La mesure du temps en astronomie.

La première notion de mesure du temps est née de l'observation de la répétition des phénomènes périodiques. Des instruments comme le gnomon et le cadran solaire, ont ensuite permis aux hommes de mesurer l'écoulement du temps, de calculer le retour des saisons, et la durée d'une lunaison, d'un jour… Ils éprouvèrent bientôt le besoin de repérer le retour des fêtes religieuses, des principaux travaux agricoles qui rythmaient leurs vies. Ils instaurèrent alors des calendriers, des systèmes recensant les jours, mois, années, en restant en accord avec les principaux phénomènes astronomiques.

I. La prise de conscience du temps, les calendriers

Dès l'origine de l'humanité, le jour, la nuit, la pleine lune, la nouvelle lune, le retour régulier des saisons, l'été, l'hiver ont ponctué la vie sur Terre. Très tôt, dans chacune des grandes civilisations qui virent le jour, le calcul du temps devint une nécessité Ainsi, les calendriers vinrent à l'existence.

Le premier calendrier fut, pense-t-on, chaldéen. Les Chaldéens inaugurèrent le calendrier lunaire de douze mois de 29 ou 30 jours. Mais celui-ci ne concordait pas avec le rythme des saisons.

Ce sont les Egyptiens qui, vers 5000 ans avant Jésus Christ selon les historiens, déterminèrent la durée de l'année solaire, en tenant compte du retour annuel des saisons. De leur mélange, est né le calendrier luni-solaire encore en vigueur dans les pays arabes et en Israël.

De toutes les réformes du calendrier, certaines sont arrivées jusqu'à nous. Des personnages historiques, comme l'empereur Jules César en passant par le pape Grégoire XIII, ont ainsi contribué à notre calendrier.

a) Comment sont apparus les premiers calendriers ?

Avant même l'édification de calendrier, les anciens ont dû s'attacher à établir un système de comptage du temps. Cependant, le calcul du temps n'a pas pu se faire sans établir des repères.

En tout premier lieu, la *journée*, faite d'un levé et d'un couché de Soleil, rythme le cours du temps. Sans doute qu'une observation attentive du ciel et en particulier, de la Lune, a permis de constater que notre satellite avait un cycle suffisamment régulier pour servir de repère. Ainsi sont nés les *mois*, où le nombre de jours correspondait au nombre de journées entre deux nouvelles lunes. Enfin, par l'observation des saisons et du retour périodique du Soleil, les *années* apparurent. Grâce aux années, il était désormais possible de faire référence à un évènement antérieur à plusieurs milliers de jours, et cela sans faire de calcul complexe.

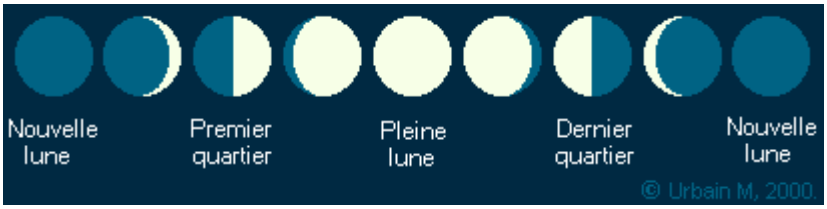
Ensuite, les calendriers sont tout naturellement venus pour codifier les règles, le plus souvent établies par la minorité gouvernante. Bien sûr, dans les premiers temps, ils servaient généralement pour planifier le travail des champs et pour prévoir les récoltes et autres activités liées à la culture de la terre. Ainsi, les premiers calendriers reflètent les tâtonnements

de leurs concepteurs pour arriver à prévoir les phénomènes liés soit au Soleil soit à la Lune, mais ils sont aussi fortement marqués par la vie économique, politique ou religieuse.

b) Les Types de calendriers

Dès l'Antiquité, la simple observation de la nature a mis en relief trois phénomènes astronomiques périodiques pouvant être utilisés pour la mesure du temps : l'alternance du jour et de la nuit, la succession des phases de la Lune et le cycle des saisons. Trois unités naturelles de temps se sont ainsi imposées : le jour, le mois et l'année. Ces trois unités sont la base du calendrier. Selon le phénomène astronomique pris en référence, on distingue trois types fondamentaux de calendriers : *lunaires*, *solaires*, *luni-solaires*.

1) Le calendrier lunaire



Les différentes phases de la Lune vues depuis la Terre.

Les premiers calendriers qui virent le jour furent basés sur le cycle régulier de la Lune (calendrier chaldéen). Dès lors apparaissent les premiers calculs du temps qui donneront naissance au calendrier lunaire. Ce dernier fondé sur le cycle des phases de notre satellite naturel n'est pas strictement régulier. Ainsi, en raison de la complexité du mouvement de la Lune autour de la Terre, la lunaison peut varier entre 29 jours 6 heures et 29 jours 20 heures. Mais de nos jours, pour simplifier les calculs, les scientifiques utilisent la lunaison moyenne de 29 jours 12 heures 44 min 3 sec. (29,530 589 jours).

L'année qui prend pour base ce type de calendrier comporte 12 mois de 29 à 30 jours alternativement et totalise 354 jours, soit un nombre entier de lunaison. De ce fait, un écart se créait entre le cycle du soleil. Cet écart d'environ 11,25 jours par an provoque très vite une dérive des mois lunaires à travers les saisons.

2) Le calendrier solaire

Pour corriger le décalage entre l'année lunaire et le retour des saisons, les Egyptiens déterminèrent la durée de l'année solaire, c'est à dire la durée de révolution de la Terre que l'on nomme année tropique (en fait leur année ne durait que 365 jours), en tenant compte du retour annuel des saisons.

3) Le calendrier luni-solaire

De nombreuses civilisations (grecque, chinoise, hébraïque…) tentèrent par la suite de combiner les aspects lunaire et solaire du calendrier, créant ainsi ce que l'on appelle aujourd'hui des calendriers luni-solaires. Cette « association » des deux types de calendriers est basée sur le fait, qu'avait remarqué au 5e siècle avant notre ère, un Athénien, Méton, que 19 années tropiques sont quasi égales à 235 lunaisons (à deux heures près).

c) La mesure du temps par des observations astronomiques

1) les temps anciens

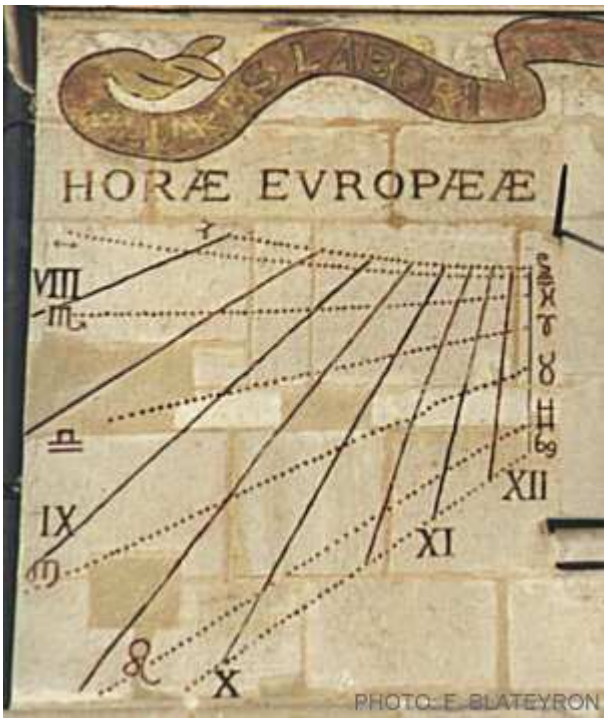
L'ancêtre du cadran solaire est le gnomon : l'étude de sa technique, de ses significations et de son art constitue la gnomonique. Les Anciens attribuent son invention à Anaximandre de Milet, vers l'an 600 avant J.C. Aujourd'hui, on sait que cette invention est beaucoup plus ancienne. Le gnomon, simple bâton planté verticalement dans le sol, permet facilement, en n'importe quel endroit, d'observer le mouvement de l'ombre du soleil ou de la lune. C'est l'ancêtre du cadran solaire. On le trouve partout : Amérique, Afrique, Bornéo... Mais son utilisation permet surtout d'effectuer des mesures astronomiques.

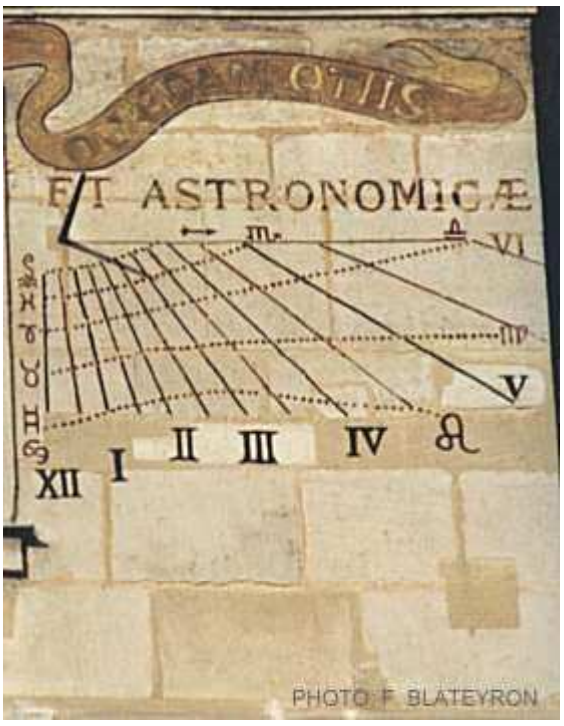
2) Le cadran solaire

L'extrémité de l'ombre d'un bâton planté verticalement parcourt très régulièrement un arc : on fabrique un instrument formé d'une tige, appelée style, et d'un cadran, horizontal ou vertical, sur lequel sont gravés des traits indiquant l'heure.

Les premiers cadrans n'ont pas encore les graduations des heures, et même au Moyen-Age, on trouve sur les chantiers un cadran solaire à 4 traits, n'indiquant que les moments du début et de la fin du travail des ouvriers, et ceux de la pause.

Ce n'est qu'au XVIème siècle que l'heure est définie comme la 24ème partie du temps séparant deux passages du soleil au zénith. On en trouve pratiquement sur toutes les églises, avec un cadran vertical : les clercs sont les artisans de leur large diffusion. Les Croisés, au XIVème siècle, ont rapporté des cadrans solaires au style incliné, augmentant sa précision. Même après l'invention de l'horloge, coexisteront sur la façade des cathédrales les cadrans solaires et les cadrans des horloges.





Cadrans solaires du lycée Louis le grand

Cadran solaire de l'observatoire de Montréal

II. Quelques exemples de calendriers

a) Le calendrier Maya

Le calendrier maya date probablement, dans sa forme finale, du premier siècle avant notre ère. Le calcul des prêtres mayas était si précis que la correction de leur calendrier est de dix millièmes de journée plus exacte que le calendrier en usage actuellement dans le monde.
De tous les anciens systèmes de calcul du temps, ceux des mayas et les autres systèmes méso-américains sont les plus complexes et les plus détaillés. Leur mois était de 20 jours et l'année était double : un cycle sacré de 260 jours, dénommé *Tzolkin*, et l'année civile de 365 jours, ou *Haab*. Ces deux calendriers coïncidaient tous les 52 ans. Cette période de 52 ans était désignée sous le nom de "faisceau" et elle représentait pour les mayas l'équivalent d'un siècle pour nous.

La combinaison du *tzolkin* et du *haab* produisait un cycle de 18 890 jours, correspondant à environ 52 années solaires. La fin de ce cycle de 52 ans était particulièrement redoutée parce qu'il s'agissait d'une période où le monde pouvait prendre fin et où le ciel pouvait s'effondrer si les dieux n'étaient pas satisfaits de la façon dont les humains s'étaient acquittés de leurs obligations.

L'Année religieuse : *tzolkin*

Le cycle sacré de 260 jours se décomposait en deux cycles, comme, pour nous aujourd'hui, les mois et les jours : les chiffres de 1 à 13 pour le premier cycle, et 20 noms de jours différents. Le nom de chaque journée est représenté par un dieu qui transporte le temps à travers le ciel, marquant ainsi le passage du jour à la nuit.

Selon la formule du *tzolkin* de 260 jours, le temps n'est pas linéaire mais il évolue en cercles concentriques semblables à une spirale. Les deux cycles de 13 et de 20 s'entremêlent et se répètent sans cesse. Personne ne connaît au juste l'origine de ce calendrier inusité. Le cycle de 260 jours peut regrouper plusieurs événements célestes, y compris la configuration

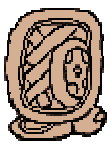
de Mars, les apparitions de Vénus, les saisons d'éclipse et même l'intervalle entre la conception et la naissance des humains.

Le calendrier de 260 jours servait à déterminer les activités importantes liées aux divinités. On l'utilisait pour nommer les personnes, prédire l'avenir et décider des dates propices aux grands événements comme les combats ou les mariages, par exemple. Chaque journée comportait ses augures et ses associations et la cadence inexorable des 20 jours évoquaient une machine de prédiction de l'avenir guidant la destinée des mayas.

L'ancien cycle maya est toujours en vigueur dans le sud du Mexique et dans les hautes terres mayas où les "prêtres du calendrier" s'affairent encore à effectuer le calcul des 260 jours pour les actes de divination.

L'Année civile : *haab*

L'année civile, ou *haab*, de 365 jours était semblable à notre calendrier moderne; elle comportait 18 mois de 20 jours chacun et se terminait par une période de cinq jours. Le calendrier profane de 365 jours se rapportait surtout aux saisons et à l'agriculture et était basé sur le cycle solaire. La période de malchance, qui durait cinq jours et portait le nom de *uayeb*, était tenue pour une période critique, marquée par le danger, la mort et le mauvais sort.



Glyphes correspondant à deux des dix-huit mois de l'année civile : Pop (à gauche) et Zotz

La nouvelle année solaire maya aurait débuté à un moment donné au cours de notre mois de juillet, par le mois maya *Pop*. Le mois maya de 20 jours débutait toujours par le positionnement ou "la remise à zéro" du mois, suivi par les jours numérotés de 1 à 19, puis par le positionnement du mois suivant et ainsi de suite. La nouvelle année maya débutait dès lors par le 1 *Pop* suivi du 2 *Pop* et ainsi de suite jusqu'au 19 *Pop*, après quoi naissait le mois *Uo*, écrit 0 *Uo* puis 1 *Uo*, 2 *Uo*, etc.

b) Le calendrier aztèque

La Pierre du Soleil, appelée souvent "calendrier aztèque" mais dont le nom véritable signifie "réceptacle de l'Aigle", est non seulement un calendrier mais aussi une pierre commémorative d'une date sacrée. En effet, certaines pierres aztèques rappelaient une fête rituelle célébrée tous les 52 ans : la fête du Feu nouveau. Les Aztèques plaçaient ces pierres dans leurs temples. En particulier ci-dessous, sur cette Pierre du Soleil était gravée la date du 13 *Acatl* qui marqua la fête du Feu nouveau en 1479.

Exemple de Pierre du Soleil : la pierre de Tizoc.

La pierre est composée de 8 cercles concentriques qui forment des couronnes circulaires. Dans le cercle extérieur qui entoure la pierre, deux serpents se rejoignent. Chaque demi-cercle représentant l'un des deux serpents symbolisait l'état de la journée : le jour ou la nuit. Pour les Aztèques, chaque cercle avait sa propre signification. Les prêtes utilisaient ces pierres pour prédire les évènements, mais elles servaient aussi de calendrier et dictaient les sacrifices et autres actes du culte aztèque. Le nom des jours correspondait à des noms de divinités.

c) Le calendrier musulman

Le calendrier musulman (l'*Hégire*) est toujours lunaire, les dates ou les mois rituels, le *ramadan* en particulier, "voyagent" tout au long de l'année. Dans le calendrier musulman, un cycle de 30 ans est associé à la longueur des années, les 11 premières années ont 354 jours, les 19 autres 355. Cela permet aux mois de parcourir entièrement le cycle des saisons en 33 ans.

d) Le calendrier égyptien

Ce sont les Egyptiens, peuple d'agriculteurs qui décidèrent les premiers d'abandonner les mois lunaires comme base du calendrier. Ils fixèrent la durée du mois à 30 Jours et celle de l'année à 12 mois, soit 360 jours. Mais l'année ainsi définie était trop courte de 5 Jours, aussi pour corriger ce défaut, les Egyptiens rajoutèrent ces 5 jours (appelés pagomènes) chaque année, après la fin du douzième mois. C'est la première approximation de la durée moyenne de la révolution : des années de 365 jours (entier le plus proche). Les Egyptiens adoptèrent ce

calendrier pendant 4000 ans. Cela conduit très vite à un décalage des saisons : au bout de 120 ans, le printemps se trouve en retard d'un mois environ...

e) Le calendrier grec

1) Fonctionnement du calendrier grec : exemple du calendrier athénien

Les règles du calendrier différaient légèrement d'une ville à l'autre. Cependant, l'exemple du calendrier athénien, l'un des plus usités, illustre bien l'organisation du calendrier originel grec, un calendrier purement lunaire.

Le jour (ou nycthémère) : Il commence au coucher du soleil, et est divisé en deux parties inégales car variant au cours de l'année : la partie diurne et la partie nocturne, chacune étant divisée en deux parties mal définies, les Grecs ne connaissant que les heures solaires, dont la durée varie selon les saisons. La première période nocturne dure de " l'heure où l'on allume les lampes " (tombée de la nuit) jusqu'à minuit, et la deuxième dure jusqu'au point du jour. Les deux parties de la période diurne correspondent à notre matin (" l'heure où le marché est empli de monde ") et à notre après-midi (jusqu'au " moment où l'on dételle les bœufs "), et sont séparées par midi précis.

Le mois : Il commence à la nouvelle lune, et comporte soit trente jours (mois pleins), soit vingt-neuf jours (mois caves), pour correspondre à la lunaison. Les Grecs ne se servaient pas de la semaine, les jours étaient regroupés en décades, la troisième décade des mois caves n'ayant que neuf jours. Les jours n'avaient pas de noms ; ceux des deux premières décades étaient comptés dans l'ordre croissant (de un à dix), ceux de la troisième décade étaient généralement comptés dans l'ordre décroissant.

L'année : Elle commence d'abord à la néoménie (nouvelle lune) du solstice d'hiver, puis à celle du solstice d'été. L'année grecque compte douze mois, se succédant en alternance de mois pleins et mois caves. Elle compte donc 354 jours.

Mais ce calendrier ne satisfaisait pas les Grecs, car il se décalait constamment avec les saisons. Ils opérèrent donc de nombreuses améliorations visant à transformer leurs calendriers en un calendrier luni-solaire.

Les différentes améliorations du calendrier :

Première amélioration (600 avant J.C.) : Les Grecs ajoutent un mois plein intercalaire tous les deux ans, l'année de treize mois étant appelée l'année embolismique. Ceci correspond à une année moyenne de : (354 x 2 + 30) / 2 = 369 jours, et un mois moyen de 29,52 jours. Soit une surestimation de l'année tropique de 3,76 jours (ce qui est énorme), et une légère sous-estimation de la lunaison.

Deuxième amélioration (500 avant J.C.) : On ajoute un mois intercalaire tous les trois ans, et l'on obtient une année moyenne de : (354 x 3 + 30) / 3 = 364 jours, et un mois moyen de 29,5135 jours. L'année tropique et la lunaison sont donc sous-estimées respectivement de 1,24 jours et de 24,6 minutes.

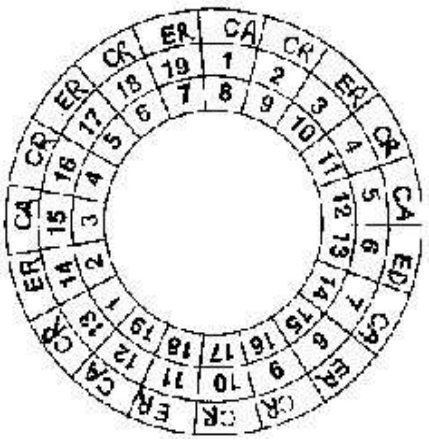
L'octaéride de Cléostrate de Ténédos (450 avant J.C.) : Dans un cycle de huit ans, les troisième, cinquième et huitième années sont embolismiques, et contiennent donc treize mois. L'année tropique moyenne arrive à l'excellente valeur de : (354 x 8 + 3 x 30) / 8 = 365,25 jours. Par contre, l'estimation de la lunaison reste mauvaise (29,5151 jours).

Le cycle de Méton ou ennéadécaétéride (433 avant J.C.) : C'est un cycle de 19 ans de 6940 jours, qui correspond à 235 lunaisons, soit 12 années communes de 12 mois et 7 années embolismiques de 13 mois (12 x 12 + 7 x 13 = 235). Dans ce cycle, 110 mois sont caves et 125 sont pleins. Il comporte quatre sortes d'années : en effet, pour une année de 12 mois, la

durée moyenne de 12 lunaisons est 354,367056 jours. Les Grecs instaurèrent donc deux années différentes : régulières (de 354 jours), et abondantes (de 355 jours). De même, les années de 13 mois sont soit embolismiques régulières (de 384 jours), soit embolismiques défectives (de 383 jours), la durée moyenne de 13 lunaisons étant de 383,897644 jours.
Le cercle intérieur indique l'emplacement des différentes années embolismiques ou régulières adoptées par les Grecs. Le cercle du milieu indique le rythme suivi par les Juifs, au quatrième siècle de notre ère, qui utilisèrent également des calendriers luni-solaires.
La place de ces différentes années dans le cycle était déterminée pour qu'en fin d'année, l'écart au Soleil soit inférieur à 14,7 jours, c'est-à-dire une demi-lunaison, et l'écart à la lune inférieur à un demi-jour. Nous arrivons à des valeurs moyennes, sur 19 ans, de 29,5319 jours pour une lunaison (6940 / 235) et de 365,2631579 jours pour l'année tropique (6940 / 19). Ceci constitue une amélioration sensible, surtout pour l'approximation de la lunaison.

TABLEAU XI-2 — Répartition des 19 années

Nombre d'années	*Durée*	*Total*
CA : 5	355	1 775
CR : 7	354	2 478
ER : 6	384	2 304
ED : 1	383	383
		6 940



Le cycle de Callipe (330 avant J.C.) : Ce cycle est constitué de quatre cycles de Méton (il dure donc 76 ans) auxquels on retranche un jour. On obtient ainsi une année tropique moyenne de : (6940 x 4 - 1) / 76 = 365,25 jours, et une lunaison moyenne de (6940 x 4 - 1) / (235 x 4) = 29,5308 jours, qui sont de très bonnes valeurs.

Le cycle d'Hipparque (130 avant J.C.) : Hipparque veut améliorer le cycle de Callipe en retranchant un jour tous les 304 ans, soit tous les quatre cycles de Callipe. Les valeurs moyennes ainsi obtenues sont : ((6940 x 4 - 1) x 4 x 1) / 304 = 365,246528 jours pour l'année tropique (soit une surestimation de six minutes), et ((6940 x 4 - 1) x 4 - 1) / (235´ 16) = 29,530579 jours pour la lunaison, soit seulement une seconde d'écart avec la lunaison réelle.

f) Le calendrier Juif

Le calendrier juif est composé de plusieurs éléments:
La journée : elle comprend le jour et la nuit qui le précède. Elle ne s'étend pas de minuit à minuit, mais commence à la tombée de la nuit, jusqu'au soir suivant.
La semaine est le groupe de sept jours qui se termine par le Shabat (du vendredi soir au samedi soir). Le premier jour de la semaine correspond au dimanche (commençant le samedi soir, après Shabat).
Le Shabat est le septième jour de la semaine. C'est le jour où H'' s'est reposé après avoir créé le monde en six jours.
Le mois est lié à la rotation de la Lune autour de la Terre. C'est la période qui s'étend entre deux nouvelles lunes consécutives.
L'année est un ensemble de mois lunaires. Mais le rituel juif suit aussi le rythme des saisons. L'année juive est donc une combinaison luni-solaire.

g) Le calendrier chinois

Les Chinois, réputés pour leur grande patience, se sont ingéniés à préserver l'ambition luni-solaire de tous les peuples primitifs. L'essentiel du calendrier chinois actuel avait été élaboré et mis en service voici plus de 5.000 ans. Des modifications y ont été apportées par la suite, mais il ne s'agit que des raffinements.

Le calendrier chinois, destiné à satisfaire à la double contrainte solaire et lunaire, comprend deux parties distinctes mais solidaires par un lien souple et parfaitement scientifique.

La partie solaire, matérialisée par le cycle des saisons (année tropique), sert d'étalon. La partie lunaire, matérialisée par la succession des lunaisons, est extensible afin de pouvoir s'adapter à l'autre partie.

Voici les trois principes fondamentaux de ce calendrier :

Le premier jour de tout mois doit contenir une nouvelle lune. Il faut plus de mois longs que de mois courts (environ 53 contre 47) pour arriver à toujours maintenir la nouvelle lune dans le premier jour de chaque mois. Les termes lunaisons et mois sont donc parfaitement interchangeables.

Le solstice d'hiver doit toujours avoir lieu dans l'avant-dernier mois de l'année civile.

Une lunaison doit être ajoutée à l'année civile en temps voulu pour combler le décalage entre les deux parties du calendrier. L'année chinoise ordinaire comprend 12 mois dont 6 longs (exceptionnellement 7), et dure 354 jours (exceptionnellement 355 jours). Cette durée est plus courte que l'année tropique d'environ 11 jours. Le début de l'année civile avancerait donc d'un mois après chaque période d'environ 33 mois, et le solstice d'hiver se trouverait dans le dernier mois de l'année si l'on n'avait pas ajouté un mois à l'année civile en cours. On doit donc procéder à l'ajout d'un mois afin que le solstice d'hiver se retrouve dans l'avant-dernier mois de l'année civile. L'année à 13 mois est qualifiée d'embolismique et a 383 ou 384 jours (exceptionnellement 385 jours).

L'idée d'inclure un treizième mois de temps à autre n'est pas à vrai dire exclusivement chinoise, car les Chaldéens et les Hébreux le faisaient aussi. Mais pour ces derniers, il s'agissait toujours d'une décision administrative prise coup par coup après constatation d'un important décalage entre l'année civile et l'année tropique. La grande originalité des Chinois est de baser l'introduction du treizième mois sur un principe élégant, efficace et scientifiquement inattaquable.

h) Le calendrier Julien

Au moment où César arriva au pouvoir à Rome, le calendrier était dans la confusion la plus complète. Le calendrier romain, ayant été sujet à de multiples modifications des souverains pontifes qui abusaient bien souvent de leur droit de décider de la durée de l'année, une réforme se révélait être des plus nécessaire pour réajuster le calendrier avec le cycle des saisons.

En 46 avant notre ère, Jules César fit appel à un astronome d'Alexandrie, Sosigène, qui proposa de réformer le calendrier pour tout l'Empire. Il fut décrété que le calendrier romain serait désormais solaire et non plus lunaire. Jules César décida que le nouvel an tomberait le 1er janvier. Ce calendrier reçu le qualificatif de julien en l'honneur de l'empereur. Ainsi fut introduit le calendrier julien, en remplacement du calendrier romain.

Le calendrier julien comprend trois années communes de 365 jours, suivies d'une année bissextile de 366 jours, dans laquelle le mois de février est de 29 jours. La durée moyenne de l'année julienne (365 jours et 6 heures) est une approximation médiocre de l'année tropique (365 jours 5 heures 48 min 45,97 sec) ce qui a conduit à son remplacement.

Le calendrier julien est parfois utilisé, par les historiens, pour des dates antérieures à sa création, il s'agit alors d'un calendrier fictif ayant les mêmes règles de construction.

i) Le calendrier Grégorien

Au XVI^{ème} siècle, le calendrier julien qui était resté en vigueur avait un décalage de 10 jours sur le cycle du soleil Le pape Grégoire XIII décida de faire appel à des astronomes pour enrayer cette dérive : il s'agissait de supprimer 3 jours tous les 400 ans. Les années continuèrent à être bissextiles tous les 4 ans (celles dont les deux derniers chiffres forment un nombre divisible par 4) mais les années séculaires, qui étaient toutes bissextiles jusqu'alors, ne le seraient plus désormais que si les deux premiers chiffres forment un nombre divisible par 4. Cela donne une durée moyenne de 365,2425 jours (365 jours 5 heures 49 min 54 sec).

Cette réforme fut mise en place de la manière suivante : à Rome, le lendemain du jeudi 4 octobre 1582 fut le vendredi 15 octobre 1582, afin de supprimer les 10 jours d'avance du calendrier au moment de l'équinoxe.

La réforme fut adoptée à des moments différents par les états européens, suivant leurs religions et leurs réticences populaires aux modifications du calendrier en usage : rapidement par les états catholiques, en 1700 par les états protestants, en 1752 par l'Angleterre, en 1923 par les états orthodoxes. En France, le 20 décembre 1582 succéda au 9 décembre ; en Angleterre, le 2 septembre 1752 fut suivi du 14 septembre. Le calendrier grégorien a été adopté par le Japon en 1873, la Chine en 1911, la Russie en 1918, la Roumanie en 1919, la Grèce en 1923 et la Turquie en 1926.

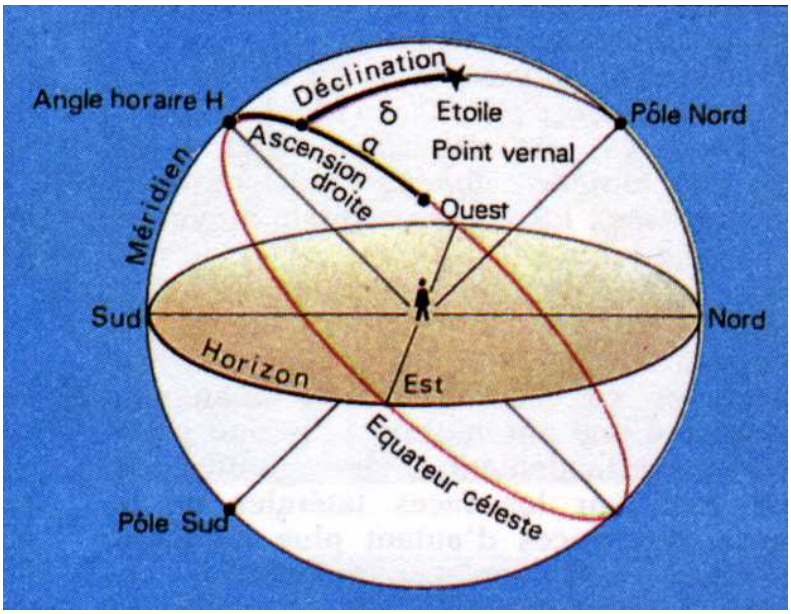
Actuellement, c'est toujours la réforme grégorienne qui est en usage en France et dans la plupart des pays du monde.

III. Les différents temps astronomiques

Les observations astronomiques ont été à base de la définition de l'unité de temps jusqu'en 1967. Si aujourd'hui la seconde est définie comme la durée de 9.192.631.770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de Césium 133, les anciennes définitions permettent d'étudier le mouvement de la Terre dans l'espace.

a) Quelques définitions

On appelle *écliptique* le grand cercle de la sphère céleste parcouru par le Soleil dans son mouvement apparent autour de la Terre. Le *point vernal,* ou *point* γ, est le point d'intersection de l'équateur céleste et de l'écliptique que le Soleil franchit en traversant l'équateur céleste du sud au nord : le passage a lieu vers le 21 mars *(équinoxe de printemps).* L'autre point équinoxial, diamétralement opposé au précédent, est traversé du nord au sud vers le 23 septembre *(équinoxe de l'automne).*Ces équinoxes sont considérés pour l'hémisphère nord de la Terre.



Coordonnées horaires et équatoriales

On appelle *cercle horaire* le grand cercle passant par les pôles célestes et l'astre, et *cercle parallèle* le cercle passant par l'astre et parallèle à l'équateur. La *déclinaison* δ, comptée le long du cercle horaire, est l'angle de l'équateur céleste avec la direction de l'astre. Positive pour l'hémisphère nord, négative pour l'hémisphère sud, elle varie de 0° sur l'équateur à ± 90° pour les pôles.

L'angle horaire, H, est l'angle formé par le méridien de l'observateur et le cercle horaire. Il est compté dans le sens rétrograde et exprimé généralement en unités de temps.

L'ascension droite a, qui se compte sur l'équateur céleste, est l'angle compris entre le méridien passant par le point vernal et le cercle horaire. Il se compte dans le sens direct et s'exprime en heures de 0 à 24. L'ascension droite d'un astre est égale à la différence entre le temps sidéral (angle horaire du point vernal) et l'angle horaire.

b) L'année

L'année tropique est l'intervalle de temps (365 j 5 h 48 min 46 s) entre deux passages du Soleil par le point vernal.

L'année sidérale est le temps que met le Soleil à venir occuper un même point par rapport aux étoiles : 365 j 6 h 09 min 10 s

L'année anomalistique est définie comme l'intervalle de temps entre deux passages de la Terre au périhélie de l'orbite, elle dure 365 j 6 h 13 min 53 s

c) Le jour sidéral

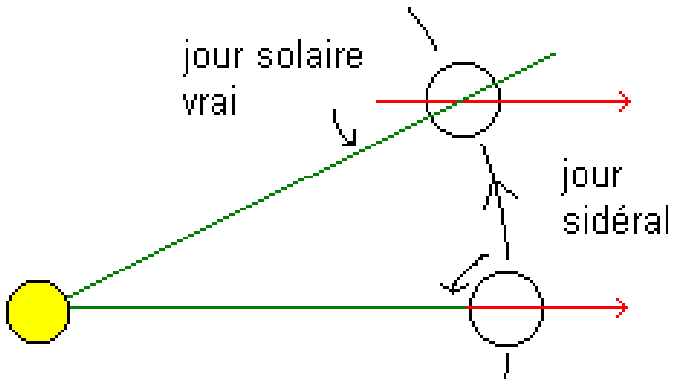
Le *jour sidéral* est 1'intervalle de temps séparant deux passages consécutifs du point vernal (ou d'une étoile, si l'on néglige la précession) au méridien d'un lieu (86164 s). Le *temps sidéral T* est l'angle horaire du point vernal.

Pour une étoile d'ascension droite α et d'angle horaire H à un instant donné on a donc :

T = H + α, formule de base permettant de calculer le temps sidéral en connaissant l'ascension droite d'une étoile, et vice versa. Lors de l'observation d'un passage au méridien, H est nul et l'on a T = a.

d) Le jour solaire vrai

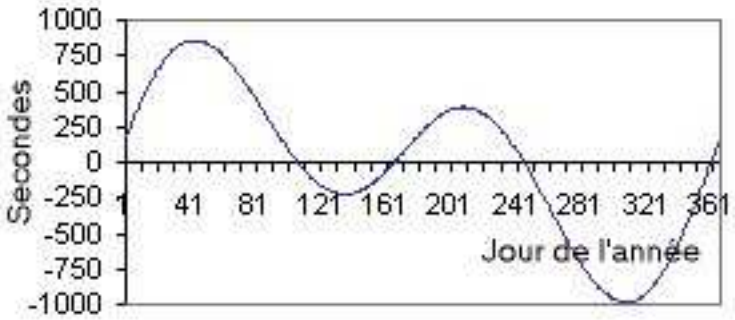
Le *jour solaire vrai* est la durée qui sépare deux passages consécutifs du Soleil au méridien (86400 s). Jour sidéral et jour solaire diffèrent en raison du mouvement orbital de la Terre autour du Soleil : la Terre s'étant, en un jour, déplacée sur son orbite, la direction du Soleil a changé par rapport à celle d'une étoile fixe. En supposant que point vernal et Soleil culminent simultanément, par exemple aujourd'hui, le point vernal passera demain un peu plus tôt au méridien en raison de la marche du Soleil vers l'est d'un peu moins de 1° en moyenne, par jour, dans le plan de l'écliptique. Cela correspond, en moyenne, à 3 min 56 s, excès de la durée du jour solaire sur le jour sidéral.



e) Le temps solaire moyen

La course apparente du Soleil s'accomplit à vitesse variable en raison de l'excentricité de l'orbite terrestre et en raison également du fait que l'orbite terrestre ne coïncide pas avec le plan équatorial. Le jour solaire vrai a donc une durée variable, et pour lever cet inconvénient on a été amené à définir un *jour solaire moyen :* durée séparant deux passages consécutifs, au méridien, d'un *Soleil moyen,* fictif, supposé se déplacer à vitesse constante sur l'équateur céleste, et non sur l'écliptique. Le *temps solaire moyen* est l'angle horaire du Soleil moyen.

On appelle *équation du temps* la différence entre temps solaires vrai et moyen. Le diagramme suivant donne la variation de l'équation du temps en une année, ainsi que la correction qu'il faut apporter au temps solaire vrai (qu'indiquerait un cadran solaire) pour obtenir le temps solaire moyen.



Equation du temps

.

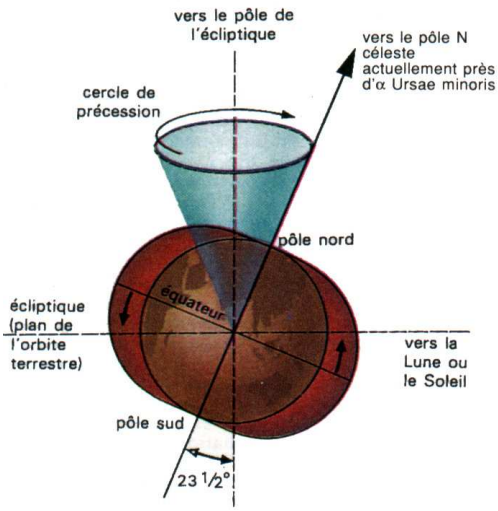
f) Les mouvements de la Terre

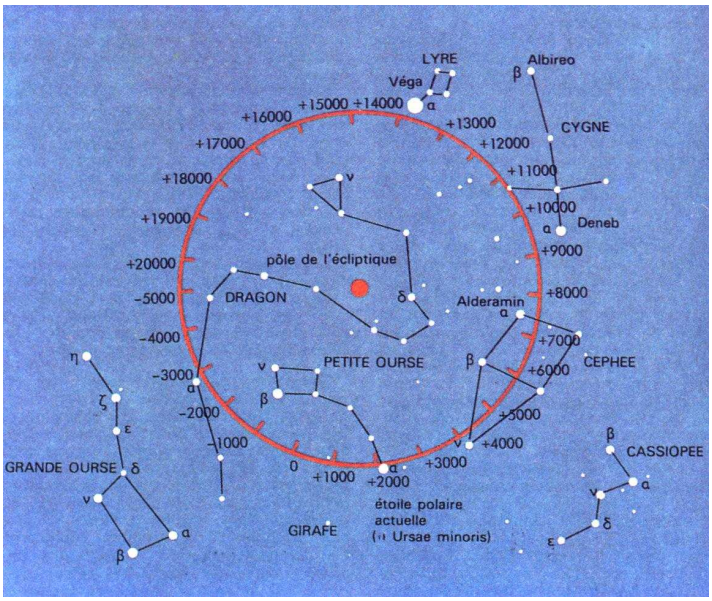
1) La précession

La différence entre les années synodique et tropique vient du phénomène de la *précession*. La précession représente le déplacement de 50’’26 d’arc par an, dans le sens rétrograde, du point vernal sur l’équateur céleste. La période de ce mouvement est de 25 796 ans.

La précession résulte d’un double phénomène : l’existence d’un renflement équatorial et l’inclinaison de l’équateur sur l’écliptique. Comme la Terre n’est pas sphérique (le diamètre équatorial est plus grand d’environ 21km que le diamètre polaire), l’action différentielle exercée par la Lune et le Soleil sur les parties les plus proche et les plus lointaines du bourrelet équatorial soumet la Terre à un couple qui tend à ramener le bourrelet vers le plan de l’écliptique. C’est l’action de ce couple qui entraîne la précession de l’axe terrestre autour de la droite passant par le centre de la Terre et le pôle de l’écliptique.

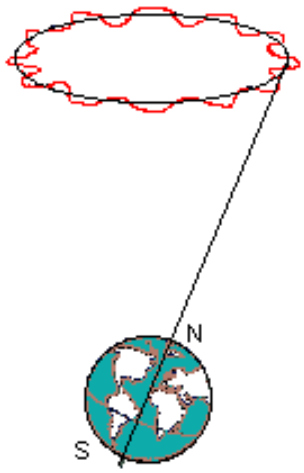
La Terre se comporte alors une toupie et son axe de rotation décrit un cône dont le demi-angle au sommet est égal à 23°27’. Cette oscillation à pour conséquence que la Terre ne pointe pas toujours dans la même direction. Dans 13000 ans, l’étoile Véga de la Lyre sera notre étoile polaire.

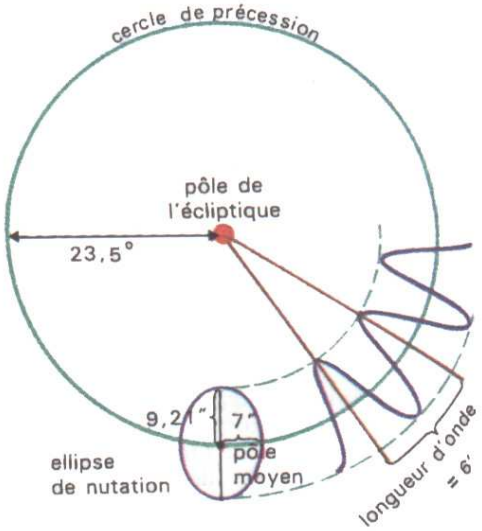




2) La nutation

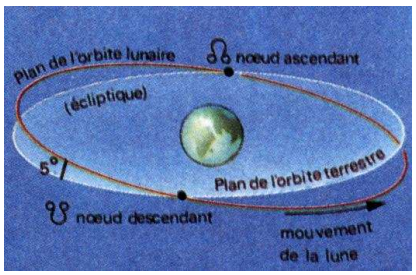
La nutation est l'oscillation périodique de l'axe de rotation de la Terre, de part et d'autre de la position d'équilibre correspondant au cercle de précession.





Le phénomène résulte de la précession du plan de l'orbite de la Lune : l'influence de la Lune n'est pas toujours également forte : elle est minimale lorsque la distance angulaire entre la Lune et l'équateur est la plus petite (passage de la Lune au nœud ascendant), elle est maximale quand cette distance est la plus grande (nœud descendant).

Le cycle dure 18,61 ans (durée de parcours de la ligne des nœuds = période de précession du plan de l'orbite lunaire). L'amplitude maximale étant de 9,21 secondes d'arc.



3) Les variations de la vitesse de rotation de la Terre

✓ La Terre est soumise aux effets de marée de la Lune (et du Soleil), les frottements créés ont pour conséquence de ralentir la rotation de la Terre (et d'éloigner la Lune par conservation du moment cinétique) et donc d'augmenter la durée du jour.

✓ Elle subit des variations saisonnières, qui la font ralentir de quelques centièmes de secondes en mai et accélérer d'autant en octobre

✓ Elle subit des fluctuations irrégulières et imprévisibles, qui ne peuvent être connues qu'après coup, en suivant constamment les irrégularités du mouvement de la Lune, très sensible aux moindres variations du mouvement de la Terre.

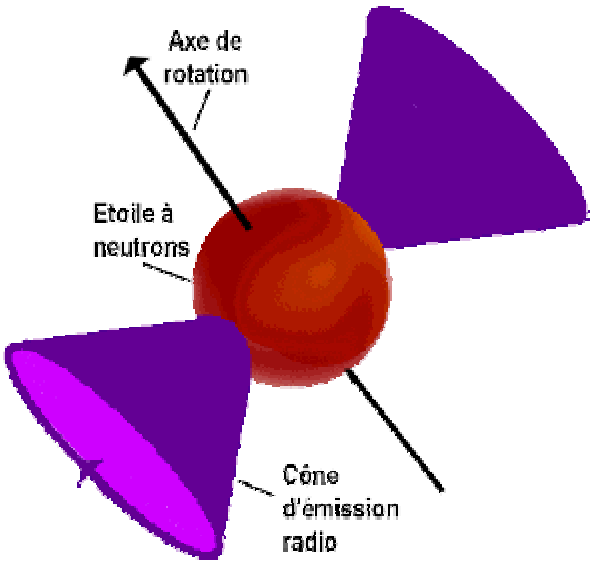
✓ Elle reste influencée par le fait que l'axe de rotation fluctue légèrement par rapport à la Terre elle-même (phénomène de la variation des latitudes).

IV. De nouvelles horloges astronomiques : les pulsars

a) Qu'est-ce qu'un pulsar ?

Le premier pulsar (PSR1919 + 21) a été découvert par hasard en 1967 par Jocelyn Bell-Burnell, une étudiante britannique, et Anthony Hewish, son directeur de thèse, alors qu'ils étudiaient les sources célestes radio. On a recensé aujourd'hui plus de 600 pulsars dans notre Galaxie. Le terme « pulsar » provient de la contraction de mots anglais : pulsating (pulsante) et star (étoile). Un pulsar est une étoile à neutrons en rapide rotation sur elle-même et émettant des ondes radio à intervalles réguliers.

Une étoile à neutrons naît des vestiges d'une supernova, c'est-à-dire de l'explosion d'une étoile supermassive. Après l'explosion, le cœur résiduel de l'étoile se contracte pour devenir extrêmement dense. Il peut contenir la masse du Soleil confinée à l'intérieur d'une sphère de 10 kilomètres de rayon, soit 70 000 fois plus petit que celui du Soleil! Au cours de ce processus de contraction, les protons et les électrons qui forment la matière de l'étoile se combinent pour se transformer en neutrons. Le cœur stellaire est alors constitué essentiellement de neutrons, d'où le nom d'étoile à neutrons. Si elle a une masse suffisante, une étoile à neutrons peut continuer à se contracter et se transformer en trou noir.



Lors de l'explosion, l'étoile conserve son énergie cinétique de rotation et son énergie magnétique. Les pulsars présentent donc une très grande vitesse de rotation : ils tournent sur eux-mêmes à une cadence variant entre 640 tours par seconde pour les plus rapides, et un quart de tour par seconde, pour les plus lents. Les pulsars ont une régularité remarquable, au point qu'on peut les considérer comme l'une des meilleures horloges naturelles.

Les pulsars se comportent comme de gigantesques dynamos. La rotation de leur champ magnétique engendre de puissants champs électriques, de l'ordre 10^{12} volts. Ces champs arrachent des particules aux calottes polaires de l'étoile. Ces particules sont accélérées par le champ magnétique et émettent deux intenses faisceaux de rayonnement radio en forme de cône. Si l'un des faisceaux est orienté en direction de la Terre, il peut être détecter par un radiotélescope, comme une suite de pulsations régulières. Le signal augmente et diminue, un peu comme si l'on observait un phare.

b) De nouvelles horloges ?

À la fin des années 80, après avoir étudié les impulsions reçues par le premier pulsar milliseconde identifié (PSR 1937+21, découvert en 1982), il est apparu que ces astres présentaient les caractéristiques de stabilité nécessaires pour pouvoir constituer une nouvelle échelle de temps astronomique, peut-être plus stable que le TAI (temps atomique international).
À cause du très faible rapport signal sur bruit des observations de pulsars millisecondes, leur stabilité à court terme est très médiocre. Par exemple, dans le cas de PSR 1937+21, dont la période vaut 1,6 ms, on ne peut dater ses impulsions qu'avec une précision de l'ordre de 0,5 μs, soit une stabilité à court terme de 3.10^{-4} seulement.

Par contre, leur stabilité à long terme est excellente puisque, toujours dans le cas de PSR 1937+21, on n'a pas perdu le compte des impulsions qu'il a envoyé depuis le moment où il a été découvert. Malheureusement, la cosmologie prévoit que l'univers est baigné par un bruit d'ondes gravitationnelles, qui serait un « écho » du Big Bang. L'effet de ce bruit d'ondes gravitationnelles serait de faire fluctuer aléatoirement la métrique de l'espace-temps de l'univers. Tout se passerait donc comme si la distance entre un pulsar et nous variait de manière aléatoire, induisant des avances ou des retards dans la réception des impulsions. Les théoriciens ont calculé que cet effet serait très lent, et qu'on ne pourrait le détecter que sur des temps très longs (l'effet serait maximal pour une durée égale au temps mis par la lumière pour aller du pulsar jusqu'à nous, soit 15000 ans dans le cas de PSR 1937+21). Cet effet pourrait donc limiter la stabilité à très long terme des pulsars millisecondes.

L'observation des phénomènes astronomiques a longtemps servi à définir l'unité de temps. Avec l'avènement des horloges atomiques, ces observations ont aujourd'hui pour but d'étudier les perturbations du mouvement de la Terre dans l'espace. Depuis l'ère atomique nous pouvons contrôler la mesure du temps avec une grande précision et ainsi ajuster les petites différences de temps causées par ces perturbations.

Il n'en demeure pas moins que les calendriers actuels sont toujours défini par le mouvement de la Terre et notre perception du temps reste intimement liée aux cycles astronomiques. En outre si la stabilité des pulsars est confirmée, la définition de la seconde pourrait redevenir astronomique.

Références :

- Bibliographie

- ✓ Encyclopédie Universalis
- ✓ Atlas de l'astronomie (Encyclopédie d'aujourd'hui)
- ✓ Astronomie (éditions Mir)
- ✓ Dictionnaire de l'Astronomie (Larousse)

- ✓ F. Taris : Thèse de Doctorat de l'Observatoire de Paris en Astronomie fondamentale, Mécanique céleste et Géodésie. Pulsars millisecondes et métrologie du temps, Novembre 1996
- ✓ Recherche internet :principalement le site de l’observatoire de Genève

- Visite de l’observatoire de Paris