

Chapitre 5 : l'horloge luni-solaire du Père Bonfa, au lycée Stendhal de Grenoble

Le lycée international Stendhal (*1*), autrefois collège des jésuites de la rue Neuve de Bonne, est justement réputé pour l'extraordinaire cadran solaire à réflexion qu'y peignit, en 1672/1673, le père Jean Bonfa, s. j. Ce savant jésuite, né à Nîmes en 1638, fit ses études et son noviciat à Avignon, puis y enseigna la théologie et les mathématiques. Il put y rencontrer l'illustre jésuite Athanasius Kircher, (Geisa près de Fulda, 1601- Rome, 1680) ou, tout au moins, en subit l'influence, car Kircher enseigna aussi à Avignon et peignit, dans le collège des jésuites de cette ville, un cadran à réflexion, malheureusement très dégradé. En 1686, le père Bonfa devint probablement directeur de l'Ecole d'Hydrographie des Galères de Marseille, fondée par Colbert. Il mourut à Avignon en 1724.

A Grenoble, en seulement deux années scolaires, (*2*) il couvrit de peintures gnomoniques les quatre murs et les deux plafonds de l'escalier central, soit une surface supérieure à cent mètres carrés. Une brochure consacrée à cette œuvre a été éditée par le Foyer du Lycée Stendhal, en juin 1984, chez Arthaud. Trois élèves l'ont rédigée sous l'impulsion et avec l'aide de Madame Catherine Becquaert, professeur agrégée de mathématiques au lycée. Il s'agit de Mesdemoiselles : Nathalie Jaulin, Christine Schaerer, Natacha Vallon.

Ces trois auteurs ont également bénéficié d'aides et de soutiens, cités avec gratitude. Depuis cette date, une restauration est intervenue, mais nous nous référerons toujours à la brochure de 1984, apparemment non rééditée. Nous y renvoyons notre lecteur puisque nous n'avons pour dessein, ici, que d'étudier une seule des peintures, l'horloge luni-solaire qui occupe la quasi-totalité du mur, côté gauche, le long de la première volée de marches. On trouve aussi des présentations intéressantes sur internet.

Mais il faut savoir qu'un travail particulièrement brillant et exhaustif, référence majeure en la matière, avait déjà été donné de l'œuvre du père Bonfa ; il s'agit de :

J. de Rey Pailhade ; A. Rome ; Auguste Favot

‘ Le Cadran solaire du Lycée de Jeunes filles de Grenoble ’

in ‘ Bulletin de la Société scientifique de l'Isère : pp .213 à 310 plus planches
Quatrième série. Tome XV. 1921.

Il constitue bien souvent la source de notre présente note, en particulier par son chapitre X.

1°) Heure du Soleil et heure de la Lune.

Chaque mois, pendant les deux semaines qui encadrent la Pleine Lune, il n'est pas rare de voir, sur un cadran solaire, l'ombre produite par la lumière de la Lune (*3*). Cette ombre procure, pour la Lune, les mêmes renseignements que procure une ombre produite par le Soleil, selon les systèmes de coordonnées tracés sur le cadran : angle horaire et déclinaison ; azimut et hauteur. On connaît même des cadrans où figurent les courbes des déclinaisons extrêmes de la Lune, en deçà et au-delà des courbes solsticiales du Soleil, à + et - 28°, 6 voire à + et - 29°. D'où l'idée de convertir l'heure lunaire en heure solaire, par divers procédés : tables, graphiques et même cadrans solaires avec tracés d'heures lunaires superposés. La difficulté, insoluble, à vrai dire, tient aux irrégularités des mouvements de la Lune, singulièrement aux longueurs variables de la lunaison ou révolution synodique.

Une lunaison débute à l'instant précis de la conjonction, quand le Soleil et la Lune ont même angle horaire : c'est la Nouvelle Lune. Cette lunaison se termine à la conjonction suivante ; entre les deux conjonctions on aura pu observer le Premier Quartier, la Pleine Lune (opposition), le Dernier Quartier. On constate qu'au cours d'une quelconque lunaison, la Lune a pris un retard de 24 heures (solaires, moyennes) sur le Soleil. Vus de la Terre, les deux astres sont partis ensemble pour tourner autour d'elle et se retrouvent de nouveau, dead heat, à la conjonction suivante, mais la Lune a perdu un tour, comme on voit entre pistards, sur les vélodromes. Convertir l'heure de la Lune en heure du Soleil consiste donc à lui ajouter, à tout moment, une quantité égale au nombre de jours écoulés, depuis la dernière Nouvelle Lune, multiplié par le retard quotidien de la Lune. Ce nombre de jours, éventuellement avec fraction, s'appelle l'âge de la Lune.

Voici, rapportées par Jean Meeus (*4*), les valeurs mises en évidence par l'analyse de toutes les lunaisons, de 1900 jusqu'à 2100 :

Lunaison maximale : 29 jours, 19 heures, 55 minutes

Soit : 29,82986 jours = retard journalier de la Lune : 48,273777 minutes

Lunaison moyenne : 29 jours, 12 heures, 44 minutes

Soit : 29,530589 jours = retard journalier de la Lune : 48,762996 minutes

Lunaison minimale : 29 jours, 6 heures, 39 minutes

Soit : 29,277 jours = retard journalier de la Lune : 49,185367 minutes

C'est volontairement que nous donnons un nombre superflu de décimales. La lunaison dite « moyenne » n'est pas la moyenne arithmétique entre la maximale et la minimale, mais le quotient des durées par le nombre des lunaisons des deux siècles analysés.

A titre de comparaison, voici d'autres valeurs choisies (ou subies) pour mesurer le retard journalier de la Lune :

Dies completi		Dies completi		H	M	S	T	Dies retrocedendi	
hora	minuta	hora	minuta					hora	minuta
0	14 3/4	0	0	0	0	0	0	1	10 1/4
1	15	0	48	45	48	0	0	2	17 1/4
2	16	1	37	31	36	0	0	3	18
3	17	1	26	17	24	0	0	4	19
4	18	2	15	3	12	0	0	5	20
5	19	2	4	49	0	0	0	6	21
6	20	3	52	39	48	0	0	7	22
7	21	3	41	26	36	0	0	8	23
8	22	4	30	12	24	0	0	9	24
9	23	4	18	52	12	0	0	10	25
10	24	5	7	38	0	0	0	11	26
11	25	5	56	28	48	0	0	12	27
12	26	6	45	14	36	0	0	13	28
13	27	6	33	53	24	0	0	14	29
14 3/4	28 1/2	7	22	41	12	0	0	15	30 1/4
		8	10	29	0	0	0	16	30 1/2

Manuscrit du Père Bonfa

- a) Manuscrit du père Bonfa : 48m.45s.47t. soit: 48,763056 donc extrêmement proche de la moyenne de Jean Meeus.
- b) Tous les cadraniers : 48m. 00s. ce qui implique une lunaison de 30 jours.
- c) Cathédrale Saint-Jean à Lyon : 48,75m. (29, 538461j.) Très bon, surtout pour une Lune mécanique mue par engrenages.
- d) Beffroi de l'Hôtel de Ville de Lyon : 48,813559m. (29,5 j.) Médiocre, pour une autre Lune mécanique.

Ici, une remarque s'impose : le père Bonfa, qui connaissait, ainsi, une excellente valeur de la lunaison moyenne, s'est comporté, sur le mur du lycée, comme tous les cadraniers : il a choisi 48 minutes pendant 30 jours. Cela lui a permis de faire comme si une lunaison se composait rigoureusement de deux demi-lunaisons égales, séparées par la Pleine Lune, chacune valant exactement 15 jours. Ainsi, il a pu superposer le jour 1 au jour 16, le jour 2 au jour 17, etc. Cela sera développé plus loin. Notons simplement ici que 48 se divise sans reste par 2, 3, 4, 6, 8, 12, 24, et procure des heures rondes de 60 minutes si on le multiplie par 5 ou par 10 ou par 15 (demi-lunaison atteinte) ou encore par 20 ou par 25 ou par 30, soit 6 jours d'une lunaison outre les premier et dernier jours.

2°) Principes de construction de l'horloge luni-solaire (images en annexe).

Il est bon de redire que le père Bonfa a considéré une lunaison théorique de 30 jours avec un retard journalier de la Lune de 48 minutes, exactement.

Ainsi, à chaque accroissement de l'angle horaire du Soleil de 15° , correspond un accroissement de l'angle horaire de la Lune de seulement $14,5^\circ$, puisqu'en 24 heures solaires la Lune n'a couvert que 23h. et 12min. soit seulement 348° : différence égale à 12° en 24 heures, soit $0,5^\circ$ par heure.

La solution graphique imaginée par lui (puis simplifiée ensuite), consiste à calculer des successions de points triples où se rencontreront : la marque d'un jour lunaire, la marque d'une heure solaire, la mesure d'un retard de la Lune. Il a donc conçu un dessin où l'âge de la Lune se place sur des cercles concentriques numérotés de 1 à 31 qui délimitent 30 zones circulaires où interpoler, à vue, des fractions de jour lunaire. Du centre de ces cercles, il a ouvert un éventail de 24 lignes d'heures solaires, espacées de 15° . Puis, il a pointé sur les cercles, les heures lunaires, en partant du début du jour 1 (conjonction), où elles coïncident avec les heures solaires, jusqu'à la fin du jour 30 (conjonction suivante). En reliant ces points, qui se placent sur les branches virtuelles d'angles de $14,5^\circ$, il a obtenu 24 spirales hyperboliques, (*5*) que nous disons dextrogyres puisqu'elles tournent à droite, en sens horloge, en partant du jour 1. Naturellement, elles sont aussi sénestrogyres si on les parcourt, depuis le centre de l'horloge, en direction de sa périphérie. Mais, comme l'idée est de manifester un retard de la Lune par rapport à l'heure solaire, il faut visualiser le fait que plus l'âge de la Lune augmente, plus l'heure devient précoce, donc tend vers la gauche. On rappelle que la spirale hyperbolique se caractérise par des successions d'angles au centre égaux, tandis que les rayons vecteurs s'accroissent ou se réduisent selon une progression arithmétique.

Le dessin de cette spirale hyperbolique figure sur l'image Stendhal_1, une fois seulement, pour rester plus lisible. Mais le père Bonfa en a conçu 24, une pour chacune des heures rondes de la journée. Notre image Stendhal_3 montre 48 spirales pour les heures rondes et les demi-heures. Cependant, en réalité, le père Bonfa n'a tracé aucune ligne d'heure ronde; il a installé une grande aiguille, pivotant sur le centre de l'horloge, qu'une simple manœuvre, du bout des doigts, place sur une graduation horaire virtuelle, aussi finement choisie qu'on le désire. Sur le pourtour de l'horloge figurent simplement les chiffres des heures, en VI – XII – VI, rouges le matin et noirs l'après-midi; de courtes pointes de flèches y repèrent aussi les points d'arrivée des lignes horaires non tracées.

Bien entendu, on peut aussi concevoir la démarche symétrique : considérer l'heure solaire et en déduire l'heure lunaire. La spirale devient alors sénestrogyre comme sur les images Stendhal_2 et Stendhal_4. Sur cette dernière nous avons même tracé les deux types de spirales superposées : dorées (sénestrogyres) et vertes (dextrogyres).

L'image Stendhal_5 montre en définitive l'horloge complète, telle que l'a conçue, en esprit, le père Bonfa, avec 31 cercles journaliers et 360° d'angle horaire. Dans cette conception idéalisée de l'horloge les lignes horaires sont

numérotées sur le pourtour du grand cercle extérieur, en VI – XII – VI (deux fois) ou en XII – XXIV – XII ou selon les deux systèmes et, pour une bonne lisibilité, elles sont encore numérotées à leur arrivée près du centre, autour du cercle journalier 30. Tous les cercles (sauf le 31^{ème}) sont numérotés.

La manœuvre d'une telle horloge serait de la plus extrême simplicité : n'importe quelle spirale parcourant les 360° d'angle horaire et coupant tous les cercles journaliers procurerait, tous les jours d'une lunaison, l'avance du Soleil sur la Lune ou le retard de la Lune sur le Soleil, donc toutes les conversions d'heure souhaitées. Si, en plus, on superpose 24 spirales sénestrogynes à 24 spirales dextrogynes, on atteint une quasi-perfection de l'instrument.

3°) Les simplifications du père Bonfa.

Mais le père n'a pas peint une telle horloge ! Il l'a divisée deux fois en deux, de telle façon qu'il n'en reste plus que le quart sur le mur du lycée. Il n'y a plus 31 cercles journaliers mais seulement 16 : le jour 1 et le jour 16 sont superposés, ainsi que le jour 2 et le jour 17, etc.

Cela n'est légitime que parce que le père considère qu'une lunaison vaut 30 jours et que l'angle horaire de la Lune retarde de 12 heures à l'instant précis de l'opposition (Pleine Lune). Alors, à condition de numéroté les lignes horaires en deux fois douze, il peut considérer que désormais la Lune de ses calculs ne retarde plus par rapport à la conjonction passée mais avance par rapport à la conjonction future et que cette avance va diminuer pour devenir nulle à l'instant de la prochaine Nouvelle Lune.

Partant, il n'a plus besoin de 360° d'angle horaire ; il peut se contenter de 180° au prix, léger, d'une certaine subtilité dans les raisonnements liés à la manœuvre de l'aiguille, dont nous donnerons un exemple plus loin. Mais, comme il a coupé en deux le réseau des 24 spirales, celles-ci n'existent plus que sous forme de portions de plus en plus petites à mesure qu'on s'éloigne de celle qui va de VI (à droite) à VI (à gauche), tandis que la plus longue ne parcourt plus que 180° d'angle. Il lui faut alors numéroté ces portions de spirales par la valeur de l'heure ronde d'où elles sont issues, même si cette heure ronde, sur le cercle extérieur, est l'une des 12 qui ont été supprimées par le fractionnement de l'horloge ; il l'a fait, en noir pour le matin et en rouge pour l'après-midi, grâce à des chiffres posés sur le diamètre horizontal et sur le demi-cercle bleu qui entoure le pivot de l'aiguille. Il est important pour la compréhension de la manœuvre de l'aiguille, qui sera exposée plus loin, que le lecteur appréhende clairement la succession des chiffres de cette numérotation :

- a) à gauche, sur le diamètre horizontal, en chiffres arabes, nous trouvons, en rouge, de gauche à droite : 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12. Puis, en noir : 1, 2, 3, 4, 5, 6.
- b) toujours à gauche, mais sur le demi-cercle bleu, en noir : 7, 8, 9, 10, 11, le 12 est caché par l'échelle verticale.

c) à droite, sur le demi-cercle bleu, en rouge : 1, 2, 3, 4, 5.

d) à droite toujours, mais sur le diamètre horizontal, en rouge: 6, 5, 4, 3, 2, 1 ; en noir : 12, 11, 10, 9, 8, 7, 6.

Ainsi, sur le diamètre horizontal et sur le petit demi-cercle bleu aboutissent, même en portions minuscules, 18 spirales numérotées deux fois, à chacune de leurs extrémités. Les 12 qui naissent sur le grand cercle de la ronde des heures, sont également numérotées par les chiffres romains de cette ronde. Le résultat final est bien 24 spirales numérotées, chacune, deux fois. $((18*2) + 12)$.

4°) Description de l'horloge.

Nous abandonnons maintenant l'horloge conçue, mentalement, dans toute son extension, et présentée ici uniquement à des fins pédagogiques, pour en venir à la description de l'horloge réellement tracée, après toutes les simplifications énumérées.

En dessous d'un diamètre horizontal dont la longueur est égale à la profondeur de 10 marches d'escalier, soit quelque 3,5 mètres, se déroulent 17 demi-cercles concentriques et équidistants qui bornent 16 zones colorées, de la plus extérieure à la plus centrale, en rouge, vert, rouge, bleu, rouge, vert, rouge, bleu, etc. Le rouge apparaît ainsi 8 fois, le vert 4 fois et le bleu 4 fois également. (15 zones auraient suffi, avec 16 demi-cercles).

Une mince échelle verticale coupe le dessin en deux moitiés et porte une numérotation relative aux cercles eux-mêmes, en tant qu'ils bornent les zones colorées : le premier cercle est numéroté 1-16 ; puis, en montant l'échelle, on lit : 2-17, 3-18, 4-19, etc., jusqu'à 15-30 entre la dernière zone verte et la dernière zone rouge. L'échelle est sommée d'une explication : DIES INEVNTES LVNAE soit : jours lunaires commençant, c'est-à-dire âges de la Lune. On connaît par là que les zones colorées représentent toute l'étendue d'un jour déterminé, qui s'achève, évidemment, sur le cercle supérieur où commence le jour suivant. Le père Bonfa a ainsi voulu représenter les 30 jours d'une lunaison théorique en seulement 16 zones colorées, ce qui implique que la zone rouge la plus centrale représente le jour 15, d'abord commençant, puis se terminant ; et également le jour 30, d'abord commençant puis se terminant. Dans les deux cas, on fait retour au premier cercle qui correspond au jour 16 commençant et au jour 1 commençant. Seule, donc, la petite zone demi-circulaire bleue, près du centre, est inutile. L'horloge est ainsi une double division par deux de l'abaque complètement développé ; celui-ci devrait, d'abord, présenter 31 cercles-frontières pour les 30 jours de la Lune et, aussi, tracer, justement, des cercles complets pour pouvoir y installer les 24 fois 15° du jour solaire. Cette disparition des trois quarts de l'horloge idéale va compliquer les manœuvres, comme nous le verrons plus loin. Mais le gain de place est considérable et un esprit réfléchi n'a pas trop de mal à s'y retrouver.

Du cercle 1-16, depuis l'emplacement où arriveraient les lignes horaires d'heures rondes, s'élèvent 12 portions des spirales hyperboliques rouges qui coupent les cercles journaliers à l'heure lunaire qui correspond, de jour en jour, à l'heure de départ, le jour de la conjonction, lorsque heure solaire et heure lunaire coïncident. Suivre une spirale procure donc, de jour en jour, la rétrogradation de la Lune par rapport au Soleil. Les spirales sont numérotées à leur arrivée sur le diamètre horizontal ou sur le petit demi-cercle bleu tracé sous le pivot de l'horloge. Par exemple, la spirale née sur XII remonte, sept jours et demi plus tard, jusqu'à l'heure matinale de 6 heures : en 7,5 jours la Lune a bien perdu : $7.5 * 48 \text{ m.} = 360 \text{ m.} = 6 \text{ heures}$. Sa numérotation est rouge : c'est 6 heures du matin. En outre, sur le diamètre horizontal et sur le petit demi-cercle bleu arrivent aussi les 12 portions des spirales nées, virtuellement sur la moitié supprimée du grand cercle extérieur.

Des inscriptions expliquent le fonctionnement de l'horloge :

1°) circulairement, autour de la circonférence majeure de la peinture, se lisent :

MANE RVBRAS HORAS NVMERES

Soit : le matin tu compteras les heures en rouge

HORAE LVNARES

Soit : heures lunaires

ET VESPERE NIGRAS

Soit : et le soir {tu les compteras} en noir

2°) entre le cercle 1-16 et les gros chiffres romains des heures, se lit :

HORAE SOLARES

Soit : heures solaires

3°) au dessus du diamètre horizontal, se lit :

HOROLOG' NOV~ IN QVO LVNAE PER SOLEM, SOLIS PER
LVNAM LOCVS ET PER VTRVMQ~ DIES LVNAE AC HORAE
TOTI ORBIS COGNOSCVT~

Soit : Horloge nouvelle par laquelle on connaît la position de la Lune au moyen de celle du Soleil ; la position du Soleil au moyen de celle de la Lune ; et au moyen de l'une et de l'autre les jours (âges) de la Lune et les heures du monde entier.

N.B : les heures du monde entier ne s'obtiennent que par la consultation simultanée de l'horloge universelle peinte sur le mur de droite qui fait face à celui de l'horloge luni-solaire.

5°) Connaissance de l'âge de la Lune

Si l'on considère l'aspect de la Lune dans le ciel, à mesure que se déroulent ses phases, on ne sera pas à l'abri de sérieuses erreurs. Non seulement il sera difficile d'estimer le jour de la Lune, mais pour déterminer aussi la fraction du jour il faudra se souvenir de l'heure de la dernière conjonction. De

plus, on peut avoir besoin de connaître l'âge, même si la Lune est invisible. C'est pourquoi le père Bonfa a peint sur les murs de son lycée une table des épactes, depuis 1674 jusqu'à 1689, et un « nouveau calendrier civil de la Lune ». En consultant ces deux peintures, même Monsieur Jourdain aurait pu « savoir l'almanach et quand il y a de la Lune et quand il n'y en a pas ». Une banderole donne le mode d'emploi : « ANNVA LVNARI JVNGATVR EPACTA DIEI ; ALTEROQVE OMNES TERDENOS REIICE MENSE ; ET COLLECTA DIEM LVNAE TE SVMMA DOCEBIT » soit : 'Ajoute au jour lunaire (du calendrier civil) l'épacte de l'année ; déduis 30 un mois sur deux ; la somme t'enseignera le jour de la Lune ». En réalité, c'est un peu plus compliqué, mais les élèves du père étaient cultivés ! La brochure du Foyer du lycée Stendhal apporte les précisions voulues. Quant à la table des épactes, le père faisait toute confiance à ses successeurs pour l'actualiser en temps opportun.

Au cours d'une lunaison, les écarts inévitables entre l'âge lunaire de l'horloge et l'âge lunaire réel, s'accroissent inéluctablement. Ils sont 'passés par pertes et profits' au cours du jour 15, lorsqu'on revient sur le cercle extérieur pour y commencer le jour 16 qui débute à l'instant de la Pleine Lune ; il en va de même au cours du dernier jour de la lunaison, lorsqu'on revient sur le cercle extérieur pour commencer le jour 1 de la nouvelle lunaison. Ces écarts manifestent toujours un retard de l'horloge sur la Lune réelle puisque aucune lunaison n'atteint les 30 jours théoriques des cadraniers. Le fichier « BONFABAK », en annexe, mesure l'importance de ces 'déchets'. Il montre aussi que, de toutes les valeurs arbitraires choisies pour définir une lunaison théorique, c'est l'option des 30 jours qui serait la moins mauvaise, mais avec un retard journalier de 49 minutes. Toutefois, cette option interdirait la superposition du jour 1 avec le jour 16, donc imposerait de construire une horloge avec 31 cercles. Cette réactualisation, en cours du jour 15 et du jour 30, qui re-synchronise le décompte avec la réalité céleste, fait qu'il eût été parfaitement inutile de donner à la zone des jours 15 et 30 une largeur moindre que celle des autres zones : n'importe quelle autre largeur, choisie réduite, par perfectionnisme, eût été aussi loin de la vérité que la largeur commune.

6°) Consultation de l'horloge.

Pour l'enchaînement de ces manœuvres, souvent subtiles, nous renvoyons notre lecteur au Bulletin de la Société scientifique de l'Isère, déjà cité. Elles y occupent les pages 272 à 288, constituant tout son chapitre X qu'il n'est pas question de reproduire ici en sa totalité, mais dont la lecture attentive sera indispensable à notre lecteur. Il ne devra pas hésiter, en particulier, à refaire, du bout du doigt, les parcours décrits par les auteurs, à travers cercles journaliers et spirales, à la poursuite de la bonne réponse.

61) Chercher l'heure solaire si l'on connaît l'heure lunaire et l'âge de la

Lune.

611) Lune croissante (jour,1 à jour 15 inclus)

Placer l'aiguille sur l'heure du grand cercle (chiffres romains).

Suivre, en sens anti-horloge, la spirale qui coupe le cercle journalier de la Lune.

Elle aboutit, sur le diamètre ou sur le demi-cercle bleu, à un chiffre arabe. Ce chiffre est celui de l'heure solaire.

Exemple : jour 6, heure III, réponse : heure solaire = VII

En effet l'heure solaire vaut : $3 + (5 \times 48\text{m. soit } 240 = 4\text{h.})$. $\text{III} + 4 = \text{VII}$.

Il y a toujours une intersection. Si le III est du matin le VII est du matin.

Si le III est du soir, le VII est du soir.

612) Lune décroissante (du jour 16 au jour 30 inclus)

Même manœuvre qu'au 611 ci-dessus mais la réponse doit passer du soir au matin ou du matin au soir.

Exemple : jour 21, heure III, réponse : heure solaire VII.

En effet, l'heure solaire vaut : $3 + (20 \times 48\text{m. soit } 960 = 16\text{h.})$ $\text{III} + 16 = \text{XIX}$.

62) Chercher l'heure lunaire si l'on connaît l'heure solaire et l'âge de la Lune.

621) Lune croissante (du jour 1 au jour 16 inclus).

6211) Il y a une intersection entre le cercle journalier de l'âge lunaire et la spirale.

Placer l'aiguille sur l'intersection entre le cercle journalier et la spirale issue du grand cercle extérieur à l'heure solaire connue.

Suivre la spirale en sens horloge.

L'heure lunaire se lit sur le diamètre horizontal.

Exemple : jour 7, heure solaire XII, réponse : heure lunaire 7,2

En effet elle retarde de 6 fois 48m. soit $288\text{m.} = 4\text{h, } 8$

Et $12 - 4,8 = 7,2$.

6212) Il n'y a pas d'intersection.

Exemple : jour 6, heure solaire III matin

La ronde des heures sur le cercle extérieur en chiffres romains ne comporte pas III matin et la courbe 3, sur le diamètre horizontal, ne coupe pas non plus le cercle journalier 6 d'âge de la Lune. Alors : Convertir l'heure matin en heure soir en ajoutant 12 heures, sur le diamètre horizontal.

Ensuite, même manœuvre qu'au 6211 ci-dessus. La réponse est X1/2 du matin qu'on changera en X1/2 du soir par annulation des 12 heures ajoutées.

622) Lune décroissante (du jour 1- au jour 30 inclus)

6221) Il y a une intersection entre le cercle journalier de l'âge lunaire et la spirale.

Même manœuvre qu'au 6211 ci-dessus, mais transformer la réponse en la passant du soir au matin, ou du matin au soir, par l'addition ou la soustraction de 12 heures.

65222) Il n'y a pas d'intersection.

Même manœuvre qu'au 6212 ci-dessus mais la réponse est conservée.

Peut-être, ici, trouvera-t-on regrettable que cette horloge ait été réduite à un demi-disque et ne comporte que 15 cercles journaliers au lieu de 30. Sa présentation pédagogique en est rendue nettement plus difficile mais, en contrepartie, l'élève aura le plaisir de se sentir "initié" à un petit mystère. Et puis, l'espace manquait au père Bonfa !

CONCLUSION

A l'intérieur du grand chef d'œuvre qu'est le cadran du père Bonfa, cette horloge luni-solaire apparaît, elle-même, comme un autre chef d'œuvre. L'ingéniosité apportée par le père pour maîtriser les difficultés qu'engendrait la disparition des trois quarts de l'horloge conçue dans sa totalité inspirera d'autres gnomonistes pour créer de véritables cadrans, et non plus seulement des abaqués, sur lesquels l'ombre du Soleil dira l'heure lunaire sans calculs ni manœuvres tout comme l'ombre de la Lune y montrera l'heure du Soleil. Mais, dans tous les cas, il faudra toujours que le consultant connaisse l'âge de la Lune. Faute d'almanach, il devra lever les yeux au ciel ; tant mieux alors ! il y verra bien d'autres merveilles.

BIBLIOGRAPHIE

Becquaert Catherine

L'horloge solaire du lycée Stendhal 1673. Ed. Arthaud 1984
Avec :Jaulin Nathalie ; Schaerer Christine ; Vallon Natacha

Bonfa Jean s.j.

Tractatus de horologiis. 1702. ms 255. Bibliothèque municipale de Nîmes.

Kircher Athanasius s.j.

Ars magna lucis et umbrae (en B.M)

Meeus Jean

Les durées extrêmes des lunaisons ; in L'Astronomie. Vol : 102
Juillet :Août 1988 ; pp. 288-289

Meeus Jean

Astronomical algorithms. Ed. Willmann-Bell. 1991

Pattenden Philip

The pelican sundial : Corpus Christi college.
Oxford 1980. p:31 sq. et p:46.

Pra (Révérend père):

Les Jésuites à Grenoble Ed.Ch. Amat. 1901.(Archives départementales de
l'Isère)

Rey Pailhade J. de ; Rome A ; Favot A ;

Le cadran solaire du lycée de jeunes filles de Grenoble :in Bulletin de la
Société de Statistique de l'Isère. 1920.4^{ème} série ; tome XV

Rohr René R.J.

Les cadrans solaires Ed. Oberlin. 1986. pl. 32 et fig. 17

Sérane Guy

Astronomie et ordinateur. Ed. Dunod. 1987. p : 132

XXX in Revue « Ingénieur Rhône-Alpes » N° 22 4^{ème} trim.1976

Le cadran solaire monumental du lycée Stendhal à Grenoble

Notes appelées dans le texte :

(*1*) C'est seulement en 1955 que le lycée reçut le nom de plume de son illustre élève, le jeune Henri Beyle.

(*2*) La mesure de cette performance, même si le père Bonfa a été aidé par des élèves ou d'autres professeurs, est donnée dans la brochure de J. de Rey Pailhade, A.Rome et A. Favot, pages 220 à 221, où les auteurs déclarent qu'une année entière de travail de leurs équipes n'a pas suffi pour " examiner tous les détails, passer les hypothèses à une critique sévère et expliquer tout ce qui est tracé ... "

Des restaurations ont été effectuées en 1755, 1855, 1900, 1918 ...

(*3*) Certains auteurs affirment même avoir vu l'ombre de Vénus ou de Jupiter.

(*4*) in L'Astronomie, vol. 102. Juillet / Août 1988 pp.288-289.

Reprise in Astronomical Algorithms. Ed. Willman-Bell. 1991. chap. 47. p. 324.

(*5*) L'étude de J. de Rey Pailhade, A.Rome et A.Favot définit cette courbe, page 273, comme un "limaçon de Pascal". Sur ce point, nous nous séparons de ces auteurs : il nous semble que, aussi bien par son graphisme que par la conception dont elle est issue, cette courbe n'est pas autre chose qu'une spirale hyperbolique. Son rayon vecteur décroît dans la proportion inverse de l'accroissement de son angle au centre, ce qui est la définition même de la spirale hyperbolique. Autrement dit : chaque fois que l'angle (au centre) de l'heure solaire s'accroît de 15° , le rayon de la courbe se réduit de la largeur d'une zone colorée journalière. Et vice versa.

Annexe 1 : écarts entre Lune théorique et Lune réelle

PROGRAMME <BONFABAK>.

CE PROGRAMME SE PROPOSE DE CALCULER LES ECARTS ENTRE L'HEURE LUNAIRE AFFICHEE SUR UN ABAQUE DU GENRE DE CELUI DU PERE BONFA ET L'HEURE LUNAIRE DEDUITE DES DIFFERENTES VALEURS DE LA LUNAISON.

ON RAPPELLE QUE:

1) L'ABAQUE DU PERE BONFA CONSIDERE UNE LUNAISON DE 30 JOURS AVEC UN RETARD JOURNALIER DE LA LUNE SUR LE SOLEIL DE 48 MINUTES.

2) LES VALEURS REELLES DE LA LUNAISON ONT ETE ETABLIES PAR JEAN MEEUS DANS LE N° DE JUILLET-AOUT DE L'ASTRONOMIE p.288.

ELLES VALENT:

LUNAISON MOYENNE:29 JOURS 12 HEURES 44 MINUTES SOIT 42524 MINUTES

LUNAISON MAXIMUM:29 JOURS 19 HEURES 55 MINUTES SOIT 42955 MINUTES

LUNAISON MINIMUM:29 JOURS 6 HEURES 39 MINUTES SOIT 42159 MINUTES

LA LUNE PERD EXACTEMENT 24 HEURES PAR LUNAISON SOIT:

S/MOYENNE : $1440/42524=0.0338632$ min. par minute de temps qui s'écoule

S/MAXIMUM : $1440/42955=0.0335235$ min. par minute de temps qui s'écoule

S/MINIMUM : $1440/42159=0.0341564$ min. par minute de temps qui s'écoule

S/ABAQUE : $1440/43200=0.0333333$ min. par minute de temps qui s'écoule

RAMENEES AU JOUR DE 24 HEURES CES VALEURS DEVIENNENT :

S/MOYENNE : 48.763008 minutes

S/MAXIMUM : 48.27377 minutes

S/MINIMUM : 49.1854 minutes

S/ABAQUES : 48.0 minutes

LE TABLEAU CI-DESSOUS PRESENTE LES ECARTS CUMULATIFS QUI RESULTENT DE L'UTILISATION D'UN ABAQUE DANS LES TROIS CAS OU LA LUNAISON CONSIDEREE EST MOYENNE, MAXI OU MINI.

TABLEAU DES ECARTS ENTRE LES LUNAISON REELLES ET LA LUNAISON-ABAQUE:

LES ECARTS SONT TOUJOURS UN RETARD DE LA LUNAISON-ABAQUE SUR LA LUNAISON REELLE.CES RETARDS SONT EUX-MEMES DES MOYENNES PUISQUE LE MOUVEMENT DE LA LUNE EST IRREGULIER.

ILS SONT DONNES EN MINUTES DECIMALISEES, AU DEBUT DU JOUR LUNAIRE OU DE LA MOITIE DE JOUR LUNAIRE AFFICHE.LE JOUR <1 COMMENCANT> EST L'INSTANT DE LA CONJONCTION.

JOURS DEBUTANTS	RETARDS S/LUMAX	RETARSD S/LUMOY	RETARDS S/LUMIN
1	0	0	0
1.5	.136889	.381504	.592685
2	.273778	.763008	1.18537
2.5	.410667	1.144512	1.778055
3	.547556	1.526016	2.37074
3.5	.684445	1.90752	2.963425
4	.821334	2.289024	3.55611
4.5	.958223	2.670528	4.148795
5	1.095112	3.052032	4.74148
5.5	1.232001	3.433536	5.334165
6	1.36889	3.81504	5.92685
6.5	1.505779	4.196544	6.519535
7	1.642668	4.578048	7.11222
7.5	1.779557	4.959552	7.704905
8	1.916446	5.341056	8.29759
8.5	2.053335	5.72256	8.890275
9	2.190224	6.104064	9.48296
9.5	2.327113	6.485568	10.07564
10	2.464002	6.867072	10.66833
10.5	2.600891	7.248576	11.26102
11	2.73778	7.63008	11.8537
11.5	2.874669	8.011585	12.44639
12	3.011558	8.393088	13.03907
12.5	3.148447	8.774591	13.63176
13	3.285336	9.156096	14.22444
13.5	3.422225	9.537599	14.81712
14	3.559114	9.919104	15.40981
14.5	3.696003	10.30061	16.0025
15	3.832892	10.68211	16.59518
15.5	3.969781	11.06362	17.18786
16	4.10667	11.44512	17.78055
16.5	4.243559	11.82662	18.37323
17	4.380448	12.20813	18.96592
17.5	4.517337	12.58963	19.55861
18	4.654226	12.97114	20.15129
18.5	4.791115	13.35264	20.74398
19	4.928004	13.73414	21.33666
19.5	5.064893	14.11565	21.92935
20	5.201782	14.49715	22.52203
20.5	5.338671	14.87866	23.11471
21	5.47556	15.26016	23.7074
21.5	5.612449	15.64166	24.30009
22	5.749338	16.02317	24.89277
22.5	5.886227	16.40467	25.48546
23	6.023116	16.78618	26.07814
23.5	6.160005	17.16768	26.67083
24	6.296894	17.54918	27.26351
24.5	6.433783	17.93069	27.85619
25	6.570672	18.31219	28.44888
25.5	6.707561	18.6937	29.04157
26	6.84445	19.0752	29.63425
26.5	6.981339	19.4567	30.22694

27	7.118228	19.83821	30.81962
27.5	7.255117	20.21971	31.41231
28	7.392006	20.60122	32.00499
28.5	7.528895	20.98272	32.59768
29	7.665784	21.36422	33.19036
29.5	7.802673	21.74573	33.78304
30	7.939562	22.12723	34.37573

.....

Remarque : Le père Bonfa en superposant les jours 1 et 16 sur son horloge, la remet à l'heure exacte aux instants de la conjonction et de l'opposition.

ANNEXE 2 : Tables de la Lune

CE PROGRAMME PRESENTE UNE TABLE DE CORRESPONDANCE ENTRE L'HEURE LUNAIRE ET L'HEURE SOLAIRE, AU COURS D'UNE LUNAISON ESTIMEE A 30 JOURS AVEC UN RETARD QUOTIDIEN DE LA LUNE DE 48 MINUTES SUR LE SOLEIL.

LES DEUX ASTRES SONT ALIGNES SUR LE MEME ANGLE HORAIRE AU MOMENT DE LA CONJONCTION (NOUVELLE LUNE). APRES 24 HEURES SOLAIRES MOYENNES LA LUNE A PRIS 48 MINUTES DE RETARD.

LES SUBDIVISIONS DU TABLEAU MARQUENT LES JOURS COMMENCANTS DE LA LUNE.

A L'INTERIEUR DE CES JOURS, LES 24 HEURES SONT LES HEURES COMMENCANTES ET NON LES HEURES ACCOMPLIES.

AINSI, LE RETARD A LA 24^{ème} HEURE ACCOMPLIE SE LIT SUR L'HEURE 1 COMMENCANTE DU JOUR SUIVANT.

 H/SOLEIL H/LUNE DECIM. H/LUNE HH.MM RETARD HH.MM
 =====

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE N° 1 : HEURES COMMENCANTES

1	0.000	0.00	0.00
2	0.967	0.58	0.02
3	1.933	1.56	0.04
4	2.900	2.54	0.06
5	3.867	3.52	0.08
6	4.833	4.50	0.10
7	5.800	5.48	0.12
8	6.767	6.46	0.14
9	7.733	7.44	0.16
10	8.700	8.42	0.18
11	9.667	9.40	0.20
12	10.633	10.38	0.22
13	11.600	11.36	0.24
14	12.567	12.34	0.26
15	13.533	13.32	0.28
16	14.500	14.30	0.30
17	15.467	15.28	0.32
18	16.433	16.26	0.34
19	17.400	17.24	0.36
20	18.367	18.22	0.38
21	19.333	19.20	0.40
22	20.300	20.18	0.42
23	21.267	21.16	0.44
24	22.233	22.14	0.46

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE N° 2 : HEURES COMMENCANTES

1	23.200	23.12	0.48
2	24.167	0.10	0.50
3	25.133	1.08	0.52
4	26.100	2.06	0.54
5	27.067	3.04	0.56
6	28.033	4.02	0.58
7	29.000	5.00	1.00
8	29.967	5.58	1.02
9	30.933	6.56	1.04

10	31.900	7.54	1.06
11	32.867	8.52	1.08
12	33.833	9.50	1.10
13	34.800	10.48	1.12
14	35.767	11.46	1.14
15	36.733	12.44	1.16
16	37.700	13.42	1.18
17	38.667	14.40	1.20
18	39.633	15.38	1.22
19	40.600	16.36	1.24
20	41.567	17.34	1.26
21	42.533	18.32	1.28
22	43.500	19.30	1.30
23	44.467	20.28	1.32
24	45.433	21.26	1.34

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 3 :HEURES COMMENCANTES

1	46.400	22.24	1.36
2	47.367	23.22	1.38
3	48.333	0.20	1.40
4	49.300	1.18	1.42
5	50.267	2.16	1.44
6	51.233	3.14	1.46
7	52.200	4.12	1.48
8	53.167	5.10	1.50
9	54.133	6.08	1.52
10	55.100	7.06	1.54
11	56.067	8.04	1.56
12	57.033	9.02	1.58
13	58.000	10.00	2.00
14	58.967	10.58	2.02
15	59.933	11.56	2.04
16	60.900	12.54	2.06
17	61.867	13.52	2.08
18	62.833	14.50	2.10
19	63.800	15.48	2.12
20	64.767	16.46	2.14
21	65.733	17.44	2.16
22	66.700	18.42	2.18
23	67.667	19.40	2.20
24	68.633	20.38	2.22

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 4 :HEURES COMMENCANTES

1	69.600	21.36	2.24
2	70.567	22.34	2.26
3	71.533	23.32	2.28
4	72.500	0.30	2.30
5	73.467	1.28	2.32
6	74.433	2.26	2.34
7	75.400	3.24	2.36
8	76.367	4.22	2.38
9	77.333	5.20	2.40
10	78.300	6.18	2.42
11	79.267	7.16	2.44
12	80.233	8.14	2.46
13	81.200	9.12	2.48
14	82.167	10.10	2.50
15	83.133	11.08	2.52
16	84.100	12.06	2.54
17	85.067	13.04	2.56
18	86.033	14.02	2.58
19	87.000	15.00	3.00

20	87.967	15.58	3.02
21	88.933	16.56	3.04
22	89.900	17.54	3.06
23	90.867	18.52	3.08
24	91.833	19.50	3.10

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 5 :HEURES COMMENCANTES

1	92.800	20.48	3.12
2	93.767	21.46	3.14
3	94.733	22.44	3.16
4	95.700	23.42	3.18
5	96.667	0.40	3.20
6	97.633	1.38	3.22
7	98.600	2.36	3.24
8	99.567	3.34	3.26
9	100.533	4.32	3.28
10	101.500	5.30	3.30
11	102.467	6.28	3.32
12	103.433	7.26	3.34
13	104.400	8.24	3.36
14	105.367	9.22	3.38
15	106.333	10.20	3.40
16	107.300	11.18	3.42
17	108.267	12.16	3.44
18	109.233	13.14	3.46
19	110.200	14.12	3.48
20	111.167	15.10	3.50
21	112.133	16.08	3.52
22	113.100	17.06	3.54
23	114.067	18.04	3.56
24	115.033	19.02	3.58

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 6 :HEURES COMMENCANTES

1	116.000	20.00	4.00
2	116.967	20.58	4.02
3	117.933	21.56	4.04
4	118.900	22.54	4.06
5	119.867	23.52	4.08
6	120.833	0.50	4.10
7	121.800	1.48	4.12
8	122.767	2.46	4.14
9	123.733	3.44	4.16
10	124.700	4.42	4.18
11	125.667	5.40	4.20
12	126.633	6.38	4.22
13	127.600	7.36	4.24
14	128.567	8.34	4.26
15	129.533	9.32	4.28
16	130.500	10.30	4.30
17	131.467	11.28	4.32
18	132.433	12.26	4.34
19	133.400	13.24	4.36
20	134.367	14.22	4.38
21	135.333	15.20	4.40
22	136.300	16.18	4.42
23	137.267	17.16	4.44
24	138.233	18.14	4.46

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 7 :HEURES COMMENCANTES

1	139.200	19.12	4.48
2	140.167	20.10	4.50
3	141.133	21.08	4.52
4	142.100	22.06	4.54
5	143.067	23.04	4.56

6	144.033	0.02	4.58
7	145.000	1.00	5.00
8	145.967	1.58	5.02
9	146.933	2.56	5.04
10	147.900	3.54	5.06
11	148.867	4.52	5.08
12	149.833	5.50	5.10
13	150.800	6.48	5.12
14	151.767	7.46	5.14
15	152.733	8.44	5.16
16	153.700	9.42	5.18
17	154.667	10.40	5.20
18	155.633	11.38	5.22
19	156.600	12.36	5.24
20	157.567	13.34	5.26
21	158.533	14.32	5.28
22	159.500	15.30	5.30
23	160.467	16.28	5.32
24	161.433	17.26	5.34

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 8 :HEURES COMMENCANTES

1	162.400	18.24	5.36
2	163.367	19.22	5.38
3	164.333	20.20	5.40
4	165.300	21.18	5.42
5	166.267	22.16	5.44
6	167.233	23.14	5.46
7	168.200	0.12	5.48
8	169.167	1.10	5.50
9	170.133	2.08	5.52
10	171.100	3.06	5.54
11	172.067	4.04	5.56
12	173.033	5.02	5.58
13	174.000	6.00	6.00
14	174.967	6.58	6.02
15	175.933	7.56	6.04
16	176.900	8.54	6.06
17	177.867	9.52	6.08
18	178.833	10.50	6.10
19	179.800	11.48	6.12
20	180.767	12.46	6.14
21	181.733	13.44	6.16
22	182.700	14.42	6.18
23	183.667	15.40	6.20
24	184.633	16.38	6.22

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 9 :HEURES COMMENCANTES

1	185.600	17.36	6.24
2	186.567	18.34	6.26
3	187.533	19.32	6.28
4	188.500	20.30	6.30
5	189.467	21.28	6.32
6	190.433	22.26	6.34
7	191.400	23.24	6.36
8	192.367	0.22	6.38
9	193.333	1.20	6.40
10	194.300	2.18	6.42
11	195.267	3.16	6.44
12	196.233	4.14	6.46
13	197.200	5.12	6.48
14	198.167	6.10	6.50
15	199.133	7.08	6.52
16	200.100	8.06	6.54

17	201.067	9.04	6.56
18	202.033	10.02	6.58
19	203.000	11.00	7.00
20	203.967	11.58	7.02
21	204.933	12.56	7.04
22	205.900	13.54	7.06
23	206.867	14.52	7.08
24	207.833	15.50	7.10

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 10 :HEURES COMMENCANTES

1	208.800	16.48	7.12
2	209.767	17.46	7.14
3	210.733	18.44	7.16
4	211.700	19.42	7.18
5	212.667	20.40	7.20
6	213.633	21.38	7.22
7	214.600	22.36	7.24
8	215.567	23.34	7.26
9	216.533	0.32	7.28
10	217.500	1.30	7.30
11	218.467	2.28	7.32
12	219.433	3.26	7.34
13	220.400	4.24	7.36
14	221.367	5.22	7.38
15	222.333	6.20	7.40
16	223.300	7.18	7.42
17	224.267	8.16	7.44
18	225.233	9.14	7.46
19	226.200	10.12	7.48
20	227.167	11.10	7.50
21	228.133	12.08	7.52
22	229.100	13.06	7.54
23	230.067	14.04	7.56
24	231.033	15.02	7.58

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 11 :HEURES COMMENCANTES

1	232.000	16.00	8.00
2	232.967	16.58	8.02
3	233.933	17.56	8.04
4	234.900	18.54	8.06
5	235.867	19.52	8.08
6	236.833	20.50	8.10
7	237.800	21.48	8.12
8	238.767	22.46	8.14
9	239.733	23.44	8.16
10	240.700	0.42	8.18
11	241.667	1.40	8.20
12	242.633	2.38	8.22
13	243.600	3.36	8.24
14	244.567	4.34	8.26
15	245.533	5.32	8.28
16	246.500	6.30	8.30
17	247.467	7.28	8.32
18	248.433	8.26	8.34
19	249.400	9.24	8.36
20	250.367	10.22	8.38
21	251.333	11.20	8.40
22	252.300	12.18	8.42
23	253.267	13.16	8.44
24	254.233	14.14	8.46

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 12 :HEURES COMMENCANTES

1	255.200	15.12	8.48
2	256.167	16.10	8.50

3	257.133	17.08	8.52
4	258.100	18.06	8.54
5	259.067	19.04	8.56
6	260.033	20.02	8.58
7	261.000	21.00	9.00
8	261.967	21.58	9.02
9	262.933	22.56	9.04
10	263.900	23.54	9.06
11	264.867	0.52	9.08
12	265.833	1.50	9.10
13	266.800	2.48	9.12
14	267.767	3.46	9.14
15	268.733	4.44	9.16
16	269.700	5.42	9.18
17	270.667	6.40	9.20
18	271.633	7.38	9.22
19	272.600	8.36	9.24
20	273.567	9.34	9.26
21	274.533	10.32	9.28
22	275.500	11.30	9.30
23	276.467	12.28	9.32
24	277.433	13.26	9.34

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 13 :HEURES COMMENCANTES

1	278.400	14.24	9.36
2	279.367	15.22	9.38
3	280.333	16.20	9.40
4	281.300	17.18	9.42
5	282.267	18.16	9.44
6	283.233	19.14	9.46
7	284.200	20.12	9.48
8	285.167	21.10	9.50
9	286.133	22.08	9.52
10	287.100	23.06	9.54
11	288.067	0.04	9.56
12	289.033	1.02	9.58
13	290.000	2.00	10.00
14	290.967	2.58	10.02
15	291.933	3.56	10.04
16	292.900	4.54	10.06
17	293.867	5.52	10.08
18	294.833	6.50	10.10
19	295.800	7.48	10.12
20	296.767	8.46	10.14
21	297.733	9.44	10.16
22	298.700	10.42	10.18
23	299.667	11.40	10.20
24	300.633	12.38	10.22

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 14 :HEURES COMMENCANTES

1	301.600	13.36	10.24
2	302.567	14.34	10.26
3	303.533	15.32	10.28
4	304.500	16.30	10.30
5	305.467	17.28	10.32
6	306.433	18.26	10.34
7	307.400	19.24	10.36
8	308.367	20.22	10.38
9	309.333	21.20	10.40
10	310.300	22.18	10.42
11	311.267	23.16	10.44
12	312.233	0.14	10.46
13	313.200	1.12	10.48

14	314.167	2.10	10.50
15	315.133	3.08	10.52
16	316.100	4.06	10.54
17	317.067	5.04	10.56
18	318.033	6.02	10.58
19	319.000	7.00	11.00
20	319.967	7.58	11.02
21	320.933	8.56	11.04
22	321.900	9.54	11.06
23	322.867	10.52	11.08
24	323.833	11.50	11.10

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 15 :HEURES COMMENCANTES

1	324.800	12.48	11.12
2	325.767	13.46	11.14
3	326.733	14.44	11.16
4	327.700	15.42	11.18
5	328.667	16.40	11.20
6	329.633	17.38	11.22
7	330.600	18.36	11.24
8	331.567	19.34	11.26
9	332.533	20.32	11.28
10	333.500	21.30	11.30
11	334.467	22.28	11.32
12	335.433	23.26	11.34
13	336.400	0.24	11.36
14	337.367	1.22	11.38
15	338.333	2.20	11.40
16	339.300	3.18	11.42
17	340.267	4.16	11.44
18	341.233	5.14	11.46
19	342.200	6.12	11.48
20	343.167	7.10	11.50
21	344.133	8.08	11.52
22	345.100	9.06	11.54
23	346.067	10.04	11.56
24	347.033	11.02	11.58

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 16 :HEURES COMMENCANTES

1	348.000	12.00	12.00
2	348.967	12.58	12.02
3	349.933	13.56	12.04
4	350.900	14.54	12.06
5	351.867	15.52	12.08
6	352.833	16.50	12.10
7	353.800	17.48	12.12
8	354.767	18.46	12.14
9	355.733	19.44	12.16
10	356.700	20.42	12.18
11	357.667	21.40	12.20
12	358.633	22.38	12.22
13	359.600	23.36	12.24
14	360.567	0.34	12.26
15	361.533	1.32	12.28
16	362.500	2.30	12.30
17	363.467	3.28	12.32
18	364.433	4.26	12.34
19	365.400	5.24	12.36
20	366.367	6.22	12.38
21	367.333	7.20	12.40
22	368.300	8.18	12.42
23	369.267	9.16	12.44
24	370.233	10.14	12.46

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE N° 17 :HEURES COMMENCANTES			
1	371.200	11.12	12.48
2	372.167	12.10	12.50
3	373.133	13.08	12.52
4	374.100	14.06	12.54
5	375.067	15.04	12.56
6	376.033	16.02	12.58
7	377.000	17.00	13.00
8	377.967	17.58	13.02
9	378.933	18.56	13.04
10	379.900	19.54	13.06
11	380.867	20.52	13.08
12	381.833	21.50	13.10
13	382.800	22.48	13.12
14	383.767	23.46	13.14
15	384.733	0.44	13.16
16	385.700	1.42	13.18
17	386.667	2.40	13.20
18	387.633	3.38	13.22
19	388.600	4.36	13.24
20	389.567	5.34	13.26
21	390.533	6.32	13.28
22	391.500	7.30	13.30
23	392.467	8.28	13.32
24	393.433	9.26	13.34
JOUR COMMENCANT DE LA LUNE N° 18 :HEURES COMMENCANTES			
1	394.400	10.24	13.36
2	395.367	11.22	13.38
3	396.333	12.20	13.40
4	397.300	13.18	13.42
5	398.267	14.16	13.44
6	399.233	15.14	13.46
7	400.200	16.12	13.48
8	401.167	17.10	13.50
9	402.133	18.08	13.52
10	403.100	19.06	13.54
11	404.067	20.04	13.56
12	405.033	21.02	13.58
13	406.000	22.00	14.00
14	406.967	22.58	14.02
15	407.933	23.56	14.04
16	408.900	0.54	14.06
17	409.867	1.52	14.08
18	410.833	2.50	14.10
19	411.800	3.48	14.12
20	412.767	4.46	14.14
21	413.733	5.44	14.16
22	414.700	6.42	14.18
23	415.667	7.40	14.20
24	416.633	8.38	14.22
JOUR COMMENCANT DE LA LUNE N° 19 :HEURES COMMENCANTES			
1	417.600	9.36	14.24
2	418.567	10.34	14.26
3	419.533	11.32	14.28
4	420.500	12.30	14.30
5	421.467	13.28	14.32
6	422.433	14.26	14.34
7	423.400	15.24	14.36
8	424.367	16.22	14.38

9	425.333	17.20	14.40
10	426.300	18.18	14.42
11	427.267	19.16	14.44
12	428.233	20.14	14.46
13	429.200	21.12	14.48
14	430.167	22.10	14.50
15	431.133	23.08	14.52
16	432.100	0.06	14.54
17	433.067	1.04	14.56
18	434.033	2.02	14.58
19	435.000	3.00	15.00
20	435.967	3.58	15.02
21	436.933	4.56	15.04
22	437.900	5.54	15.06
23	438.867	6.52	15.08
24	439.833	7.50	15.10

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 20 :HEURES COMMENCANTES

1	440.800	8.48	15.12
2	441.767	9.46	15.14
3	442.733	10.44	15.16
4	443.700	11.42	15.18
5	444.667	12.40	15.20
6	445.633	13.38	15.22
7	446.600	14.36	15.24
8	447.567	15.34	15.26
9	448.533	16.32	15.28
10	449.500	17.30	15.30
11	450.467	18.28	15.32
12	451.433	19.26	15.34
13	452.400	20.24	15.36
14	453.367	21.22	15.38
15	454.333	22.20	15.40
16	455.300	23.18	15.42
17	456.267	0.16	15.44
18	457.233	1.14	15.46
19	458.200	2.12	15.48
20	459.167	3.10	15.50
21	460.133	4.08	15.52
22	461.100	5.06	15.54
23	462.067	6.04	15.56
24	463.033	7.02	15.58

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 21 :HEURES COMMENCANTES

1	464.000	8.00	16.00
2	464.967	8.58	16.02
3	465.933	9.56	16.04
4	466.900	10.54	16.06
5	467.867	11.52	16.08
6	468.833	12.50	16.10
7	469.800	13.48	16.12
8	470.767	14.46	16.14
9	471.733	15.44	16.16
10	472.700	16.42	16.18
11	473.667	17.40	16.20
12	474.633	18.38	16.22
13	475.600	19.36	16.24
14	476.567	20.34	16.26
15	477.533	21.32	16.28
16	478.500	22.30	16.30
17	479.467	23.28	16.32
18	480.433	0.26	16.34
19	481.400	1.24	16.36

20	482.367	2.22	16.38
21	483.333	3.20	16.40
22	484.300	4.18	16.42
23	485.267	5.16	16.44
24	486.233	6.14	16.46

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 22 :HEURES COMMENCANTES

1	487.200	7.12	16.48
2	488.167	8.10	16.50
3	489.133	9.08	16.52
4	490.100	10.06	16.54
5	491.067	11.04	16.56
6	492.033	12.02	16.58
7	493.000	13.00	17.00
8	493.967	13.58	17.02
9	494.933	14.56	17.04
10	495.900	15.54	17.06
11	496.867	16.52	17.08
12	497.833	17.50	17.10
13	498.800	18.48	17.12
14	499.767	19.46	17.14
15	500.733	20.44	17.16
16	501.700	21.42	17.18
17	502.667	22.40	17.20
18	503.633	23.38	17.22
19	504.600	0.36	17.24
20	505.567	1.34	17.26
21	506.533	2.32	17.28
22	507.500	3.30	17.30
23	508.467	4.28	17.32
24	509.433	5.26	17.34

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 23 :HEURES COMMENCANTES

1	510.400	6.24	17.36
2	511.367	7.22	17.38
3	512.333	8.20	17.40
4	513.300	9.18	17.42
5	514.267	10.16	17.44
6	515.233	11.14	17.46
7	516.200	12.12	17.48
8	517.167	13.10	17.50
9	518.133	14.08	17.52
10	519.100	15.06	17.54
11	520.067	16.04	17.56
12	521.033	17.02	17.58
13	522.000	18.00	18.00
14	522.967	18.58	18.02
15	523.933	19.56	18.04
16	524.900	20.54	18.06
17	525.867	21.52	18.08
18	526.833	22.50	18.10
19	527.800	23.48	18.12
20	528.767	0.46	18.14
21	529.733	1.44	18.16
22	530.700	2.42	18.18
23	531.667	3.40	18.20
24	532.633	4.38	18.22

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 24 :HEURES COMMENCANTES

1	533.600	5.36	18.24
2	534.567	6.34	18.26
3	535.533	7.32	18.28
4	536.500	8.30	18.30
5	537.467	9.28	18.32

6	538.433	10.26	18.34
7	539.400	11.24	18.36
8	540.367	12.22	18.38
9	541.333	13.20	18.40
10	542.300	14.18	18.42
11	543.267	15.16	18.44
12	544.233	16.14	18.46
13	545.200	17.12	18.48
14	546.167	18.10	18.50
15	547.133	19.08	18.52
16	548.100	20.06	18.54
17	549.067	21.04	18.56
18	550.033	22.02	18.58
19	551.000	23.00	19.00
20	551.967	23.58	19.02
21	552.933	0.56	19.04
22	553.900	1.54	19.06
23	554.867	2.52	19.08
24	555.833	3.50	19.10

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 25 :HEURES COMMENCANTES

1	556.800	4.48	19.12
2	557.767	5.46	19.14
3	558.733	6.44	19.16
4	559.700	7.42	19.18
5	560.667	8.40	19.20
6	561.633	9.38	19.22
7	562.600	10.36	19.24
8	563.567	11.34	19.26
9	564.533	12.32	19.28
10	565.500	13.30	19.30
11	566.467	14.28	19.32
12	567.433	15.26	19.34
13	568.400	16.24	19.36
14	569.367	17.22	19.38
15	570.333	18.20	19.40
16	571.300	19.18	19.42
17	572.267	20.16	19.44
18	573.233	21.14	19.46
19	574.200	22.12	19.48
20	575.167	23.10	19.50
21	576.133	0.08	19.52
22	577.100	1.06	19.54
23	578.067	2.04	19.56
24	579.033	3.02	19.58

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 26 :HEURES COMMENCANTES

1	580.000	4.00	20.00
2	580.967	4.58	20.02
3	581.933	5.56	20.04
4	582.900	6.54	20.06
5	583.867	7.52	20.08
6	584.833	8.50	20.10
7	585.800	9.48	20.12
8	586.767	10.46	20.14
9	587.733	11.44	20.16
10	588.700	12.42	20.18
11	589.667	13.40	20.20
12	590.633	14.38	20.22
13	591.600	15.36	20.24
14	592.567	16.34	20.26
15	593.533	17.32	20.28
16	594.500	18.30	20.30

17	595.467	19.28	20.32
18	596.433	20.26	20.34
19	597.400	21.24	20.36
20	598.367	22.22	20.38
21	599.333	23.20	20.40
22	600.300	0.18	20.42
23	601.267	1.16	20.44
24	602.233	2.14	20.46

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 27 :HEURES COMMENCANTES

1	603.200	3.12	20.48
2	604.167	4.10	20.50
3	605.133	5.08	20.52
4	606.100	6.06	20.54
5	607.067	7.04	20.56
6	608.033	8.02	20.58
7	609.000	9.00	21.00
8	609.967	9.58	21.02
9	610.933	10.56	21.04
10	611.900	11.54	21.06
11	612.867	12.52	21.08
12	613.833	13.50	21.10
13	614.800	14.48	21.12
14	615.767	15.46	21.14
15	616.733	16.44	21.16
16	617.700	17.42	21.18
17	618.667	18.40	21.20
18	619.633	19.38	21.22
19	620.600	20.36	21.24
20	621.567	21.34	21.26
21	622.533	22.32	21.28
22	623.500	23.30	21.30
23	624.467	0.28	21.32
24	625.433	1.26	21.34

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 28 :HEURES COMMENCANTES

1	626.400	2.24	21.36
2	627.367	3.22	21.38
3	628.333	4.20	21.40
4	629.300	5.18	21.42
5	630.267	6.16	21.44
6	631.233	7.14	21.46
7	632.200	8.12	21.48
8	633.167	9.10	21.50
9	634.133	10.08	21.52
10	635.100	11.06	21.54
11	636.067	12.04	21.56
12	637.033	13.02	21.58
13	638.000	14.00	22.00
14	638.967	14.58	22.02
15	639.933	15.56	22.04
16	640.900	16.54	22.06
17	641.867	17.52	22.08
18	642.833	18.50	22.10
19	643.800	19.48	22.12
20	644.767	20.46	22.14
21	645.733	21.44	22.16
22	646.700	22.42	22.18
23	647.667	23.40	22.20
24	648.633	0.38	22.22

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 29 :HEURES COMMENCANTES

1	649.600	1.36	22.24
2	650.567	2.34	22.26

3	651.533	3.32	22.28
4	652.500	4.30	22.30
5	653.467	5.28	22.32
6	654.433	6.26	22.34
7	655.400	7.24	22.36
8	656.367	8.22	22.38
9	657.333	9.20	22.40
10	658.300	10.18	22.42
11	659.267	11.16	22.44
12	660.233	12.14	22.46
13	661.200	13.12	22.48
14	662.167	14.10	22.50
15	663.133	15.08	22.52
16	664.100	16.06	22.54
17	665.067	17.04	22.56
18	666.033	18.02	22.58
19	667.000	19.00	23.00
20	667.967	19.58	23.02
21	668.933	20.56	23.04
22	669.900	21.54	23.06
23	670.867	22.52	23.08
24	671.833	23.50	23.10

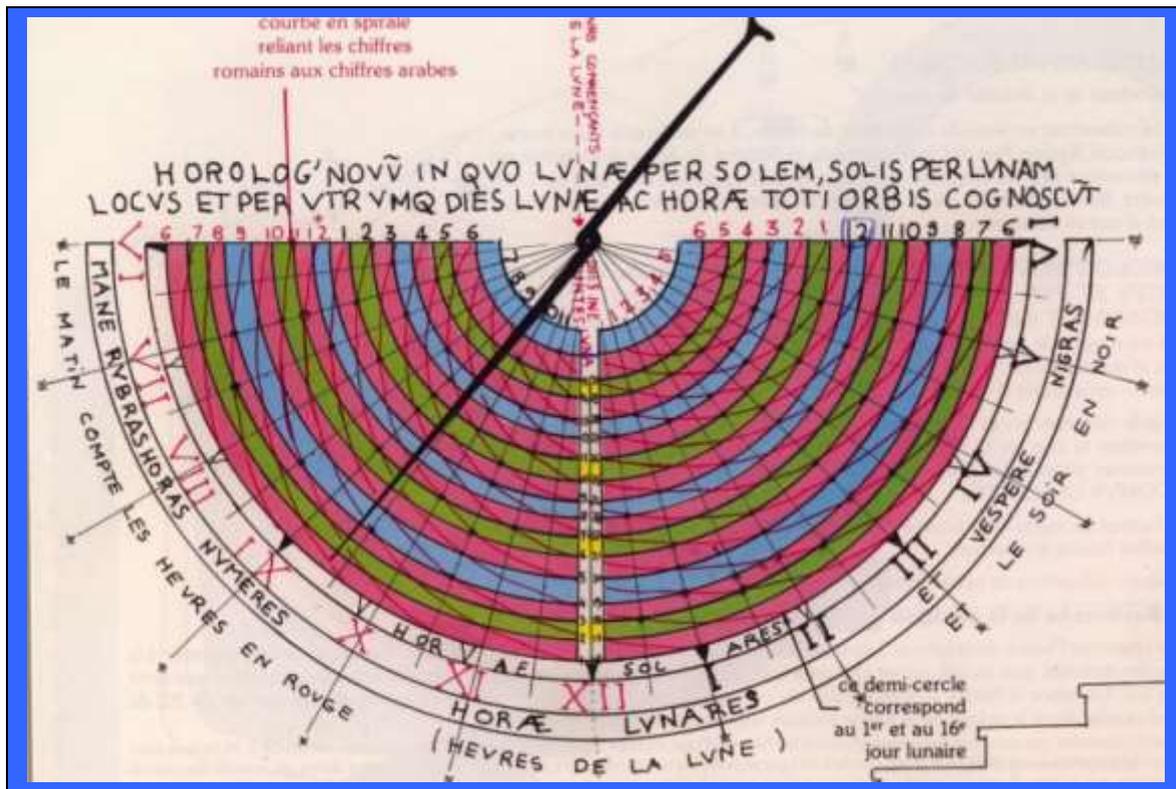
JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 30 :HEURES COMMENCANTES

1	672.800	0.48	23.12
2	673.767	1.46	23.14
3	674.733	2.44	23.16
4	675.700	3.42	23.18
5	676.667	4.40	23.20
6	677.633	5.38	23.22
7	678.600	6.36	23.24
8	679.567	7.34	23.26
9	680.533	8.32	23.28
10	681.500	9.30	23.30
11	682.467	10.28	23.32
12	683.433	11.26	23.34
13	684.400	12.24	23.36
14	685.367	13.22	23.38
15	686.333	14.20	23.40
16	687.300	15.18	23.42
17	688.267	16.16	23.44
18	689.233	17.14	23.46
19	690.200	18.12	23.48
20	691.167	19.10	23.50
21	692.133	20.08	23.52
22	693.100	21.06	23.54
23	694.067	22.04	23.56
24	695.033	23.02	23.58

JOUR COMMENCANT DE LA LUNE Nø 31/1 :HEURES COMMENCANTES

1	696.000	0.00	24.00/0
---	---------	------	---------

Annexe 3 : L'horloge luni-solaire du Père Bonfa, peinte sur le mur du lycée



Annexe 4 : Schéma de l'horloge. Commentaires sur l'image.

STENDHAL_0

=====

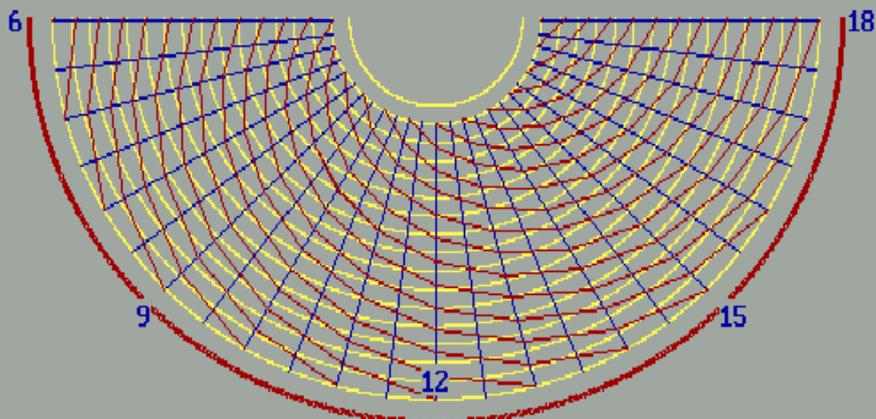
L'horloge luni-solaire du Père Bonfa, à Grenoble, au Lycée Stendhal, sur le mur, côté gauche, de la première volée de marches.

16 demi-cercles jaunes délimitent 15 jours de 24 heures solaires moyennes.

13 lignes bleues d'heures rondes, de 6 à 12 à 18; demi-heures.

12 demi-spirales hyperboliques naissent sur le cercle extérieur (jours 1-16) et développent leur parcours centripète dextrogyre, en faisant rétrograder leur heure initiale de 48 minutes sur chaque cercle journalier atteint.

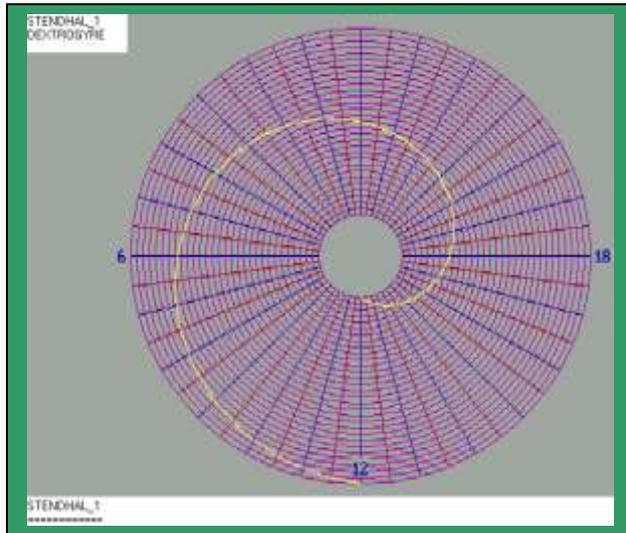
À raison de 48 minutes de retard journalier sur le Soleil, la Lune retarde de 12 heures en 15 jours = 24 heures en une lunaison théorique de 30 jours.



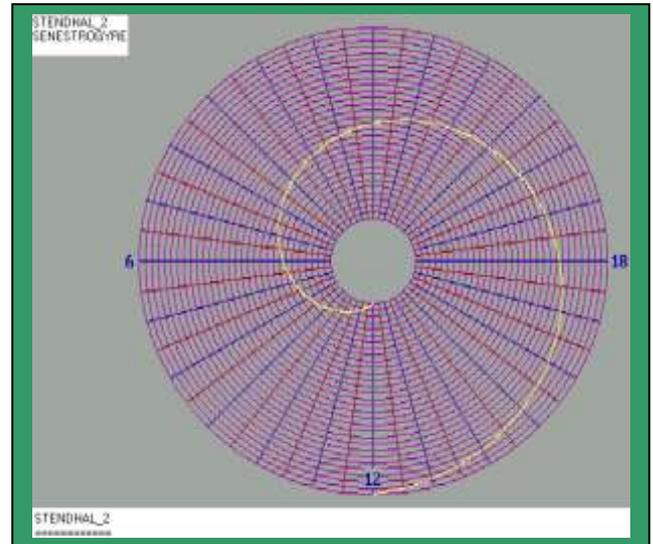
STENDHAL_0

=====

Annexe 5 : Spirale dextrogyre et spirale senestrogyre



Stendhal_1



Stendhal_2

Stendhal_1 : La spirale dextrogyre, issue du grand cercle extérieur, sur XII, mesure le retard de l'heure lunaire sur l'heure solaire, à mesure que s'écoulent les 30 jours de la lunaison théorique, à partir de la conjonction (sur XII = Nouvelle Lune).soit :

6 heures en 7,5 jours (Premier Quartier)

12 heures en 15 jours (Pleine Lune = opposition)

18 heures en 22,5 jours (Dernier Quartier)

24 heures en 30 jours (Nouvelle Lune = conjonction suivante)

Stendhal_2 : La spirale sénestrogyre, issue du grand cercle extérieur, sur XII, mesure l'avance de l'heure solaire sur l'heure lunaire, à mesure que s'écoulent les 30 jours de la lunaison théorique, à partir de la conjonction (sur XII = Nouvelle Lune),soit :

L'angle horaire de la Lune valant toujours 12 heures, celui du Soleil vaut :

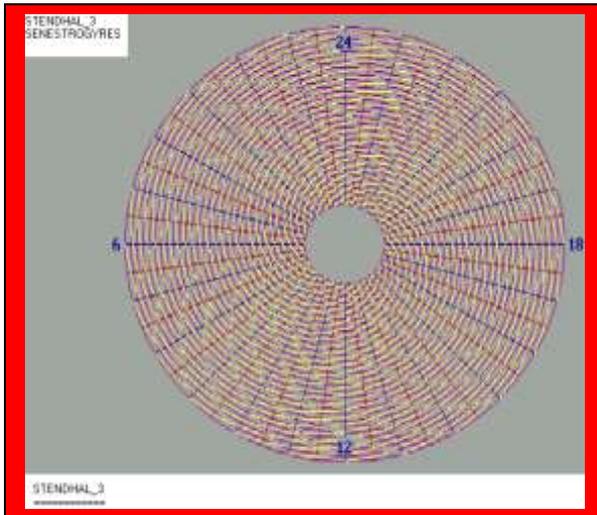
Au Premier Quartier : 18 heures

A la Pleine Lune : 24 heures

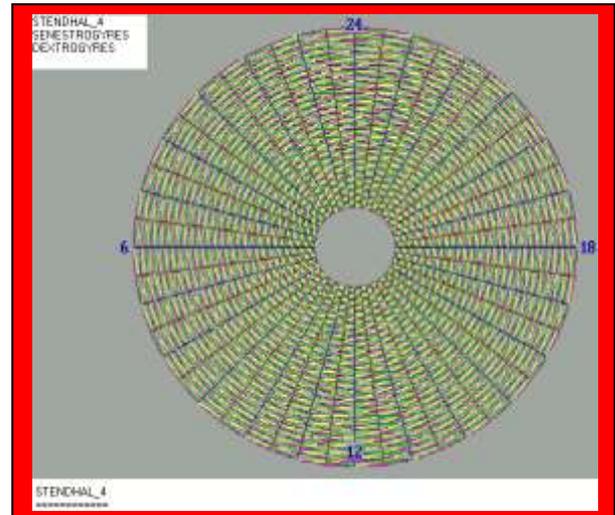
Au Dernier Quartier : 6 heures (mais le lendemain)

A la Nouvelle Lune suivante : 12 heures

Annexe 6 : Les 24 spirales et les 48 spirales



Stendhal_3



Stendhal_4

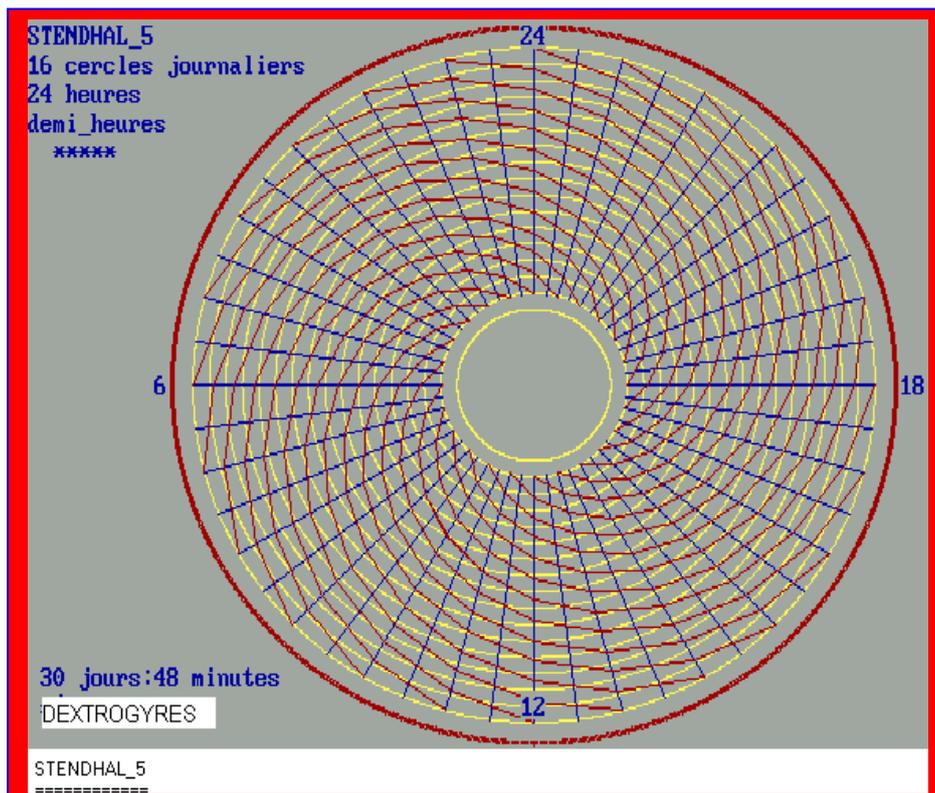
Stendhal_3 : en doré les 24 spirales sénestrogyses.

Stendhal_4 : superposition :

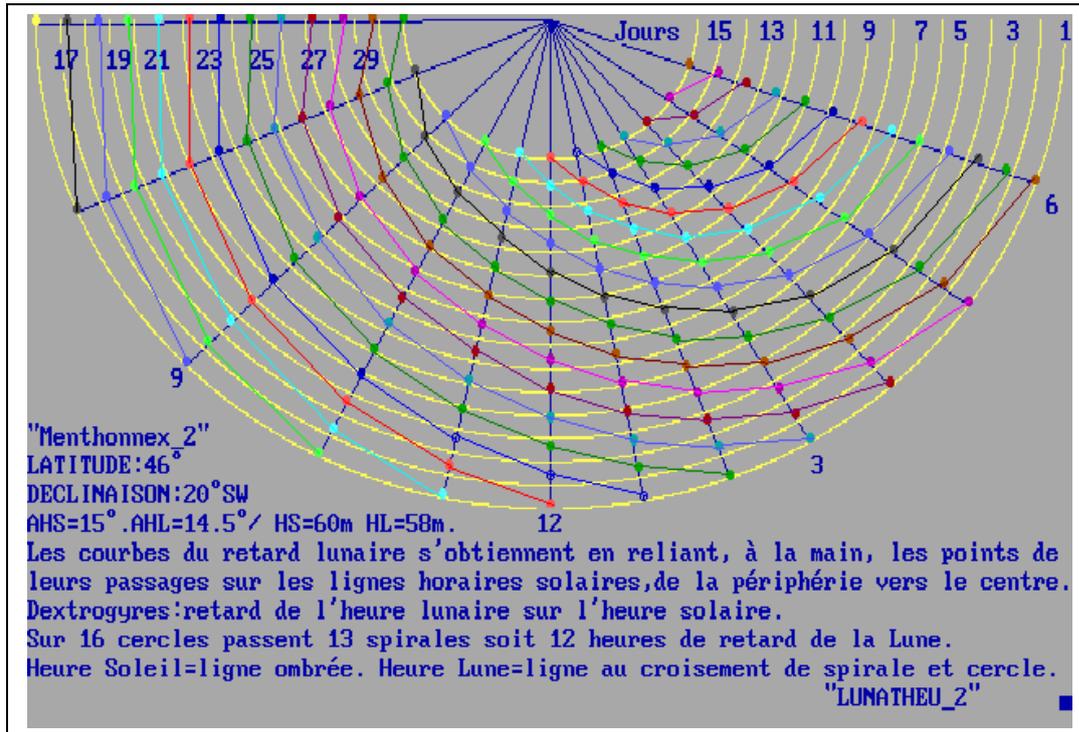
24 spirales sénestrogyses (dorées) et 24 spirales dextrogyses (vertes).

Annexe 7 : Horloge complète conçue par le Père Bonfa, avant simplification.

31 cercles d'âge. 24 spirales issues des heures rondes. 48 lignes horaires.



Annexe 8 : Cadran solaire avec spirales dextrogyres pour manifester le retard de l'heure lunaire sur l'heure solaire.



Annexe 9 : Cadran solaire avec spirales sénestrogyres pour manifester l'avance de l'heure solaire sur l'heure lunaire

