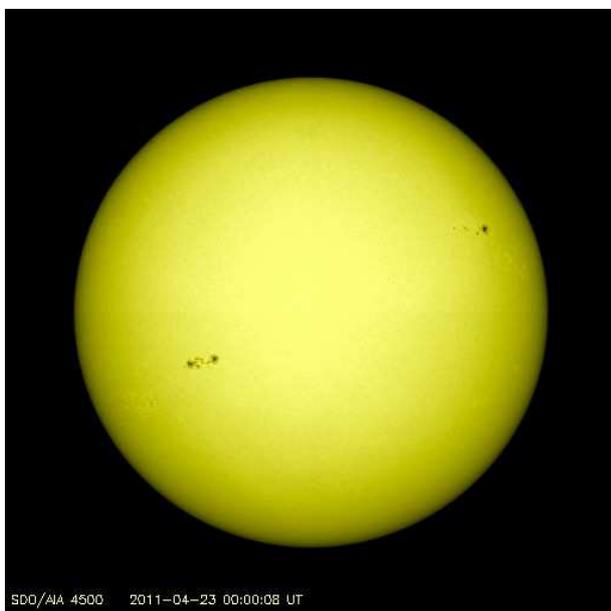


Fig.3. L'image 20110423_000008_512_4500.jpg.

Le traitement des images

Ouvrir une nouvelle fenêtre GeoGebra puis :

- insérer l' image 20110423_000008_512_4500.jpg (voir l' icône figure 4) ;
- faire un clic droit sur l' image et choisir Propriétés / image 1 ;
- cliquer sur l' onglet position et compléter coin 1 (0,0), coin 2(10,0) ;
- dans l' onglet basique, cocher objet fixe.

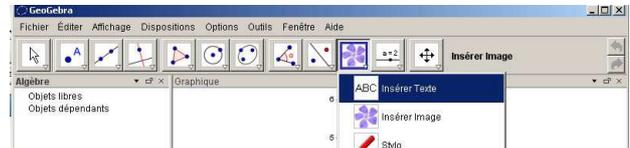


Fig.4. L' icône "Insérer image" représente une fleur (on le trouve avec les icônes curseur, insérer un texte... dans Geogebra 3.2).

Les images resteront carrées, de même dimension et ne bougeront pas avec le zoom.

Une astuce : on peut changer l'aspect du point en un rond vide, plus facile pour cadrer (activer le point et ensuite propriétés / style).

- Construire un cercle correspondant au bord du Soleil (choisir cercle passant par trois points puis cliquer sur trois points du bord du Soleil. GeoGebra nomme les points A, B, C et le cercle c).
- Zoomer et affiner (clic droit sur les points)... on veillera à tenir compte de l'assombrissement du bord.
- Construire le centre du cercle (point, milieu ou centre, cliquer sur le cercle). GeoGebra le nomme D. On peut aussi construire le centre "à l'ancienne" en demandant la construction de deux médiatrices et ensuite leur intersection.
- On construit le segment [DA] en tapant dans la zone de saisie : $r = \text{segment } [D,A]$; sa longueur s'affiche dans la fenêtre d'algèbre. On vérifie que les coordonnées du centre D et que la longueur DA sont cohérentes avec l'équation du cercle. Avec ces images, le centre du cercle est très proche du point de coordonnées (5,5) et le carré du rayon est proche de 14,5 ou 15 suivant les images³.
- On pointe au mieux le centre de la tache (nouveau point puis clic gauche), on obtient le point E. On fixe E (clic droit propriétés/basique/objet fixe) ;
- On clique sur l' image pour choisir propriétés image 1 et on éclaircit l' image au maximum (style / remplissage : le moins possible) .
- On recommence les trois premières opérations (ci-dessus sur fond vert) avec une autre image de la tache : 20110427_000008_512_4500 .jpg.

³ Le diamètre apparent du Soleil varie au cours de l'année (il est plus grand début janvier quand la Terre en est plus proche) mais il varie peu sur quelques jours, on pourra donc garder le même diamètre pour les deux images.

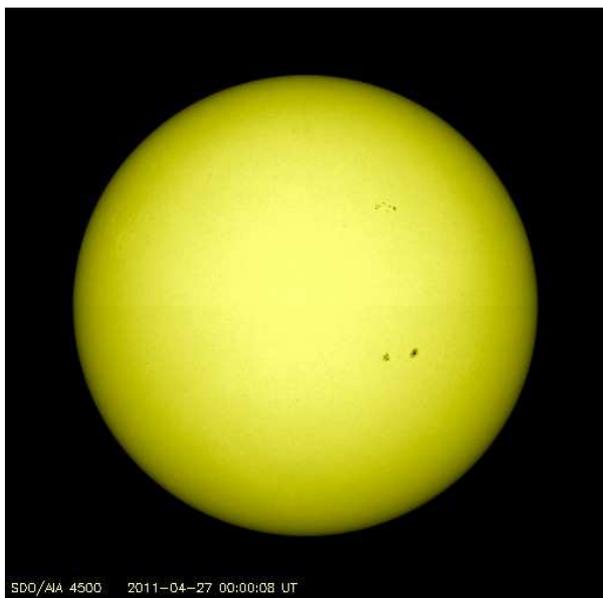


Fig.5. L'image 20110427_000008_512_4500.jpg, prise 4 jours après la précédente.

- On vérifie que le cercle **c** s'ajuste convenablement avec cette image.
- On pointe au mieux le centre de la même tache, ce qui donne le point F. On fixe F (clic droit propriétés objet fixe).
- On trace la parallèle à l'axe des abscisses passant par D (cliquer sur droite parallèle, sur l'axe des abscisses, puis sur D), GeoGebra la nomme **a**. Elle matérialise l'équateur du Soleil.
- On trace la parallèle à l'équateur passant par E. On constate qu'elle passe à peu près par F⁴. GeoGebra la nomme **b**.
- On construit l'intersection de **b** et **c** (points intersection...). GeoGebra nomme les deux points G et H. On tape **e** = segment [G,H].
- On trace le cercle de centre D et de rayon **e/2** (il s'agit du parallèle GH vu "de haut"). GeoGebra le nomme **d**.
- On construit les perpendiculaires à l'équateur **b** en E et F (GeoGebra les nomme f et g) puis leur intersection avec le cercle **d** que l'on nommera I et K (si nécessaire, renommer les points : bouton droit renommer). Dans la vue "de haut", I et K sont les deux positions de la tache sur son parallèle.
- On saisit : écart = angle [I,D,K] (c'est l'angle dont a tourné la tache).
- On construit l'intersection de l'équateur avec le cercle **c**. GeoGebra nomme les points M et N.

⁴ Pour simplifier le problème, on considère ici que l'équateur et les parallèles sont des segments. Ce n'est pas exact, ce sont en général des demi ellipses très aplaties, puisque l'équateur du Soleil est incliné de 7° par rapport à l'écliptique, mais l'erreur est faible.

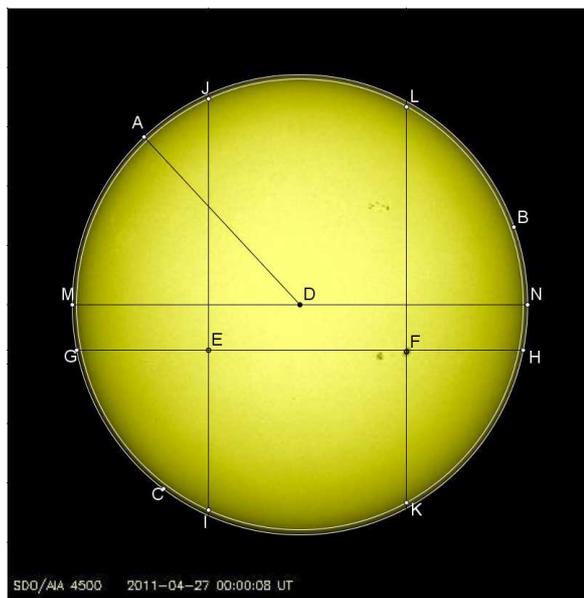


Fig.6. Les tracés de GeoGebra.

- On ouvre le tableur (dans affichage) ;
- En A2 : = Angle[I,D,K]
- En B2, on tape la durée séparant deux images en jours décimaux.
- En A3, on tape 360°. Attention il est indispensable de taper le "°".
- En B3 : = A3*B2/A2
- En B4 : = Angle [M,D,G]
- En B5 : = Si[B4>180°,360°-B4,B4]

	A	B
1	angle en degré	durée en jours
2	52.84°	4
3	360°	27.25
4	"Angle [M,D,G]"	11,34°
5	Latitude	11,34°

On peut refaire la même démarche avec le suivi d'une autre tache située à une autre latitude... Avant, il faut décocher "objet fixe" dans "propriétés" pour image 1, image 2, E et F. Effacer les images 1 et 2. Insérer la première image suivante ; déplacer éventuellement les points A, B ou C pour que le cercle c s'ajuste le mieux possible au bord du cercle ; marquer la tache choisie et fixer image et tache. Rendre l'image transparente. Insérer la deuxième image ; marquer la tache choisie et fixer image et tache.

Dans le tableur, adapter la durée séparant les deux images choisies. Construction et calculs se sont refaits tout seuls !

Remarque : avec les élèves on peut préférer faire tracer le parallèle portant les taches en dessous du cercle contour apparent du Soleil vu par SDO. Mais l'image utile à l'écran est alors plus petite...

Les élèves ont mesuré les images des taches vues entre le 23 avril 2011 0 h et le 27 avril 2011 0 h. Ils ont obtenu à l'aide de GeoGebra une période de rotation de 27,25 j.

Ils étaient habitués à utiliser GeoGebra en mathématiques et le protocole de construction s'est construit assez naturellement.

Mesures et calculs pour différentes taches :

En 2011	du 23 au 27 avril	du 19 au 24 mai
Latitude en °	11,34°	14,5°
Période en j	27,25	27,73

Prolongements possibles

- Il est possible de faire des statistiques sur la vitesse de rotation calculée sur un grand nombre de couples d'images.

- On a déterminé une période synodique, on peut envisager de poursuivre pour calculer la période sidérale. En fait le satellite comme la Terre tourne autour du Soleil en 365 jours...soit environ 1° par jour. Il tourne dans le même sens que le Soleil. Il faut donc ajouter $4 \cdot 360 / 365^\circ$ à l'angle IDK (4 j entre les deux observations). Dans ce cas en A2 on a : $a := \text{angle [I,D,K]} + B2 \cdot 360^\circ / 365.25$

On trouve pour les taches étudiées précédemment une période sidérale de 25,36 jours en avril et de 25,78 jours en mai.

- On peut travailler sur l'aire des taches, sur leur déplacement en latitude...

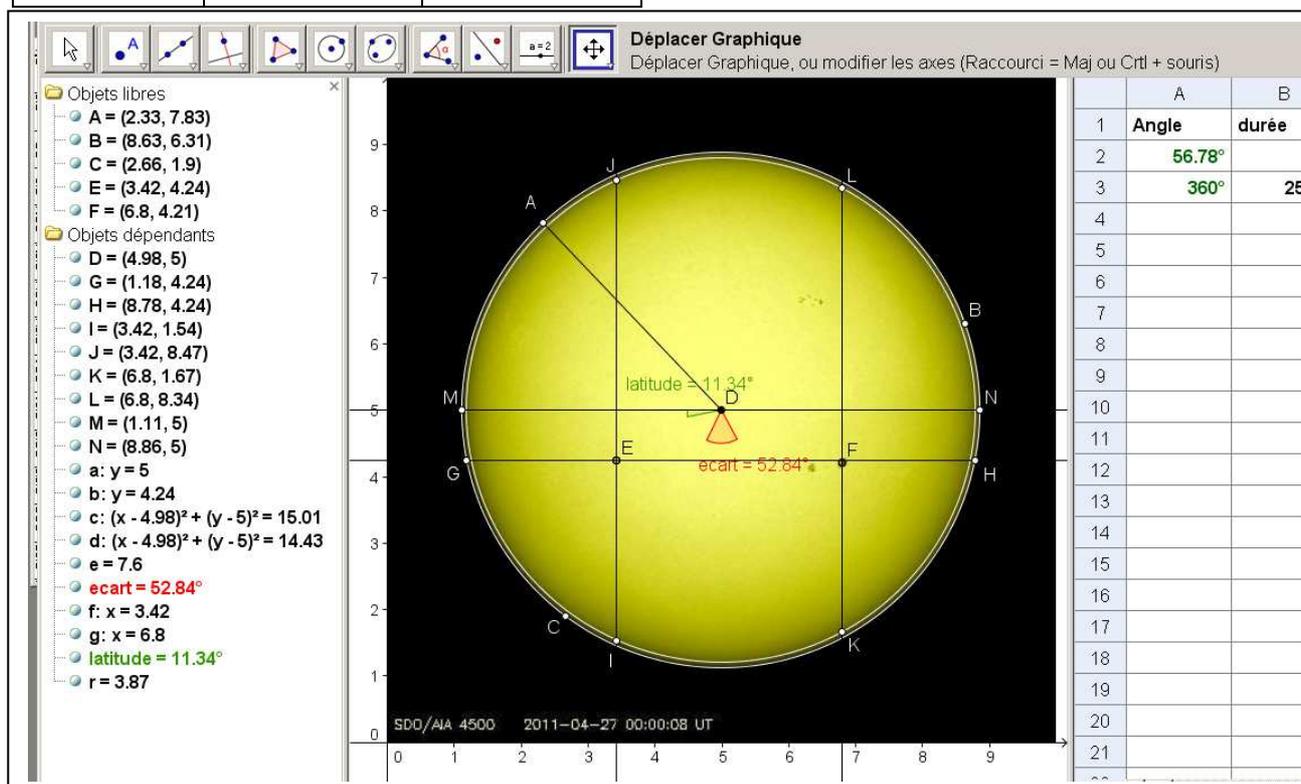


Fig.7. À gauche, la fenêtre Algèbre, au centre l' image du Soleil avec ses tracés, et à droite, le tableur qui donne ici la période sidérale du Soleil.

Réabonnements

Chers amis abonnés aux Cahiers Clairaut, faites un effort pour vous réabonner le plus rapidement possible. Cela simplifie la tâche des bénévoles qui gèrent les réabonnements et la comptabilité de l'association. Nous vous rappelons les tarifs : adhésion seule 5 € abonnement seul 25 € adhésion + abonnement 30 € adhésion + abonnement + abonnement numérique 35 €

THÈME : LES CALENDRIERS



Le calendrier républicain de l'an II (1793-1794), dessin de Philibert-Louis Debucourt. On y trouve 12 mois de 30 jours (Vendémiaire, Brumaire, Frimaire, Nivôse, Pluviôse, Ventôse, Germinal, Floréal, Prairial, Messidor, Thermidor et Fructidor), répartis en quatre saisons. Chaque mois est partagé en trois décades, sortes de semaines de 10 jours. L'article 3 du décret instaurant le calendrier précise : "chaque année commence à minuit, avec le jour où tombe l'équinoxe vrai d'automne pour l'observatoire de Paris". Il faut donc ajouter aux 12 mois de 30 jours 5 ou 6 jours complémentaires, les sanculottides. Ils sont notés en bas du calendrier, sous les 12 mois. On y lit : "les Sansculottides 5 Jours Consacrés aux Fêtes 1^{ère} de la Vertu 2^{me} du Génie 3^{me} du Travail 4^{me} de l'Opinion 5^{me} des récompenses". Un sixième jour sanculottide doit être ajouté tous les 3 ou 4 ans en fonction de la date de l'équinoxe, pour arriver à une durée moyenne de 365,242 jours.

Les calendriers, notions de base

Pierre Causeret, pierre.causeret@wanadoo.fr

Les cycles astronomiques

Pour nous repérer dans le temps, nous disposons de trois cycles astronomiques :

- le cycle jour - nuit, dû à la rotation de la Terre sur elle-même, qui a donné le jour de 24 h ; c'est l'unité de base de tous les calendriers ;
- le cycle des phases de la Lune (ou lunaison) de 29,53 jours qui provient de la révolution de la Lune autour de la Terre. Il est à l'origine du mois ;
- le cycle des saisons de 365,2422 jours dû à la révolution de la Terre autour du Soleil et qui a donné l'année.

Il s'agit pour ce dernier cycle de ce qu'on appelle l'année tropique, c'est à dire l'intervalle de temps entre deux équinoxes de printemps, à ne pas confondre avec l'année sidérale de 365,256 jours (voir figure 1).

Les périodes données ici sont des périodes moyennes, la lunaison comme l'année tropique variant d'un cycle à l'autre.

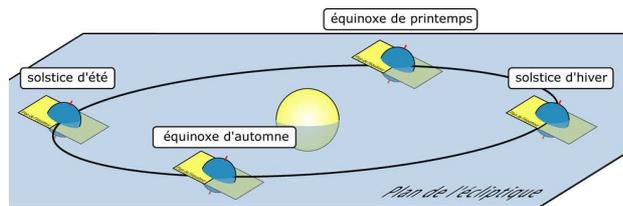


Fig.1. L'équinoxe peut être défini comme l'instant où le Soleil est exactement dans le plan de l'équateur (en jaune sur la figure). À l'équinoxe de printemps, il passe du sud au nord de ce plan. L'année tropique est l'intervalle de temps moyen entre deux équinoxes de printemps successifs. Elle est plus courte que l'année sidérale à cause du mouvement de toupie de l'axe de la Terre en 26 000 ans qui déplace aussi le plan de l'équateur (précession des équinoxes).

Les calendriers lunaires

Une année solaire compte 12 lunaisons plus 11 jours. Dans un calendrier lunaire, les mois doivent toujours commencer à la même phase de la Lune (habituellement nouvelle Lune ou premier mince croissant de Lune) et chacun des mois dure 29 ou 30 jours. Une année de ce type de calendrier compte 12 mois lunaires de 29,53 jours en moyenne donc 354,36 jours. Si on compare à l'année des saisons de 365,24 jours, le début d'une année lunaire se décale de près de 11 jours par an. Le calendrier musulman est un calendrier lunaire (voir l'article sur le calendrier musulman à l'école primaire).

2003	1423	2003	1423	2003	1424	2003	1424
يناير JANVIER	نيسوان DOU AL-FAJDA	فبراير FEBVRIER	دو القعدة DOU AL-HAJA	مارس MARS	دو الحجة DOU AL-HAJA	أبريل AVRIL	صفر SEFFER
1 MERCREDI	28 الأربعاء	1 SAMEDI	30 السبت	1 SAMEDI	28 السبت	1 MARDI	29 الثلاثاء
2 JEUDI	29 الخميس	2 DIMANCHE	1 الأحد	2 DIMANCHE	29 الأحد	2 MERCREDI	1 الأربعاء
3 VENDREDI	1 الجمعة	3 LUNDI	2 الاثنين	3 LUNDI	30 الاثنين	3 JEUDI	2 الخميس
4 SAMEDI	2 السبت	4 MARDI	3 الثلاثاء	4 MARDI	1 الثلاثاء	4 VENDREDI	3 الجمعة
5 DIMANCHE	3 الأحد	5 MERCREDI	4 الأربعاء	5 MERCREDI	2 الأربعاء	5 SAMEDI	4 السبت
6 LUNDI	4 الاثنين	6 JEUDI	5 الخميس	6 JEUDI	3 الخميس	6 DIMANCHE	5 الأحد
7 MARDI	5 الثلاثاء	7 VENDREDI	6 الجمعة	7 VENDREDI	4 الجمعة	7 LUNDI	6 الاثنين
8 MERCREDI	6 الأربعاء	8 SAMEDI	7 السبت	8 SAMEDI	5 السبت	8 MARDI	7 الثلاثاء
9 JEUDI	7 الخميس	9 DIMANCHE	8 الأحد	9 DIMANCHE	6 الأحد	9 MERCREDI	8 الأربعاء
10 VENDREDI	8 الجمعة	10 LUNDI	9 الاثنين	10 LUNDI	7 الاثنين	10 JEUDI	9 الخميس
11 SAMEDI	9 السبت	11 MARDI	10 الثلاثاء	11 MARDI	8 الثلاثاء	11 VENDREDI	10 الجمعة
12 DIMANCHE	10 الأحد	12 MERCREDI	11 الأربعاء	12 MERCREDI	9 الأربعاء	12 SAMEDI	11 السبت
13 LUNDI	11 الاثنين	13 JEUDI	12 الخميس	13 JEUDI	10 الخميس	13 DIMANCHE	12 الأحد
14 MARDI	12 الثلاثاء	14 VENDREDI	13 الجمعة	14 VENDREDI	11 الجمعة	14 LUNDI	13 الاثنين
15 MERCREDI	13 الأربعاء	15 SAMEDI	14 السبت	15 SAMEDI	12 السبت	15 MARDI	14 الثلاثاء
16 JEUDI	14 الخميس	16 DIMANCHE	15 الأحد	16 DIMANCHE	13 الأحد	16 MERCREDI	15 الأربعاء
17 VENDREDI	15 الجمعة	17 LUNDI	16 الاثنين	17 LUNDI	14 الاثنين	17 JEUDI	16 الخميس
18 SAMEDI	16 السبت	18 MARDI	17 الثلاثاء	18 MARDI	15 الثلاثاء	18 VENDREDI	17 الجمعة
19 DIMANCHE	17 الأحد	19 MERCREDI	18 الأربعاء	19 MERCREDI	16 الأربعاء	19 SAMEDI	18 السبت
20 LUNDI	18 الاثنين	20 JEUDI	19 الخميس	20 JEUDI	17 الخميس	20 DIMANCHE	19 الأحد
21 MARDI	19 الثلاثاء	21 VENDREDI	20 الجمعة	21 VENDREDI	18 الجمعة	21 LUNDI	20 الاثنين
22 MERCREDI	20 الأربعاء	22 SAMEDI	21 السبت	22 SAMEDI	19 السبت	22 MARDI	21 الثلاثاء
23 JEUDI	21 الخميس	23 DIMANCHE	22 الأحد	23 DIMANCHE	20 الأحد	23 MERCREDI	22 الأربعاء
24 VENDREDI	22 الجمعة	24 LUNDI	23 الاثنين	24 LUNDI	21 الاثنين	24 JEUDI	23 الخميس
25 SAMEDI	23 السبت	25 MARDI	24 الثلاثاء	25 MARDI	22 الثلاثاء	25 VENDREDI	24 الجمعة
26 DIMANCHE	24 الأحد	26 MERCREDI	25 الأربعاء	26 MERCREDI	23 الأربعاء	26 SAMEDI	25 السبت
27 LUNDI	25 الاثنين	27 JEUDI	26 الخميس	27 JEUDI	24 الخميس	27 DIMANCHE	26 الأحد
28 MARDI	26 الثلاثاء	28 VENDREDI	27 الجمعة	28 VENDREDI	25 الجمعة	28 LUNDI	27 الاثنين
29 MERCREDI	27 الأربعاء	29 SAMEDI	28 السبت	29 SAMEDI	26 السبت	29 MARDI	28 الثلاثاء
30 JEUDI	28 الخميس	30 DIMANCHE	29 الأحد	30 DIMANCHE	27 الأحد	30 MERCREDI	29 الأربعاء
31 VENDREDI	29 الجمعة			31 LUNDI	28 الاثنين		

Fig.2. L'an 1424 du calendrier musulman a commencé le mardi 4 mars 2003 du calendrier grégorien, premier jour du mois de Mouharram. En 2004, l'année musulmane a commencé 11 jours plus tôt, au mois de février...

1424	1425	1426	1427	1428	1429
4/03/03	22/02/04	10/02/05	31/01/06	20/01/07	10/01/08

1430	1431	1432	1433	1434	1435
29/12/08	18/12/09	8/12/10	27/11/11	15/11/12	5/11/13

Tab.1. Les dates du début de l'année musulmane (1^{er} Muharram), de 1424 à 1435 (de 2003 à 2013). La date recule de 11 jours chaque année.

Le problème de ce type de calendrier, c'est que l'année se décale par rapport aux saisons. Si on veut l'éviter, il existe deux types de solutions : soit on ajoute un mois de temps en temps (on obtient un calendrier luni-solaire), soit on allonge les mois qui ne correspondent alors plus aux phases de la Lune (calendrier solaire).

Les calendriers luni-solaires

Dans le calendrier traditionnel chinois, les mois commencent toujours à la nouvelle Lune. Une année normale dure 12 mois de 29 ou 30 jours. Pour éviter que l'année ne se décale par rapport aux saisons, on ajoute un mois intercalaire tous les 2 ou 3 ans, le solstice d'hiver devant toujours avoir lieu dans le onzième mois. Le nouvel an chinois a lieu à la nouvelle Lune, entre le 21 janvier et le 20 février (en 2012, ce sera le 23 janvier).

Le calendrier juif est basé sur le même principe, en doublant le dernier mois tous les 2 ou 3 ans.

Le calendrier gaulois serait aussi un calendrier luni-solaire. On a retrouvé à Coligny dans l'Ain, 150 fragments d'une grande plaque de bronze comportant un calendrier sur un cycle de 5 ans, avec 5 années de 12 mois et deux mois supplémentaires.

January					February					March					
MON	7	14	21	28	MON	4	11	18	25	MON	4	11	18	25	
Thứ hai	24	2	9	16	Thứ hai	23	30	7	14	Thứ hai	21	28	5	12	
TUE	1	8	15	22	29	TUE	5	12	19	26	TUE	5	12	19	26
Thứ ba	18/11	25	3	10	17	Thứ ba	24	1/1	8	15	Thứ ba	22	29	6	13
WED	2	9	16	23	30	WED	6	13	20	27	WED	6	13	20	27
Thứ tư	19	26	4	11	18	Thứ tư	25	2	9	16	Thứ tư	23	30	7	14
THU	3	10	17	24	31	THU	7	14	21	28	THU	7	14	21	28
Thứ năm	20	27	5	12	19	Thứ năm	26	3	10	17	Thứ năm	24	1/2	8	15
FRI	4	11	18	25	FRI	1	8	15	22	FRI	1	8	15	22	
Thứ sáu	21	28	6	13	Thứ sáu	20	27	4	11	Thứ sáu	18	25	2	9	
SAT	5	12	19	26	SAT	2	9	16	23	SAT	2	9	16	23	
Thứ bảy	22	29	7	14	Thứ bảy	21	28	5	12	Thứ bảy	19	26	3	10	
SUN	6	13	20	27	SUN	3	10	17	24	SUN	3	10	17	24	
Chủ nhật	23	1/12	8	15	Chủ nhật	22	29	6	13	Chủ nhật	20	27	4	11	

Fig.3. Calendrier chinois de 2002.

On peut y lire que le nouvel an chinois a eu lieu le 12 février. C'était le jour de la nouvelle Lune.

2002	2003	2004	2005	2006	2007
12/02	1/02	22/01	9/02	29/01	18/02

2008	2009	2010	2011	2012	2013
7/02	26/01	14/02	3/02	23/01	10/02

Tab.2. Les dates du nouvel an chinois de 2002 à 2013. La date recule de 11 jours chaque année ou avance de 18 ou 19 jours si l'année précédente compte 13 mois.

Les calendriers solaires

Les mois qui étaient à l'origine lunaires, donc de 29 ou 30 jours, sont allongés pour que 12 mois fassent une année des saisons. Les mois ne commencent donc plus à la même période de la lunaison.

Le calendrier égyptien

Une année contient 12 mois de 30 jours auxquels on ajoute 5 jours en fin d'année, appelés jours épagomènes. Avec ces 365 jours, l'année égyptienne (qu'on appelle année vague) était proche de l'année des saisons mais le décalage était quand même d'un jour en 4 ans, soit presque un mois par siècle. Si l'année commençait au solstice d'été au début de l'instauration du calendrier, 4 siècles plus tard, elle commençait après l'équinoxe d'automne. Et comme leur civilisation a duré plusieurs millénaires, les Égyptiens se sont assez vite aperçu de leur problème ; ils ont pourtant conservé ce calendrier vague.

Le calendrier julien (de Jules César)

L'année julienne commune contient 365 jours répartis en 12 mois et on instaure une année bissextile de 366 jours tous les 4 ans. La durée moyenne de l'année est donc de 365,25 jours (plus de détails dans l'article de Françoise Suagher)



Fig.4. La calotte de Chevroches. Cette pièce découverte dans l'Yonne, de 64 mm de diamètre, a une forme de calotte sphérique. Elle a été datée du IV^e siècle de notre ère. On y trouve trois calendriers gravés :

- à l'extérieur, les mois du calendrier égyptien ;
 - à l'intérieur, les mois du calendrier julien ;
 - et au milieu, le zodiaque, qui est aussi un calendrier solaire.
- On ne connaît pas l'utilisation de cette pièce qui faisait sûrement partie d'un instrument plus important, des traces de soudure étant visibles à l'intérieur, mais l'absence des 5 jours épagomènes du calendrier égyptien fait penser qu'il pourrait s'agir davantage d'un élément de décoration que d'un instrument scientifique.

Le calendrier grégorien (de Grégoire XIII)

Par rapport au calendrier julien, on supprime 3 années bissextiles tous les 4 siècles pour arriver à une durée moyenne de 365,2425, très proche de l'année tropique de 365,2422 jours (voir aussi l'article de Françoise Suagher). C'est le calendrier utilisé aujourd'hui dans le monde entier, même si de nombreux autres calendriers sont encore utilisés parallèlement pour fixer les fêtes, civiles ou religieuses.

Le calendrier républicain

L'année commence le jour de l'équinoxe d'automne. Elle contient 12 mois de 30 jours, chaque mois étant découpé en 3 décades. On ajoutait en fin d'année 5 jours supplémentaires, les sanculotides, et même un sixième tous les 4 ou 5 ans, pour arriver à une durée moyenne proche de 365,24 jours. Il fut instauré en 1792 et ne dura qu'une douzaine d'années. En 1805, le sénat décrète : "à dater du 11 nivôse prochain, le calendrier grégorien sera remis en usage dans tout l'Empire français".

Sitographie : le site de Louis Goguillon, louisg.net fourmille d'informations sur les calendriers.

À propos des années bissextiles

Françoise Suagher ⁽¹⁾

Professeur certifié de mathématiques, présidente de l'Association Astronomique de Franche-Comté

Cet article nous relate les nombreuses tribulations des calendriers. Il explique pourquoi le dieu Janus a deux têtes, pourquoi les Romains évitaient les nombres pairs, qu'elle est l'origine de l'expression année bissextile, pourquoi la date de Pâques avait tendance à dériver et enfin pourquoi Béatrice, la nièce de frère Jacques, n'a jamais pu fêter ses 10 ans.

Nous savons tous qu'il y a une année bissextile tous les 4 ans et que celle-ci a lieu lorsque le millésime est divisible par 4. Ainsi 2012 (4×503) sera bissextile, le mois de février aura 29 jours et l'année 2012 en comptera 366. Nous allons essayer de comprendre ce qui se cache derrière ce phénomène, nous demander s'il en a toujours été ainsi et si non depuis quand. Pour cela, nous allons imaginer 3 personnes, qui vivent à des périodes clés du calendrier et qui vont nous raconter ce qui s'est passé à leur époque.

Octavius vit en l'an 707 de la fondation de Rome.

Du calendrier de Numa au calendrier julien

Octavius est un jeune homme qui vit à Pompéi. Il se prépare à faire le même métier que son père, c'est à dire peindre des fresques dans les magnifiques villas de la cité. À cette époque, l'année comporte 12 mois et comptabilise 355 jours.

Elle a été copiée sur le calendrier grec, un calendrier lunaire dans lequel l'année dure $29,5 \times 12$ soit 354 jours. L'année commence le 1^{er} mars (Martius) et se déroule ainsi : Martius 31 jours, Aprilis 29, Maius 31, Junius 29, Quintilis (le cinquième) 31, Sextilis (le sixième) 29, September (le septième) 29, October (le huitième) 31, November (le neuvième) 29, December (le dixième) 29, Januarius 29, Februarius 28. Octavius est très étonné que les mois n'aient pas tous le même nombre de jours et que certains mois se rapportent à des divinités romaines alors que d'autres sont des numéros. Ce ne sont pourtant pas les personnages de la mythologie romaine qui manquent ! Il sait bien que Mars est le nom du dieu de la guerre, que Junon, fille de Saturne est l'épouse de Jupiter et la déesse du

mariage, que Februus est le dieu des morts et de la purification. Cependant, il a été obligé de questionner ses parents pour apprendre que Maïa est la mère de Mercure, le messager céleste et que Janus est un dieu à deux têtes, l'une qui regarde vers le passé et l'autre qui regarde vers l'avenir.



Fig.1. Janus, dieu à deux têtes, a donné son nom au mois de janvier.

Par contre, personne n'a vraiment pu lui dire pourquoi le second mois de l'année s'appelait Aprilis... Il s'étonne également de voir que tous les mois sauf le dernier de l'année ont un nombre impair de jours, mais on lui a dit que c'était parce que seuls les nombres impairs plaisent aux dieux. Il est bien triste d'être né au mois de Februarius, et qui plus est dans les derniers jours du mois. En effet, à cette période dédiée aux morts, les femmes défilent dans les rues en pleurant les disparus pendant près d'une semaine. Si seulement il était né au moment des Saturnales, à la mi-décembre, ces grandes fêtes où l'on se déguise et où l'on fait les fous pendant plusieurs jours. Il se console cependant en se disant que cela aurait pu être pire s'il était né pendant le mois de Mercedonius, ce mois intercalaire, qu'on rajoute normalement une année sur 3 avant la dernière semaine de février. Il n'aurait pu fêter son anniversaire que de temps en temps, car ce fameux

(1) Françoise Suagher est aussi l'auteure avec JP Parisot du livre *Calendriers et chronologie* aux éditions Masson.

mois est sujet à toutes les fantaisies. Selon le bon vouloir des autorités on décide parfois de ne pas l'introduire, ou alors d'en mettre deux de suite pour avoir le temps de régler des situations politiques délicates. Il l'a échappé belle...

Mais Octavius, curieux de tout, a appris que Jules César, conscient que le calendrier est source de corruption, envisage une réforme de ce dernier et désire connaître la durée exacte de l'année des saisons (l'intervalle entre deux équinoxes de printemps par exemple). La tâche a été confiée à un savant du nom de Sosigène qui vit en Égypte, à Alexandrie. Ce dernier a utilisé la variation annuelle de la longueur de l'ombre d'un obélisque, à midi.

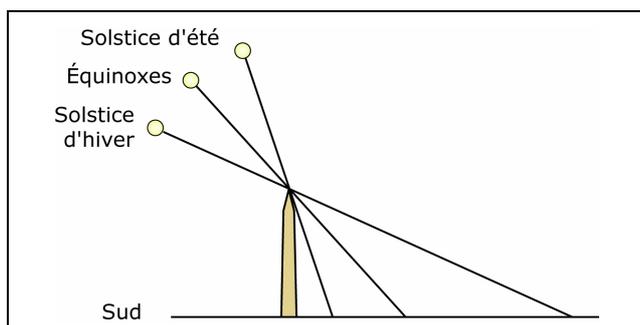


Fig.2. Variation de la longueur de l'ombre à midi en fonction de la date.

Il a trouvé que l'année dure $365 \frac{1}{4}$ jours et déterminé que l'équinoxe de printemps a lieu le 25 mars. À partir de là, les sages décident de modifier et recalculer le calendrier par rapport aux saisons pour que les Saturnales aient lieu peu avant le solstice d'hiver. En cette année 707 de la fondation de Rome, Octavius n'y comprend plus rien : l'année n'en finit pas... déjà plus de 400 jours. En fait, elle va durer 455 jours, on l'appellera plus tard "l'année de la confusion". Cette fois, Octavius va utiliser un calendrier solaire, dans lequel les saisons auront lieu à dates fixes. Mais il faut qu'il s'habitue, car les 10 jours qui ont été distribués à certains mois bousculent ses habitudes et un jour supplémentaire remplace le mois de Mercedonius tous les 4 ans. De plus, maintenant, l'année commence le 1^{er} janvier, lors de la prise en charge des consuls (l'équivalent de notre rentrée parlementaire), et le mois d'October (le huitième) est maintenant le dixième mois de l'année. Il fallait oser...

Voici donc le nouveau calendrier dit julien en mémoire de Jules César, responsable de la réforme : Januarius 31 jours, Februarius 28 ou 29 jours, Martius 31, Aprilis 30, Maius 31, Junius 30, Quintilis 31, Sextilis 31, September 30, October 31, November 30, December 31 (nous reconnaissons notre année actuelle, la seule différence concerne

les cinquième et sixième mois qui sont encore des numéros).



Classical Numismatic Group, Inc.

Fig.3. Denier de César émis en 44 av. JC, dans les premières années du calendrier julien (on reconnaît, à droite, Vénus tenant une victoire).

Le 29^e jour de février

Il nous faut cette fois apprendre à nommer les jours du mois comme on le faisait à la période d'Octavius. On ne comptait pas positivement à partir du début du mois comme on le fait maintenant, mais on le faisait de façon soustractive par rapport à des jours particuliers du mois liés à la Lune, en souvenir du calendrier lunaire. Le premier jour du mois c'est les calendes. En milieu de mois, il y a les ides (à proximité de la pleine Lune). Neuf jours avant les ides, il y a les nones (peu avant le premier quartier). La position de ces repères dépend de la longueur du mois, selon qu'il est court ou long : les ides 13^e ou 15^e jour et les nones, 5^e ou 7^e jour du mois. La veille d'un de ces repères est appelée pridie et signifie 2 avant.

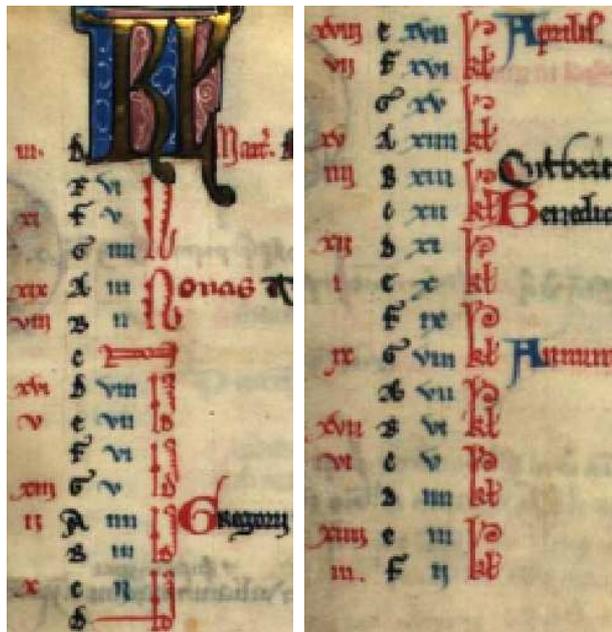


Fig.4. Le mois de mars (almanach du Moyen-Âge). Remarquons que la veille des nones, des ides ou des calendes est notée II (avant). Cliché CNRS-IRHT, ©Bibliothèque municipale de Besançon.

Exemple de comptage avec le mois de février

On a noté sur la ligne du dessus notre façon actuelle de nommer les jours et sur la ligne du dessous, la façon romaine.

1 ^{er} février	2	3	4	5
Calendes de février	4 avant nones	3 avant nones	2 avant nones	Nones

6	7	8	9	10	11	12	13
8 avant les ides	7 avant les ides	6 avant les ides	5 avant les ides	4 avant les ides	3 avant les ides	2 avant les ides	Ides

14	15	16	17	18	19	20	21	22
16 avant les calendes	15 avant les calendes	14 avant les calendes	13 avant les calendes	12 avant les calendes	11 avant les calendes	10 avant les calendes	9 avant les calendes	8 avant les calendes

23		24	25	26	27	28	1 ^{er} mars
7 avant les calendes	Bis sextus	6 avant les calendes	5 avant les calendes	4 avant les calendes	3 avant les calendes	2 avant les calendes	Calendes de mars

C'est entre le 23 et le 24 février que se glissait éventuellement le mois de Mercedonius et c'est là que va se mettre le 29^e jour de février car, ne l'oublions pas, on ne touche pas aux derniers jours de février qui sont consacrés aux défunts... Tous les 4 ans, on va donc doubler le sixième jour avant les calendes de mars et, de ce fait, ce jour particulier sera le Bissexus Calendas Martias, ce qui a donné le mot bissextile.

Le calendrier julien dans sa forme définitive

Beaucoup plus tard, Octavius verra encore deux petites modifications dans le calendrier qu'il utilise. En l'honneur de Jules César, Quintilis, le mois de sa naissance, sera dénommé Julius, et quelques années plus tard, le mois de Sextilis sera dénommé Augustus en mémoire d'Auguste qui a rectifié le décompte des années bissextiles qui n'avait pas été bien compris. En effet, pendant 36 ans, il y a eu une année bissextile tous les 3 ans au lieu de tous les 4. Octavius n'était pas le seul à avoir des problèmes de piquets et d'intervalles... Après en avoir eu trop, il a fallu supprimer des années bissextiles.

Januarius, Februarius, Martius, Aprilis, Maius, Junius, Julius, Augustus, September, October, November, December deviendront en français janvier, février, mars, avril, mai, juin, juillet, août...

Godefroy vit au XVI^e siècle

Godefroy, né en 1552, est moine dans une abbaye, mais on le connaît davantage sous le nom de frère Jacques. En effet, il est responsable des heures des prières et c'est lui qui sonne la cloche 7 fois par jour pour appeler ses congénères à la prière. Dans la journée, cela ne lui pose pas trop de problèmes. Par contre, la nuit, il ne faut pas qu'il oublie de se réveiller pour sonner les Nocturnes et il ne peut

alors pas contrôler la marche de son horloge à poids avec le cadran solaire canonial...

Godefroy s'intéresse beaucoup à la lecture des textes anciens. Il se passionne en particulier pour un moine scythe, nommé Denys le Petit à cause de sa petite taille, qui s'est beaucoup intéressé à la date de naissance du Christ et qui a proposé une nouvelle numérotation des années à partir de cet événement. Désormais on utilise l'ère chrétienne, et on compte les années à partir de la date présumée de sa naissance. Cette pratique a eu beaucoup de mal à s'imposer, mais elle est cependant très commode, car les années bissextiles sont celles dont le millésime est divisible par 4. Et pour recalculer les calendriers les uns par rapport aux autres, il suffit de se rappeler que l'an 45 avant JC est l'an 708 de la fondation de Rome et que le décompte correct des années bissextiles a commencé à partir de l'an 5 après JC.

Il y a une chose qui perturbe notre frère Jacques concernant la fête de Pâques. Depuis le concile de Nicée qui a eu lieu en 325 après JC, Pâques se fête le premier dimanche qui suit le quatorzième jour de la Lune qui a lieu le 21 mars ou immédiatement après (le 21 mars était au moment du Concile de Nicée, la date de l'équinoxe de printemps). On se souvient que c'était le 25 mars au moment de la mise en place du calendrier julien. On pense alors que le décalage trouvé est dû à une erreur de détermination de Sosigène qui a fait sa mesure près de 400 ans auparavant. Vous pensez, en ce temps là, avec les moyens dont il disposait... On ne pense pas un instant que le calendrier puisse être en cause. Or Pâques, qui devrait être une fête printanière, se décale de plus en plus vers l'été. Godefroy profite d'un voyage en Italie pour questionner ses confrères et il apprend que des savants à Florence ont mis en évidence dans le Duomo, que le solstice d'été a lieu 10 jours plus tôt que prévu...



© Institute and Museum of the History of Science

Fig.5a. Repérage de l'instant du solstice d'été dans le Duomo à Florence.



Fig.5b. Le petit disque de marbre de 243 mm de diamètre a été posé par Toscanelli pour indiquer où se trouverait l'image du Soleil au solstice d'été le 12 juin 1510.

Ainsi, l'équinoxe de printemps n'a pas lieu le 21 mars, mais 10 jours plus tôt, et Pâques qui est fixé par rapport au 21 mars recule d'autant. On lui dit aussi que le pape Grégoire XIII a trouvé cela très embêtant et qu'il est en train de concocter, avec un groupe de mathématiciens et d'astronomes, une réforme du calendrier qui devrait voir le jour incessamment. Les astronomes consultés ont déterminé une nouvelle fois la durée de l'année : 365,2425 jours. L'année des saisons est donc plus courte que l'année calendaire (365,25 jours). Ainsi, chaque

année, l'équinoxe de printemps prend 0,0075 jour d'avance sur le 21 mars. En 400 ans, l'avance de l'équinoxe astronomique sur le calendrier est de 3 jours et depuis le concile de Nicée, le décalage de l'équinoxe de printemps a atteint 10 jours.

Peu de temps après son retour d'Italie, Godefroy apprend les mesures décidées qui constitueront la réforme grégorienne du calendrier :

- le calendrier sera amputé de 10 jours qui seront tout simplement supprimés. Le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 sera le vendredi 15 octobre. Cela contrarie beaucoup frère Jacques. Comment va-t-on faire pour honorer les saints dont la fête se trouve dans les dix jours supprimés ? Il paraît que l'on va fêter deux saints le même jour pour que personne ne soit froissé. En France, le lendemain du 9 décembre 1582 sera le 20 décembre 1582. Godefroy pense à sa jeune nièce Béatrice, qui devrait avoir 10 ans le 13 décembre, et qui ne pourra pas fêter son anniversaire, comme elle espérait tant le faire...

- le décompte des années bissextiles sera modifié. Les années séculaires (c'est à dire dont le millésime se termine par deux zéros) ne resteront bissextiles que si le nombre de siècle est divisible par 4.

Frère Jacques est rassuré. L'an 1600 sera une année bissextile normale, et en 1700, il aurait 148 ans, donc ce ne sera plus son problème... Tout cela pour que l'équinoxe de printemps reste le 21 mars !

G R E G O R I A N V M. 53			
O C T O B E R.			
Cui defūnt decem dies pro correctiōne Anni Solaris.			
Cyclus E- paçt. Anni Do- correction. mi- MDLXXXII	Lit. Anni Do- correction. mi- MDLXXXII	Dies Men- fis.	
xxij	A Kal.	1	Remigii Episcopi & Confess.
xxj	b vi	2	
xx	c v	3	
xix	d iiij. No.	4	Francisci Confess. duplex.
vij	A Idib.	15	Dionysii, Rustici, & Eleutherii martyrum. semiduplex. cum commemoratione S. Marci Papæ & Confessoris, & SS. Sergii, Bacchi, & Apuleii martyrum. Calixti Papæ, & mart. semiduplex.
vij	b xvii	16	
vj	c xvj	17	
v	d xv	18	Lucæ Euangelistæ. dupl.
iiiiij	e xiiiiij	19	
iiij	f xiiij	20	
ij	g xij	21	Hilarionis Abbatis. & comm. SS. Vrsulæ & sociarum virg. & mart.
j	A xj	22	
*	b x	23	
xxix	c ix	24	
xxvij	d viij	25	Chrystanti, & Darix marty.
xxvij	e vij	26	Euaristi Papæ & mart.
xxvi	f vj	27	Vigilia
25 xxv	g v	28	Simonis & Iude Apostolorum. dup.
xxiiij	A iiij	29	
xxiiij	b iiij	30	
xxii	c Pr. Kal.	31	Vigilia

Fig.6. Page montrant le premier calendrier grégorien, pour le mois d'octobre 1582.

Carmela vit au XX^e siècle

Elle est née le 21 mars 1995, le jour du printemps. Elle est maintenant au lycée et s'intéresse à beaucoup de choses. Mais il y a un événement qui l'étonne par dessus tout, c'est qu'en 2011, c'était la dernière fois avant bien longtemps que le printemps avait lieu le 21 mars, le jour même de son anniversaire. Aussi, elle a questionné à ce propos son professeur de maths qui anime un club astro dans le lycée.

"Élémentaire, ma chère Carmela !", lui a-t-elle répondu. "Regardons ensemble les dates et heures du printemps (en heures légales) lors des dernières années !"

1997	1998	1999	2000
20 mars 14 h 54	20 mars 20 h 54	21 mars 2 h 45	20 mars 8 h 35

2001	2002	2003	2004
20 mars 14 h 31	20 mars 20 h 16	21 mars 2 h 00	20 mars 7 h 48

2005	2006	2007	2008
20 mars 13 h 33	20 mars 19 h 25	21 mars 1 h 07	20 mars 6 h 48

2009	2010	2011	2012
20 mars 12 h 43	20 mars 18 h 31	21 mars 0 h 20	20 mars 6 h 14

Fig.7. Les dates de l'équinoxe de printemps de 1997 à 2012 (données IMCCE).

D'une année à l'autre, l'équinoxe de printemps recule d'environ 6 heures, et cela est tout à fait normal, puisque l'année des saisons vaut environ 365 jours un quart. S'il n'y avait pas d'années bissextiles, l'équinoxe de printemps prendrait toutes les dates de l'année en 365×4 années. Mais avec une année bissextile tous les 4 ans, donc un jour de plus en février tous les 4 ans, le printemps se retrouve à la même date au bout de 4 années. On le vérifie facilement dans le tableau.

De plus, on voit que ces dernières années, 3 fois sur 4, le printemps avait lieu le 20 mars et non le 21. La date du 21 mars correspondait à l'année précédant l'année bissextile : 1999, 2003, 2007, 2011. Si l'on regarde un peu plus en détail, on s'aperçoit que le décalage n'est pas exactement de 6 heures, mais un

peu moins, et que le printemps le 21 mars se produisait chaque année un peu plus tôt. D'ailleurs en 2011, ce ne fut le 21 mars que parce que l'heure légale en France est avancée d'une heure par rapport au Temps Universel.

Le printemps aura lieu le 20 mars à 23 h 45 en 2015, à 22 h 58 en 2019. Jusqu'en 2047, l'équinoxe de printemps aura toujours lieu le 20 mars, entre 2047 et 2102, tantôt le 19 mars (19 fois), tantôt le 20 et il faudra attendre 2102 pour retrouver le printemps le 21 mars à 1 h 35 et 11 fois seulement au XXI^e siècle. Ceci est lié aux années séculaires : l'année 2000 a été bissextile, mais 2100 ne le sera pas.

Carmela ne pensait pas qu'il y avait tant de curiosités astronomiques cachées dans le calendrier et que la date du printemps était liée de façon si directe à l'existence des années bissextiles. De plus, le fait que la durée de l'année des saisons soit estimée aujourd'hui à 365,2422... jours lui fait penser qu'il faudra peut-être, plus tard, faire une ultime réforme du calendrier... Mais ce n'est pas demain la veille, le calendrier sera décalé de 3 jours dans 10 000 ans !... Cela n'empêchera pas Carmela de fêter joyeusement son anniversaire le 21 mars prochain avec ses copains et ses copines.

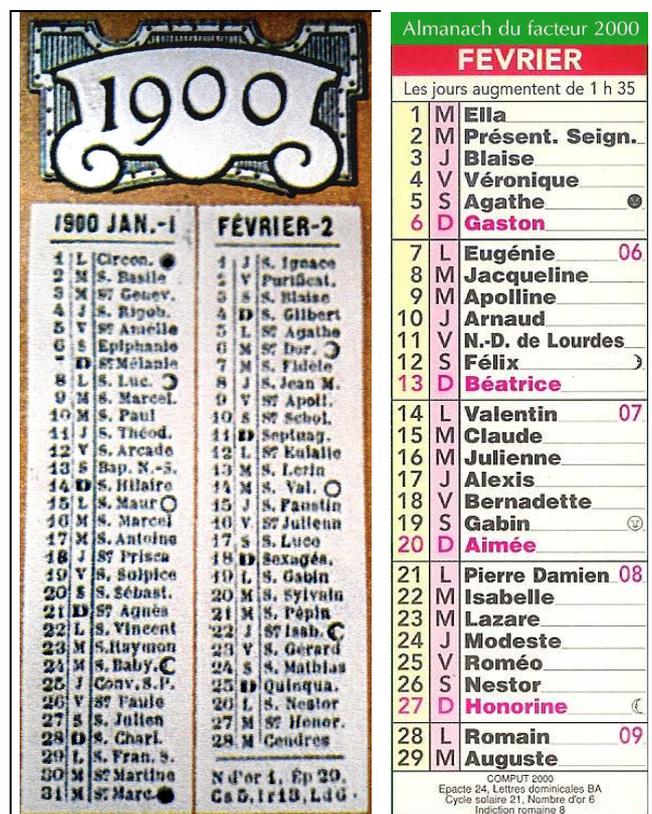


Fig.8. Le mois de février 1900 n'a compté que 28 jours alors que février 2000 a eu droit à 29 jours.

AVEC NOS ÉLÈVES

Une activité en CM autour du calendrier

Véronique Hauguel

Voici une activité simple possible avec des élèves d'école primaire autour du calendrier.

Matériel nécessaire : Se munir d'almanachs du facteur, un par élève.

Activité préparatoire : expliquer ce qu'est une année (tropicque) avec des maquettes (boule pour le Soleil et boule pour la Terre).

L'objectif est de montrer que le calendrier doit suivre le mouvement annuel du Soleil sur un long terme.

Observer le nombre de jours dans chacun des mois

Activité

Compléter à l'aide du calendrier :

Combien y a-t-il de mois dans une année ?

Quels sont les mois de 31 jours ?

Quels sont les mois de 30 jours ?

Mois de février : combien a-t-il de jours ?

Moyen avec les mains

Pour retrouver les mois de 31 jours et les mois de 30 jours ou moins, on utilise la main :

Avec les bosses des articulations des doigts, on commence à dire les mois en touchant une bosse ou un creux de l'articulation à la racine du doigt.

Sur la bosse de l'index, on dit : janvier.

Sur le creux à côté, février.

Sur la bosse du majeur, mars...

Sur la bosse de l'auriculaire, juillet.



On recommence sur l'index avec août et ainsi de suite. Les mois sur les bosses ont 31 jours, les autres ont 30 jours sauf février qui en a 28 ou 29.

Observer le nombre de jours de l'année

Activité

Distribuer un calendrier par élève et placer les élèves en cercle par ordre du plus ancien calendrier au plus récent, les calendriers devant être d'années consécutives.



Demander à chaque élève de lire tout haut le nombre de jours de février.

Si le nombre est 28, il reste à sa place

Si le nombre est 29, il avance d'un pas

À la fin, on observe et on commente.

Une année qui a un mois de février de 29 jours est une année bissextile.

Une année qui a un mois de février de 28 jours est une année régulière, non bissextile.

Quel est le nombre de jours d'une année bissextile ?

Quel est le nombre de jours d'une année non bissextile ?

Pourquoi chaque année n'a pas le même nombre de jours ?

Le cycle des saisons comporte un nombre de jours qui n'est pas entier. Il est de 365,25 jours environ.

Précision :

En prenant 365,25 jours, l'erreur est de 3 jours tous les 400 ans. La réforme du calendrier grégorien de 1582 permet de rectifier cette erreur en rendant non bissextiles 3 années séculaires sur 4.

Cycle lunaire, nombre d'or et épacte

Véronique Hauguel, Association Sciences en Seine et Patrimoine (Rouen)

On n'entend plus beaucoup parler de cycle lunaire, d'épacte ou de nombre d'or. Pourtant ils sont toujours dans l'almanach du facteur et ils ont beaucoup été utilisés, en particulier par les marins comme Denoville. Véronique Hauguel nous explique ici leur signification et détaille différentes manières de les obtenir.

Le calendrier grégorien est l'aboutissement de réformes pour mettre en place un calendrier solaire annuel contenant un nombre entier de jours alors que le nombre moyen n'est pas entier¹. En plus de ce calage du temps à travers les siècles, il fallait trouver un cycle commun lié au mouvement annuel du Soleil et de la Lune. Pour l'Église, cette réforme était primordiale pour uniformiser la date de la fête de Pâques partout dans le monde alors que les explorateurs découvraient de nouveaux territoires. De plus, pour les marins, connaître la position de la Lune était indispensable pour ne pas être victime des marées des océans.

Le comput² permet de trouver la phase de la Lune à une date donnée ; les calculs sont accessibles à un non-matheux contrairement aux calculs des vrais mouvements des astres. Ils sont plus simples mais approchés. Il faut préciser que l'on parle ici comme dans toute la suite, de Lune du comput ou Lune ecclésiastique qui est une Lune moyenne, assez loin de la Lune astronomique qui a un mouvement irrégulier et complexe.

Pour illustrer les calculs, on utilisera les volvelles³ d'un beau manuscrit de 1760, écrit par un marin inconnu Denoville et découvert en 2000 par l'IREM de Rouen à la bibliothèque municipale Jacques Villon.

Cycle lunaire et nombre d'or

Comment trouver un cycle commun qui lie l'année solaire et ses douze mois avec l'année lunaire et ses douze lunaisons ?

On dit que c'est Méton, astronome grec du v^e siècle avant notre ère, qui mit en évidence une période

commune de 19 ans entre le Soleil et la Lune appelée cycle lunaire ou cycle de Méton (19 années solaires correspondent à 235 lunaisons à moins de 2 heures près). Autrement dit, le cycle lunaire est une période de 19 années au bout desquelles les nouvelles lunes reviennent aux mêmes dates dans le calendrier solaire. Le rang de l'année dans ce cycle est appelé nombre d'or car ces nombres furent inscrits par les Athéniens en lettres d'or sur la place publique de leur ville⁴. Comme toujours en astronomie, la correspondance n'est pas exacte et l'avance est d'un jour tous les 312 ans environ.

Le calcul du nombre d'or ne dépend que de l'année, ce n'est que son rang dans le cycle lunaire, il est donc valable pour le calendrier julien et le calendrier grégorien.

Calcul du nombre d'or n :

Soit m l'année.

Le nombre d'or n est le reste de la division de $m+1$ par 19. Soit, en notation mathématique :

$$m + 1 \equiv n [19] \text{ (modulo 19)}$$

Si $n = 0$, on prend $n = 19$ comme nombre d'or.

Exemple : Quel est le nombre d'or de 2012 ?

Le reste de la division de 2013 par 19 est 18. Le nombre d'or de 2012 est 18. On peut vérifier ce nombre, écrit dans tout almanach du facteur, en général en bas de la colonne du mois de février.

Fig.1. Le comput de 2012 sur l'almanach du facteur.

COMPUT 2012: Épacte 6,
Lettres dominicales AG, Cycle solaire 5
Nombre d'or 18, Indiction romaine 5

Le nombre d'or commence en mars de l'année jusqu'à fin février de l'année suivante. Il sert à calculer l'épacte qui permet de déterminer les dates des phases de la Lune de l'année, plus particulièrement des nouvelles et pleines lunes.

¹ Voir l'article de F. Suagher dans ce même numéro.

² On appelle comput l'ensemble des règles de calcul dans le calendrier ecclésiastique.

³ Une volvelle est un instrument en papier se composant d'un ou de plusieurs disques gradués tournant les uns sur les autres.

⁴ Ce nombre n a rien à voir avec l'autre nombre d'or qui vaut environ 1,618.

Épacte (du XVII^e au XXI^e siècle)

L'épacte est le nombre de jours "que l'année civile du Soleil surpasse celle de la Lune ou bien c'est l'âge qu'avait la Lune le dernier jour de l'année qui précède celle qu'on demande" (Denoville). Elle varie de 0 à 29, 0 étant communément remplacé par ✕. Par exemple, en 2012, l'épacte est de 6, ce qui signifie que la Lune a 6 jours le 31 décembre 2011, ou que la dernière nouvelle Lune a lieu le 25 décembre¹.

L'année tropique du Soleil est de 365,24 jours et l'année de douze lunaisons de 354,36 jours.

Sur une année la différence est, en nombre entier, de 11 jours. Ce qui signifie qu'il y a un décalage de 11 jours par an entre le calendrier solaire et le calendrier lunaire.

Si l'épacte est de 11 une année, elle sera de 22 l'année suivante, puis de 3 en comptant 30 jours pour un mois lunaire (33 - 30 = 3), ensuite de 14, etc.

Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Épacte	8	19	0	11	22	4

Tab.1. L'épacte augmente de 11 ou diminue de 19 (30 - 11) chaque année.

"Le jour en plus des années bissextiles est comme chacun sait, en février. Le décalage ou non d'un jour entre années bissextiles et non bissextiles commence donc le 1^{er} mars. C'est pourquoi on fait commencer les décomptes du nombre d'or comme de l'épacte au 1^{er} mars" (Denoville).

L'épacte d'une année commence, comme le nombre d'or, en mars jusqu'à fin février de l'année suivante. En 1582, il y avait un décalage de plusieurs jours entre la Lune astronomique et la Lune de comput. Le nouveau comput le rectifia puis, pour éviter une nouvelle dérive, apporta quelques corrections :

- à chaque année séculaire non bissextile, on retranche un jour à l'épacte (métemptose) ;
- tous les 300 ans, quand arrive une année séculaire, on ajoute un à l'épacte (proemptose).

Année	1600	1700	1800	1900	2000	2100
	bissextile				bissextile	
Métemptose		-1	-1	-1		-1
Proemptose			+1			+1
Décalage de l'épacte	0	-1			-2	

Tab.2. Correction de l'épacte au passage des années séculaires depuis 1582, année de la réforme.

Denoville définit le calcul pour trouver l'épacte à partir du nombre d'or puis énonce la règle à obser-

¹ La nouvelle Lune astronomique de décembre 2011 est le 24 à 18 h et la nouvelle Lune du comput le 25.

ver à travers les siècles passés et à venir :

"Comment trouver l'épacte d'une année ?

On multiplie le nombre d'or de l'année par 11 et du produit, on ôte 11, si l'année est dans les siècles de 1700 et 1800, c'est-à-dire, suivant l'usage ordinaire de compter les siècles, si elle est entre 1700 et 1899. Le restant étant divisé par 30, ce qui restera de la division sera l'épacte demandée et s'il ne reste rien de la division, l'épacte alors sera de 30 ou de 0.

Faut-il toujours ôter 11 du produit de la multiplication du nombre d'or par 11 ? Non, dans les siècles de 1600, on n'ôtait que 10. Dans les siècles 1700 et 1800, il faut ôter 11, comme il a été dit, après 1900, 2000, 2100 on ôtera 12.

Ce qui vient de la réforme du calendrier qui se fit en l'an 1582".

Le tableau 3 donne les formules du comput grégorien pour calculer l'épacte e avec les notations modernes.

Siècle	Épacte (n est le nombre d'or)
De l'application de la réforme au XVII ^e s.	$n \times 11 - 10 \equiv e [30]$, e est le reste de la division de $11n - 10$ par 30
De 1700 à 1899	$n \times 11 - 11 \equiv e [30]$, e est le reste de la division de $11n - 11$ par 30
Depuis 1900 jusqu'à 2199.	$n \times 11 - 12 \equiv e [30]$, e est le reste de la division de $11n - 12$ par 30

Tab.3. Calcul de l'épacte à partir du nombre d'or en notations actuelles.

Exemple : Quel est l'épacte en 2012, par le calcul ? Comme le nombre d'or est de 18, le reste de la division de $18 \times 11 - 12$ par 30 donne 6, c'est l'épacte de 2012.

La volvelle "table circulaire du nombre d'or et de l'épacte" du livre de Denoville donne directement l'épacte de 1748 à 1785 (fig 2). La correspondance nombre d'or épacte est valable de 1700 à 1899.

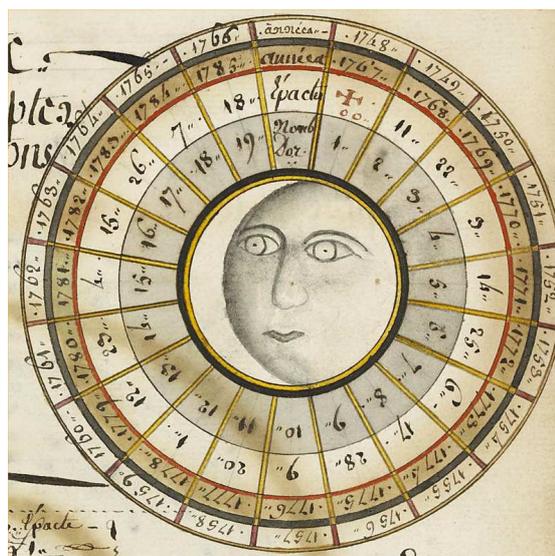


Fig.2. Volvelle de Denoville "nombre d'or et épacte de 1748 à 1785".

Pour obtenir une volvelle qui fonctionne actuellement, il suffit de changer les années et de retrancher 1 à l'épacte (figure 3).

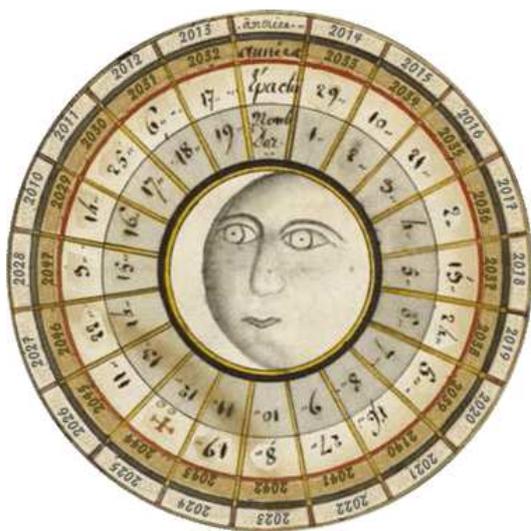


Fig.3. Volvelle de Denoville "nombre d'or et épacte" réactualisée par Philippe Merlin en changeant les années (de 2010 à 2047) et l'épacte.

Denoville propose aussi une méthode pour trouver l'épacte avec son pouce (figure 4) :

"Il n'y a qu'à compter le nombre d'or successivement sur le pouce en commençant le compte à la racine, et observer d'ôter un à l'épacte quand le compte du nombre d'or s'y rencontrera, d'ajouter 9 quand il tombera sur la jointure et d'ajouter 19 quand il tombera au bout. Si la somme est moins que 30 ce sera l'Épacte, mais si elle est plus que 30, l'excès de ce nombre sera l'épacte demandée".



Fig.4. Méthode avec le pouce pour trouver l'épacte, le nombre d'or étant connu.

Exemple pour l'année 1760

- Sur la volvelle, la lecture est immédiate ; le nombre d'or est 13 et l'épacte 12.
- Avec le pouce, sachant que 13 est le nombre d'or de 1760 : on compte jusqu'à 13, 1 sur la racine du pouce, 2 sur la jointure, 3 au bout, puis 4 sur la racine et ainsi de suite jusqu'à 13. D'après la règle, 13 étant à la racine du pouce, on retranche 1, l'épacte est 12.

Nombre d'or	1	2	3	4	5	6	...	19
On arrive à	R	J	B	R	J	B	...	R
Faire	-1	+9	+19	-1	+9	+19	...	+1
Résultat	0	11	22	3	14	25	...	18

Tab.4. Vérification de la méthode du pouce (R pour racine, J pour jointure et B pour bout). Quand on observe les résultats, le décalage est bien de 11 jours d'une case à l'autre, comme dans le tableau 1.

Justification mathématique

Cela revient à un problème d'arithmétique :

$$n \times 11 - 11 \equiv e [30] \quad (n \text{ est l'épacte})$$

$$n \times 10 + n - 10 - 1 \equiv e [30]$$

$$n + 10(n - 1) - 1 \equiv e [30]$$

Si on tombe sur la racine du pouce, n vaut 1 plus un multiple de 3 donc $n = 3p + 1$

$$3p + 1 + 10(3p) - 1 \equiv e [30] \quad \text{d'où } n - 1 \equiv e [30]$$

Si on tombe sur la jointure du pouce, n vaut 2 plus un multiple de 3 donc $n = 3p + 2$

$$3p + 2 + 10(3p + 1) - 1 \equiv e [30] \quad \text{d'où } n + 9 \equiv e [30]$$

Si on tombe sur le bout du pouce, n est un multiple de 3 donc $n = 3p$

$$3p + 10(3p - 1) - 1 \equiv e [30]$$

$$\text{d'où } n - 11 \equiv e [30] \quad \text{ou } n + 19 \equiv e [30]$$

On peut réactualiser cette formule pour qu'elle fonctionne à notre siècle. Le principe reste le même : compter sur le pouce jusqu'au nombre d'or, d'abord à la racine, ensuite à la jointure et au bout puis recommencer autant de fois que nécessaire.

Pour obtenir l'épacte à partir du nombre d'or :

- si on tombe à la racine, retirer 2 (si le nombre d'or est 1, on ajoute 28 et l'épacte est 29) ;
- si on tombe à la jointure, ajouter 8 ;
- si on tombe au bout, ajouter 18.

Si la somme est moins que 30 ce sera l'épacte, mais si elle est plus que 30, l'excès de ce nombre sera l'épacte demandée.

Vous pouvez retrouver, avec cette méthode, l'épacte de l'année 2012 de nombre d'or 18¹.

Nouvelles Lunes

Si on connaît l'épacte d'une année, la volvelle de la figure 5 permet une lecture directe de toutes les dates de nouvelles lunes du comput, de mars à décembre de l'année ainsi que de janvier et février de l'année suivante.

La correspondance entre nombre d'or et épacte est différente actuellement mais en prenant l'épacte d'une année, cette volvelle, conçue pour 1700 à 1899, est utilisable quelle que soit l'année. Si l'épacte d'une année n'est pas écrite (il n'y a que 19 nombres sur les 30 possibles), il suffit de prendre

¹ En comptant jusqu'à 18, on arrive au bout du pouce. Il faut donc ajouter 18, on trouve 36. Comme on dépasse 30, l'épacte est l'excès de 36 sur 30, c'est 6.

épacte + 1 (ou +2...) et d'ajouter 1 (ou +2...) à toutes les dates.

Par exemple, en 2012, l'épacte est 6. On tourne l'alidade pour la régler sur l'épacte de 6. On lit les dates des nouvelles lunes de mars à décembre 2012 et de janvier et février 2013. On peut vérifier les résultats avec l'almanach du facteur.

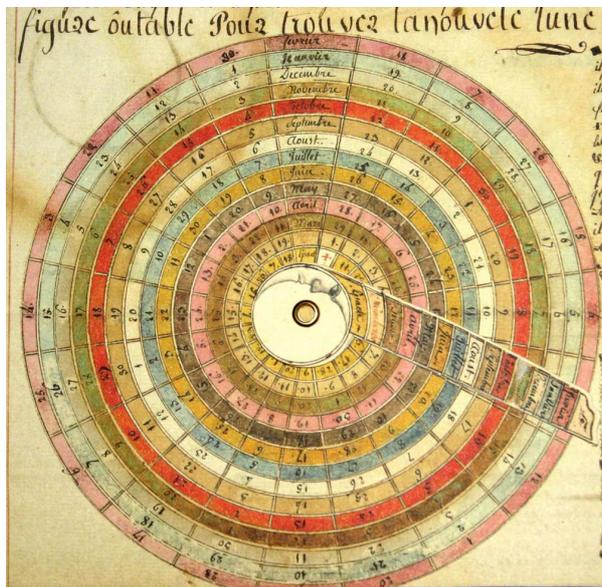


Fig.5. Figure ou table pour donner la nouvelle Lune par la table circulaire. L'alidade est placée pour une épacte de 6 (graduation orangée la plus proche du centre). On peut lire par exemple que la nouvelle Lune d'avril (en rose) aura lieu le 22.

Remarque : pour les mois de janvier et février de l'année choisie, il suffit de retirer 11 jours aux dates lues sur la volvelle pour janvier et février ou d'ôter l'épacte à 30 pour obtenir la date en janvier de la nouvelle Lune et en déduire celle de février, si elle existe.

Pour trouver la nouvelle Lune par le calcul :

"On ajoute à l'épacte les mois passés, depuis mars y compris, & on ôte la somme de 30, si elle est moindre, ou de 60, si elle est plus de 30, le restant fait connaître le quantième du mois auquel tombe la nouvelle lune".

Le calcul est évidemment approximatif. La date de la nouvelle Lune avance de 11 jours par an donc en gros de 1 jour par mois.

Un exemple (figure 6) :

"Pour une année où l'on aura 22 d'épacte, on demande le quantième du mois de juin auquel tombera la nouvelle lune.

Epacte proposée...	22
Mois écoulés depuis mars y compris	4
Somme	26
Oter de	30
Nouvelle lune le	4"

La nouvelle Lune tombera le 4 juin. Pour obtenir la pleine Lune du mois de juin, il suffit d'ajouter 15. La pleine Lune tombera le 19 juin.

Vous pouvez trouver, avec ce calcul, l'âge de la Lune le 4 juin 2012 et le comparer à celui obtenu à l'aide de l'almanach du facteur.

Conclusion

Le comput grégorien utilise l'épacte pour les calculs des dates des nouvelles lunes. Ce sont ces calculs qu'on retrouve dans les traités de navigation du XVIII^e. En plus de leur simplicité et de leur rapidité, ils gardent un intérêt historique.

Les résultats comparés aux réelles mesures précises obtenues avec des calculs complexes montrent leur limite. Actuellement, on utilise les Éphémérides astronomiques de l'annuaire du Bureau des longitudes, publiées chaque année.

Laissons parler Marguet, l'auteur d'une histoire de la navigation, sur l'approximation de ces nombres et l'imprécision des méthodes pour les déterminer :

"Depuis Medina et Cortes d'ailleurs, on déterminait grossièrement les heures des pleines mers en ajoutant l'établissement ou « situation », à l'heure du passage à la Lune au méridien et on cherchait cette dernière au moyen de l'âge de la Lune et des épactes. Les résultats devaient être singulièrement erronés à cause des inégalités lunaires et parce que jusqu'à Pierre Bouguer, en 1753, on se servait de l'épacte vulgaire qui augmente de 11 jours par an et non de l'épacte astronomique qui n'augmente que de 10 jours 15 heures 10 minutes".

Néanmoins, cette méthode simple donnait des résultats satisfaisants pour la navigation de l'époque.

Sitographie : <http://assprouen.free.fr/denoville/>

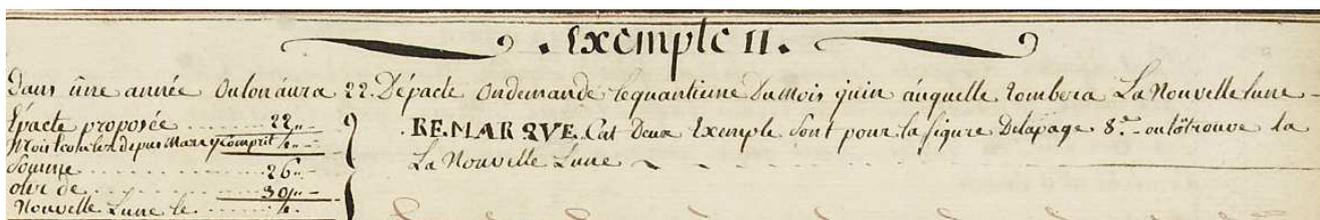


Fig.6. Exemple de calcul de la date de la nouvelle Lune extrait du manuscrit de Denoville.

AVEC NOS ÉLÈVES

Séquence en CM autour du calendrier musulman

Liliane Sarrazin Vilas

L'activité proposée ici à des élèves de CM2 a de quoi surprendre. Ils découvrent que, selon le calendrier utilisé, l'année n'a pas le même nombre de jours et donc que l'âge d'une personne peut varier. Ils constateront également le glissement des saisons dans le calendrier lunaire. Ils comprendront progressivement que le temps est une convention et que les résultats diffèrent selon que l'on choisit comme repère la Lune ou le Soleil. À la fin de l'article vous trouverez un complément sur les calendriers et les fractions continues.

Ces séquences ont été introduites en CM2 en 1985 dans la classe de M. Verger à l'IUFM de Limoges. Elles étaient intégrées à la fin de l'étude de la Lune.

Mais à quoi correspond l'instant 0 de ce calendrier ? L'information est apportée par le maître : l'ère musulmane (on parle d'ère hégirienne) commence le 16 juillet 622 du calendrier julien. C'est la date de l'exil de Mahomet à Médine.

Première séquence

Matériel

Document 1 : extrait traduit d'un calendrier émis en 1985 à Abu Dhabi.

Observation du document 1

Les élèves sont extrêmement étonnés lorsqu'ils regardent ce document. Il leur faut quelques minutes de lecture et de réflexion pour émettre leurs remarques qui sont écrites au tableau :

- les chiffres et les lettres ne sont pas les mêmes que ceux que nous utilisons ;
- le texte est écrit de droite à gauche, par contre, les nombres sont écrits de gauche à droite ;
- chaque mois comporte 29 ou 30 jours ;
- la semaine commence un samedi et finit un vendredi (cette remarque amuse beaucoup les enfants : "notre" dimanche est leur vendredi !)
- ce calendrier de 1985 correspond à l'année 1405 (cette remarque bouleverse et provoque beaucoup d'animation). Le maître demande alors à quoi correspond l'instant 0 de notre ère chrétienne. Les enfants sont fort hésitants et un seul doigt se lève timidement pour parler de Jésus.

L'année 1405 Hégire

الشهر السابع 7 ^{ème} mois					الشهر السادس 6 ^{ème} mois					
رجب (RAJAB)					جمادى الثانية (JAHADA AL-SANIA)					
الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	
٢٣ (23)	١٦ (16)	٩ (9)	٢ (2)	٣٠ (30)	السبت (SAH)	٢٤ (24)	١٧ (17)	١٠ (10)	٣ (3)	السبت (SAH)
٢٤ (24)	١٧ (17)	١٠ (10)	٣ (3)	الاحد (DIM)	٢٥ (25)	١٨ (18)	١١ (11)	٤ (4)	الاحد (DIM)	
٢٥ (25)	١٨ (18)	١١ (11)	٤ (4)	الاثنين (LUN)	٢٦ (26)	١٩ (19)	١٢ (12)	٥ (5)	الاثنين (LUN)	
٢٦ (26)	١٩ (19)	١٢ (12)	٥ (5)	الثلاثاء (MAR)	٢٧ (27)	٢٠ (20)	١٣ (13)	٦ (6)	الثلاثاء (MAR)	
٢٧ (27)	٢٠ (20)	١٣ (13)	٦ (6)	الاربعاء (MER)	٢٨ (28)	٢١ (21)	١٤ (14)	٧ (7)	الاربعاء (MER)	
٢٨ (28)	٢١ (21)	١٤ (14)	٧ (7)	الخميس (JEU)	٢٩ (29)	٢٢ (22)	١٥ (15)	٨ (8)	الخميس (JEU)	
٢٩ (29)	٢٢ (22)	١٥ (15)	٨ (8)	الجمعة (VEN)	٣٠ (30)	٢٣ (23)	١٦ (16)	٩ (9)	الجمعة (VEN)	

الشهر التاسع 9 ^{ème} mois					الشهر الثامن 8 ^{ème} mois				
رمضان (RAMADAN)					شعبان (CHA' ABAN)				
الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)	الايام الاسبوع (Jours)
٢٧ (27)	٢٠ (20)	١٣ (13)	٦ (6)	السبت (SAH)	٢٨ (28)	٢١ (21)	١٤ (14)	٧ (7)	السبت (SAH)
٢٨ (28)	٢١ (21)	١٤ (14)	٧ (7)	الاحد (DIM)	٢٩ (29)	٢٢ (22)	١٥ (15)	٨ (8)	الاحد (DIM)
٢٩ (29)	٢٢ (22)	١٥ (15)	٨ (8)	الاثنين (LUN)	٣٠ (30)	٢٣ (23)	١٦ (16)	٩ (9)	الاثنين (LUN)
٣٠ (30)	٢٣ (23)	١٦ (16)	٩ (9)	الثلاثاء (MAR)	١ (1)	٢٤ (24)	١٧ (17)	١٠ (10)	الثلاثاء (MAR)
	٢٤ (24)	١٧ (17)	١٠ (10)	الاربعاء (MER)	٢ (2)	٢٥ (25)	١٨ (18)	١١ (11)	الاربعاء (MER)
	٢٥ (25)	١٨ (18)	١١ (11)	الخميس (JEU)	٣ (3)	٢٦ (26)	١٩ (19)	١٢ (12)	الخميس (JEU)
	٢٦ (26)	١٩ (19)	١٢ (12)	الجمعة (VEN)	٤ (4)	٢٧ (27)	٢٠ (20)	١٣ (13)	الجمعة (VEN)

Fig.1.Extrait d'un calendrier de 1985 (document 1).



Fig.2. Correspondance entre les deux calendriers.

La 2^e partie de la séquence est utilisée pour consulter le document 2 qui est le calendrier annuel d'Abu Dhabi (1985).

Les remarques sont les suivantes :

- il y a 12 mois dans l'année ;
- on vérifie que chaque mois ne possède que 29 ou 30 jours ;
- le maître demande compter le nombre de jours dans cette année 1405 : il y a **354 jours**.

Les élèves doivent réfléchir à quoi leur fait penser ce calendrier déroutant.

La réponse n'est pas immédiate : il faut les aider dans leur réflexion pour qu'ils réalisent que ce calendrier est lié aux phases de la Lune.

Deuxième séquence

Elle est consacrée à la comparaison entre les calendriers musulman et grégorien.

Matériel

- Document 2 (figure 3).
- Almanachs du facteur de différentes années.

Déroulement

Les élèves comparent la durée d'une année musulmane (354 jours) et celle d'une année civile (365 ou 366 jours) et constatent qu'il y a une différence d'environ 11 jours entre les 2 années.

Cela signifie que les mois du calendrier musulman ne se retrouvent pas aux mêmes saisons au fil du temps. Cela signifie aussi que le mois de ramadan avance de 11 jours par rapport au calendrier civil chaque année.

Le calcul de l'âge d'une personne variant selon le calendrier choisi les amuse beaucoup.

Calcul de l'âge dans les deux calendriers

Une personne qui a **65 ans** dans le calendrier grégorien a vécu : $65 \times 365,24 = 23\,740,6$ jours

Son âge dans le calendrier musulman est : $23\,740,6 / 354,36 = \mathbf{67 \text{ ans}}$

Un autre objectif de la séquence est de comprendre pourquoi certaines fêtes religieuses ne sont pas à dates fixes dans le calendrier civil.

Fig.3. Calendrier annuel de 1985 (document 2).

Chaque groupe d'élèves doit repérer des fêtes sur des calendriers de différentes années : la date fixe du 25 décembre pour Noël est bien connue, par contre la date fluctuante de Pâques est plus problématique !

En effet Pâques peut avoir lieu entre le 22 mars et le 25 avril ; par contre le jour de Pâques est toujours un dimanche.

Le maître demande quelle est la phase de la Lune lors du jour de Pâques : les élèves observent que c'est toujours un dimanche après une pleine Lune.

On définit Pâques comme étant le dimanche qui suit la pleine Lune après l'équinoxe de printemps (cette date a été fixée par le concile de Nicée en 325 après JC).

De nombreuses fêtes chrétiennes sont liées à la fête de Pâques et peuvent varier de plus d'un mois ; par exemple :

Fêtes religieuses	Écart avec Pâques
Mercredi des cendres	46 jours
1 ^{er} dimanche de carême	42 jours
Jeudi de l'Ascension	39 jours
Dimanche de Pentecôte	49 jours (7 × 7 j)

La séquence se termine par une réflexion sur l'existence de ces 2 calendriers :

- le calendrier musulman est lunaire ;
- le calendrier civil est solaire.

Quels sont les avantages et inconvénients de ces deux repérages du temps différents ?

Le calendrier lunaire est, a priori, pratique ; il suffit de regarder la Lune pour déterminer le jour du mois. Lorsqu'un mois s'est écoulé, la Lune retrouve le même aspect.

Pour le calendrier solaire, la mesure de la hauteur du Soleil est plus difficile et délicate pour déterminer le mois. Cependant, les mois sont reliés aux saisons.

Les plus anciens calendriers (chaldéens) connus étaient lunaires. Les Chaldéens faisaient commencer la lunaison lorsqu'ils apercevaient après la nouvelle Lune le premier croissant le soir : ils comptaient une lunaison lorsqu'ils revoyaient, après 29 ou 30 jours, la Lune dans la même position et avec le même aspect.

Mais au fur et à mesure que les hommes sont devenus sédentaires donc agriculteurs, ils ont eu besoin de prévoir la saison pour faire des provisions avant l'hiver et faire des semailles au printemps.

Ces séquences ont été très agréables grâce à l'intérêt des élèves. Au-delà de l'aspect scientifique, elles présentent une composante culturelle et historique très riche.

Quelques précisions :

La durée d'une année musulmane doit être identique à la durée de 12 lunaisons.

Si on alterne des mois de 29 et 30 jours, une année musulmane a 354 jours.

Mais 12 lunaisons correspondent à $12 \times 29,53 = 354,36$ jours. La Lune est donc en avance de 0,36 jour par an sur le calendrier.

Au bout de 30 ans cette avance sera de $30 \times 0,36$ soit 10,8 jours ou environ 11 jours.

Les musulmans ont résolu le problème ainsi :

Sur 30 ans, il y a 19 années de 354 jours et 11 années de 355 jours (appelées années abondantes).

L'église catholique vers 500-560 a imposé de compter les années à partir de la naissance supposée du Christ.

Comment le 9^e mois musulman (le mois de Ramadan) varie-t-il au fil des années civiles ?

L'écart entre l'année musulmane et civile est : $365,25 - 354,36 = 10,88$ jours (environ 11 jours).

Le Ramadan va commencer 11 jours avant la date de l'année précédente dans le calendrier civil.

Il a commencé le 1er août 2011 et débutera sans doute le 20 juillet en 2012.

Calendriers et fractions continues

Les mathématiciens savent trouver des approximations de nombres réels sous la forme d'une fraction, avec la précision que l'on veut. Cette technique dite des fractions continues peut être utilisée dans de nombreux problèmes de calendrier.

Cherchons par exemple la meilleure répartition des années bissextiles. La durée de l'année tropique est de 365,242199 j. Les fractions continues donnent comme approximation $1461/4$ soit $365 + 1/4$, c'est le calendrier julien avec une année bissextile tous les 4 ans. Les approximations suivantes sont $365 + 7/29$ (7 années bissextiles tous les 29 ans), $365 + 8/33$ (8 années bissextiles tous les 33 ans) ou encore $365 + 31/128$. Cette dernière approximation, 31 années bissextiles sur un cycle de 128 ans, est meilleure que celle utilisée dans le calendrier grégorien mais elle est moins facile à mettre en œuvre.

Autre application pour un calendrier luni-solaire, on peut essayer de trouver un nombre entier de lunaisons correspondant le mieux possible à un nombre entier d'années tropiques. Pour cela, on divise la durée de l'année par la durée de la lunaison ($365,242199/29,530588$) et on trouve 12,3682671 qui est le nombre de lunaisons par an. Le développement de ce nombre en fractions continues donne différentes approximations comme $136/11$, $235/19$, $4131/334$... La deuxième solution correspond au cycle de Méton ; en effet, si on appelle A la durée de l'année tropique et L la durée de la lunaison, on a : $A/L = 235/19$ donc $235 \times L = 19 \times A$: 235 lunaisons correspondent à 19 années. L'approximation suivante correspond à un cycle de 334 années pour 4131 lunaisons....

Pierre Causeret

HISTOIRE

Les calendriers mayas et l'astronomie sous-jacente

Philippe Merlin, observatoire de Lyon

La civilisation maya a développé, pour son usage religieux et social, non pas un, mais des calendriers basés sur des cycles différents. Leur imbrication pose le problème des bases sur lesquelles ils reposent, et des mathématiques de comptage utilisées. Comment les raccorder à notre calendrier grégorien actuel sans entrer dans les polémiques des spécialistes ?

Pour éviter de se perdre dans la multiplicité du sujet, nous parlerons surtout des trois façons principales que les Mayas utilisaient pour repérer les jours : deux types de calendriers et un comptage, tout cela gravé sur les stèles, les linteaux des palais ou écrits dans les codex¹¹ : le **Tzolkin** dit *calendrier religieux*, le **Haab**, *calendrier solaire* ou agricole et le **Compte Long** ou système de comptage au jour le jour.

Dans cette région d'Amérique centrale appelée Mésoamérique où prospérèrent et disparurent de nombreuses civilisations, nous citerons pour préciser la période d'utilisation de ces calendriers les Mayas (1000 av. J.-C. à 1521 après) qui se sont inspirés des Olmèques (1200 à 400 av. J.-C.) et ont eu des émules, et les Zapotèques (500 av. J.-C. à 1000), entre autres.

Pour écrire les nombres, ces civilisations utilisaient trois symboles, le coquillage pour 0, le point pour 1 et la barre pour 5 (figure 1).

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	•	••	•••	••••	—	•	••	•••	••••
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
—	•	••	•••	••••	—	•	••	•••	••••

Fig.1. Les chiffres mayas.

Ils comptaient dans un système numéral à base 20 ou vicésimal (doigts des mains et des pieds ?) donc

¹¹ Codex (du latin *caudex*, liste, bloc, code) : peintures et écrits sous forme soit de glyphes, de dessins, soit de caractères latins, portant sur la vie, les croyances des Mayas. Tous les anciens codex précolombiens ont été brûlés par les religieux pour éradiquer les croyances et rites païens. Excepté le Codex dit de Dresde, il semble que tous ceux qui ont survécu à l'autodafé des évangélistes espagnols, datent de l'ère colombienne, c'est à dire du XVI^e siècle et après.

avec des paquets de 20 à la place des dizaines, de 400 (20×20) à la place des centaines...

Par exemple, • se traduit par : 1 ; 8 ; 17 (voir figure 1) ce qui signifie : 1×400 + 8×20 + 17 soit : 400 + 160 + 17 = 577

Le Tzolkin ou cycle divinatoire à usage religieux

Ce serait le calendrier le plus ancien. Il comporte treize périodes (mois ?) de 20 jours, soit 260 jours.

	Imix		Chuen
	Ik		Eb
	Akbal		Ben
	Kan		Ix
	Chicchan		Men
	Cimi		Cib
	Manik		Caban
	Lamat		Etnab
	Muluc		Cauac
	Oc		Ahau

Fig.2. Les noms des 20 jours du calendrier Tzolkin et les glyphes associés.

Les jours sont représentés par des glyphes¹² et la numérotation dans les périodes se note avec les chiffres mayas ou plus rarement avec les glyphes associés aux chiffres. Une particularité importante est que l'incrémentement des jours et des périodes se fait simultanément. **1 Imix** sera suivi de **2 Ik**, suivi de **3 Akbal**. Au bout d'une période de 13 jours, on recommence à 1 la numérotation d'une nouvelle période, mais l'on continue le comptage des jours. En suivant l'exemple précédent, on va arriver à **13 Ben** qui sera suivi de **1 Ix**, suivi de **2 Men**...

¹² Glyphe (du grec γλύφω ciselure, gravure) : représentation graphique d'un signe typographique (parmi une infinité possible). En archéologie, glyphe a le sens étymologique : il désigne un trait gravé en creux.

Pop	Uo	Zip	Zoltz	Tzek	Xul	Yaxk'in	Mol	Ch'en	Yax
Zak	Ceh	Mac	K'ank'in	Maun	Pax	K'ayab	Cumku	Uayeb	

Fig.3. Noms et glyphes des mois du calendrier Haab.

Le Haab ou calendrier solaire

D'une durée de 365 jours ou année vague comme les Égyptiens, il se compose de 18 mois de 20 jours auxquels on ajoute une période Uayeb de 5 jours néfastes sans nom. Le comptage se fait classiquement, chaque mois a 20 jours :

0 Pop, 1 Pop... 19 Pop, 0 Uo, 1 Uo... 19 Cumku, 0 Uayeb... 4 Uayeb.

Une année recommence alors. Elle prend pour toute l'année, le nom de son premier jour dans le calendrier Tolzkin.

Le fait que le Haab serait un calendrier vague, donc se décalant par rapport à l'année solaire, sans correction comme nos jours bissextiles dans le calendrier julien ou grégorien, est remis en cause par plusieurs mayanistes. Ils se basent sur les indices que les noms des mois du Haab se rapportent à l'agriculture et aux saisons, par exemples, *Xul* : fin (fin de la saison des pluies), *Yaxk'in* : sec (saison sèche), *Mol* : amasser (moissons), etc.

Les codex du XVI^e siècle, qui donnent des concordances de dates entre calendriers mayas et calendriers julien ou grégorien montrent parfois des incohérences, attribués à des erreurs de copistes, si l'on se base sur des calendriers mayas rigoureusement cycliques (260 et 365 jours).

Il semble bien qu'il y ait eu des ajustements dont la fréquence et l'amplitude restent hypothétiques.

7 Ahau. On recommence alors les jours, mais on continue le comptage dans la période. Le jour suivant sera **8 Imix**, puis **9 Ik**, etc. Au bout de 13 fois 20 jours, soit 260 jours, on recommence à **1 Imix**. C'est la durée de l'année sacrée.

À chacun des jours et des périodes sont associés des dieux représentant animaux, forces ou autres symboles de la nature. Ceci permet la divination influençant l'esprit et le comportement de chacun. L'origine de la durée de 260 jours est sujet à spéculation et controverse chez les spécialistes. On peut choisir entre autres : soit une base de 13 divinités à honorer, soit la durée de 260 jours où le Soleil est au sud du zénith à une certaine latitude (Izapa), soit la durée de la gestation humaine...

Roue calendaire ou Compte calendaire

L'imbrication des deux calendriers précédents donnait une date complète, par exemple **4 Imix 3 Xul**. Cette composition ne pouvait se reproduire que tous les 18 980 jours soit 52 années solaires ou 73 années Tzolkin (plus petit multiple commun de 260 et 365). Ce cycle est appelé **compte calendaire**. Il couvrait en moyenne une vie d'homme. La fin d'un compte calendaire donnait lieu à des cérémonies.

Les Mayas avaient d'autres cycles multiples portant sur des périodes plus ou moins longues : 24 ans *Ahau Katun*, 312 ans ou 13 *Ahau Katun* (13, chiffre sacré), etc.

Pour dater des périodes plus longues, les Mayas possédait le **Compte long**, équivalent chez les astronomes du **Jour julien**¹³.

Le Compte long

Ce n'est pas tout à fait un calendrier, mais un comptage de jour à partir d'une date origine. L'unité de jour est le **kin**. Ses multiples sont l'**uinal** (20 kins), le **tun** (18 uinals ou 360 jours, proche de l'année), le **katun** (20 tuns ou 7 200 jours), le **baktun** (20 katuns ou 144 000 jours), etc. Comme cette dernière unité ne prenait que les valeurs de 0 à 12, ce

¹³ Pour le jour julien, on peut consulter http://www-obs.univ-lyon1.fr/labo/fc/cdroms/docu_astroj/jour_julien/jour_julien.pdf (ou ppt).

comptage est cyclique. Le cycle complet comportait donc 1 872 000 jours soit approximativement 5 125 ans. Chaque multiple avait son glyphe.

Unités			
	Kin jour	1	1
	Uinal mois de 20 jours	20 kins	20
	Tun "année de 18 mois"	18 uinals	360
Cycles			
	Katun 20 "ans"	20 tuns	7 200
	Baktun 400 "ans"	20 katuns	144 000
	Piktun 8 000 "ans"	20 baktuns	2 880 000
	Calabtun 160 000 "ans"	20 piktuns	57 600 000
	Kinchiltun 3 200 000 "ans"	20 calabtuns	1 152 000 000
	Alautun 640 000 000 "ans"	20 kinchiltuns	23 040 000 000

Fig.4. Les unités du compte long.

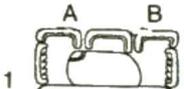
		10.2.9.1.9 9 Muluk 7 Sak
1		Glyphe introducteur 1AB
		10 baktun 2A
2		2 katun 2B
		9 tun 3A
		0 uinal 3B
3		9 kin 4A
		9 Muluk 4B
		7 Sak 5A
4		
5		Équivalent ère chrétienne ou commune probable : 28 juillet 878 (avec la corrélation GMT voir ci-après).
6		
7		Parmi les autres glyphes, se trouvent le mois et l'âge de la Lune.
		

Fig.5. Exemple d'une date complète à Chichen Itza (Yucatan Mexique) d'après Ian Graham et Eric Von Eeuw.

Une date complète comporte donc le jour correspondant au compte long, aux calendriers Tzolkin et Haab, et encore d'autres cycles comme les phases de la Lune, les dieux de la nuit...

Corrélation

Il est important pour la connaissance de l'histoire des Mayas, de pouvoir rapporter une date de leur ère (date complète ou simplement du compte long) à notre calendrier grégorien ou ère chrétienne ou ère commune. Quelques éléments trouvés dans les codex de la période post colombienne et des événements astronomiques servent de base à cette corrélation. Là aussi, l'unanimité n'existe pas chez les spécialistes. Il existe des incohérences (voir plus haut sur la régularité des cycles). La corrélation la plus souvent utilisée est la corrélation GMT¹⁴ (non pas Greenwich mean time, mais Goodman-Martinez-Thomson. Pour ceci, on raccorde le premier jour de l'ère maya (0.0.0.0. qui serait le 4 Ahau 8 Cumku d'un compte calendaire de l'année supposée 3114 av. J.-C. au jour julien 584 283, ce qui revient à placer le jour zéro au 11 août 3114 av. J.-C. (ou -3113 en notation des astronomes qui compte une année zéro).

L'ère maya actuelle qui dure sur un cycle de 13 baktuns, en suivant cette corrélation GMT, se terminerait le 21 décembre 2012, jour du solstice d'hiver. Si l'on rapproche cette date avec le fait que ce jour là, depuis quelques années et encore pour plusieurs, vu de la Terre, le Soleil passe sur l'équateur galactique à quelques degrés de son centre, vous avez, avec un peu d'imagination, et en interprétant les obscurs textes mayas, de quoi échafauder de belles histoires sur la fin du monde, les super connaissances des Mayas, les alignements mystiques sources de renouveau, etc.

Différents problèmes se posent sur la validité de la corrélation. En effet, il est connu que les observateurs et compteurs de jours mayas avaient une très bonne connaissance des cycles lunaires, solaires et planétaires. Ils étaient arrivés à affiner la période synodique de Vénus en appliquant, après l'observation et le comptage temporel d'un grand nombre de cycles (période synodique¹⁵), par une correction de

¹⁴ Corrélation GMT. Corrélation entre le calendrier maya et le calendrier grégorien proleptique (projeté aussi avant la réforme grégorienne d'octobre 1582), établie par divers auteurs : Goodman, Martinez, Thomson.

¹⁵ Période synodique : temps qui s'écoule entre deux alignements ou positionnements remarquables successifs de trois corps, le plus souvent Terre, Soleil, planète ou Lune (lunaison). Ce peut être conjonction, opposition, quadrature. Les orbites de tous ces corps étant elliptiques, deux périodes

un jour, comme nous avons une année bissextile tous les quatre ans afin de se rapprocher de l'année solaire tropique. La plus grande partie des écrits mayas ayant disparus en autodafé, rien n'est resté à ce sujet. Pourtant des erreurs supposées sur certaines dates trouvées sur des stèles pourraient simplement être, en certains centres religieux, des corrections faites pour se recalcr sur l'année solaire. Dans ce cas, il est vain actuellement de donner une date de corrélation au jour près.

Les Mayas ne connaissaient ni les fractions et ni les valeurs décimales. On ne leur connaît pas d'unités divisant la journée telles les heures (comme chez les Égyptiens), minutes que l'on utilise. Le sens de période moyenne telle que nous l'entendons n'avait pas de sens pour eux. Leur précision de un jour ne portait que sur la durée totale d'un nombre entier de cycles. Une période réelle un peu plus courte ou un peu plus longue ne ferait que changer en mieux ou moins bien la période que nous nous calculons à partir des données des observations mayas.

Calendrier lunaire

Encore un peu d'astronomie. En complément des trois systèmes chronologiques, on trouve le calendrier lunaire auxquels il est souvent associé. Par une représentation en 5 glyphes avec éventuellement deux supplémentaires, il donne le *numéro de la lunaison* associé à une déité dans un cycle de six mois (demi année lunaire ou cycle des éclipses ?) et le *jour de la lunaison* ou âge de la Lune. On l'appelle la *Série lunaire* ou *supplémentaire*. Les glyphes sont dénommés : E ou D, C, X, B et A, auxquels on adjoint parfois leurs glyphes additionnels Y et Z.

E	D	C	X	B	A	
						
10 jours	22 jours	3 ^e lune	?	nom	29 j	30 j

Fig.6. Quelques variantes des glyphes de la série lunaire.

Les stèles, toutes commémoratives d'événements, étaient gravées et mises en place en prévision de cérémonies, avant les dates gravées dessus. Ainsi les indications lunaires ne sont que des prévisions et non des observations. Le calendrier lunaire serait une première forme de repérage de dates qui aurait

synodiques successives ne sont pas égales mais proches. Les valeurs trouvées dans la littérature ne sont qu'une moyenne sur une grande période d'observation. Voir Cahiers Clairaut n° 110, Claude Piquet : À propos de la période synodique d'une planète.

subsisté après l'apparition et l'usage des autres calendriers.

Représentation imagée des calendriers mayas

On peut comparer chaque sous partie des différents calendriers à des engrenages imbriqués. Chaque dent correspond à un jour. Tout avancement d'une dent sur un engrenage entraîne l'avancement d'une dent sur tous les autres engrenages.

- Roue A périodes du Tzolkin (13 dents 1 à 13),
- Roue B jour du Tzolkin (18 dents 1 à 18),
- Roue C jour de l'année vague solaire (365 dents).

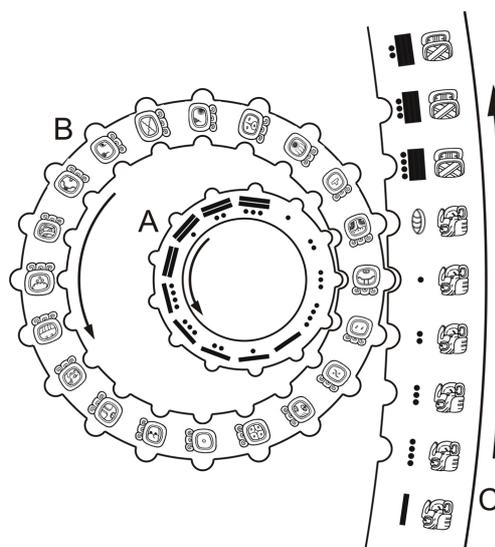


Fig.7. Représentation du Tzolkin (les deux petites roues) et du Haab (grande roue).

On peut réaliser au moyen du logiciel GeoGebra, les différents engrenages et même séparer le Haab en deux engrenages jours et mois. L'engrenage des mois doit alors patiner durant 20 jours à chaque mois (5 jours pour l'Uyaeb). Il est alors facile avec la corrélation GMT (ou autre), jours juliens et date origine de faire un convertisseur ère maya - ère commune. Pour concrétiser cette représentation on peut télécharger l'application Geogebra¹⁶.

Si les Mayas ont introduit des corrections dans leurs cycles pour s'adapter à l'année tropique solaire (365,2422...j), la corrélation devient sans précision. La conquête espagnole (à partir de 1520) a remplacé l'usage du (ou des) calendrier maya par le calendrier julien, puis grégorien. Mais son usage a perdu de façon cachée en différentes régions dans les communautés. Celles-ci ont continué à pratiquer les rites mayas, dans la clandestinité, à cause de la répression espagnole. Son usage réapparaît de façon

¹⁶ À télécharger à partir de la page <http://www-obs.univ-lyon1.fr/labo/fc/astrogebra/astrogebra.htm#calmaya>.

folklorique sur le web par les férus d'ésotérisme en tout genre qui pratiquent l'amalgame de tous les calendriers (hébreu, musulman, chinois etc).

Calendrier, société et histoire

L'aspect remarquable des calendriers mayas est qu'ils étaient profondément associés à la vie des cités et que malgré la diversité et l'éloignement de celles-ci, ils semblent avoir gardé une certaine homogénéité sur un grand territoire.

D'abord ils ont été considérés comme un outil religieux par les Mayas pour fixer les dates des cérémonies, les grands moments agricoles et les expéditions guerrières de l'année, les prêtres détenant un grand pouvoir. Avec l'avancement du décryptage des dates et des textes sous forme de

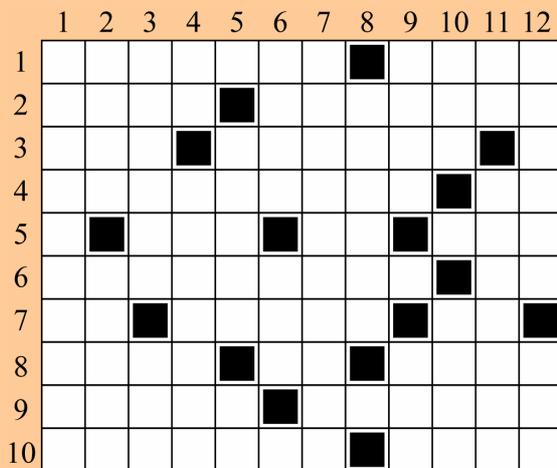
glyphes, sur les stèles, les linteaux, les murs des temples, on découvre que ces stèles et leurs dates auraient une signification plus politique, en célébrant la gloire des dirigeants afin d'affermir leurs dynasties.

Références

Sur le Net, tout moteur de recherche avec "calendrier maya", vous inondera de références, surtout à connotations ésotériques. Les pages sur Wikipédia sont assez claires.

Tous les dessins des glyphes sont tirés du petit guide *Maya Hieroglyphics Study* de Inga E. Calvin 2010 que l'on trouve sur le web.

Mots croisés des calendriers



Horizontalement

1. Âges de la Lune au 1er janvier notés dans les calendriers pour calculer la date de Pâques. Peut être d'astronomie.
2. Un poisson peut l'être. Comme un calendrier qui suit les saisons.
3. On y a trouvé un calendrier gaulois. Comme le calendrier de Sosigène.
4. Comme notre calendrier. Démonstratif.
5. Il y en a sur Mars. Devant un thésard. Plante préférée des Anglais.
6. Comme certains calendriers lunaires. Nous en émettons tous.
7. Préposition. Plus souvent rougie que noircie. Durée du calendrier.
8. Peu ont dû appeler Copernic ainsi étant donné son caractère. Devant le nom d'un mois, c'est en gros les ides des romains. Un calendrier peut se présenter ainsi.
9. Métal. Précède comme la Terre.
10. Comme un chêne commun. Essai.

Verticalement

1. Comme les jours intercalaires du calendrier égyptien.
2. 2012 l'est. Le jour dans un calendrier.
3. Tropiques pour les calendriers solaires. Peut poser problème.
4. Démonstratif. Comme un calendrier découvert à Coligny (01).
5. Ws. On en trouve dans les sidérites.
6. Astuce inversée. Romains.
7. Lien social.
8. Nervure architecturale.
9. André Danjon y est né. Celui d'un calendrier, c'est le repérage du temps.
10. Il fait fleur bleue. Pâturage.
11. On y utilisait un calendrier luni-solaire. Tel un certain calendrier luni-solaire.
12. Début du calendrier zodiacal. Baleine abrégée.

Solutions p. 40

ARTICLE DE FOND

L'effet Doppler & les lois de Kepler, les clés de la découverte d'autres Terres

Cécile Ferrari, Université Paris Diderot

Personne n'a jamais vu une exoplanète dans un télescope. Cécile Ferrari nous présente des méthodes pour traquer leur présence au voisinage d'étoiles.

La chasse aux planètes situées hors de notre Système Solaire a donné ses premiers résultats à la fin du siècle dernier. Le succès de cette quête et l'importance de leur nombre, 704 à l'heure où ces lignes sont écrites¹, sont à l'image des moyens mis en œuvre depuis une quinzaine d'années. Pourtant, il reste extrêmement difficile et rare de voir une planète extrasolaire. L'étoile qui l'éclaire, à supposer qu'elle ressemble à notre Soleil, est typiquement 10 milliards de fois plus brillante qu'elle quand on l'observe avec un télescope dans le domaine des longueurs d'onde visible (0,5 μm). C'est un contraste que nos caméras les plus performantes ne peuvent saisir. Ce contraste diminue fortement aux longueurs d'onde infrarouges (10 μm typiquement) où l'étoile délivre moins de puissance alors que la planète chauffée par les rayons stellaires y émet une énergie comparable à celle qu'elle réfléchit de l'étoile dans le domaine visible. L'étoile n'est alors qu'un million de fois plus brillante que la planète. Les instruments qui vont pouvoir exploiter ce filon seront bientôt prêts. Mais alors comment a-t-on découvert ces planètes si on ne les a pas vues ?

On a simplement détecté leur présence grâce à leur masse. Si petite soit-elle relativement à l'étoile, dans un rapport de trois milliardièmes pour la Terre et le Soleil, elle perturbe la trajectoire de l'étoile. Quelle trajectoire ? Les étoiles vaquent dans la Voie Lactée, notre galaxie hôte, tel notre Soleil et suivent des trajectoires apparentes par rapport à nous, terronautes embarqués à toute allure dans notre trajectoire de Kepler autour du Soleil. Si l'on omet leur trajectoire galactique, les étoiles tournent autour du barycentre de masse du système planétaire qui les entoure (s'il y en a un), à l'instar de notre Soleil. Si l'étoile est très massive comparé à l'ensemble du cortège planétaire, le barycentre sera situé à l'intérieur de son enveloppe gazeuse. Le

barycentre du Système Solaire se situe en moyenne à 1,2 rayon solaire du centre du Soleil mais sa position varie suivant un cycle d'environ 180 ans, qui correspond à un cycle de positionnement relatif récurrent de Jupiter, Saturne et Uranus, les planètes les plus influentes en masse dans notre Système Solaire. Se superpose à ce cycle un cycle plus court, de l'ordre de 20 ans, une demi-mesure entre les périodes de Jupiter et de Saturne.

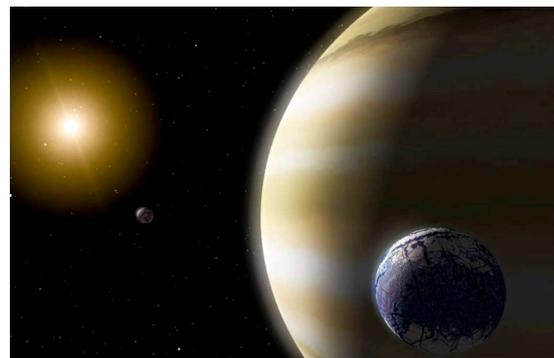


Fig.1. Image d'un système solaire externe.

Pour les planètes extrasolaires, c'est ce mouvement oscillant de l'étoile autour d'un point différent de son centre qui nous a aidés à les trouver. Ce sont les mêmes lois qui gèrent les mouvements orbitaux d'une étoile binaire (i.e. de deux étoiles). La plupart d'entre elles ont donc été découvertes avec cette méthode, couramment dénommée "la méthode de la vitesse radiale". Pourquoi la vitesse radiale ? Revenons à un cas simple, une seule planète autour d'une seule étoile.

Peser la planète en visant l'étoile

Soit l'étoile de masse M_E et la planète de masse M_P , leur distance au barycentre du Système respectivement définies comme R_E et R_P telles que :

$$M_E R_E = M_P R_P$$

le barycentre étant situé sur le rayon vecteur qui relie planète et étoile, distantes de $R = R_E + R_P$.

¹ Voir <http://exoplanet.eu/catalog.php>

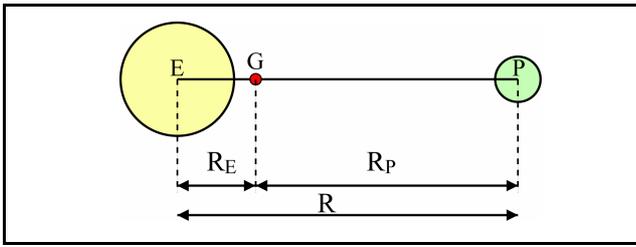


Fig.2. Distances du centre de l'étoile E et du centre de la planète P au centre de masse G.

Le module de la force de gravitation par laquelle les deux corps massifs interagissent suivant ce rayon vecteur est :

$$F = G \frac{M_E M_P}{R^2}$$

La force agissant sur l'étoile suivant la relation fondamentale de la dynamique définit l'accélération a_E de l'étoile autour du barycentre, telle que :

$$F = M_E a_E = M_E \frac{V_E^2}{R_E} = G \frac{M_E M_P}{R^2}$$

en supposant que le mouvement de l'étoile est circulaire et uniforme de vitesse V_E . Cette vitesse s'écrit alors, dans le cas où l'étoile est bien plus massive que son compagnon planétaire :

$$V_E^2 = G \frac{M_P^2}{R_P M_E \left(1 + \frac{M_P}{M_E}\right)^2} \approx M_P^2 \times \frac{G}{R_P M_E}$$

Une vitesse donc bien dépendante de la masse de la planète compagnon et de sa distance au barycentre. La période de l'étoile T_E autour du barycentre est telle que :

$$T_E V_E = 2 \pi R_E$$

ou

$$T_E^2 = \frac{4 \pi^2 R^3}{G M_E \left(1 + \frac{M_P}{M_E}\right)} \approx \frac{4 \pi^2 R^3}{G M_E} \text{ ou } \frac{T_E^2}{R^3} = \frac{4 \pi^2}{G M_E}$$

On retrouve ici la troisième loi de Kepler lorsque $M_P \ll M_E$ et $R_P \approx R$. L'étoile et la planète tournent autour du barycentre avec la même période.

Nous sommes observateurs extérieurs à ce système planétaire. Si le plan orbital de la planète est orienté d'un angle i par rapport à la ligne de visée liant l'observateur à l'étoile alors la composante de la vitesse de l'étoile sera pondérée d'un $\sin i$, inconnu a priori¹. Si nous réussissons à mesurer cette vitesse radiale, on peut s'attendre à ce qu'elle soit sinusoïdale, de période $T_P = T_E$. Si l'on connaît la masse de l'étoile, la troisième loi de Kepler nous permettra de déterminer la distance $R = R_P$ de la planète à l'étoile.

¹ Il s'agit de l'angle entre la ligne de visée et la perpendiculaire au plan de l'orbite.

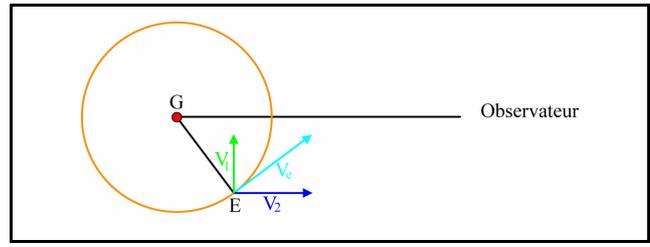


Fig.3. Cas de l'observateur dans le plan de l'orbite de la planète. La vitesse cyan V_e de l'étoile se décompose en une vitesse V_1 et une vitesse radiale bleue V_2 que l'on va pouvoir déterminer.



Fig.4. Si le plan de l'orbite est incliné par rapport à la ligne de visée, la composante observée de la vitesse radiale V_3 s'écrit $V_2 \sin i$.

On constate ici qu'il va nous falloir observer longtemps le mouvement oscillant de cette étoile pour détecter des planètes lointaines. Saturne tourne autour du Soleil en 29 ans, il est donc nécessaire d'observer au moins sur ce laps de temps pour découvrir des "saturnes" autour d'étoiles comparables à notre Soleil. La découverte de la première planète 51Peg date de 1995. Il nous faudra encore quelques années pour découvrir des planètes situées à 10 UA de leur soleil. Il suffit de regarder la statistique des éléments orbitaux des exoplanètes découvertes pour constater ce premier biais observationnel. Comment pèse-t-on le compagnon dès lors que l'on connaît sa distance à l'étoile ?

L'effet Doppler entre dans la danse

C'est alors que l'effet Doppler intervient. Une étoile est une source de lumière, d'information. Elle émet des messages à différentes fréquences ν avec une intensité variable $I(\nu)$, son spectre. L'intensité des messages obéit à une loi bien précise, celle de l'émission d'un corps noir à une température T , 5 770 K pour le Soleil. Cette loi a été découverte par Max Planck en 1900 et lui a valu le prix Nobel en 1918. Ce message est émis à la surface du Soleil, mais il est filtré en partie par la chromosphère, une enveloppe de gaz qui va absorber des photons de fréquence bien déterminée, correspondant aux niveaux d'énergie d'électrons des atomes du gaz. De notre point de vue, ces messages vont manquer et le spectre va apparaître noir à ces fréquences. Ces trous de messages sont des bandes d'absorption. L'étoile est donc un émetteur de messages ou de non-messages, nous en sommes les récepteurs. Au cours de sa révolution autour du barycentre, elle va alterner mouvements d'approche et d'éloignement de

nous. La vitesse de l'étoile suivant notre ligne de visée va s'annuler lorsque l'étoile passe entre nous et le centre de masse ou à l'opposé de ce point et va être maximale au moment où elle vient dans notre direction.

Suivant les conséquences de l'effet Doppler, les messages de lumière vont sembler nous parvenir à une fréquence plus grande que sa fréquence au repos ν_0 lorsque l'étoile se rapproche de nous et plus petite lorsqu'elle s'éloigne. Ce décalage de fréquence et donc de longueur d'onde $\Delta\lambda$ est fonction de la vitesse radiale de l'étoile observée V_{OBS} et donc :

$$V_{OBS} = M_P \sin i \sqrt{\frac{G}{R_P M_E}} = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$$

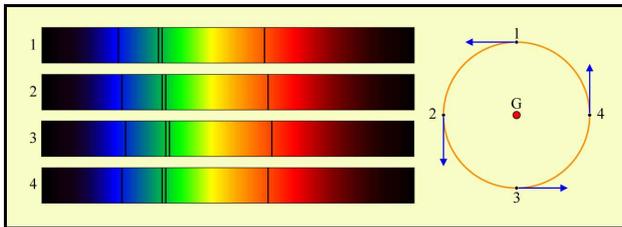


Fig.5. Vitesse radiale et décalage spectral. L'observateur est situé ici à gauche. Quand l'étoile s'approche (en 1), le spectre est décalé vers le bleu. En 2 comme en 4, la vitesse radiale est nulle, le spectre n'est pas décalé. Quand l'étoile s'éloigne (en 3), le décalage est vers le rouge. Les raies d'absorption sont placées ici au hasard et les décalages sont très exagérés.

Il reste à connaître la masse de l'étoile M_E , pour connaître R_P à partir de la mesure de T_E (périodicité de V_{OBS}) et de la loi de Kepler et déterminer $M_P \sin i$ par effet Doppler.

Le spectre de l'étoile nous donne son type spectral, sa température et sa luminosité L_E , à partir desquels on peut déterminer sa masse M_E suivant une relation masse-luminosité qui est en première approximation $\log(L_E/L_S) = 3,5 \log(M_E/M_S)$ où L_S et M_S sont les masse et luminosité solaires.

L'enjeu technique est d'avoir un instrument suffisamment stable au cours du temps pour obtenir une mesure de $\Delta\lambda$ la plus fine possible. On comprend que mesurer des décalages Doppler petits permet de détecter des planètes peu massives. Il y a donc là aussi dans la distribution de masses des planètes découvertes un biais observationnel dû aux limites des instruments. Grâce aux progrès instrumentaux, les planètes détectées sont 10 à 15 fois moins massives qu'en 1995. Il reste à préciser que l'analyse se complexifie lorsque plusieurs planètes sont présentes autour de l'étoile.

Ces deux biais observationnels, la durée d'observation et les limites instrumentales, induisent une image encore biaisée sur la nature des systèmes planétaires, composés pour l'essentiel de planètes

"géantes chaudes", "géantes" car massives et "chaudes" car proches de leur étoile et donc de périodes courtes, détectables en quelques mois ou années. On parlait donc de "jupiters" ou de "neptunes chauds" il y a encore 2 ou 3 ans. La surveillance sur des dizaines d'années des systèmes déjà connus nous permettra de sonder la présence de planètes lointaines, l'amélioration des spectromètres nous permettra de diminuer l'erreur sur la mesure du décalage Doppler. Le spectromètre HARPS en opération sur le télescope de 3,6 m de l'Observatoire Européen Austral (ESO) est à la pointe et détecte actuellement des super-terres, de quelques masses terrestres. La combinaison de cette méthode avec la méthode du transit, qui mesure leur diamètre, permet d'estimer la masse volumique. L'observation par le télescope européen Corot du transit de la planète Corot 7b indique un rayon de 1,8 rayon terrestre et son suivi avec HARPS qui l'a pesée à une masse minimale de 5 masses terrestres, conduisent à une estimation de sa masse volumique de $5\,000 \text{ kg/m}^3$, tout à fait comparable à celle de la Terre. Ceci fait de Corot7b la première exoplanète "tellurique" découverte.

Notre image des planètes extrasolaires est en perpétuelle mutation, l'actualité est brûlante, les moyens engagés au sol comme dans l'espace sont phénoménaux, à la hauteur de l'intérêt suscité par la potentielle découverte d'une autre Terre, peut-être d'une vie ailleurs.

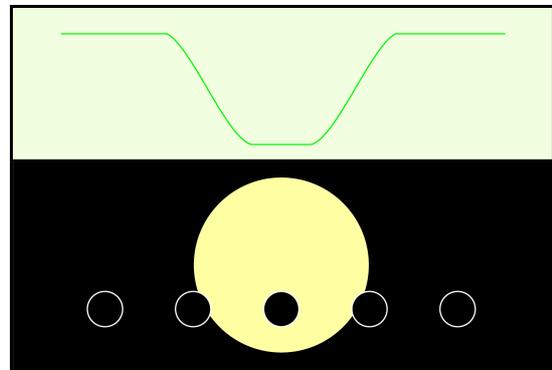


Fig.6. Transit d'une exoplanète devant son étoile et courbe de l'intensité lumineuse perçue. L'analyse de cette courbe permet de déterminer le rayon de la planète connaissant le rayon de l'étoile a_E , connu à partir de sa température de surface T et de sa luminosité $L_E = 4\pi a_e^2 \sigma T^4$, $\sigma =$ constante de Stefan.

<http://exoplanet.eu/catalog.php>: Base de données de l'Observatoire de Paris.

<http://nsted.ipac.caltech.edu/>: Base de données américaine des exo-planètes.

<http://planetquest.jpl.nasa.gov/>: Site de la NASA sur l'exploration des exo-planètes.

(NDLR : vous trouverez le détail du calcul de la masse sur le site et une application numérique sera proposée dans un prochain numéro des Cahiers Clairaut).

POTINS DE LA VOIE LACTÉE

Roger Meunier

1. Messenger s'installe autour de Mercure ; la sonde de la Nasa est opérationnelle pour observer la moins connue des planètes telluriques du système solaire. Elle est placée en rotation autour de Mercure sur une orbite elliptique qui va de 200 à 15 000 km de la surface de la planète. Messenger dispose de 2 caméras, 5 spectromètres, un altimètre laser et un détecteur Doppler.

Les conditions au sol ne sont pas très conviviales : températures de -170 °C à $+400\text{ °C}$!!! La mission est prévue pour durer au moins 1 an et rapporter plus de 75 000 images.

2. Le Soleil en stéréo : pour la première fois, le 06 février dernier, les deux satellites de la mission Stereo, étaient alignés de part et d'autre du Soleil. À partir des images de notre étoile et de ses turbulences que les satellites envoient en continu, les scientifiques ont ainsi pu reconstituer en 3D la sphère intégrale. À voir sur le site de la Nasa...

3. À partir d'un échantillon prélevé dans la météorite d'Allende, qui contient les minéraux les plus anciens du système solaire, on a pu retracer le parcours de ses grains constitutifs. On a mesuré les teneurs en ^{16}O et en ^{17}O , le premier étant plus abondant près du Soleil jeune ; la variation des teneurs ont montré que le grain s'était d'abord éloigné du Soleil, puis s'en est rapproché. Un changement de cap peut être dû à des turbulences dans le système solaire.

4. Le télescope spatial Kepler nous réserve une autre surprise : un ensemble de 6 exoplanètes autour d'une même étoile, dont 5 se trouvent à une distance de l'étoile inférieure à la distance Soleil-Mercure, la sixième se trouvant un peu plus loin. Les exoplanètes exercent les unes sur les autres une influence gravitationnelle importante et cette influence détermine la durée de leur révolution autour de l'étoile, donc de leur transit. L'équipe américaine a donc pu calculer les valeurs des masses des planètes pour lesquelles le système reste stable. Ces masses sont comprises entre 3 et 10 fois la masse de la Terre ; ces planètes sont d'autre part volumineuses, ce qui sous entend qu'elles sont relativement peu denses.

5. Le radiotélescope européen Lofar est désormais opérationnel et vient de livrer ses premières images,

celles d'un quasar très lumineux, situé à 6,9 milliards d'a-l et qui abrite un trou noir. L'instrument comporte 27 stations, bientôt 40 dont la majorité est aux Pays-Bas, quelques autres stations se trouvant en Allemagne, France, Suède et Royaume-Uni. Il est ainsi l'équivalent d'une antenne de plus de 1 000 km de diamètre. Les premières années, Lofar sera consacré à l'étude d'une époque clé de l'histoire de l'Univers, la "réionisation". Selon le modèle du Big Bang, environ 380 000 ans après la naissance de l'Univers, le gaz qui le remplit devient neutre et très opaque ; puis vers 400 millions d'années, les premières étoiles, quasars et galaxies se forment : leur rayonnement ionise à nouveau le gaz environnant et l'Univers devient localement transparent, notamment à la longueur d'onde de 21 cm (raie de l'hydrogène). Lofar pourra aussi être consacré à l'étude de nombreux objets dont le signal radio est variable : étoiles binaires, trous noirs, pulsars, planètes géantes du système solaire et même exoplanètes.

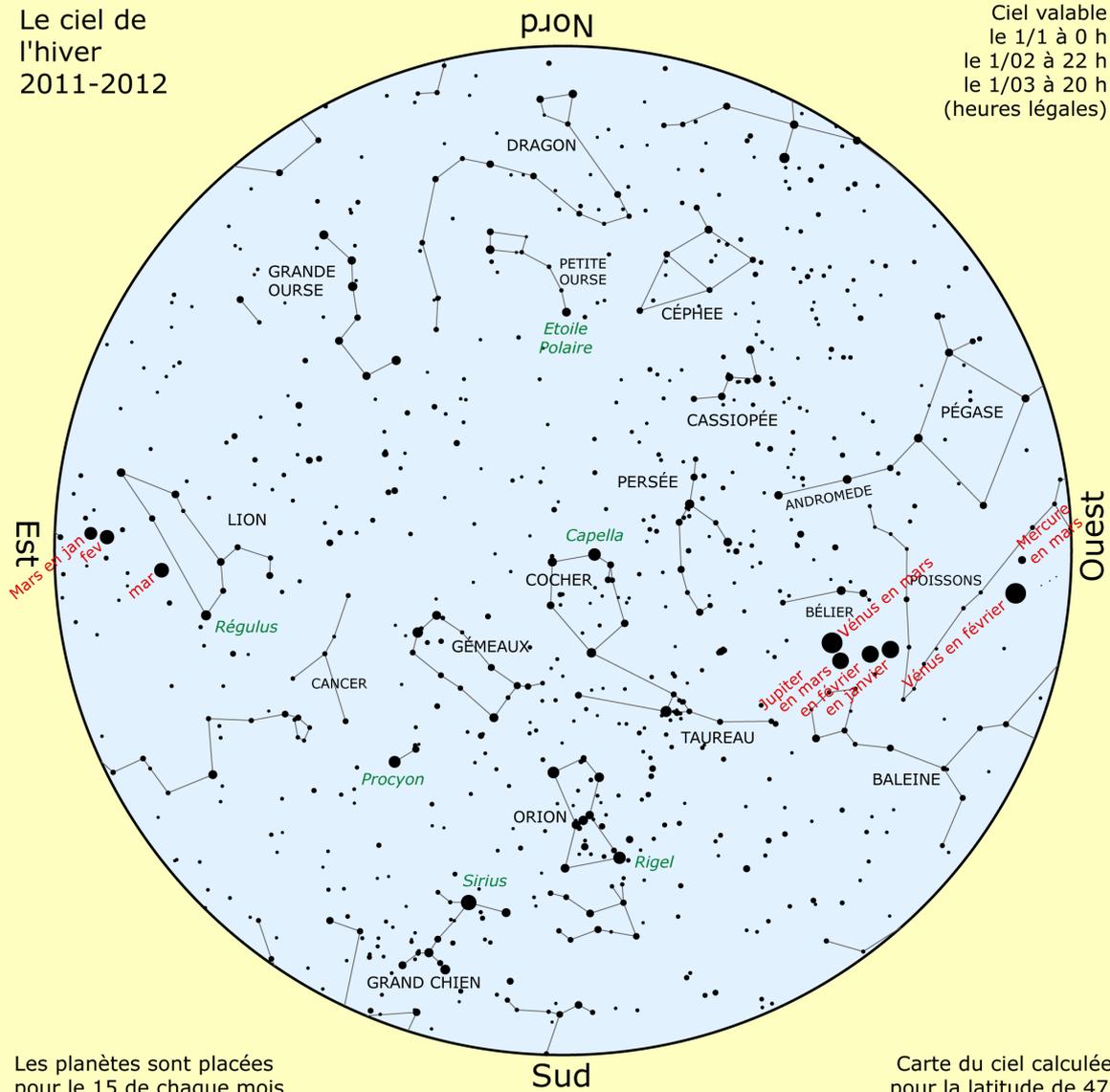
6. Deux équipes internationales ont découvert les étoiles les plus froides jamais repérées. Leur température de surface est proche de celle de Jupiter et leur atmosphère pourrait présenter des analogies avec celle des planètes géantes. Les "naines brunes" repérées ont une température d'à peine 100 °C ; leur masse tellement faible n'a pas permis le démarrage de réactions nucléaires après qu'elles se sont formées à partir d'un nuage de gaz. Leur masse n'excède guère 5 à 15 fois celle de Jupiter et leur atmosphère comporte du méthane. L'étude de ces naines brunes "ultra froides" pourrait faire avancer également les connaissances sur l'atmosphère des exoplanètes, celle-ci étant très difficiles à détecter.

7. Encelade, un des satellites de Saturne, présente sur son hémisphère sud des fissures d'où s'échappent des geysers de vapeur d'eau. Des mesures ont révélé que cette région dégage 3 fois plus de chaleur que prévu par les modèles. Ces derniers attribuaient cette chaleur à l'attraction exercée sur Encelade par Dioné. Pour les auteurs, soit Encelade relâche périodiquement de la chaleur accumulée selon un mécanisme inconnu, soit son orbite est instable, et elle subit des perturbations gravitationnelles qui l'échauffent.

Le ciel de l'hiver 2011

Le ciel de
l'hiver
2011-2012

Ciel valable
le 1/1 à 0 h
le 1/02 à 22 h
le 1/03 à 20 h
(heures légales)



Les planètes sont placées
pour le 15 de chaque mois

Carte du ciel calculée
pour la latitude de 47°

Visibilité des planètes

Les 5 planètes visibles à l'œil nu seront observables dans de bonnes conditions cet hiver.

Vénus est à observer le soir. Sa luminosité et son élongation (angle Soleil Terre Vénus) augmentent tout au long de l'hiver.

Jupiter est aussi visible le soir mais termine sa période de visibilité. On la verra à proximité de Vénus mi mars.

La planète **Mars** se trouve au plus près de la Terre au début du mois de mars, à 101 millions de km (opposition le 3). La calotte polaire nord devrait être visible dans un petit instrument.

Saturne se trouve dans le ciel du matin. Elle sera à l'opposition au plus près de la Terre mi avril.

Mercure sera visible le matin fin décembre et début janvier. On la retrouve le soir début mars.

Quelques événements

22/12 : Solstice d'hiver le 22 à 5 h 29 TU.

22 et 23/12 (matin) : rapprochement Lune - Mercure.

27/12 (soir) : rapprochement Lune - Vénus.

5/01 : périhélie, la Terre est au plus près du Soleil, à 147 097 000 km (de centre à centre).

26/01 (soir) : rapprochement Lune - Vénus.

9/02 (soir) : rapprochement Vénus - Uranus ($<0,5^\circ$).

22-23/02 (soir) : rapprochement Lune - Mercure.

25/02 (soir) : rapprochement Lune - Vénus.

26-27/02 (soir) : rapprochement Lune - Jupiter.

13-14 mars : rapprochement Vénus - Jupiter.

20/03 : équinoxe de printemps à 5 h 14 TU.

Lune

Nouvelle Lune : 24/12, 23/01, 21/02.

Pleine Lune : 9/01, 7/02, 8/03.

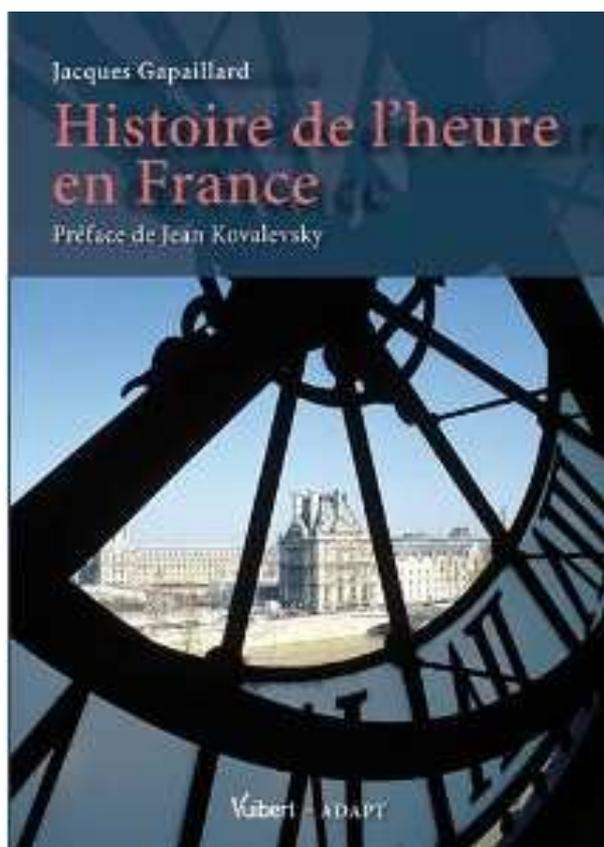
LECTURE POUR LA MARQUISE

Histoire de l'heure en France

Jacques Gapaillard, Vuibert août 2011

Dans l'introduction l'auteur indique que traiter de l'heure peut laisser croire que l'on traite du temps. La nature du temps est un problème insaisissable qui relève de la métaphysique.

Ni le calendrier ni l'heure ne sont le temps. Il ne faut pas confondre le repérage du temps avec le temps lui-même. L'heure est une "façon de repérer des événements par rapports à des jalons préalablement disposés sur le cours du temps, et un tel repérage est justement réalisé au moyen de l'horloge Terre en rotation".



Le chapitre 1 introduit les méridiennes des cadrans solaires et **le chapitre 2** l'équation du temps qui permet de compenser l'incompatibilité entre le Soleil et les horloges. À chaque rotation de la Terre, le jour et la nuit alternent (sauf dans la région des pôles) mais le plus souvent d'une manière inégale et

variable selon le lieu et les saisons. La durée d'un jour comprend celle de la journée (entre le lever et le coucher du Soleil) et celle de la nuit (entre le coucher et le lever du Soleil le lendemain). On parle en termes savants de "nycthémères" c'est à dire une journée et une nuit consécutive. Ce chapitre est un peu technique, on y trouve quelques formules mathématiques qui ne s'imposaient pas.

Le chapitre 3 aborde l'horlogerie mécanique ; il présente tout d'abord le mécanisme assez surprenant d'Anticythère, qui serait daté d'avant JC, puis les différents dispositifs d'échappement : foliot et verge (avec palettes et roue de rencontre) ou échappement à ancre. Puis l'horlogerie à pendule imaginée par Huygens (1658).

Le chapitre 4 est consacré à l'éphémère décimalisation du temps : le découpage des journées et des heures en utilisant le système décimal fut instauré pendant peu de temps à la Révolution.

Le chapitre 5 relate le passage du découpage de la journée en heures inégales en durée au temps moyen local.

Jusqu'au XIV^e siècle la durée du jour et la durée de la nuit était divisée en 12 parties égales séparées par les milieux du jour et de la nuit (midi et minuit). Ces parties appelées "heures" étaient donc inégales en durée selon les saisons ! Par exemple à Paris, au solstice d'été, l'heure de jour était presque le double de l'heure de nuit. Au solstice d'hiver c'était le contraire : l'heure de nuit était presque le double de l'heure de jour. Le réglage de l'heure se réalisait à midi au Soleil (midi vrai). Cet instant était privilégié car facile à repérer.

C'est au XIX^e siècle que le temps moyen local se développe. En 1826 toutes les horloges publiques de Paris sont réglées sur le temps moyen local donné par l'Observatoire.

Chapitre 6 : du temps moyen à l'heure nationale.

Le développement des chemins de fer nécessitait l'uniformisation de l'heure en France. Il y avait à l'époque une certaine pagaille puisque les horloges sur les façades extérieures des gares indiquaient l'heure de Paris, sur les quais des trains l'heure affichée retardait de 5 minutes par rapport à l'heure précédente et partout ailleurs subsistait l'heure

locale. Il faudra attendre le 14 mars 1891 pour que soit publié au Journal Officiel un article unique définissant l'heure légale en France comme l'heure du temps moyen de Paris.

Chapitre 7 concerne l'ascension du méridien de Greenwich.

Dans ce chapitre, il est fait état de la difficulté de définir un premier méridien.

Faut-il ou non un premier méridien neutre comme le méridien de "l'île de Fer" qui se trouve à la pointe la plus occidentale des Canaries ? Où mettre la ligne de changement de date ? Faut-il compter les méridiens vers l'est ou vers l'ouest ? Les débats furent passionnés, en particulier entre la France et l'Angleterre. La France ne fut pas très habile dans les négociations. Elle espérait secrètement, faute de mieux, troquer la perte du premier méridien contre la reconnaissance universelle du système métrique. Les péripéties furent nombreuses, cette page d'histoire est racontée d'une manière vivante et détaillée.

L'histoire se poursuit avec **le chapitre 8** intitulé : Paris contre Greenwich. Ce chapitre aborde l'impérieuse nécessité de définir une heure universelle (dite heure cosmique) valable en tous lieux et justifier la division du globe terrestre en 24 fuseaux horaires.

Le chapitre 9 est intitulé : De Paris à Greenwich. Il illustre la difficulté pour la France de reconnaître officiellement le méridien de Greenwich comme méridien origine des longitudes et comment, avec un retard de 27 ans sur la plupart des autres États, la France se résout finalement à reconnaître ce méridien haï sans prononcer son nom.

Le chapitre 10, "Heures anciennes et nouvelles heures", concerne la polémique sur l'heure d'été. Ce chapitre est un peu long ; il décrit la succession des changements d'heures au cours du XX^e siècle ; il se termine par les nouvelles méthodes pour mesurer les temps avec l'introduction du Temps Atomique International puis du Temps Universel Coordonné. À la fin de l'ouvrage on trouve un tableau chronologique des principales étapes de l'histoire de l'heure.

Christian Larcher ■

Si un ouvrage vous a plu, n'hésitez pas à nous en faire parvenir une recension.

Merci d'avance

Optique

Une approche innovante de l'optique, à la fois expérimentale, technique, historique et pratique

M Houard de Boeck

Ce livre propose de revisiter l'optique selon une approche innovante à la fois expérimentale, technique, historique et pratique. Près de 500 photographies numériques en couleurs d'expériences permettent d'illustrer les phénomènes optiques de manière visuelle et concrète, en relation avec le texte.



Des explications techniques détaillées sont fournies, mais privilégie l'approche physique à un formalisme excessif. Une large place est faite aux phénomènes naturels et aux applications technologiques.

Un chapitre entier est consacré à la couleur et à sa perception, sujet rarement abordé dans les ouvrages classiques.

Ce livre sera d'une aide précieuse à tout enseignant du secondaire ou du supérieur, aux candidats au Capes ou à l'Agrégation, ainsi qu'à tout étudiant du premier cycle universitaire (L₁ à L₃) désireux d'approfondir ses connaissances en optique.

Béatrice Sandré ■

Le CLEA invité au pays des marrons ¹

Jean-Luc Fouquet et Jean Ripert

Comme il est rappelé au tout début de chaque "Cahiers Clairaut", le CLEA est une réunion d'enseignants et d'astronomes voulant ensemble promouvoir l'enseignement de l'astronomie à tous les niveaux, en particulier dans ses stages de formation destinés aux enseignants, de l'école au lycée. Mais généralement hélas, depuis quelques années, la présence des professeurs des écoles est trop peu fréquente aux écoles d'été, et c'est avec beaucoup de satisfaction que nous avons pu noter l'inscription de trois d'entre eux cette année.

Sur les conseils de sa hiérarchie, et de Madame l'Inspectrice d'Académie de l'Ardèche, Sébastien Palix, professeur des écoles à Privas, a pu pleinement participer aux activités de l'école d'été de ce mois d'août 2011.

De retour dans son département, il a su rédiger un compte-rendu suffisamment positif de son stage pour qu'il nous soit proposé de participer à l'organisation d'une formation d'un jour destinée aux conseillers pédagogiques et aux maîtres formateurs du département.

Il était important pour le CLEA de répondre favorablement à l'invitation faite aux animateurs de l'école d'été de participer à cette action, pour une journée, en ce début de novembre venté et très pluvieux.

L'astronomie dans les programmes de l'école

Dans les objectifs est mis en avant une démarche constructive d'investigation chaque fois qu'il est possible d'exposer une situation de départ qui éveille la curiosité des élèves, et qui déclenche alors questions et idées préalables. Les enseignants sont invités à s'intéresser aux conceptions initiales des enfants.

L'astronomie est détaillée dans la sixième partie du programme, intitulée "le ciel et la Terre", et qui commence par l'étude de la lumière et des ombres. Le support de cette étude est la description des mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et révolution autour du Soleil).

(1) Privas est la capitale du marron glacé.

La situation préalable peut être l'observation du mouvement apparent du Soleil, soit avec l'ombre d'un gnomon, soit avec des relevés sur une vitre ou sur une demi-sphère transparente. On doit alors discuter de la durée du jour et de son évolution au cours des saisons, en s'aidant de maquettes, de calendriers, de boussoles.

L'étude des ombres conduit tout naturellement à observer aussi la Lune, et à s'interroger sur son aspect (phases et éclipses). Cette sixième partie peut se conclure par la description du système solaire avec la notion d'échelle, et par une réelle observation du ciel.



Le contenu pédagogique du stage

Ce programme est bien trop étoffé et riche pour qu'une liste exhaustive des actions possibles ne soit tentée. Nous nous sommes engagés dans l'étude successive de trois thèmes dominants, sans mener une séquence complète mais en donnant le plus d'outils possibles. Nous avons privilégié l'expérience avec beaucoup de petits matériels, des maquettes (il en faut souvent plusieurs pour tenter de cerner une notion), ou bien nous avons suggéré de mimer les situations (rondes) pour expliquer la durée du jour, une lunaison, la face cachée de la Lune.

Nous avons préconisé de reprendre des relevés ou des observations à intervalles de temps réguliers, à des dates différentes (ombre d'un bâton, course du Soleil, aspect de la Lune). Cette pratique est facilitée par la présence quotidienne des élèves à

l'école pendant toute l'année, avec un seul enseignant pouvant choisir les moments les plus propices pour l'expérience.

La méthode d'investigation a été abordée à l'aide d'un diaporama réalisé au Canada² et pour chacun des trois thèmes proposés, une enquête a été présentée, faite à partir de très nombreux dessins recueillis depuis plusieurs années (voir CC 126 p 14 et 129 p 17). Ce travail peut d'ailleurs être continué en Ardèche en utilisant cette base de données.



Les trois thèmes abordés

1. Le jour et la nuit

Expériences possibles : piquet au Soleil dans la cour (ou planche horizontale et gnomon) – demi-sphère en plexiglas (saladier) sur laquelle on relève la course du Soleil – relevés d'élèves sur une frise ou à l'école sur une grande baie vitrée exposée au Sud.

Notions abordées : position du Soleil (azimut) dans le paysage au lever ou au coucher – midi solaire et points cardinaux – durée du jour – mouvements relatifs de la Terre et du Soleil.

2. Les saisons

Expériences possibles : saladier et trajectoires du Soleil à des dates différentes – course du Soleil sur une vitre exposée à l'Est – retour sur la frise – durée du jour et calendrier – chocolat fondant sous une lampe (densité de lumière) - relevé d'ombres d'un

piquet vertical à l'équinoxe.

Notions abordées : durée du jour et saisons – solstices et équinoxes – trajectoire de la Terre – cadrons solaires.

3. Les phases de Lune

Expériences possibles : fiches de relevés et cahier d'expériences – Lune et calendrier – aspect d'une bille-Lune blanche et noire se déplaçant sur sa trajectoire (sur carton) – Terre et Lune mimées (rondes).

Notions abordées : aspect de la Lune – Lune et calendrier – face cachée – Soleil, Terre, Lune à l'échelle (puis modélisation du système solaire) – Lune dans le zodiaque (son déplacement sur un jour, puis sur une lunaison) – description des constellations et observation du ciel.

Tout au cours de cette journée, les conseillers pédagogiques, les maîtres formateurs, ainsi que Sylviane Leullier IEN, ont activement participé aux actions proposées, manipulant les maquettes, se prêtant aux rondes ou aux mimes, posant de nombreuses questions, et nous les en remercions. Le nombre de documents et d'expériences proposées étant important, les pistes ouvertes étant nombreuses, ils ont décidé de consacrer une deuxième journée à l'exploitation de cette présentation pour la réalisation de stages dans les circonscriptions et à la mise en œuvre pratique de ces démarches dans les écoles. Nous espérons que ces expériences permettront de rendre cette sixième partie du programme abordable et assez vivante, laissant au second plan un support théorique qui peut inquiéter un enseignant se sentant insuffisamment formé sur cette discipline. Pour le CLEA, ce type de formation est vraiment intéressant car il permet de toucher les personnels de l'école primaire de façon positive et efficace, et il doit être renouvelé.

(2)http://www2.cslaval.qc.ca/cdp/UserFiles/File/preview/s/demarche_generale/



Compte-rendu de l'assemblée générale du CLEA

Paris 20 novembre 2011

Les secrétaires : Jean-Luc Fouquet et Christian Larcher

Cette année, l'assemblée générale s'est déroulée dans les locaux de l'École Supérieure de Physique et Chimie de Paris.

Étaient présents ou représentés : Amacher Jean-Claude, Augé Annick, Balin Dominique, Bardin Daniel, Belet André, Benarbia Fawzi, Berthomieu Francis, Besson Fabienne, Billard Francine, Blanchet Jean-François, Bobin Michel, Bonin Michel, Bottinelli Lucette, Boudon Vincent, Bouteville Gilles, Bremond Alain, Bureau-Gantier Sophie, Cagnard Jean-Michel, Cauchois Michel, Causeret Pierre, Cavaroz René, Chagrin Françoise, Chanut Jean-Marie, Charbonnel Aude, Chaty Sylvain, Chevaly André, Clarenne Hervé, Collongues Daniel, Consigli Jean François, Corbier Pierre, Coutenson Christophe, Dahringer Frédéric, Dalloubeix Christine, David Alain, Debost Marie-Hélène, Dumont Simone, Dupré Jacky, Durieux Jean-Paul, Dussutour Raymond, Duval Marie-France, Espinat Daniel, Esseiva Nicolas, Eyraud Charles-Henri, Ferrari Cécile, Fouquet Jean-Luc, Garreau Brigitte, Gautier Bernadette, Gayraud Olivier, Gerbaldi Michèle, Germain Lydie, Gouthiere Gérard, Grauss Bernard, Guillemain Gilles, Hadamick Édith, Hauguel Véronique, Hess Gérard, Heulin Jacques, Imbault Danièle, Jacques Jean-François, Jamet Roseline, Jandot Pierre, Jeanjacquot Philippe, Josselin Éric, Jouguelet Éric, Jourdain Pierrette, Jouvard Jean-Marie, Lahellec Marie-Agnès, Lambert Dominique, Lapotre Philippe, Larcher Christian, Lartigue Charles, Lartoux Claude, Laulanet Christophe, Le Fur Pierre, Le Gallic Patrick, Le Guen Gérard, Le Guet Gilles, Le Guillou Nicole, Le Lay Claire, Lecoq Catherine, Lecoutre Chantal, Lecoutre Georges, Legat Claude, Legrand Éliane, Legrand Françoise, Lepoivre Olivier, Lescure Régine, Letourneau Jacqueline, Louis Anne-Marie, Mandeix Olivier, Martin André, Mathieu Alain, Maurel Danièle, Maurel Michèle, Mayer Denis, Mayer Lucette, Meunier Roger, Minière Patrice, Muller Lionel, Munsch Gilles, Oxoteguy Marie-Jeanne, Paccoud Germaine, Paillart Christian, Pala Jean-Louis, Pascal Daniel, Paturel Anne-Marie, Paturel Georges, Paulhiac Michel, Paupart Daniel, Petit Annie, Petit Jean, Petit Joël, Pieters Claude, Plotard Marcelle, Pons Michel, Predignac Gérard, Raugel Durand, Raugel-Durand Marie-Claire, Regis Danielle, Remy Gilles, Rey Danielle, Richelmi Roger, Rodes Jean François, Rollet Bouillon Claude, Romieu Françoise, Roubaix Sylvie, Rougette Michel, Sainte Foy Hugues, Sandré Béatrice, Sarrazin Liliane, Sartori Véronique, Semerdjian Claudine, Schumacher Louis, Simon Bernard, Smanio Franck, Thiault Sylvie, Thomas Christian, Toussaint Daniel, Varanne Éric, Vienney Jean-Michel, Vigouroux Charles Henri.

Assemblée générale extraordinaire

Le déménagement des locaux de l'observatoire de Lyon à la faculté de Paris Diderot rend nécessaire des changements dans la domiciliation du CLEA, la gestion de son stock et le lieu du siège social. L'article 3 des statuts doit être modifié par un vote qui donne des précisions sur le nouveau siège social, dans une proposition ainsi libellée :

"Le siège social du CLEA est fixé à Paris. Il pourra être transféré par simple décision du Conseil d'administration sur proposition du bureau."

Cette proposition est adoptée par 115 voix pour et aucun vote contre.

Assemblée générale ordinaire

L'actualité du CLEA, par Cécile Ferrari

Des explications sont données sur le changement tardif du lieu de l'assemblée générale et sur l'installation du CLEA dans les locaux de Paris-Diderot. Des mesures restent à prendre, des conventions sont encore en cours, et l'une d'entre elles, signée avec le centre de formation des enseignants, met à disposition des salles, un bureau, permet à Marc Perret (personnel de ce centre) de s'occuper de la gestion du courrier, et prévoit une intervention du CLEA dans la formation des futurs enseignants, avec le matériel et les documents de l'association, tout ceci avec l'aide précieuse de

Cécile de Hosson, directrice du Centre de formation et d'études sur l'enseignement des disciplines (CFEED).

Le nombre d'abonnés aux Cahiers Clairaut est en baisse et une discussion s'engage sur la manière de se faire connaître et de toucher le plus grand nombre. Sont envisagés : publicité dans des revues "amies", un sommaire des Cahiers dans l'Astronomie, des interventions dans les congrès scientifiques et professionnels, des spots sur l'EEA à diffuser sur Internet (en diffusant par exemple le film publicitaire tourné en août à Gap).

Il faudra dresser un calendrier des manifestations académiques et nationales.

Un gros effort a été fait dans les propositions de formation et d'interventions auprès des enseignants de l'école. Une liste d'adresses et de mails a permis l'envoi de nombreux courriers (mais peu de retours pour le moment). Trois professeurs des écoles ont participé à l'école d'été, ce qui a permis à deux animateurs du CLEA d'intervenir dans un stage de formation avec des maîtres formateurs et des conseillers pédagogiques dans l'Ardèche (un exemple à renouveler).

Enfin, des précisions sont données sur la préparation de trois hors séries et sur le suivi de l'actualité sur les nouveaux programmes, en particulier en Terminale.

La désignation des membres du Conseil et de la composition du bureau :

Un appel à candidature est lancé pour compléter la liste des participants au Conseil du CLEA, après désistement de deux anciens participants. Jean-Marie Jouvart (venant de Bourgogne) et Sylvie Thiault (de Rhône-Alpes) sont candidats.

Un vote est organisé dans la salle voisine (pendant une pause café) auquel participe 137 votants qui désignent l'ensemble des participants de la liste proposée pour faire partie du Conseil, sans aucun nom barré.

Ont été élus membres du CA : Balin Dominique, Bardin Daniel, Berthomieu Francis, Billard Francine, Bobin Michel, Brahic André, Briot Danielle, Causeret Pierre, Cavaroz René, Chaty Sylvain, De Hosson Cécile, Duval Marie-France, Eyraud Charles-Henri, Ferrari Cécile, Fouquet Jean-Luc, Garreau Brigitte, Gayrard Olivier, Grauss Bernard, Hauguel Véronique, Imbault

Danièle, Jamet Roseline, Josselin Éric, Jouguelet Éric, Jouvard Jean-Marie, Lahellec Marie-Agnès, Larcher Christian, Le Fur Pierre, Le Lay Claire, Lecoutre Chantal, Lecoutre Georges, Maurel Danièle, Muller Lionel, Paupart Daniel, Pecker Jean-Claude, Petit Jean, Ripert Jean, Sandré Béatrice, Sert Josée, Thiault Sylvie, Vienney Jean-Michel,

À partir de cette liste, une liste pour les membres du bureau est proposée et le vote suit. Sont élus à l'unanimité des 22 votants :

Présidente : Cécile Ferrari

Secrétaire : Jean-Luc Fouquet

Secrétaire adjoint : Christian Larcher

Trésorière : Roseline Jamet

Trésorier adjoint : Jean Ripert.

À suivre dans le prochain numéro.

L'abonnement numérique ?

Depuis un an il est possible d'être "abonné numérique" aux Cahiers Clairaut et de pouvoir télécharger tous les Cahiers Clairaut jusqu'au dernier, par article ou entièrement et les nouvelles productions à l'adresse : <http://accés.inrp.fr/clea/>
Un "lien rapide" vers ces ressources se trouve sur la gauche de chaque page du site.

The screenshot shows the CLEA website interface. On the left is a navigation menu with 'accès réservé' highlighted. The main content area displays 'Nouvelles productions du CLEA' with a table of recent issues (127, 128, 129) and a 'Les forums' section. A blue box with a white arrow and the number '1' points to the 'accès réservé' link in the sidebar. A caption 'Figure 1.' is placed over the bottom right of the screenshot.

Il faut d'abord passer par "Accès réservé"(Figure 1) puis s'identifier pour pouvoir télécharger les articles récents.

D'autres nouvelles productions sont en cours d'élaboration.

Les identifiants sont de la forme :

"(initialeprénom)nom" . Exemple : jripert pour Jean Ripert, cheyraud pour Charles-Henri Eyraud.

En cas d'oubli de mot de passe, un courrier électronique est envoyé automatiquement à l'adresse que vous avez donnée lors de votre abonnement pour réinitialiser votre compte. Vérifier alors que votre logiciel de messagerie n'a pas considéré ce message du serveur comme un "spam".

L'"abonnement numérique" (comme l'adhésion simple)

permet aussi de participer plus activement à la Vie du CLEA en s'inscrivant au travail collaboratif qui a lieu dans les différents groupes constitués.

Merci d'avance pour votre participation et votre engagement.

Solutions des mots croisés p. 29

Horizontalement

1. Épactes (c'est l'âge de la Lune au 1er janvier). Club ; **2.** Pané. Solaire ; **3.** Ain (on a trouvé un calendrier gaulois incomplet à Coligny dans l'Ain, il est visible au musée gallo-romain de Lyon et une reproduction est exposée à Coligny. Il n'est encore que partiellement déchiffré). Julien ; **4.** Grégorien. Ci ; **5.** Eau. Dr. Thé ; **6.** Musulmans. IR (infra rouge) ; **7.** En. Lèvre. An ; **8.** Nico. Mi (mi janvier, c'est le milieu du mois, ce qu'indiquaient aussi les ides). Bloc ; **9.** Étain. Toupie ; **10.** Sessile. Test.

Verticalement

1. Épagomènes (nom donné aux 5 jours ajoutés aux 12 mois de 30 jours pour faire une année solaire dans le calendrier égyptien mais d'autres calendrier comme le calendrier républicain contiennent des jours épagomènes) ; **2.** Pair. Unité ; **3.** Années. Cas ; **4.** Ce. Gaulois (voir le 3 horizontal) ; **5.** Joule (= Watt.seconde). Ni (les sidérites ou météorites métalliques contiennent principalement du fer et du nickel) ; **6.** Esur (ruse à l'envers). MVM ; **7.** Solidarité ; **8.** Lierne ; **9.** Caen. But ; **10.** Lin. Alpe ; **11.** Ur. Chinois ; **12.** Bélier. CET (pour Cetus, la Baleine).

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 2012, 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 :

daniele.imbault@cea.fr

Cahiers Clairaut :

larcher2@wanadoo.fr

Ventes des productions :

www.clea-astro.eu

Site internet :

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

Adhésion / Abonnement :

Adhésion CLEA pour 2011 :	5 €
Abonnement CC pour 2011 :	25 €
Adhésion + abonnement CC :	30 €
Adhésion + abonnement CC + abonnement numérique :	35 €

Chèque à l'ordre du CLEA, à envoyer à :
Roseline Jamet
83, rue Pierre Curie
33140 VILLENAVE D'ORNON

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

Premier dépôt légal : 1er trimestre 1979
Numéro CPPAP : 0315 G 89368

Prix au numéro : 7 €

Revue trimestrielle : numéro 136, décembre 2011