

le journal du club

Le Groupe Local



dossier spécial Greenwich

de Valdrôme
à Restetefond



4

dossier
Greenwich



12

Eclipse
australienne



34



• Editorial •

• Même quand c'est juste pas possible !

Auriez-vous remarqué que le club se fait une spécialité des trucs que d'aucuns qualifient de : « Juste pas possible ? », ou encore de : « Non mais c'est incroyable ! », ou enfin de : « Ah c'est bien ce que vous avez fait là ! »...

Je pensais à cela en relisant le numéro précédent du Groupe Local. Il concentrait les défis. Déjà c'était un numéro double avec juste deux fois plus de travail : un numéro hors série spécial Hawaï et un dossier spécial Lille. En plus on y trouvait une belle variété d'articles par une non moins belle multitude d'auteurs aux sensibilités et aux styles variés.

Quel autre journal d'astronomie peut se vanter d'avoir eu trois chapelets entièrement dessinés du passage de Vénus devant le Soleil, avec en plus des dessins d'ensemble du Soleil et des photos ? Et que dire de tous les articles moins astronomiques, mais au combien sympathiques, sur les voyages, les visites, les soirées, les volcans, ... Au passage on y trouve des récits d'observations à 4200 mètres d'altitude en haut du Mauna Kea... encore un truc juste incroyable, voir limite pas possible ! Il était nécessaire aujourd'hui de tirer à nouveau un grand coup de chapeau à cette publication du club qui rentre pleinement dans les trucs : « incroyables ! ».

Je n'essaye même pas de décortiquer ces trucs magiques, incroyables, formidables... que nous faisons au club. Même si une analyse serait sans doute intéressante. On pourrait théoriser, comprendre, améliorer, prévoir, recopier... Mais sans se creuser les méninges, on peut déjà apprécier, s'en satisfaire et profiter de ces folies improbables.

Et bien là, maintenant, cette petite chose surprenante va encore se réaliser. Que dis-je ? Même si je rédige ces lignes avant la parution, je suis déjà certain que ce truc pas possible s'est encore réalisé. Et c'est ce nouveau numéro du journal !

Regardez bien, imaginez et jugez-en... Les rédacteurs sont justes sur le coup depuis fort longtemps, l'édition se réalise juste à l'autre bout du monde en Nouvelle-Calédonie, la rédaction est incroyablement surchargée en France, les imprimantes mettent hélas super longtemps à sortir le papier et même pour l'agrafe on ne sait pas encore comment ce sera possible.

Mais va-t-on hésiter à franchir le Cap-Horn dans les deux sens ? Faut-il dire aux rédacteurs de ralentir par crainte d'un manque d'agrafe ? Faut-il renoncer face aux imprimantes ? Faut-il même craindre que les comètes du moment ne nous tombent sur la tête ?

Et bien non ! Tout est possible au club, pour peu que l'on s'en donne la peine. C'est juste-là le premier secret de ces trucs improbables et incroyables que nous réalisons ensemble : On les imagine, on y croit et on y va ! On est très fort pour se retrousser les manches bien haut...

Non, il ne faut pas s'arrêter aux impossibilités. Elles ne sont bien souvent qu'apparentes. Elles sont surtout des sources de démoralisation et des incitations à ne rien faire. Personne n'est à l'abri de tels freins, mais ensemble on s'entraîne fort, on se motive comme des dingues et on rend possible... l'impossible ! ■

Pierre

• Le mot de la rédaction •

Voilà le Groupe Local de mars 2013 bouclé et je voulais témoigner de la spécificité de ce numéro.

Tout d'abord, il s'est réalisé rapidement : les articles sont arrivés dans un laps de temps très court et au cas où il y aurait quelques pages à combler, j'avais un p'tit truc dans ma besace qui attendait le moment. C'est très appréciable et cela mérite d'être souligné.

De plus, vous n'avez pas eu à subir les appels insistants pour fournir des articles à temps. Pour ceux qui se sont laissés surprendre, pensez tout

simplement au numéro suivant du mois de juin. Pour les autres, c'est aussi le moment de penser au prochain numéro !

Ensuite, je voulais saluer le travail remarquable fourni par Didier sur la thématique de l'observatoire de Greenwich qui à lui seul, remplit de fort belle façon la moitié de ce numéro de quarante pages. Cela méritait bien un dossier spécial !

Enfin, vous avez entre les mains un numéro concocté en des lieux on ne peut plus éloignés les uns des autres,

de Saint Quentin en Yvelines à Nouméa, d'une période métropolitaine de neige et de froid autant que de grosses chaleurs et de cyclones tropicaux. Peut être est-ce une façon d'appréhender notre planète, ce géodésique à peine patatoïde et les caractéristiques de cette notion d'antipodes : le jour, la nuit, les saisons, la trajectoire du Soleil, ...

Nous nous marchons sur la plante des pieds les uns des autres et j'avoue que ça me chatouille agréablement.

Serge

Rubriques

- Dossier Greenwich
 - L'observatoire 12
 - Le prix de la longitude 20
 - Brève histoire des horloges 26
 - Principes des distances lunaires 32
- vos travaux 38

Photo de couverture : Lunette de 28 pouces de l'Observatoire de Greenwich (Didier L.)



• Entre Valdrôme et Restefond 2012 •



Yannick

Valdrome est notre rendez-vous estival mais cette année nous avons choisi de casser cette sympathique petite habitude en montant 1300 mètres plus haut : au col du Restefond ! Il faut avouer que c'est l'absence de David Vernet avec ses télescopes qui nous a offert cette opportunité.

Calée sur la semaine de la nouvelle lune d'août, la bande de joyeux-drilles de M78 s'est retrouvée au rassemblement de la SAF à la station de ski de Valdrôme. Chacun arrivant à son rythme, mais surtout au rythme de la voiture de devant dans les embouteillages ! Il n'y a pas idée de partir en même temps que tous les touristes avides de sable et de soleil, tout ça pour battre des records de lenteur sur l'A7 sur les bons conseils de l'indien déplumé.

Enfin arrivé sur site... c'est le premier week-end du rassemblement, il

n'y a pas encore beaucoup de monde mais les vieilles gloires de la SAF sont déjà au charbon.

Un tour du parking pour saluer les copains, je récupère mon emplacement et je monte ma tente, enfin tranquille le séant posé dans un transat avec les copains paré pour l'apéro. Malheureusement un patibulaire s'approche de notre groupe à la recherche du propriétaire d'une tente verte... ma tente. D'un ton insistant, il me demanda : « tu pourrais déplacer ta tente car c'est MON emplacement, je viens ici depuis 10 ans et je me mets toujours là ... en plus les places restantes sont en pente... ». Scotché par une telle arrogance je ne pus que répondre « Noonn ! » à cet égoïste maintenant contrarié. Comme, si j'aimais dormir en pente, moi...

A Valdrôme, la nuit d'observation commence tranquillement, ça com-

mence toujours par une clairette conviviale à la station, poursuivie pas un petit rhum en attendant que les pâtes cuisent, suivi par un autre petit rhum car en altitude les pâtes ne cuisent pas vite, vraiment pas vite. On peut ainsi déguster nos pâtes aux premières loges d'un magnifique coucher de soleil. En procédant ainsi, nous sommes les premiers en place à collimater nos instruments, prêts pour une longue nuit d'observation.

C'est inhabituel, mais les premiers soirs, nos télescopes sont les plus gros dans notre virage (snif) et en plus, on n'a pas besoin de les partager car ce ne sont pas nos voisins imageurs qui risquent de nous déranger, ils sont tous rivés devant leurs écrans. Par contre la réciproque n'est pas vraie...

Ici, on peut enfin contempler les grandes nébuleuses, des volutes ga-

zeuses les plus ténues aux plus petites étoiles. Souvent, je commence le marathon Messier par le sud avec le Sagittaire et le Scorpion qui se couchent très tôt. Au T400 et plus encore avec le T460 et l'éthos 21mm la Lagune et la Trifide se révèlent avec évidence, les différences de densité et de texture apparaissent évidentes dans la nébulosité cotonneuse tout comme sur les chenaux. Depuis peu, je commence à percevoir les couleurs sur les nébuleuses, principalement le rouge, l'exercice n'est pas simple mais sur la Trifide, le trèfle d'un rose très délavé tranche nettement sur le gris bleuté. 2 ou 3 amas globulaires plus tard, on remonte sur la nébuleuse Oméga toujours aussi majestueuse, puis la nébuleuse de l'Aigle, mais sans les piliers noyés dans la nébulosité ; en écarquillant les yeux, une zone plus sombre est perceptible, mais il faut savoir que c'est là ; l'objet est très bas sur l'horizon !

On continue sur les incontournables, Dumbell bien sûr, la gigantesque North America difficile à repérer tellement elle est grande. Cependant avec un filtre OIII, le golfe du Mexique contraste bien sur le nuage de gaz. Cet objet est connu pour n'être observable qu'aux jumelles mais il révèle beaucoup de détails « photographiques » à 130x avec un 400.

Le ciel étant trop clair pour les galaxies, je finis cette première nuit par le croissant dans le cygne (NGC6888), je ne l'ai jamais dessiné et cela pourrait être mon devoir de vacances en complément de mes essais photo. Ce résidu de supernova présente différents niveaux d'observation tellement il y a détails à choper.

Cette manifestation est l'occasion de profiter du matériel et de l'expérience des autres astrams. Lors du maximum d'activité solaire, chaque instrument met en évidence des zones et des finesses de détails différentes. Sur notre coronado 60 les protubérances sont bien marquées, par contre la surface est assez faiblement texturée, on manque un peu de relief et surtout de finesse. Passé au coronado de 90 ou avec des diamètres supérieurs parfois associés à d'autres systèmes, la vision des protubérances se métamorphose complètement, elles gagnent en finesse, apparaissent vraiment filamenteuses, la surface révèle tous ces tourments. On peut pousser les grossissements !

Nébuleuse du Pacman.



• Valdrôme & Restefond •

Pour nous sortir de l'astro, Eric met de l'animation, avec sa quête inachevée de prise de vue astro et ses mésaventures habituelles.

Encore une fois, la mécanique est contre Eric. Son viseur polaire n'a jamais été réglé et lors d'un geste non maîtrisé, une des 3 petites vis d'alignement du viseur s'échappe ... Aïe CARAMBA, c'est le drame. Là, je vous laisse imaginer 4 à 5 personnes en train d'épiler le bitume à genoux autour de la monture ; chaque passant un peu curieux s'arrêtant pour prêter main forte dans cette recherche... C'était digne des caméras cachées !

La première photo ne sera peut-être pas pour cette année...car après une heure de recherche désespérée, la vis n'est toujours pas trouvée.





Galaxie d'Andromède.



Le coin des imageurs.



Nébuleuse de l'Aigle.

De mon côté, c'est le baptême de l'Astrotrac, une monture de voyage de 1kg pour reflex assez précise pour des poses de 3 à 4min avec 300mm de focale. Pour ce premier test, la mise en station est longue car la rotule n'a pas de réglage fin et la fixation est souple. Sur quelques nuits, il est vraiment possible de faire un test approfondi de ce matériel en

multipliant les poses, objectifs, filtre et APN. Les résultats sont plutôt prometteurs mais il va y avoir des choses à changer : la rotule avec le réglage fin, la rotule boule qui doit être plus rigide pour les gros porte-à-faux et un système de pointage car on ne voit vraiment rien au travers du viseur de l'APN.

Une bien belle malette...



Helix.

Avec l'APN défiltré d'Alexandre et son objectif de 70- 300mm.

Quand on veut faire un peu de photo, on constate que le traitement est bien plus difficile et plus long que la prise de vue.... Je sens que la route va être très longue avant d'arriver au niveau de traitement de nos voisins imageurs.

Entre deux observations, nous étions curieux de découvrir la production des imageurs équipés de leurs matériels coûtant parfois le prix de deux voitures. L'astrophotographie, c'est un peu le monde du silence de la concentration qui contraste complètement avec les observations visuelles moins solitaires et plus bruyantes. Les astrophotographes « pro » restent toute la nuit devant leurs écrans à faire les traitements pendant l'acquisition d'autres images. L'un d'eux, Eddy, venait de finir le traitement de la grande dentelle avec Pixinsight, l'image était bluffante, mettant en évidence la

texture filamenteuse et l'effet de profondeur de la nébuleuse que l'on peut voir dans les plus grands diamètres, avec la couleur en plus.

La veille de notre départ pour Restefond, un obsession 600 est venu s'installer à coté de nous. Le montage fut des plus épiques, sortir un télescope

d'un mètre cube d'une Logan break avec une valise à oculaires qui tenait plutôt du plateau de table basse en bois massif. Jeter un coup d'œil dans un instrument de ce type donne toujours quelques regrets de ne pas avoir fini le notre... snif, snif !!

Les nébuleuses de la Lagune et Trifide.





Le 15 août, nous sommes cinq à quitter Valdrôme pour le col du Restefond. Sur la carte, c'est tout droit et pas très loin mais la route est longue, très longue, plus de 3 heures de route... Par contre arrivés là-haut, respirer l'air pur des cimes aux cris des marmottes n'est que du bonheur. Nous ne sommes pas les seuls sur les prairies, trois tentes y sont déjà plantées, des marseillais. Chacun avec sa particularité :

Le premier avait amené ses commodités avec une tente format cabine téléphonique pour y placer son petit coin. S'enfermer, un comble pour nous qui préférons profiter des trous de marmottes en regardant le paysage.

Le second avec sa petite famille avait aménagé le torrent en mini piscine en dressant un barrage avec des cailloux, l'étanchéité était assurée par une bâche plastique. Pour l'astro, il avait pris son T500 Skyvion et une bino APO de 100. Deux instruments d'exception.

Le troisième est un jeune étudiant

qui venait tester son nouvel achat, un dobson de 355mm. A chaque fois qu'il ouvrait la bouche, nous étions mort de rire, nous étions devant une caricature vivante du marseillais fatigué de naissance. La mécanique de son dobson étant perfectible, nous lui conseillons de faire des petits bricolages et il rétorqua « Déjà que je ne suis pas rapide et en plus je suis maladroit... » sur un ton inimitable, avec un accent rendant illégitimes tous les personnages de Pagnol. J'en rigole encore.

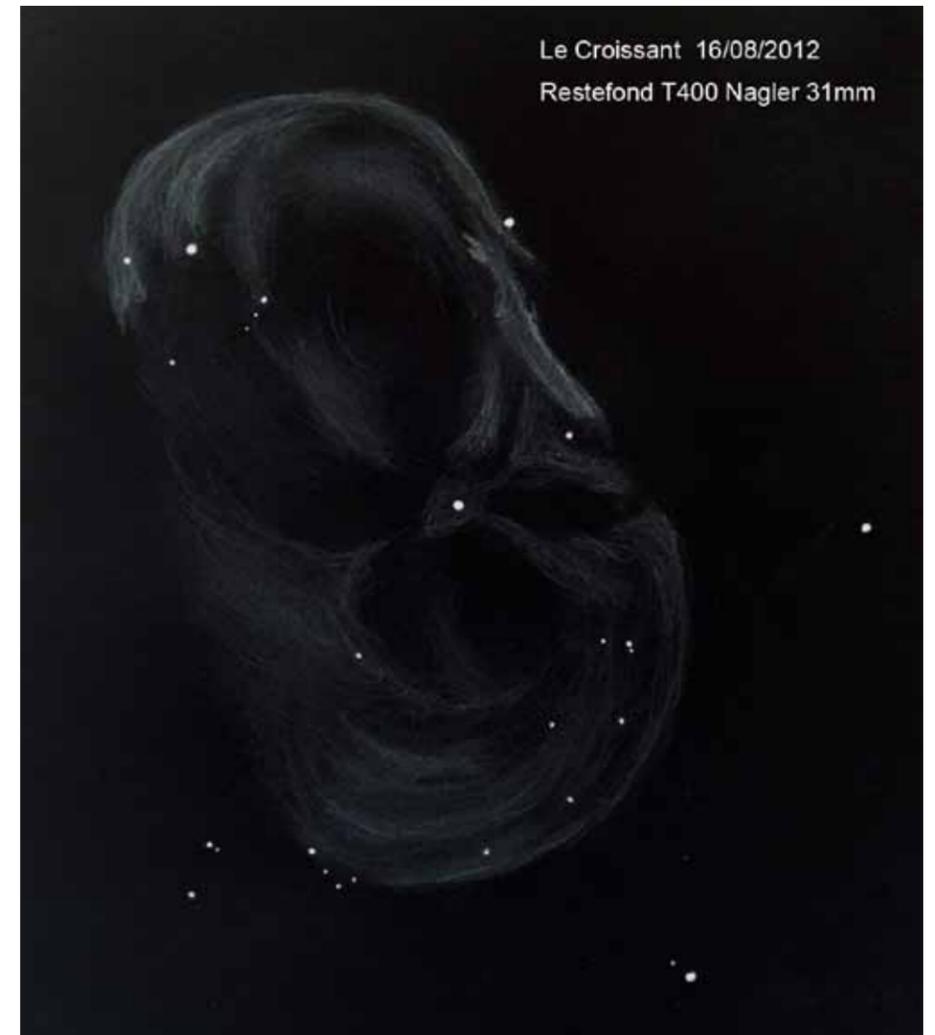
Plus tard, un groupe de grenoblois s'est installé un peu plus bas dans les prairies et d'autres astrophotographes ont investi les carrières. Bref, nous sommes une quinzaine à dormir au Restefond.

1300m plus haut qu'à Valdrome, le rhum de l'apéro n'est plus suffisant pour se réchauffer une fois la nuit tombée, il ne fait certes que 4°C mais l'humidité et les brises adiabatiques nécessitent une tenue de ski et au moins 2 pour Pierre qui n'en avait qu'une.

Le rêve de retrouver le ciel mythique du Restefond ainsi que la stabilité dont nous avons profité lors de notre précédent séjour fut vite écarté, avec un SQM qui n'est pas monté au-delà de 21,65 et une turbulence assez forte. Et horreur ! les discothèques de la vallée ont installé des lasers qui balaient le ciel. L'éloignement du village reste insuffisant et les lasers sont perceptibles jusqu'à 30° au dessus de l'horizon. Un prochain décret sur la publicité devrait bientôt arranger les choses.

Tout le monde n'est pas très assidu à l'oculaire la nuit tombée, le mal des montagnes peut être, la fatigue des activités diurnes sans doute... Enfin, le T400 était souvent libre, Serge squattant intensivement le T460. Il est enfin possible de faire mes devoirs de vacances... Dessiner le croissant. Bien sûr, on choisit toujours d'observer une cible pile-poil au zénith avec un dobson alors qu'on sait tous que c'est fait pour, sinon c'est trop simple !

Au T250, le croissant est discret, seule une coquille diaphane et grossière apparaît entre les étoiles du fond de ciel... Il n'y a pas à dire, 250mm, ce n'est pas assez, même si Pierre se dilate la pupille sur le sien pour collecter les rares photons qui nous arrivent. Avec 2,5 fois plus de surface collectrice de lumière, c'est une autre histoire, la coquille devient plus découpée, discontinue avec des rehauts marqués. En dopant un peu son acuité visuelle, on distingue le détachement de pétales filamenteux à l'intérieur de cette coquille. Observer cette texture n'est déjà pas simple car très diluée sur le fond de ciel, mais coucher les détails sur le papier est une autre paire de manches. Les quelques filaments plus intenses se confondent les uns avec les autres ce qui engendre de multiples erreurs de positionnement et de rebond sur le dessin.



De son côté Serge avec le T460 et son œil bionique arrive à capter plus de détails et son coup de patte les retranscrit mieux... Arrghh !! Mais le problème c'est qu'il a souvent raison. Jeter un coup d'œil dans le télescope de 500 du voisin permet de se réchauffer les doigts et aussi de constater que 4cm de plus sur le diamètre et 3mm de crasse en moins sur un miroir font la différence. Il faut avouer que l'aluminure est bien dégradée depuis qu'une limace a fait du toboggan dessus. Une aluminure neuve réduit la diffusion, le fond de ciel est plus sombre, les volutes gazeuses paraissent plus contrastées mais pas de couleurs cette fois... Là-haut, on regrette l'absence de David et de ses télescopes.

Les journées au sommet sont partagées entre la randonnée, l'observation solaire et la sieste bien sûr en préparation de nos observations nocturnes. Il est toujours un peu difficile de se motiver en sortant de la tente avec la trace de l'oreiller imprimé sur le visage, même lorsque l'un d'entre nous émet l'idée fantasque de partir en randonnée dans les cols, monter en haut du plus haut col ... évidemment ! Alors que je

cherche un peu de courage au fond de mon bol de thé, Pierre est déjà en train de laisser ses chaussures...j'suis vraiment pas du matin.

Toute la petite bande part donc en excursion... Pierre devant par la route...les autres derrière par le pré attaquant la pente à bon train. Un moment, la silhouette de Pierre se perd dans le trafic piétonnier et les cyclistes présents sur la route mais on se dit qu'au final, on le retrouvera en haut de la Bonnette. Au passage du col de Restefond, on a l'impression de changer de pays, un vrai repère de motards italiens. Ici, on ne parle pas d'Hells Angels à la bolognaise, mais plutôt de la Dolce Vita sur 2 roues. Chacun à son rythme, nous arrivons tous en haut des 2860m de la Bonnette...sauf Pierre, bizarre il avait de l'avance et personne sur la route non plus...on a perdu le chef !!!

Du sommet de la Bonnette, on a un panorama à 360° avec une bonne partie des massifs sud-alpins et notamment les Ecrins au nord qui sont encore enneigés. De retour au camping, Pierre nous attend : parti trop tôt, il avait gravi le pic juste au dessus de notre site d'observation,

un pic tout rocailloux où les chemins sont plutôt des éboulis. Quand on parle du pic «là-bas», encore faut-il regarder au bon endroit pour converger à la même destination.

Le lendemain, le récit de Pierre marchant dans les cailloux et escaladant les rochers a suscité toutes les curiosités... et notamment celle de Serge, Julien, Cyrille et Gérard le bordelais qui nous a rejoint depuis Valdrome. Elyane et moi, nous préférons regarder l'avancée de l'expédition assis dans les transats à l'ombre des véhicules ; lorsque les silhouettes disparaissent, un coup d'œil dans la lunette de 100mm nous permet de partager l'effort de la cordée.

Les copains ne sont pas aussi rapides qu'un Tenzing Norgay sur les versants de l'Everest. Pour rompre la lenteur de la montée, on peut à loisir observer et dessiner les nombreuses protubérances sur la chromosphère solaire. Les protubérances évoluent très rapidement, plus vite que nos sportifs. J'ai le temps de faire 5 dessins et de jeter un coup d'œil dans la bino de 100 du voisin équipée de filtre mylar. Je n'ai jamais été convaincu par ce genre d'instrument, la superposition des images est délicate et souvent inconfortable. Je finis donc souvent par fermer un œil ; mais ici, j'ai été scotché par la résolution et l'effet 3D sur les taches. On retrouve autour des taches sombres les pétales tels que Van Gogh les dessinait sur ses tournesols. C'est une vision très différente mais complémentaire de ce que l'on peut voir avec le filtre H-alpha.

Là-haut, le club des 5 fait une pause pour manger leur tarte aux noisettes, tandis qu'Elyane et moi sommes rejoints par une vieille connaissance

du club : Sébastien Lebouc. Il vient tester les conditions de turbulence pour l'observation solaire avec sa lunette de 120 et son Solar Spectrum, redoutable engin sur le soleil.

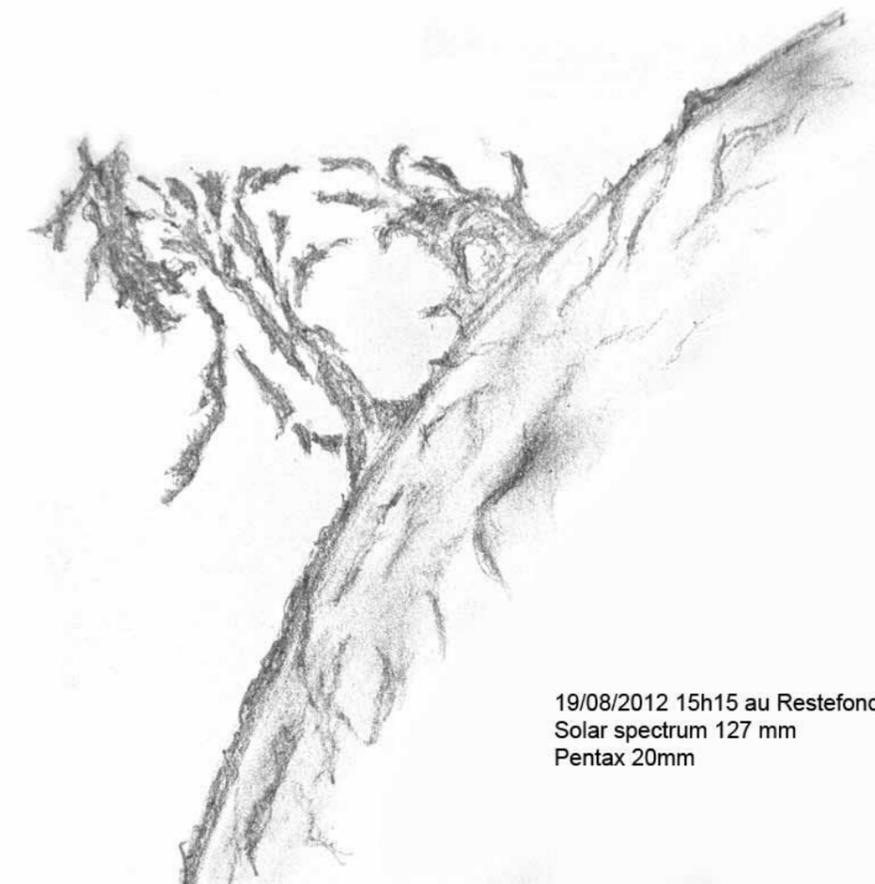
La tentation est trop forte d'aller embêter Sébastien pour tester son équipement. Le Solar Spectrum est très performant pour faire ressortir le bouillonnement de la chromosphère.

A peine rentré de l'expédition, Serge ne peut s'empêcher d'aller squatter le matériel de Sébastien, jusqu'à sortir les crayons pour dessiner un improbable jet de gaz en fusion très rectiligne.

Suivre ce dessin était particulièrement comique, car Serge venait de finir le dessin de la plus grosse protubérance et avant de poser le crayon, il jeta un coup d'œil pour une confirmation que tout était là, mais non !! Un bourgeon au pied de la protubérance a explosé libérant violemment un jet de gaz bien rectiligne. Le problème, c'est qu'il file plus vite que le coup de crayon de Serge sur le papier, à chaque coup d'œil à l'oculaire la forme évolue grossièrement sur le papier, pas le temps d'ajouter du détail, il faut y retourner tellement c'est rapide...En moins de 10 minutes tout a disparu... déroutant, tellement éphémère !!

Quatre jours là-haut ça passe vite, trop vite... c'est déjà terminé... enfin pour 2012. ■

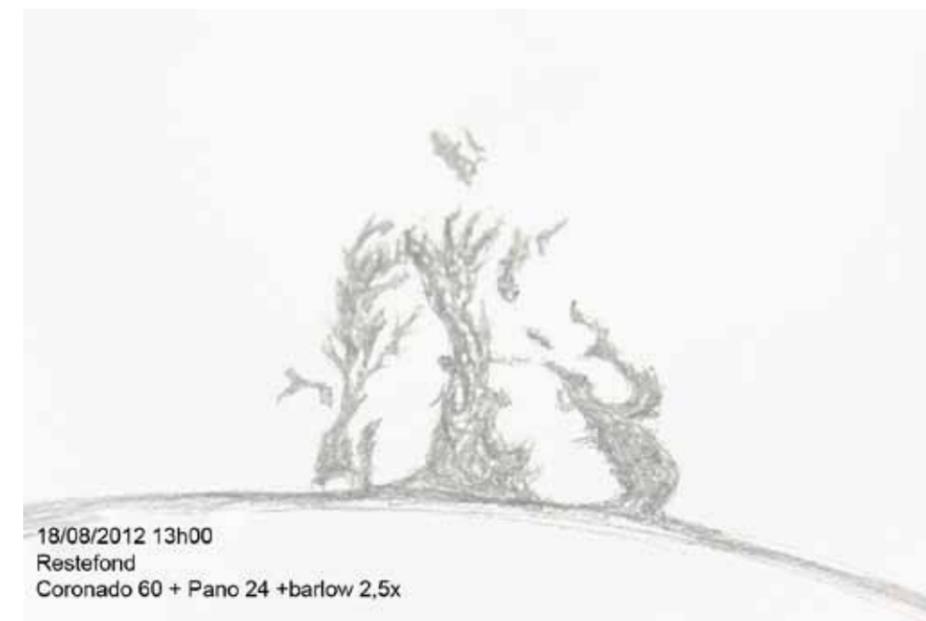
Yannick



19/08/2012 15h15 au Restefond
Solar spectrum 127 mm
Pentax 20mm



19/08/2012 Restefond
Coronado pano 24 + barlow 2,5x



18/08/2012 13h00
Restefond
Coronado 60 + Pano 24 +barlow 2,5x



• L'Observatoire de Greenwich •



La visite de l'Observatoire de Greenwich est incontournable pour tout astronome amateur de passage à Londres. J'ai donc profité d'un week-end prolongé dans la capitale de Grande-Bretagne pour rendre une petite visite à ce haut lieu de l'astronomie. La rencontre fortuite, au détour d'une allée, de l'accompagnateur d'un groupe de touristes, affublé d'un excentrique costume mêlant 21ème et 19ème siècles, se gaussant de ces satanés français et de leur méridien de Paris qu'ils sont les seuls à utiliser, va me fournir un des fils conducteur de mon récit.

Didier L.

La découverte

La traversée de l'immense parc qui entoure l'Observatoire de Greenwich est sous le magnifique soleil de ce dimanche matin un véritable bonheur. Des écureuils gris bien peu farouches y gambadent en toute quiétude entre les promeneurs et les toutous en laisse : tout ce petit monde s'ignore superbement ... le flegme britannique sans doute. Londres est une ville bien différente de Paris, plus étendue, moins dense, et l'Observatoire se trouve au final fort éloigné de son centre historique. L'Observatoire, planté sur une petite colline boisée, est discret, les bâtiments me paraissent bien modestes en comparaison de l'Observatoire de

Paris dont l'imposante architecture n'est pas sans rappeler celle du Château de Versailles.

Une fois l'entrée franchie une première pièce historique nous accueille. Il s'agit de la partie basse, la caisse primaire en quelque sorte, du tube du télescope de 40 pieds que William Herschel construisit en 1789. Le « Colosse de Rhodes », tel que ses contemporains l'avait surnommé, n'a jamais donné de bons résultats malgré et à cause de son miroir en bronze de 1m20 de diamètre. Il fallut attendre Lord Rosse et 1839 pour que la fabrication d'un grand miroir en bronze soit maîtrisée, avec la production d'un total de pas moins

d'une quinzaine de miroirs de 91 cm. Le record d'Herschel ne sera battu qu'en 1845 avec le « Léviathan » de ce même Lord Rosse et son diamètre de 1m83. Les observations réalisées avec ce monstre sont d'ailleurs absolument étonnantes, tellement révolutionnaires pour l'époque qu'elles vont plonger les astronomes contemporains de Lord Rosse dans un certain scepticisme.

L'observatoire historique

La suite de la visite nous plonge au cœur de l'ancien observatoire. Greenwich fut fondé en 1675 sur pro-

position de John Flamsteed qui reçut du Roi Charles II le titre d'Astronome Royal, soit un petit peu plus tard que l'Observatoire de Paris qui fut pour sa part créé en 1667. Neufs autres Astronomes Royaux vont lui succéder jusqu'à la fermeture de l'Observatoire dans les années 1950, dont les deux plus célèbres, pour nous astronomes amateurs, sont Edmond Halley pour la comète qui porte son nom, et George Airy pour ses travaux sur la diffraction de la lumière par

une ouverture circulaire.

Nous pénétrons alors dans la cour de l'Observatoire : le fameux méridien de Greenwich y est matérialisé par une bande métallique et une étrange sculpture placée à son extrémité, devant laquelle les visiteurs aiment à se faire photographier. Je rendrai d'ailleurs ce service à un couple de jeunes touristes mais je déclinerai leur offre en retour, ne voyant pas personnellement l'intérêt de ce genre de cliché.





L'Observatoire a été créé dans le but de résoudre le problème de la détermination de la longitude en mer, et tout au cours de la visite va nous rappeler l'incroyable défit scientifique et technologique que cela a représenté en son temps. Deux camps vont s'opposer à ce sujet tout au long du 18^{ème} siècle en Angleterre, les partisans de la méthode des distances lunaires et les partisans de la méthode chronométrique. Nous reviendrons un peu plus tard sur cette aventure car, pour l'instant, la visite nous conduit dans la « maison de Flamsteed » (Flamsteed House) qui fut le tout premier bâtiment de l'Observatoire à être édifié. La bâtisse est surmontée d'une curieuse sphère rouge (Time-Ball) qui ne signale pas la présence d'un quelconque amuseur public mais est le dispositif qui fut utilisé, à partir des années 1830, pour synchroniser

sur le temps officiel (GMT) les chronomètres de marine des navires présents dans le port de Londres. Je n'ai pas assisté à la scène mais la sphère est paraît-il montée en haut de son mât peu avant 13h pour être relâchée à l'heure pile : la manœuvre qui n'a aucun intérêt à l'heure des systèmes GPS, GLONASS et GALILEO n'est plus rien d'autre qu'une attraction touristique. Les Astronomes Royaux ont toujours vécu ici avec leur famille et la visite de la « maison de Flamsteed » commence par quelques pièces d'habitation. Ces pièces d'une grande modestie rappellent que l'Observatoire fut longtemps très chichement doté, l'Astronome Royal n'ayant eu notamment qu'un seul et unique assistant jusqu'en 1818, date à laquelle l'Observatoire passa sous le contrôle de l'Amirauté, et commença un développement atteignant son apogée

à la fin du 19^{ème} siècle. Un petit escalier nous emmène alors au premier étage dans la « pièce octogonale ». Le lieu est magique. Il respire l'histoire, et c'est d'ailleurs ici que John Flamsteed fit ces premières observations avant de les poursuivre dans le petit pavillon prévu à cet effet dans la cour de l'Observatoire. En effet, la « pièce octogonale » a été avant tout conçue dès l'origine comme une pièce d'apparat et se prête mal aux observations astronomiques car les fondations de l'ancien château de Greenwich, sur lesquelles la « maison de Flamsteed » est construite, sont trop instables. D'ailleurs jamais aucun mur méridien n'a été construit ici. Le travail astronomique à l'Observatoire va surtout être orienté vers les observations méridiennes, puisque sa vocation est avant tout d'accumuler les données nécessaires à la mise



au point de la méthode des distances lunaires. Flamsteed dresse pour sa part un catalogue d'étoiles très précis et établit la constance de la rotation terrestre à l'aide d'horloges à pendule conçues par le maître horloger Thomas Tompion, dont on peut voir des répliques dans la « pièce octogonale ». Halley va quant à lui se consacrer à l'étude du mouvement de la Lune pendant 18 années, mais des erreurs dans le réglage des instruments et des horloges vont malheureusement rendre ce travail inutilisable. Les travaux de leurs successeurs vont alors essentiellement porter sur l'amélioration de la précision des mesures, jusqu'à la publication annuelle de l'almanach nautique à partir de 1767, outil indispensable à la mise en œuvre de la méthode des distances lunaires en mer. L'utilisation de celle-ci va longtemps perdurer, jusqu'à ce que la supériorité incontestable de la méthode chronométrique l'impose définitivement comme la seule et unique solution pratique au problème de la longitude.

La sortie de la « pièce octogonale » s'effectue par un escalier étroit et raide qui plonge vers le sous-sol de l'Observatoire, dans lequel on peut découvrir une très intéressante exposition sur les techniques de navigation, la mesure du temps et le prix de la longitude. Cette exposition rappelle à quel point navigation sur terre et sur mer, mesure du temps, et astronomie sont de tout temps liées. On peut y voir les merveilleux chronomètres de marine H1, H2, H3, et H4 du maître horloger John Harrison, le difficile vainqueur du prix de la longitude. Harrison va œuvrer pendant près de 30 ans à la réalisation d'une horloge capable de satisfaire les exigences de la Commission de la Longitude, faisant preuve d'une rare persévérance face à une adversité certaine de ses contemporains et à des difficultés techniques à la hauteur du défit imposé. Je vous propose de revenir plus en détail sur ce prix de la longitude, l'histoire des horloges et la méthode des distances lunaires dans trois apartés respectifs.

La pièce octogonale.

Le dos du chronomètre H1 et son étonnant système de balancier.



La visite à proprement parler se termine par le bâtiment des méridiens. Trois méridiens ont été successivement établis à Greenwich, au fur et à mesure que les progrès dans la précision des mesures ont demandé un terrain plus stable et donc de s'éloigner des flancs de la colline sur laquelle l'Observatoire est établi. On peut y découvrir : sur le méridien de 1720 (Halley) un quadrant de George Graham datant de 1725 ainsi qu'un quadrant de John Bird datant de 1750 ; sur le méridien de 1750 (Bradley) une lunette méridienne d'Edward Troughton datant de 1816 ; sur le méridien de 1851 (Airy) le cercle méridien de George Airy datant lui aussi de 1851. Ce dernier instrument est un ravissement que l'on dirait tout droit sorti d'un roman d'H.G. Wells : rampes et marches d'escalier en bois ; poulies diverses et variées ; chaînes et contrepoids ; porte-oculaire et chercheur en laiton.



Cercle méridien.



Quadrant de John BIRD (1750).

L'extension victorienne

L'Observatoire de Greenwich va connaître son apogée sous le règne de la Reine Victoria. D'une part, par l'ultime extension du bâtiment des méridiens et l'établissement du méridien actuel en 1851 par George Airy. En 1884, une conférence désigne d'ailleurs le méridien de 1851 comme la référence internationale, non pas parce que ce méridien y serait mieux positionné ou défini qu'ailleurs, mais parce que Londres est à l'époque la plaque tournante du commerce mondial.

D'autre part, en devenant dans les années 1830 le centre de certification des chronomètres de marine pour l'ensemble des navires britanniques, ainsi que le lieu d'établissement du temps officiel pour tout le pays, le fameux GMT (Greenwich Mean Time) aujourd'hui remplacé par l'UTC (Temps Universel Coordonné).

Et surtout pour finir, par une spectaculaire diversification de ses activités jusque là quasiment exclusivement tournées vers la problématique de la navigation en mer. Au tournant du 19^{ème} siècle le nombre d'assis-

• l'Observatoire •

tants va ainsi culminer à une soixantaine, attestant de l'ampleur prise par l'Observatoire.

Le premier témoin de cette diversification est le bâtiment équatorial signalé par sa grande coupole. Construit dans les années 1850 il reçut d'abord une lunette de 12,8 pouces (32 cm) puis, dans les années 1890, une lunette de 28 pouces (71 cm) que l'on peut y voir encore. On y accède depuis le bâtiment des méridiens par un large escalier rectiligne, puis par un étroit escalier en colimaçon qui laisse présager une découverte magnifique. Hélas, après un court passage sur la coursière extérieure, on découvre un intérieur de coupole sans âme : certes la lunette est imposante sur sa monture à berceau, mais l'ambiance est froide, bien loin de la magie de la lunette Arago, un peu comme si l'on s'était contenté de rafraîchir l'ensemble avec une couche de peinture, histoire de faire propre. Peut-être que l'impression laissée serait tout autre de nuit, que le charme opérerait et me réconcilierait avec le lieu.

Petit bureau.





Grande lunette de 28 pouces..

Le second témoin de cette diversification est le bâtiment sud. Construit vers 1890 dans le plus pur style victorien, son apparence extérieure est un régal pour les yeux. Il abritait à l'époque instruments équatoriaux, bureaux, laboratoires et chambres noires, mais a malheureusement été transformé en un lieu impersonnel d'accueil du public et de vulgarisation de l'astronomie finalement sans intérêt.

Les autres témoins de cette diversification ont aujourd'hui disparu. Il

y avait à la fin du 19^{ème} pléthore de petits pavillons destinés aux mesures météorologiques et à l'étude du géomagnétisme.

La revanche de l'Observatoire de Paris

La croissance de la ville de Londres, la folie des éclairages urbains qui sévit ici comme ailleurs sans aucun discernement, les perturbations

électromagnétiques et les vibrations dues aux lignes de transport ferroviaire, couplées au légendaire pragmatisme anglo-saxon vont avoir raison de l'Observatoire de Greenwich. Les activités de celui-ci vont être transférées une première fois dans les années 1940 et 1950 à Herstmonceux, puis une seconde fois à Cambridge en 1990 avant d'être définitivement abandonnées en 1998. Le site de l'ancien observatoire est quant à lui fermé depuis 1953 et n'est plus aujourd'hui qu'un musée. L'Observatoire de Paris tient là une double revanche. Non seulement il est toujours en activité contrairement à son rival historique, mais il joue plus que jamais un rôle majeur dans les domaines qui l'ont toujours opposé à Greenwich. Le SYRTE (Systèmes de Référence Temps-Espace) situé à l'Observatoire de Paris est à la pointe de la recherche en matière d'horloges atomiques et de métrologie temps-fréquence. J'ai eu le privilège dans une vie passée de collaborer (très modestement) avec le SYRTE et j'en garde un souvenir marqué par l'engagement et l'excellence technique de ses équipes. Le SYRTE est en outre le correspondant national auprès du BIPM (Bureau International des Poids et Mesures) à Sèvres chargé d'établir le Temps Atomique International (TAI). Eh oui, messieurs les Anglais, si le méridien international est domicilié en Albion, le temps international est français ! D'ailleurs, le méridien de référence international actuel n'est même plus celui de 1851, il est placé une centaine de mètres plus à l'Est, le coup de grâce étant qu'il est désormais déterminé par le LAREG de l'IGN, en combinant l'ensemble des mesures géodésiques mondiales !

Sunday is not closed

Une surprise de taille m'attend à la sortie de l'Observatoire en ce début d'après-midi. Les rues jouxtant le parc de l'Observatoire qui étaient désertes le matin sont maintenant grouillantes de monde : impossible de pénétrer dans le marché du quartier tant la foule y est compacte et forme une muraille infranchissable. Les magasins sont tous ouverts et bondés. On est très loin de l'image véhiculée par le célèbre sketch de Fernand Raynaud, ici plus rien n'est fermé le dimanche !

Pour finir, si vous êtes de passage à Londres, je ne saurais que trop vous recommander d'aller au British Museum jeter un coup d'œil aux bas-reliefs de la chasse au lion du roi assyrien Ashurbanipal : ceux-ci sont absolument saisissants de vérité ... une pure merveille. La visite guidée du parlement (Houses of Parliament) à Westminster, haut lieu de cette belle démocratie qu'est la démocratie britannique, s'impose également. Cet édifice somptueux est d'autant plus magique qu'il est toujours le centre de la vie politique en Grande-Bretagne.

Enfin, j'espère que, si le précédent article de Brigitte sur l'astronomie chez les cousins d'Outre-Manche (Le Groupe Local n°36 de novembre 2011) vous avait donné l'envie de visiter l'Observatoire de Greenwich, celui-ci vous permettra de mieux profiter de votre visite. ■

Didier L.



La chasse au lion du roi Ashurbanipal.



Palais de Westminster.



Le sous-sol de l'Observatoire de Greenwich renferme une très intéressante exposition sur les horloges de marine et le prix de la longitude, extraordinaire aventure dont j'ai essayé de faire ici un résumé clair et objectif à partir des informations glanées sur place puis sur le net. J'espère que vous prendrez plaisir à lire ces quelques pages.

Didier L.

Le problème de la longitude

Pour se positionner correctement en mer et plus généralement en n'importe quel endroit du globe il faut déterminer sa latitude et sa longitude. A l'heure des navigateurs GPS il suffit d'appuyer sur un bouton pour connaître sa position à quelques mètres près, et plus généralement pour se laisser guider jusqu'à sa destination, sans se préoccuper le moins du monde de la façon dont ce petit miracle se produit. Mais il n'en a pas toujours été ainsi, loin s'en faut. Pendant très longtemps seules des méthodes empiriques ont été à disposition des marins, et la quintessence de ces méthodes est l'extraordinaire technique de navigation utilisée par les Polynésiens pour conquérir l'océan Pacifique. Un peu plus scientifique est la technique de navigation à l'estime qui consiste à relever régulièrement son cap et

sa vitesse puis à « pifométrer » sa position à partir de ces mesures : on conçoit aisément que la méthode conduit à une accumulation des erreurs élémentaires assez néfaste pour la précision du résultat final. On en est à peu près là à la fin du 17^{ème} siècle, à ceci près que les navigateurs disposent en plus de l'astrolabe nautique et du quadrant de Davis pour déterminer leur latitude. Pour la mesure de longitude il n'existe encore aucune technique digne de ce nom, et c'est dans ce contexte que le gouvernement britannique lance en 1714 le prix de la longitude, offrant la colossale somme de 20000 £ de l'époque à qui apportera une solution utilisable en mer. Pour être exact, cette somme de 20000 £ est offerte uniquement si la solution démontre une précision de 1/2°, elle est abaissée à 15000 £ pour une performance de 2/3° et à « seulement » 10000 £ pour 1°.

Avant de continuer il faut avoir à l'esprit qu'une erreur de 1° sur la longitude correspond au niveau de l'équateur à une erreur de positionnement supérieure à 100 km. L'objectif n'est donc pas de trouver l'entrée du port aux instruments, mais plus modestement de ne pas rater l'île qui abrite le port en question, ou d'éviter d'aller se fracasser sur la côte en se pensant tranquillement en pleine mer. A noter qu'une erreur de 1° sur la latitude se traduit par une erreur de localisation du même ordre de grandeur, mais sur l'axe nord-sud cette fois. C'est d'ailleurs une erreur de navigation en latitude, et non pas en longitude, qui est la cause de la catastrophe des Iles Scilly en 1707, où la flotte britannique perdit 4 navires et près de 2000 marins, et à laquelle on fait référence classiquement comme étant l'événement déclencheur du prix de la longitude.

Les 2 méthodes en compétition au 18^{ème} siècle

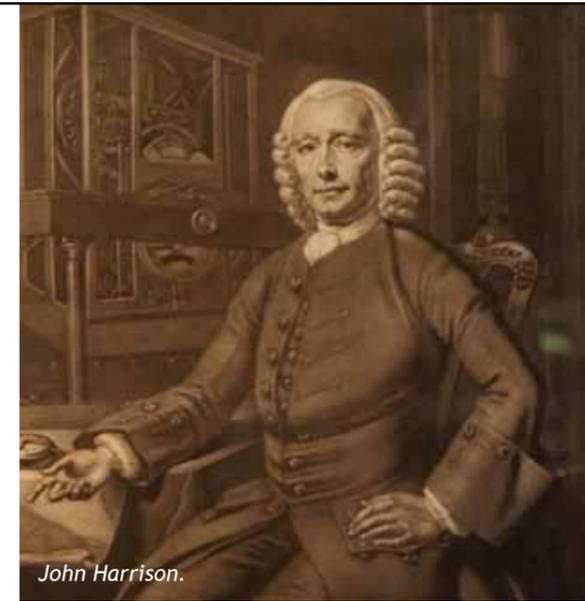
Les deux méthodes, dont les partisans vont s'opposer au cours du 18^{ème} siècle, s'appuient sur le principe de base que la différence de longitude entre deux lieux est strictement équivalente à la différence des heures locales au même instant. Elles diffèrent simplement par le moyen proposé pour déterminer l'heure du méridien de référence. La première des ces méthodes est la méthode des distances lunaires. Elle repose sur l'idée déjà ancienne, émise par l'astronome allemand Johannes Werner dès le début du 16^{ème} siècle, que connaître la position de la Lune par rapport au fond d'étoiles est un moyen de déterminer à distance l'heure au méridien de référence, en l'occurrence pour les britanniques celui de Greenwich. Mais la tâche n'est pas aisée, car si il faut réaliser 3 mesures angulaires délicates dont celle cruciale entre la Lune et un astre de référence, en outre, elle nécessite l'accumulation d'une énorme quantité de données astronomiques extrêmement précises afin d'établir des prévisions fiables qui doivent être mises sous forme de tables pour leur utilisation en mer. Pour finir, le calcul de la longitude à partir des mesures lunaires est fort complexe, et demande plusieurs heures d'effort ainsi qu'un solide bagage mathématique à une époque où les ordinateurs n'existent pas.

La méthode chronométrique repose quant à elle sur l'idée beaucoup plus simple, et tout aussi ancienne, avancée par le mathématicien néer-

landais Gemma Frisius en 1530, qu'il suffirait d'emporter avec soi une horloge réglée sur l'heure locale du point de départ pour, par simple lecture de l'heure locale du lieu courant, en déduire la différence de longitude entre les deux lieux. Mais là encore tout n'est pas si simple, car jusqu'ici toutes les tentatives pour fabriquer une horloge capable de tenir l'heure sur un navire en mouvement ont échoué, à tel point qu'en ce début de 18^{ème} siècle il n'y a plus personne pour penser qu'une telle machine soit réalisable. Il est clair que dans les deux cas le défi est de taille. D'un côté, il faut accumuler une quantité de mesures impressionnante avec le niveau de précision idoine, et construire un instrument de mesure des distances angulaires qui n'existe pas encore, mais dont les principes sont néanmoins émergents. De l'autre, il faut réussir à fabriquer une horloge mécanique capable de tenir l'heure avec une précision diabolique sur un voyage pouvant durer plusieurs mois, malgré les variations de température et les mouvements du navire, et cela selon des principes dont personne n'a encore la moindre idée. Pour fixer les ordres de grandeur, le gain du prix de 20000 £ demande une horloge dérivant de moins de 3 secondes par jour dans les conditions précitées, alors que les meilleures horloges de l'époque affichent une erreur d'une dizaine de secondes par jour dans les conditions nettement plus favorables d'un environnement de laboratoire.

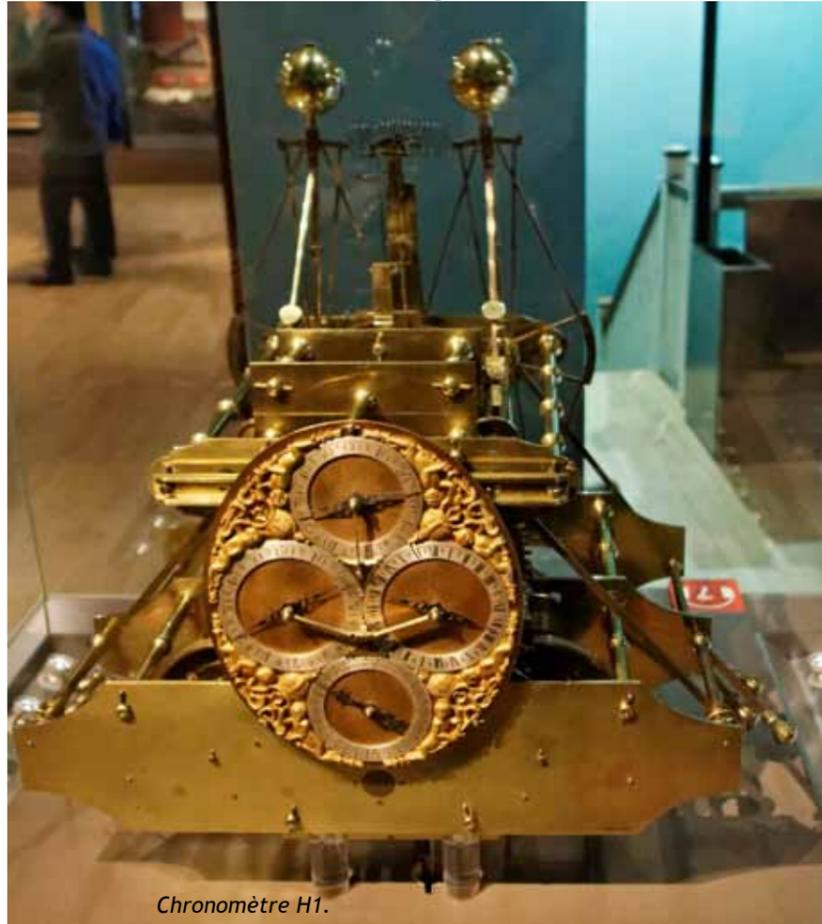
La longue quête d'Harrison

Un homme hors norme va relever

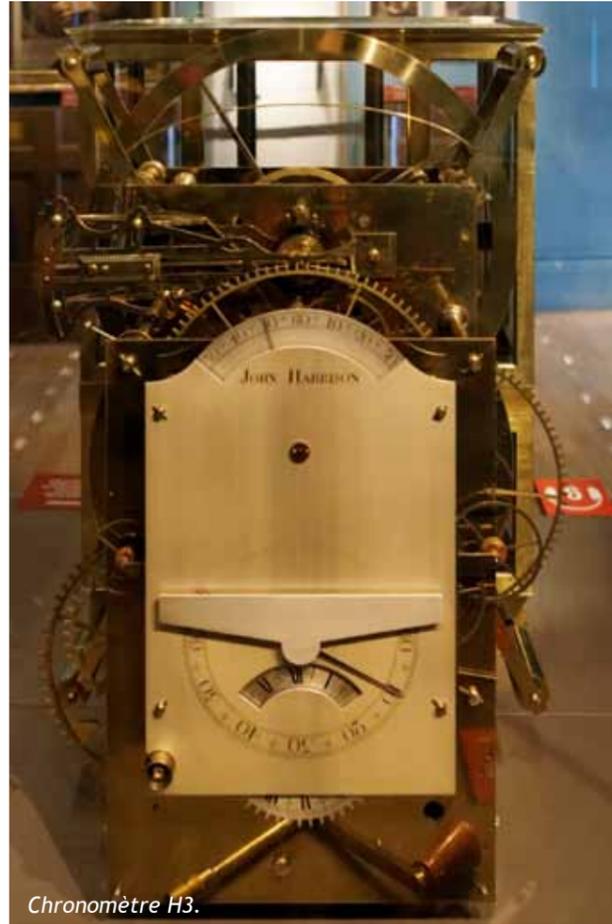


John Harrison.

la gageure qu'est la réalisation du premier chronomètre de marine de l'histoire. John Harrison naît en 1693 dans une famille de condition relativement modeste, et se forme seul à l'horlogerie en parfait autodidacte. Nul ne sait comment la passion des horloges lui est venue, mais toujours est-il qu'il fabrique sa première horloge en 1713 à l'âge de 20 ans. Cette première horloge, essentiellement en bois, reste d'une conception très classique pour l'époque. Une de ses premières réalisations originales est son horloge sans lubrification de 1722 : il y introduit nombre d'astuces de conception et une première innovation qui est l'échappement à sauterelle, délicat échappement « sans friction » qu'il sera le seul à jamais utiliser. Aussi incroyable que cela puisse paraître, cette horloge est toujours en parfait état de fonctionnement. Par la suite, avec l'aide de son frère, il va se lancer entre 1726 et 1728 dans la réalisation d'une série d'horloges-étalons à pendule. Reprenant les principes de son horloge de 1722 et en y ajoutant une innovation majeure qui est le pendule à gril, pendule compensé



Chronomètre H1.



Chronomètre H3.

en température, il réalise un modèle d'horloge dont la précision est meilleure que 1 seconde par mois. Harrison va alors consacrer toute son énergie et le savoir-faire acquis à la réalisation d'un garde-temps de marine. Mais pour cela il sait qu'il doit abandonner la solution du pendule qui ne s'accommoderait pas des mouvements du navire, et partir sur un régulateur à balancier. Il réalise son premier garde-temps, H1, de 1730 à 1735, en reprenant les éléments techniques caractéristiques de ses horloges précédentes, l'acier ayant néanmoins été remplacé en grande partie par du bronze pour pallier le problème de la corrosion marine. Il conçoit son horloge avec un curieux balancier en deux parties couplées par des ressorts hélicoïdaux, escomptant un effet dif-

férentiel compensateur des mouvements du navire, et tente sans réel succès d'y appliquer la solution de son pendule à gril pour la compensation en température. Si le test en mer de 1736 est un échec, puisque les performances nécessaires au gain du prix de 10000 £ ne sont même pas atteintes, la Commission de la Longitude en charge d'administrer le prix n'en est pas moins ébranlée dans sa certitude que la méthode chronométrique ne peut être la solution au problème. Harrison ne se décourage pas et s'attaque à son second garde-temps, H2, de 1736 à 1740. Le bois, matériau auquel il attribue en partie les performances décevantes de H1, a quasiment disparu, et il y a ajouté un remontoir d'égalité afin d'assurer une meilleure constance de la force

d'entraînement. Hélas, H2 souffre d'un défaut de conception des balanciers qui le rend très sensible aux mouvements circulaires, et ne fait même pas l'objet d'un essai en mer. Loin de s'avouer vaincu, Harrison se lance alors dans son troisième garde-temps, H3, qui va longuement le tourmenter de 1740 à 1759. L'expérience malheureuse de H2 l'a fait revenir à des balanciers de forme circulaire auxquels il ajoute un spiral. Sinon, H3 conserve les améliorations successives de H1 et H2, et intègre deux innovations supplémentaires de première importance qui sont le roulement à rouleaux avec cage et le bilame. La première de ces deux inventions a pour objectif une ultime réduction des frottements dans son horloge, et, on peut le dire, est l'ancêtre des roulements actuels. La

seconde est destinée à la compensation en température du spiral, et a été et est encore utilisée à toutes les sauces : thermostats, thermomètres, disjoncteurs thermiques, etc. Au final H3 sera un échec, obligeant Harrison à constamment en revoir la conception sans jamais atteindre le niveau de performance désiré. Cet échec sera durement ressenti par Harrison, malgré la prestigieuse médaille Copley qu'il reçoit de la Royal Society en 1749, et le soutien financier de la Commission de la Longitude, qui lui aura versé au total une coquette somme d'environ 4000 £ pendant les 29 années de dur labeur sur ses trois premiers prototypes. Le loup se cachait en fait au niveau du spiral qui était mal conçu et empêchait le fonctionnement isochrone des balanciers.

La solution va en fait survenir de façon complètement inattendue. En parallèle de ses travaux sur les horloges de marine, Harrison œuvre à l'amélioration des performances des montres qui sont alors d'une médiocrité assez affligeante. Jusque là toutes les montres étaient dotées d'un balancier à faible énergie, petit et léger, de façon à ce que la montre démarre toute seule sans avoir à la secouer. Harrison sait d'instinct qu'une montre avec un balancier à haute énergie aura des performances bien supérieures. Il va en faire réaliser une par l'horloger John Jefferys avec un balancier lourd, plus grand, battant plus vite et plus amplement. Et en 1753, lors des premiers essais, c'est la surprise, car la montre en question se comporte beaucoup mieux qu'attendu ! Il va donc s'appliquer à adapter le principe du balancier à haute énergie à son quatrième prototype de garde-



Chronomètre H4.

temps, H4, et réaliser le premier chronomètre de marine au monde entre 1755 et 1759. H4 est très différent de ses prédécesseurs : il ne s'agit plus d'une horloge portable de plusieurs dizaines de kg mais d'une grosse montre de gousset de 13 cm de diamètre et 1,5 kg. On y retrouve certains éléments de ses réalisations précédentes comme le remontoir d'égalité et le bilame de compensation en température du spiral, mais toutes les innovations destinées à réduire les frottements ont disparu car elles ne peuvent être miniaturisées. Harrison est revenu à la solution plus traditionnelle huile et rubis, avec toutefois un échappement à verge largement modifié pour obtenir un mouvement isochrone. H4 va être essayé avec un succès dépassant toutes ses espérances début 1762

lors d'un voyage à la Jamaïque, mais une mauvaise préparation du protocole de test, Harrison ayant oublié de déclarer au préalable la marche diurne moyenne de son chronomètre qu'il corrige a posteriori, va entraîner la contestation des résultats par la Commission de la Longitude. La difficile reconnaissance Une longue bataille avec la dite commission va alors s'engager pour lui faire admettre l'incroyable performance de H4, largement au-delà de ce qui est demandé pour le prix de 20000 £. La Commission de la Longitude a toujours eu une attitude schizophrène envers Harrison, le soutenant financièrement mais pariant sur la réussite de la méthode des distances lunaires. Cette attitude ambiguë trouve probablement son origine dans la vieille croyance qu'une hor-



loge de marine est impossible à réaligner, et dans le fait que ses membres scientifiques sont des astronomes qui privilégient les méthodes astronomiques, et ne comprennent probablement pas le fonctionnement des horloges, contrebalancés par la grande influence du maître horloger George Graham et de l'astronome James Bradley, amis et fervents soutiens d'Harrison de toujours. La Commission se trouve finalement coincée entre la peur d'éliminer une méthode qui pourrait réussir, et celle de se voir reprocher d'avoir inutilement dilapidé l'argent du prix.

L'attitude bienveillante de la Commission va changer en 1762 avec le décès du dernier grand supporter d'Harrison qu'est James Bradley, alors Astronome Royal à l'Observatoire de Greenwich. De plus, la méthode des distances lunaires est entre-temps arrivée à maturité avec l'invention en 1730 de l'octant par John Hadley (l'astronome de la rainure du même nom sur la Lune, site d'alunissage d'Apollo 15 au pied des Apennins) dérivé du quadrant à miroir de Newton, puis surtout du sextant à la fin des années 1750, ainsi que la publication des Tables de la Lune de l'allemand Tobias Mayer en 1755. Elle aussi va bientôt pouvoir faire ses preuves. A tout ceci s'ajoute le fait qu'Harrison est un OVNI qui n'a pas reçu l'éducation formelle de ses interlocuteurs et n'en a pas non plus les bonnes manières, qu'il n'est pas un bon communicateur et en a d'autant plus de mal à exprimer ses idées révolutionnaires clairement. Pour couronner le tout, Harrison se fait régulièrement représenter par son fils William dont le comportement est particulièrement désagréable, et donc source de

tensions.

Dès lors les relations entre Harrison et la Commission vont aller de mal en pis. La Commission va d'abord demander un second voyage avec H4 pour prouver que la réussite du premier voyage n'était pas fortuite, ce en quoi elle n'a pas tort, ainsi qu'un exposé technique détaillé, ce en quoi elle n'a pas tort non plus. Le problème de fond vient du fait que le règlement du prix de la longitude est très flou et laisse donc énormément de place à la subjectivité des parties. Il est, il faut bien le dire, inadapté à la complexité réelle du problème. Mais pouvait-il en être autrement eu égard le saut dans l'inconnu que la résolution de l'épineuse question représentait ? Le prix doit récompenser une méthode pratique à utiliser en mer, qui devra être validée par un essai entre la Grande-Bretagne et les Caraïbes. Mais comment valider sérieusement une méthode sur un seul essai ? Encore pire, comment qualifier réellement une horloge avec seulement deux mesures ? Et puis qu'est-ce qu'une méthode pratique à utiliser en mer ? La lutte entre Harrison et la Commission de la Longitude qui en résulte va finalement aboutir à un durcissement des conditions d'attribution du prix, imposant entre autres à Harrison la présentation formelle des principes de H4, ainsi que la supervision de la fabrication par des tiers de 2 exemplaires supplémentaires de son chronomètre. On peut cependant remarquer que la Commission sera nettement moins tatillonne avec la méthode des distances lunaires.

Ce second voyage aura lieu au printemps 1764. L'astronome Nevil Maskelyne est cette fois dépêché au

préalable par la Commission pour s'assurer de la validité de l'essai. Mais il va surtout s'employer à tester la méthode des distances lunaires, dont il est un partisan effréné, et à en faire la promotion, entraînant un conflit assez violent avec William Harrison qui a fait le voyage de son côté avec H4. Celui-ci va encore se comporter admirablement en affichant un écart de marche de 39 secondes au bout des 47 jours du trajet aller, soit une erreur de 18 km sur la longitude et trois fois mieux que nécessaire pour obtenir les 20000 £ du prix. Maskelyne ne fera pas mieux avec la méthode des distances lunaires et une erreur de 48 km.

Si la Commission n'est évidemment toujours pas disposée à remettre la totalité du prix à John Harrison, elle consent néanmoins à verser la moitié des 20000 £, dès que les principes de H4 auront été dûment présentés à un parterre de spécialistes désignés par ses soins, ce à quoi Harrison est réticent depuis toujours (et on le comprend) car il sait que la Commission veut rendre ces informations publiques. De plus, celle-ci commence à émettre de nouvelles revendications comme le transfert de propriété des 4 prototypes d'Harrison, bloquant ainsi toute discussion. Le paroxysme de ce blocage intervient courant 1765 avec la nomination de Nevil Maskelyne au poste d'Astronome Royal qui devient de fait membre de la Commission de la Longitude. Toutefois, Harrison, qui sait que sans un geste de sa part la situation n'évoluera jamais en sa faveur, finit par accepter d'exposer les détails de conception de son chronomètre, et reçoit les 10000 £ promises à l'automne 1765. Il devra aussi finir par céder la propriété de

ses quatre prototypes H1, H2, H3 et H4, qui seront confiés à Nevil Maskelyne qui n'en fera évidemment rien de probant, tout dévoué qu'il est à la méthode des distances lunaires.

Nous sommes maintenant en 1767 et Harrison n'est toujours pas d'humeur à abandonner, car il veut être à juste titre reconnu comme le vainqueur du prix de la longitude. Il sait qu'il doit pour cela produire deux autres exemplaires de H4, et réclame la restitution temporaire de son prototype pour servir de modèle. Ceci lui est refusé car H4 a été prêté à l'horloger Larcum Kendall, successeur de John Jefferys, pour en faire une copie, désignée de nos jours sous le nom de K1. Harrison va être alors contraint de se lancer de mémoire dans la fabrication de son cinquième garde-temps, H5, dont il terminera la mise au point en 1772. Harrison est maintenant très âgé et conscient qu'il n'arrivera pas à en produire un deuxième exemplaire. Il propose alors à la Commission de considérer K1 comme le second exemplaire dû, mais celle-ci refuse. En fait, la Commission considère le problème désormais définitivement résolu par la méthode des distances lunaires, qui est maintenant pleinement opérationnelle avec le sextant et la publication annuelle de l'Almanach Nautique par l'Observatoire de Greenwich. L'avenir lui donnera tort, car s'il y a une méthode qui n'est pas pratique à utiliser en mer, c'est bien celle-là. Harrison va alors se tourner vers le Roi George III à qui il va prêter H5 pour un essai de plusieurs mois dans son observatoire privé ! Fort de la magnifique performance de H5 enregistrée, il s'adresse à la Commission pour réclamer les 10000

£ restantes et essuie naturellement une fin de non recevoir. Harrison se tourne en désespoir de cause vers le Parlement qui va constater que le dialogue avec la Commission est devenu impossible, et lui vote la remise d'une récompense de 8750 £. Au final, John Harrison n'aura pas obtenu la reconnaissance attendue de la Commission de la Longitude, mais aura tout de même reçu une somme totale d'environ 23000 £ correspondant à plus de 2 millions de livres sterling actuelles.

La victoire finale

Malheureusement pour lui, la victoire morale de John Harrison va être essentiellement posthume. En premier lieu, le capitaine Cook, alors « acquis » à la méthode des distances lunaires, va être enthousiasmé par l'utilisation de K1 lors de son second voyage entre 1772 et 1775, et finira par ne plus jurer que par « son ami le chronomètre ». Cependant personne ne sait si Harrison a jamais entendu parlé de ce triomphe puisqu'il décèdera peu de temps après en 1776. Il va en fait falloir attendre la disparition des derniers opposants farouches à la méthode chronométrique pour voir celle-ci pleinement triompher. Ainsi Nevil Maskelyne continue en 1792 d'affirmer contre toute évidence que la méthode des distances lunaires est plus performante. Il est vrai en revanche que le coût très élevé d'un chronomètre de marine et des délais de fabrication très longs ont longtemps été un puissant frein à son emploi généralisé, et justifient à eux seuls le recours à la méthode des distances lunaires, même si celle-ci est moins précise et finalement beaucoup

moins pratique. Seules les améliorations et simplifications successives apportées par les héritiers spirituels de John Harrison vont permettre sa démocratisation. A ce titre la guerre franco-britannique continue, chacun réclamant la paternité de la chronométrie de marine moderne, associant échappement à détente, balancier compensateur et spiral isochrone, que les uns attribuent à Pierre Le Roy en 1766 et les autres à John Arnold en 1782. Bien difficile pour le non spécialiste de se retrouver dans la jungle des inventions horlogères ! Tout le monde semble néanmoins d'accord pour dire que c'est l'anglais Thomas Earnshaw qui va apporter au chronomètre de marine ses ultimes raffinements. Toujours est-il que les 2 méthodes sont utilisées conjointement en Grande-Bretagne jusque vers 1830, période à laquelle la méthode chronométrique a déjà été largement adoptée par la Royal Navy, et la Commission de la Longitude dissoute. La méthode des distances lunaires va alors commencer une lente agonie pour tomber complètement en désuétude au tournant du siècle.

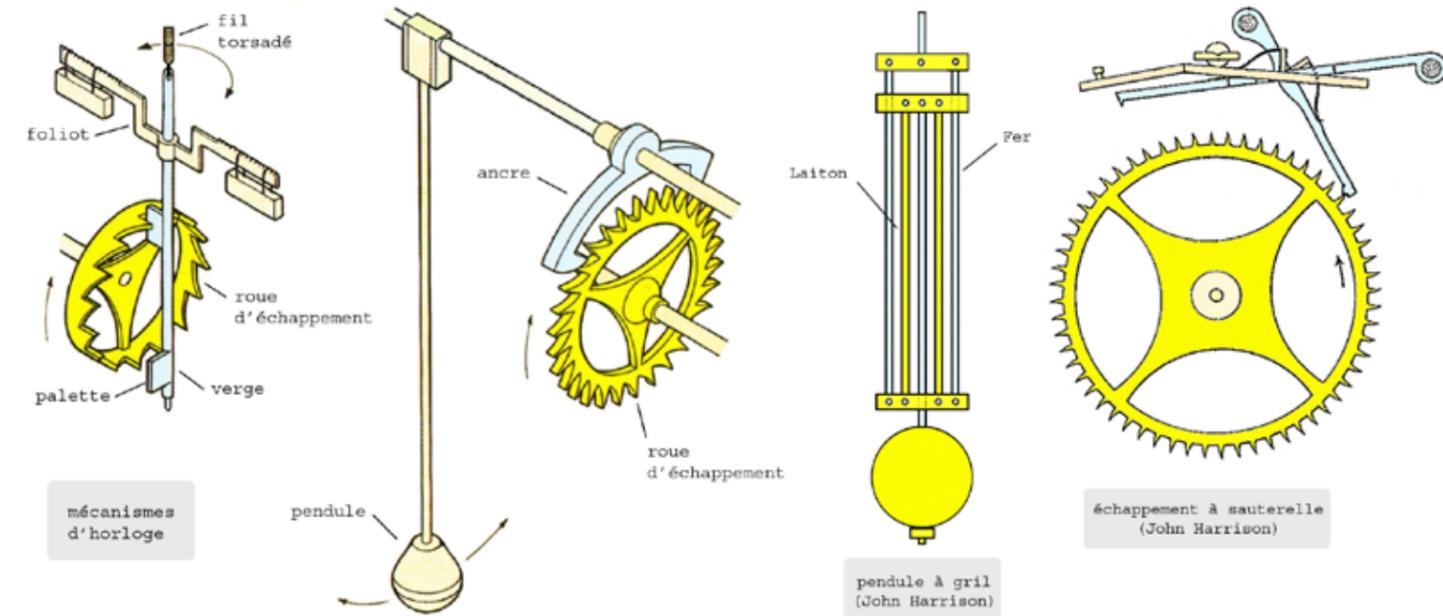
Pour finir, si vous venez à visiter l'Observatoire de Greenwich et sa passionnante exposition sur les horloges d'Harrison, recherchez les pièces en bois sur H1, les échappements à sauterelle sur H1, H2 et H3, et de manière générale tous les mécanismes destinés à réduire les frottements et à compenser les effets en température, en particulier les roulements à rouleaux et les bilames sur H3. Autant de merveilles à côté desquelles je suis passé, aveuglé que j'étais par mon ignorance d'alors. ■

Didier L.

• Brève et incomplète histoire des horloges •

Suite à ma visite de l'Observatoire de Greenwich, j'ai trouvé intéressant et utile de me plonger dans l'histoire de la mesure du temps. Je ne prétends pas avoir effectué là un travail exhaustif ni même rigoureusement exact, mais un rapide panorama essentiellement centré sur les horloges mécaniques qui sont au cœur de l'exposition sur la navigation en mer visible au sous-sol de l'Observatoire, histoire de comprendre un peu mieux ce que l'on peut y découvrir. Mon exposé est donc très incomplet et il me reste d'ailleurs beaucoup de questions sans réponse. Il existe par ailleurs quelques livres fort bien fait sur le sujet, détaillant de façon scientifique les raffinements techniques de ces belles et complexes machines. On trouve également des choses intéressantes sur internet, mais comme d'habitude il conviendra d'y séparer le bon grain de l'ivraie avec discernement. Pour couronner le tout, la métrologie temps-fréquence est en outre un domaine extrêmement délicat, dans lequel il est d'autant plus facile de commettre des erreurs qu'on n'en est pas un spécialiste.

Didier L.



La première horloge

Les premiers moyens de mesure du temps qui furent à la disposition de l'humanité sont basés sur l'observation de phénomènes astronomiques en apparence réguliers. La précision de l'horloge définie par la rotation de la Terre sur elle-même fut longtemps largement suffisante pour toutes les activités humaines courantes, et celle-ci a d'ailleurs servi jusqu'en 1960 à établir la seconde comme étant la 86400ème partie du jour solaire moyen. Il fallut attendre les premières horloges à quartz, et le 20ème siècle, pour disposer d'horloges artificielles suffisamment stables pour constater que cette rotation n'est pas en fait régulière. Cette horloge présente malgré sa relative stabilité plusieurs inconvénients majeurs pour la vie courante : sa lecture au quotidien est peu précise car elle nécessite un cadran solaire ou un astrolabe, et surtout aléatoire car sujette aux ca-

prices de la météo ; l'heure qu'elle donne est différente selon le lieu de l'observateur, propriété qui la rend incompatible de l'accélération des activités humaines avec l'arrivée de l'ère industrielle.

Les horloges mécaniques

Je vais faire l'impasse sur les dispositifs intermédiaires, tel que le sablier qui est plus utile en cuisine que pour les activités à vocation scientifique qui nous préoccupent ici, pour sauter directement à la case des horloges mécaniques.

Elles sont depuis les origines constituées des 4 éléments fonctionnels suivants : une source d'énergie mécanique ; un régulateur chargé de contrôler la vitesse à laquelle l'énergie mécanique motrice est libérée ; un échappement chargé d'entretenir et de compter les oscillations de l'organe régulateur ; une interface de lecture. La source d'énergie mé-

canique (poids ou ressort) et l'interface de lecture (cadran à aiguilles ou système électrique) ne sont pas fondamentales pour la précision des horloges, même si elles ont leur influence sur le fonctionnement du couple échappement-régulateur. Nous ferons donc l'impasse sur ces éléments pour nous concentrer sur l'essentiel.

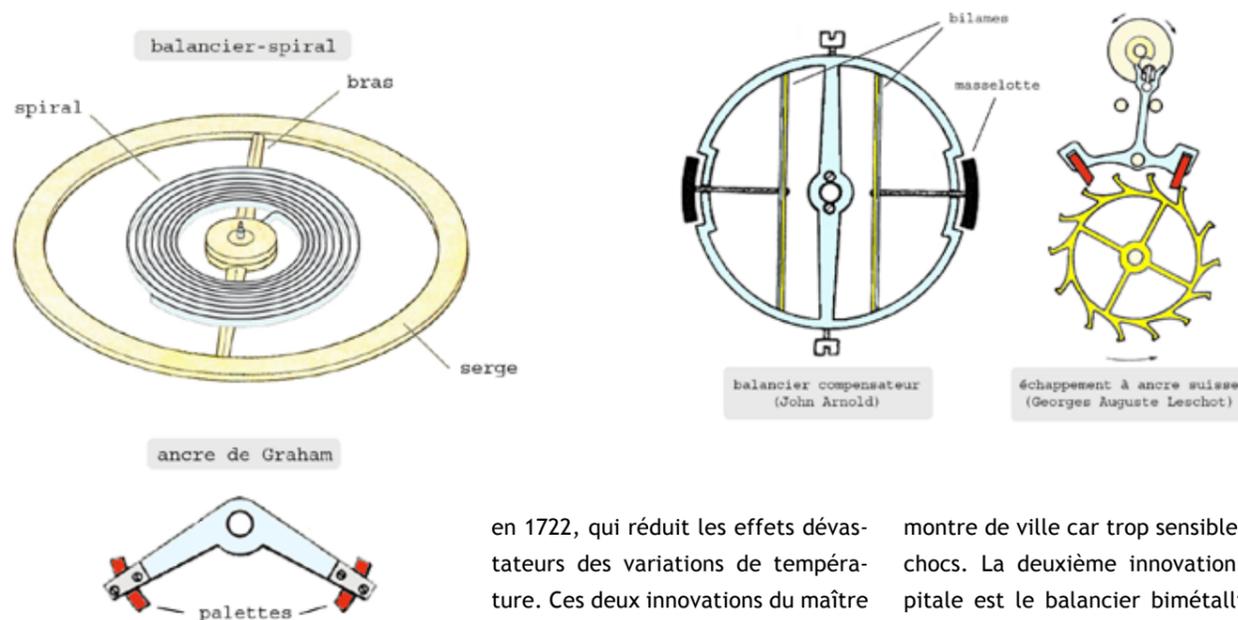
L'horloge mécanique idéale serait celle qui arriverait à associer un oscillateur parfaitement isochrone à un échappement délivrant des impulsions brèves au moment où l'oscillateur passe par sa position de repos. L'isochronisme d'un oscillateur se traduit par le fait que la période des oscillations est indépendante de leur amplitude angulaire. C'est une propriété importante pour une horloge mécanique car il est absolument impossible de garantir que l'énergie des impulsions délivrées par l'échappement sera rigoureusement constante dans le temps. Intuitivement, je dirais que ces im-

pulsions devraient être idéalement infiniment brèves, et que ceci étant physiquement impossible, il convient néanmoins qu'elles soient parfaitement centrées sur le point de repos de l'oscillateur. Quand bien même on y arriverait, encore faudrait-il que toutes ces caractéristiques soient conservées tout au long de la vie de l'horloge. Hors c'est sans compter sur les grands ennemis de l'horloge mécanique que sont les frottements, le vieillissement de ses constituants, les variations de température, et les accélérations en tout genre (chocs, vibrations et mouvements divers) qu'elle peut subir en cours d'utilisation. C'est l'ensemble de ces problèmes que les maîtres horlogers, les artistes comme ils se nommaient au 18ème siècle, ont cherchés à résoudre pour s'approcher au plus près de l'horloge parfaite. Ils ont ainsi trouvé des solutions extrêmement astucieuses, d'une grande élégance, et fabriqué des machines qui sont effectivement de véritables œuvres d'art.

A la recherche de la précision

Les horloges mécaniques sont apparues en Europe à la toute fin du 13ème siècle, d'abord juste pour rythmer la vie monacale puis rapidement comme une alternative aux cadrans solaires. Leur mécanisme rudimentaire est constitué d'un échappement à roue de rencontre (échappement à verge) et d'un régulateur de type foliot. Les performances obtenues sont alors très médiocres avec une erreur d'une bonne demi-heure par jour, et les horloges mécaniques vont pendant très longtemps rester moins fiables que les cadrans solaires. Elles sont d'abord mues par des poids puis le ressort moteur est inventé vers 1450. Les premières montres apparaissent vers 1500, toutes aussi imprécises que les horloges elles sont avant tout un objet de prestige social : toute ressemblance avec certains comportements actuels serait purement fortuite.

La technique horlogère va sortir des ténèbres grâce à deux astronomes. D'abord grâce à Galilée qui va découvrir le principe du pendule vers 1583. Puis grâce à Christian Huygens qui va l'affiner en découvrant expérimentalement la condition d'isochronisme du pendule, puis l'appliquer à une horloge pour la première fois de l'histoire. L'horloge d'Huygens de 1657, fabriquée par le néerlandais Salomon Coster, fait réaliser aux horloges un spectaculaire bon en avant avec une erreur de 1 minute par jour. La seconde invention capitale de Huygens est le spiral qui confère au balancier des montres des propriétés similaires à celles du pendule, en remplaçant la force de rappel de la gravité par celle du ressort spiral. La première montre avec un spiral est fabriquée selon ses instructions par le français Isaac Thuret. Elle affiche une erreur journalière de 10 minutes et constitue elle aussi une rupture technologique, même si le spiral conçu par Huygens ne rend pas encore le balancier iso-



chrone. Dès lors plus rien n'arrêtera la marche du progrès. L'histoire des inventions horlogères est d'ailleurs extrêmement riche, et je vais me contenter d'en citer quelques unes qui me paraissent particulièrement importantes.

La première de celles-ci est l'échappement à ancre « simple » inventé, selon les spécialistes qui ne sont pas tous d'accord sur ce point, par l'anglais Robert Hooke (1666) ou son compatriote William Clement (1670) : en limitant l'amplitude des mouvements du pendule, il en améliore l'isochronisme et fait passer aux horloges de la fin du 17ème siècle la barre des 10 secondes d'erreur quotidienne. Les horloges de Thomas Tompion visibles dans la pièce octogonale de l'Observatoire de Greenwich utilisent probablement un échappement de ce type. Suivent l'échappement à ancre sans recul en 1715, qui délivre une impulsion quasi-instantanée au pendule lors de son passage par la position de repos, et le pendule à mercure

en 1722, qui réduit les effets dévastateurs des variations de température. Ces deux innovations du maître horloger anglais George Graham permettent à une de ses horloges d'afficher une erreur de seulement quelques secondes par semaine en 1725. Le pendule à gril inventé par John Harrison en 1726 constitue une très astucieuse alternative au pendule à mercure. Celui-ci, combiné à son échappement à sauterelle, fait atteindre à son horloge-étalon de 1726 l'étonnante précision de 1 seconde par mois.

Une série d'inventions majeures vont consteller la seconde moitié du 18ème siècle. Dans la famille des échappements, on peut citer l'échappement à ancre libre de l'anglais Thomas Mudge vers 1755, perfectionnement de l'échappement de Graham, qui sera lui-même amélioré vers 1830 par le suisse Georges Auguste Leschot. Cet échappement dit à ancre suisse a équipé et équipe toujours la quasi-totalité des montres mécaniques, dans une définition pratiquement inchangée depuis son invention. A noter que l'échappement qui équipa les chronomètres de marine est l'échappement à détente, inutilisable sur une

montre de ville car trop sensible aux chocs. La deuxième innovation capitale est le balancier bimétallique compensateur : l'intégration d'un bilame dans la structure même du balancier permet la compensation des variations en température de l'élasticité du spiral par la modification du moment d'inertie du balancier. Ces bonnes idées sont dues au français Pierre Le Roy avec le balancier thermométrique en 1766 et le balancier bimétallique en 1769. L'anglais John Arnold va les reprendre à son compte et apporter des améliorations significatives au balancier bimétallique entre 1773 et 1782. Son farouche concurrent local Thomas Earnshaw lui apportera ses ultimes perfectionnements en 1784, avec notamment une technique de fabrication par coulée de laiton sur la serge du balancier. Auparavant, à l'instar de ce qu'Harrison a fait sur ses horloges de marine, cette compensation était externe au balancier et agissait sur la longueur active du spiral avec un résultat fort mitigé. Sur les montres mécaniques modernes on recourt à des spiraux réalisés dans des matériaux à élasticité invariable (Élinvar, Nivarox, etc) rendant la solution du balancier bimétallique caduque. La

dernière innovation capitale qu'est le spiral isochrone est également due à Pierre Le Roy qui énonce en 1770 la règle qui porte son nom et définit la condition d'isochronisme d'un spiral. A partir de là l'histoire du spiral isochrone n'est pas très claire : on peut néanmoins citer l'invention du spiral Breguet par le suisse Abraham-Louis Breguet en 1795. Quoiqu'il en soit tout ceci reste empirique et la théorie du spiral isochrone, extrêmement complexe, ne sera maîtrisée qu'en 1861, grâce aux travaux du français Edouard Phillips.

Pour finir le suisse Charles Edouard Guillaume va offrir à la technologie des horloges une panoplie complète de matériaux nouveaux destinés à en améliorer considérablement la stabilité en température : l'Invar, en 1895, pour les pendules ; l'Anibal, en 1899, pour les balanciers bimétalliques compensateurs ; l'Élinvar, en 1919, pour les spiraux. Il reçoit à ce titre le prix Nobel de Physique 1920. L'aboutissement des horloges mécaniques est atteint au début du 20ème siècle avec les garde-temps d'observatoire et les ultimes raffinements suivants : remontée électrique des poids qui sont utilisés préférentiellement au ressort moteur pour la force d'entraînement constante qu'ils délivrent ; pendule en Invar évidemment ; fonctionnement à pression constante, voire sous vide partiel, dans une enceinte étanche régulée en température et isolée des vibrations ; suppression de tout cadran et délivrance du signal horaire par des moyens électriques. Cependant, en dépit de tous ces perfectionnements, les performances des horloges mécaniques plafonnent avec une erreur de l'ordre de 10 millisecondes par jour : la plus précise

jamais construite, l'horloge à pendule Shortt-Synchronome de 1921 est créditée d'une erreur journalière de 2 millisecondes. Elles vont bientôt devoir céder leur place dans les observatoires après plusieurs siècles de règne.

Les horloges à quartz

La première horloge à quartz a été réalisée en 1927 par Warren Marrison et Joseph Horton des Laboratoires Bell. Une horloge à quartz est un oscillateur électronique construit autour d'un résonateur à quartz, exploitant les propriétés piézoélectriques du cristal de même nom, découvertes en 1880 par Pierre Curie. L'intérêt du résonateur à quartz par rapport au résonateur mécanique est son facteur de qualité plus élevée, une sensibilité aux variations de températures moindre et un bien meilleur vieillissement. Des qualités qui ne dispensent pas de devoir les enfermer dans des enceintes thermostatées comme de les protéger des chocs et des vibrations, si on veut atteindre des performances ultimes. La précision des premières horloges à quartz n'était pas tellement meilleure que celle du résonateur mécanique hors norme de l'horloge Shortt-Synchronome et s'établissait à un peu mieux que la milliseconde par jour. Les oscillateurs à quartz ont beaucoup progressés depuis et les meilleurs d'entre eux affichent une erreur journalière légèrement inférieure à la microseconde. C'est avec un ensemble de trois horloges de ce type que les allemands Adolf Scheibe et Udo Adelsberger vont, les premiers, détecter directement et de façon indiscutable, entre janvier 1933 et mai 1935, des varia-

tions d'une amplitude d'environ 5 millisecondes dans la rotation de la Terre. L'horloge à quartz est donc la première horloge artificielle dont la précision dépasse celle de l'horloge terrestre. Elles vont ainsi complètement remplacer les garde-temps mécaniques dans les observatoires astronomiques au cours des années 1950. A noter que des incohérences, entre les prévisions des éphémérides basées sur les lois de Kepler et les observations, avaient amené les astronomes à la conclusion que la rotation terrestre n'est pas une bonne horloge dès 1927.

Les horloges atomiques

La génération actuelle des références temps-fréquence, les horloges atomiques, repose sur un principe physique tout autre. Alors que jusqu'ici on avait toujours réalisé des oscillateurs macroscopiques, l'idée nouvelle a été d'utiliser les propriétés quantiques de la matière à l'échelle atomique. Le résonateur atomique exploite les transitions énergétiques stables des atomes qui définissent des fréquences micro-ondes extrêmement précises, indépendantes de tout processus de fabrication et très peu sensibles aux variations de température, contrairement au quartz des horloges. La toute première horloge atomique a été réalisée en 1948 par l'US National Bureau of Standards en utilisant les transitions de la molécule d'ammoniac. Il s'agit donc en toute rigueur d'une horloge moléculaire et non pas d'une horloge atomique. Elle exploitait la raie d'absorption de la molécule d'ammoniac à 23870 MHz. Cependant la résonance obtenue étant élargie par l'effet Doppler



et les collisions entre molécules, les performances obtenues n'étaient pas supérieures à celles d'une horloge à quartz et le principe a été abandonné.

Quoiqu'il en soit, la voie était ouverte et il existe maintenant une multitude d'horloges atomiques de tout type : maser à hydrogène actif, maser à hydrogène passif, horloges à rubidium, horloges à césium, etc. Les horloges à césium sont encore les plus répandues et nous allons nous attarder un peu sur leur principe de fonctionnement et leurs performances.

C'est une horloge atomique passive dans laquelle un oscillateur à quartz est asservi sur la transition atomique à 9192 MHz du césium 133 : ainsi on exploite les excellentes performances à court terme des résonateurs à quartz combinées aux excellentes performances à long terme des résonateurs atomiques. La première horloge de cette catégorie est une horloge à jet de césium réalisée en 1955 par Louis Essen et Jack Parry du National Physical Laboratory au Royaume-Uni. Selon le terme consacré les atomes de césium sont interrogés dans une cavité hyperfréquence par un signal micro-onde issu de l'oscillateur à quartz, la réponse est alors utilisée pour corriger la fréquence de l'oscillateur en question et la verrouiller sur la fréquence de la transition atomique. Cette horloge pionnière affichait une erreur de 10 microsecondes par jour, et les étalons à jet de césium les plus modernes présentent maintenant une erreur de 1 nanoseconde sur la journée. Un des éléments qui contribue à l'excellente performance des horloges à jet de césium est le facteur de qualité du résonateur atomique,

qui est à peu de chose près égal au produit de la fréquence de transition et de la durée d'interrogation. Deux voies sont exploitées depuis une vingtaine d'années pour améliorer de façon significative ce facteur de qualité.

La première de ces voies est d'augmenter le temps d'interrogation. C'est ce que l'on fait avec les fontaines atomiques de césium. Si dans l'horloge à jet de césium les atomes sont catapultés à une vitesse de l'ordre de 100 m/s dans la cavité, dans la fontaine atomique ils sont tranquillement lancés à une vitesse de quelques m/s dans la cavité placée cette fois verticalement. La durée d'interrogation est ainsi augmentée d'un facteur 100 au prix d'une prouesse de haut vol : le refroidissement et le confinement d'atomes par laser est une technique très sophistiquée qui a d'ailleurs valu à la France le prix Nobel de Physique 1997 décerné à Claude Cohen-Tannoudji du Laboratoire Kastler-Brossel de l'ENS. La meilleure à ce jour des fontaines atomiques de l'Observatoire de Paris présente une erreur de 20 picosecondes sur la journée. Pour encore augmenter la durée d'interrogation d'un facteur 10, il faut opérer en apesanteur avec des atomes qui sont cette fois envoyés à une vitesse de quelques cm/s. La fontaine atomique française PHARAO doit ainsi être lancée vers l'ISS entre 2013 et 2016 : les informations sur internet sont assez contradictoires sur le sujet, mais les projets prenant en général du retard la date de 2016 est plus probable que celle de 2013. Compte tenu du cycle de développement assez long des projets spatiaux, il semble désormais acquis que PHARAO ne donnera pas

des performances supérieures à ses consœurs atomiques restées sur le plancher des vaches, celles-ci ayant entre-temps progressé à la vitesse grand V. Quoiqu'il en soit PHARAO va permettre des expériences inédites en matière de géodésie, Physique et comparaison d'horloges, et c'est bien là son principal intérêt.

La deuxième de ces voies est de travailler avec une fréquence de transition plus élevée. C'est ce que l'on fait avec les horloges optiques qui sont des machines tout aussi complexes et sophistiquées que les fontaines atomiques, et qui exploitent une fréquence de transition dans le domaine de la lumière visible, aux environs du pétahertz. Elles aussi ont leur cortège de prix Nobel. La plus performante de ces horloges est actuellement une horloge à ion aluminium avec une erreur journalière de 1 picoseconde. En quatre siècles les horloges ont ainsi gagné 13 ordres de grandeur en précision. Que de chemin parcouru depuis l'horloge à pendule de Huygens !

Petit lexique d'horlogerie et de métrologie temps-fréquence

- Balancier : élément régulateur d'une horloge mécanique oscillant autour d'un axe, capable de fonctionner dans toutes les positions, rendu isochrone par l'utilisation du spiral de forme idoïne.
- Chronographe : appareil destiné à la mesure des intervalles de temps courts.
- Chronomètre : montre dont la précision est certifiée par un bulletin officiel de marche délivré par un organisme autorisé.
- Ecart de marche : variation de la marche autour de la marche moyenne.
- Echappement : élément de liaison entre l'élément régulateur et la source d'énergie d'une horloge

mécanique destiné à entretenir et à compter les oscillations de l'élément régulateur ; il convertit le mouvement circulaire de la source d'énergie en un mouvement alternatif pour animer l'élément régulateur.

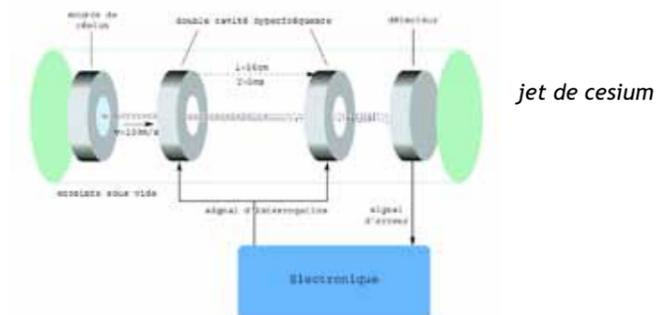
- Etalon primaire : horloge-étalon ne nécessitant pas d'étalonnage.
- Etalon secondaire : horloge-étalon nécessitant un étalonnage par un étalon primaire.
- Exactitude : incertitude sur l'estimation de la marche moyenne d'une horloge atomique par rapport à une horloge théorique parfaite. En métrologie temps-fréquence l'exactitude n'est définie que pour les horloges reposant sur l'interrogation d'une transition atomique, dont la fréquence est par définition naturellement invariable : elle n'est pas définie pour les horloges nécessitant un étalonnage. L'exactitude caractérise la capacité d'une horloge à réaliser la définition atomique de la seconde.
- Foliot : balancier horizontal primitif, fonctionnant avec un fil de maintien torsadé, ne possède aucune fréquence propre.
- Garde-temps : horloge de précision, en toute rigueur portable, sinon on parle d'horloge-étalon.
- Horloge : appareil de mesure du temps.
- Isochronisme : propriété de l'élément régulateur d'une horloge mécanique lorsque la durée des oscillations est indépendante de leur amplitude angulaire.
- Marche : avance ou retard pris par rapport à un étalon horaire de référence.
- Marche diurne ou journalière : marche sur 24 heures.
- Montre : horloge de petite dimension pouvant fonctionner dans toutes les positions.
- Pendule : élément régulateur d'une horloge mécanique oscillant autour d'un point fixe, ne fonctionnant que verticalement grâce à la gravité, naturellement isochrone.
- Stabilité : capacité d'une horloge à délivrer la même fréquence moyenne au cours du temps, quantifiée à l'aide d'outils mathématiques statistiques. Les mesures de stabilité ne peuvent se faire que par comparaison avec un autre oscillateur.

Didier L.

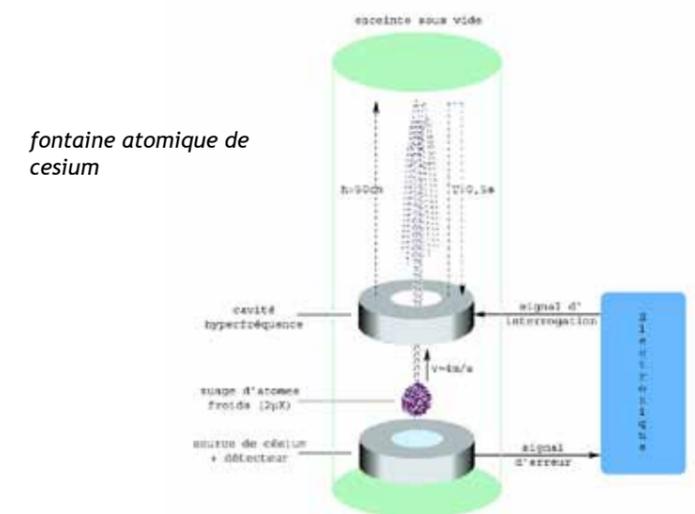
Les horloges atomiques

Dans une horloge atomique à jet de césium, les atomes sont lancés à grande vitesse à travers une double cavité hyperfréquence pour y être « interrogés » : cette double cavité est équivalente à une cavité unique de même longueur totale tout en étant bien plus facile à réaliser ; cette brillante idée a valu le prix Nobel de Physique 1989 à l'américain Norman Foster Ramsey. La durée d'interrogation T ainsi obtenue est de l'ordre de quelques millisecondes. Pour augmenter la durée d'interrogation de plusieurs ordres de grandeur, il faut lancer les atomes de césium beaucoup plus lentement : ceci ne peut être fait que si ceux-ci sont lancés verticalement, car dans le cas contraire, ils viendraient heurter les parois latérales de l'horloge sous l'influence de la gravité terrestre. Les atomes sont alors lancés à travers une cavité hyperfréquence qu'ils traversent une première fois, puis retombent sous l'effet de la pesanteur pour traverser cette même cavité une seconde fois, réalisant ainsi un parcours similaire à celui que font les atomes dans la cavité double de l'horloge à jet de césium. La durée d'interrogation T obtenue est cette fois de l'ordre de quelques centaines de millisecondes. Le temps de vol des atomes étant bien plus élevé, leur dispersion sous l'effet de l'agitation thermique devient un problème qui ne peut plus être ignoré. Pour empêcher la dispersion complète des atomes pendant leur trajet aller-retour, il convient de les condenser sous la forme d'un nuage atomique, et de les refroidir jusqu'à une température la plus proche possible du zéro absolu, au moyen d'un piège magnéto-optique. Dans ce cas la cohésion du nuage d'atomes reste telle que la trajectoire de ceux-ci évoque la forme du jet d'eau d'une fontaine d'agrément, donnant ainsi à ce type d'horloge le nom de fontaine atomique.

Pour plus de détails, référez-vous à l'URL www.lkb.ens.fr/recherche/at-froids/tutorial/pages/9_les_horloges_atomiques.htm : les informations datent un peu mais le principe des fontaines atomiques, lui, n'a pas changé. Les nombreux documents professionnels (thèses, articles et présentations) que l'on peut trouver sur internet constituent aussi des sources d'informations fiables mais malheureusement d'un abord difficile.



jet de césium



fontaine atomique de césium

• Principe de la méthode des distances lunaires •

Didier L.

Lorsque l'on s'intéresse à la méthode des distances lunaires, on trouve énormément de documents peu précis et en apparence peu fiables sur internet, et seulement quelques uns, extrêmement rares et toujours anciens, en donnant une description mathématique et rigoureuse. En tout cas, il n'existe rien qui en permette une approche aisée et sans ambiguïté, compréhensible rapidement avec une bagage mathématique succinct. C'est ce que je me propose d'essayer de faire dans les quelques paragraphes qui suivent, en simplifiant considérablement la géométrie du problème. Je vais considérer une Terre réduite à son équateur, avec une étoile de référence placée sur l'équateur céleste et une Lune en orbite circulaire dans le même plan : plus besoin alors de recourir à la trigonométrie sphérique et de se torturer les neurones avec des représentations en 3 dimensions. A noter que l'étoile de référence peut bien évidemment être le Soleil. A partir de là, il devient aisé de montrer comment, avec l'aide de quelques mesures simples, un voyageur V peut retrouver l'heure instantanée HA d'un astronome A resté tranquillement dans son observatoire.

Méthode des distances lunaires dans le cadre d'une géométrie simplifiée

Pour ce faire, le voyageur doit réaliser deux mesures qui sont la hauteur angulaire de l'étoile de référence et la hauteur angulaire du centre de la Lune, soit respectivement h_V et ζ_V . Une grandeur caractéristique du temps qui s'écoule est l'angle γ_L que forment la direction de l'étoile de référence et la direction du centre de la Lune vues depuis le centre de la Terre, qui est d'ailleurs l'unique référentiel commun accessible à nos deux observateurs, dans lequel ils peuvent partager leurs données. La Lune agit ainsi comme l'aiguille d'une gigantesque horloge, et de part sa connaissance de la mécanique céleste l'astronome est capable de fournir au voyageur l'heure HA du méridien de référence en fonction de la valeur de l'angle γ_L . Le calcul de γ_L que doit effectuer le voyageur consiste alors à corriger la parallaxe sous laquelle il voit l'écart angulaire Δ_V entre le centre de la Lune et l'étoile de référence. Si l'astronome réalisait de son côté les mêmes mesures, soit respectivement h_A et ζ_A , il devrait retrouver

par un calcul équivalent l'angle γ_L qu'il a fourni au voyageur, aux erreurs de mesure près.

Dans l'exemple décrit par la figure l'angle γ_L s'exprime simplement pour le voyageur par :

$$\gamma_L = z_V - \beta_V \quad [1]$$

Où z_V est l'angle zénithal de l'étoile de référence :

$$z_V = \frac{\pi}{2} - h_V \quad [2]$$

et β_V donné après un rapide calcul par la formule [3] :

$$\beta_V = \frac{\pi}{2} - \zeta_V - \text{Arcsin}\left(\frac{R_T}{R_{OL}} \cdot \cos \zeta_V\right)$$

avec :

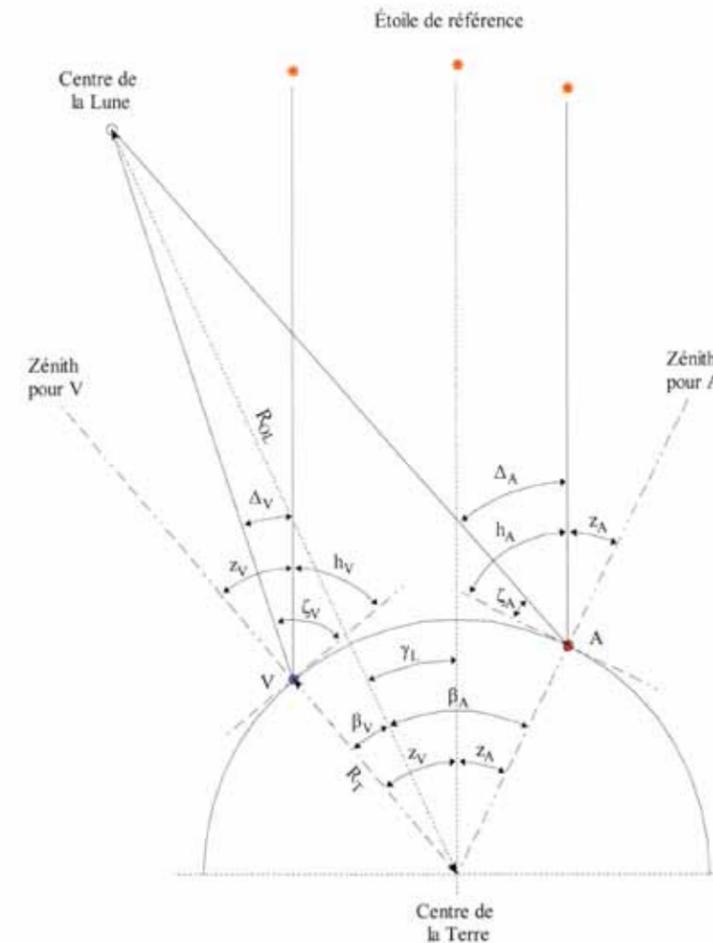
RT rayon terrestre

ROL rayon de l'orbite de la Lune

Le report de [2] et [3] dans [1] donne :

$$\gamma_L = \zeta_V - h_V + \text{Arcsin}\left(\frac{R_T}{R_{OL}} \cdot \cos \zeta_V\right)$$

Il n'y a plus pour le voyageur qu'à consulter la table astronomique que le brave astronome lui a concoctée à l'avance pour couvrir la durée totale de son voyage. Pour la date courante et l'heure du méridien de référence, il y trouve les valeurs de γ_L calculées toutes les 3 heures encadrant la valeur de γ_L qu'il vient de déterminer : il peut alors par interpolation linéaire en déduire l'heure HA correspondante au méridien de réf-



rence. Des mesures indépendantes lui ont permis par ailleurs d'établir son heure locale HV au moment de la prise des mesures : la différence des heures lui donne immédiatement sa longitude par rapport au méridien de référence à raison de 15° pour 1 heure.

La méthode des distances lunaires est l'extension de ce principe à la sphère céleste : il est nécessaire alors de réaliser une troisième mesure qui est l'écart angulaire entre le centre de la Lune et l'astre de référence, et de réaliser tous les calculs en 3 dimensions à l'aide des outils de la trigonométrie sphérique. L'affaire semble donc facile mais un certain nombre d'éléments compliquent en réalité la situation : il faut corriger

les mesures de la réfraction atmosphérique qui vient les fausser ; elles sont de plus prises sur le limbe des astres non ponctuels et doivent être ramenées par le calcul au centre de l'astre concerné ; les trois mesures nécessaires doivent être réalisées simultanément, ce qui oblige le plus souvent à encadrer le relevé de l'écart angulaire par deux mesures des hauteurs angulaires, et d'interpoler ces dernières pour qu'elles correspondent à l'instant de mesure de l'écart angulaire, en ayant pris le soin de relever les instants des différentes mesures à l'aide d'une montre ; il faut prendre en compte dans le calcul de correction de parallaxe que l'orbite de la Lune est elliptique et en toute rigueur que la

Terre n'est pas sphérique ; pour finir, il faut porter un soin extrême à la réalisation de toutes les mesures, et en particulier à celle de l'écart angulaire, car la Lune se déplaçant de 13° par 24h sur le fond de ciel, une erreur de mesure de 1 arcmin se traduit par une erreur sur la détermination de l'heure du méridien de référence de presque 2 minutes (1/2° sur la longitude).

Didier L.

Références utilisées pour les quatre articles du dossier :

Royal Observatory Greenwich, *Souvenir Guide, National Maritime Museum, 2012*
 Harrison, Jonathan Betts, *National Maritime Museum, 2011*
Traité d'astronomie appliquée à la géographie et à la navigation, Emmanuel Liars, Garnier Frères, 1867
The Science of Timekeeping, Application Note 1289, Hewlett-Packard, 1997
Les fondements de la mesure du temps, Claude Audoin et Bernard Guinot, Masson, 1998
Multiplés recoupements d'informations collectées sur internet
Quelques souvenirs de jeunesse

• Eclipse australienne •

De longue date, l'éclipse totale de Soleil de 2012 était inscrite sur les tablettes du club MAGNITUDE 78, bien que les statistiques météo n'engageaient pas de monter un périple aux antipodes. Comme à l'habitude, nous mettons en avant le prétexte du phénomène astronomique pour partir à l'aventure et découvrir ce pays-continent, sur un parcours de 4500km reliant Sydney à Cairns.



Serge

Craignant une affluence (qui n'aura pas lieu), nous décidons d'investir les lieux l'avant-veille de l'évènement et retrouvons en pleine brousse l'ami Jean-Marc. Sur la base d'images d'archives météo, le coquin a étudié de façon très approfondie les conditions locales et a finement jugé opportun de quitter le littoral pour l'arrière-pays. Nous retrouvons aussi sur place 2 copains du club dans un rendez-vous qui n'avait rien de trivial dans ces immenses espaces. Nous prenons le temps de dénicher un lieu d'observation idéal, avec un horizon bien dégagé sur l'est et si possible en hauteur, où l'on peut vivre pépère le temps de l'attente, dans ce foutu pays où le rhum est autant hors de prix que peu goûté.

Perplexe, on disserte sur la bande

nuageuse venant de l'Océan, dont l'autochtone assure dans un baragouinage d'anglais pittoresque quasi incompréhensible que depuis une quinzaine de jours, ces bougresses de nuées sont toujours présentes en matinée, et qu'on ne peut prévoir jusqu'où elles monteront au-dessus de l'horizon. Problématique existentielle car le Soleil se lèvera peu après le premier contact et la totalité sera à moins de vingt degrés de hauteur. La partie s'annonce serrée, mais par Belenos, il est dit que nous la verrons !

Réveil en fanfare dès 3 heures du matin, histoire d'être bien réveillé, de monter les instruments, les régler, profiter quelques instants des merveilles australes - qui foutrediou ont de la cuisse - quand déjà pointe l'aube. Magie de l'instant du

jour qui se lève, accompagné des chants étranges des volatiles indigènes. Sauf quelques légers cirrus, le ciel est totalement dégagé avec une fine bande nuageuse accrochée au loin sur les collines. L'horizon s'éclaircit, rosit puis jaunit et, de derrière ces satanées nuées qui ont décidé de rester sages, émerge radieux un Soleil déjà entamé comme un biscuit délicatement grignoté, les bords bien cabossés par une turbulence affirmée. Ca y est, nous l'avons notre éclipse, le grand compte-à-rebours céleste peut bien égrener les secondes qui nous rapprochent de l'instant fatidique, nous sommes heureux et sereins !

Cela n'empêche pas l'inévitable tension de grimper, d'irrésistiblement envahir nos corps, avec cette sensation unique propre aux éclipses,

cette sorte de fin du monde momentanée, de Soleil mort programmé, de lumière irréaliste, dans le frisson de la température qui chute inexorablement et de l'émotion qui monte. A intervalles pifométriquement réguliers, je dessine l'avancée de la Lune devant le Soleil, masquant progressivement des groupes de tâches solaires, bien visibles à la L80 terrestre et filtre polyamide (pour sa couleur sympathique). Juste dans mon dos, Jean-Marc annonce à la cantonade le chronométrage du phénomène et s'affaire sur ses nombreux boîtiers photographiques pilotés depuis un ordinateur portable. Plus loin, Nicolas observe avec son T200 de voyage coiffé d'un filtre pleine ouverture Astrosolar et mitraille à tour de bras directement au foyer à main levée, tantôt avec un APN, tantôt avec un

vieux boîtier équipé d'une pellicule diapo -il doit bien être le seul en ce moment à faire de la sorte ! Les copains et copines dégustent l'instant aux jumelles, lunettes et télescopes et immortalisent ces instants dans leurs appareils photo.

Un vieux 4x4 vient d'arriver et une australienne de l'outback râle contre son chauffeur qui est vraiment trop couillon de lui avoir fait faire 150km dans la brousse pour venir observer un truc qui ne dure que « 120 fucking seconds » ! Elle a un accent de tous les diables et a un style inimitable vraiment rigolo. Cet étrange couple s'installe en ronchonnant auprès de notre sympathique voisin Hollandais, qui pour l'occasion, s'est fabriqué un pied photo de fortune avec trois bouts de bois récupérés dans la brousse.

Je dessine et la gorge se serre davantage avec l'évolution du phénomène. L'ambiance devient magique, la lumière du jour naissant s'accoquinant à merveille avec les facéties lumineuses de l'éclipse. C'est blafard, électrique, mais avec des teintes un peu chaudes. Ca s'accélère, ça bascule, les ombres volantes s'agitent comme rarement je les ai vues gigoter -turbulence du matin oblige. Les phénomènes d'ombres sont toujours aussi amusants à constater, le paysage devient décor de théâtre, il y a tant à voir en si peu de temps. La couronne devient visible, l'ombre arrive et se jette sur nous, j'arrache le filtre, saisis les grains de Bailly, la chromosphère rose fuchsia s'affirme sur ces formidables éclats de lumières et splendide, l'image unique du Soleil noir irradié s'étale sur





cette portion de nuit circumsolaire au même instant où crépite dans mon cul les machines infernales de Jean-Marc dans une cadence inimaginable (500 photos en 120 secondes, voilà qui est respectable)

Passé les secondes d'émotion primitives, je déguste cette éclipse explosive, violente, très dense et contrastée, la basse couronne étant particulièrement lumineuse et les panaches partant de toutes parts. La chromosphère et de nombreuses protubérances sont très visibles sur le limbe d'où vient de disparaître le Soleil. Ça va être délicat à dessiner correctement, mais méthodiquement, quadrant par quadrant, je note les divers jets de matière, leur disposition, leur forme générale, leur luminosité. L'exercice est périlleux car le temps est ridiculement compté, la perception du phénomène évolue rapidement selon la position des deux astres entre eux et en fonction de l'adaptation en vision crépusculaire. Même si l'évocation sur le papier est perfectible ou carrément raté, j'men fous car

c'est bon, c'est merveilleux, c'est sublime !

Je prends 15 secondes pour observer la basse couronne et la chromosphère au T400. La vision est rare et extraordinaire, d'une intensité incomparable, avec des détails aussi évidents que surprenants. De suite, je constate que je me suis trompé de programme : je n'aurais du dessiner qu'une portion de Soleil avec le maximum de résolution. Oui mais quelle portion et en si peu de temps ??? Ce sera pour la prochaine fois. Je note une légère lumière cendrée. Je mémorise deux formations turbulentes au voisinage des deux protubérances les plus remarquables, ainsi qu'une sensation de voiles filamenteux enchevêtrés de façon assez complexe, une vision évoquant les célèbres clichés de Drukmuller en quelque sorte, mais avec une intensité lumineuse mâtinée d'une transparence diaphane incomparable, ce qu'aucune image ne peut rendre -aucun dessin non plus d'ailleurs...

Je me délecte quelques poignées de secondes sur le tableau surréaliste

du paysage qu'on embrasse d'un large regard, d'une rare beauté, quand déjà le rappel du compte à rebours annonce le troisième contact dans moins de quinze secondes. Je me replonge dans l'oculaire de la lunette et tente de mémoriser le maximum d'informations, de noter avec le plus de précision les trop nombreuses caractéristiques que je découvre quand déjà la chromosphère s'affirme davantage sur l'autre limbe, et le flash insupportable du retour du Soleil annonce la fin du phénomène, accompagnée par une clameur collective comparable à celle d'un troupeau de bestiaux ravivis.

Très vite, je dessine et tente de reproduire au mieux la vision fugitive qui déjà s'évanouit dans mon esprit. En quelques minutes, j'aurai épuisé mon souvenir et il faut s'en tenir là au risque de s'égarer. Le reste n'est que figinage et peaufinage.

C'est fini, je suis vidé, ce fut extraordinaire. J'ai vraiment apprécié cette belle éclipse si particulière (elles le sont toutes !) et même l'Australienne acariâtre a trouvé le spectacle merveilleux, à tel point qu'elle ne regrette plus ce satané voyage et n'en tiendra pas grief à son escogriffe d'acolyte. La chose l'a tellement inspirée que, étant une artiste, elle promet d'en faire une peinture. J'aimerais bien voir le résultat !

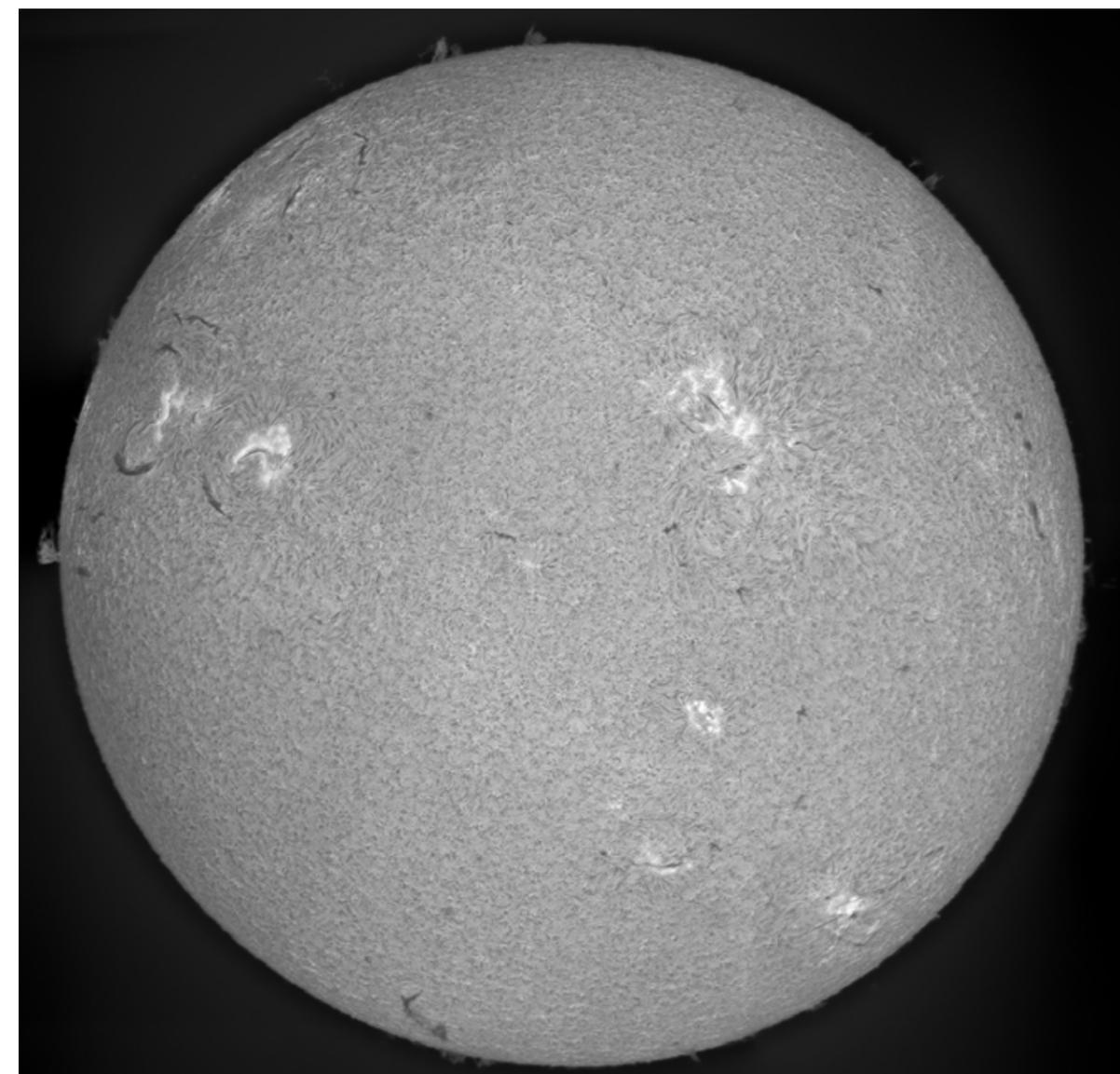
Plus loin revient un sympathique couple originaire de Barcelone, dont la jeune femme avouera avoir pleuré au moment fatidique tellement c'était beau, «mui bonito».

Que dire de mieux ?

Serge



• Vos travaux •



Quand les «Noël» nous gâtent avec le Soleil.

Christel : Profitant d'un jour de repos, avec enfin du soleil et de la douceur, j'ai sorti les lunettes pour observer le soleil. En lumière visible, j'ai tenté de dessiner les quelques taches qui se battaient en duel mais elles étaient assez petites et une forte turbulence m'a beaucoup gênée.

En lumière H alpha cette turbulence est beaucoup moins sensible, j'ai donc pu m'amuser à dessiner tous les petits détails sur le disque ainsi que les protubérances autour du disque solaire.

Ouf! C'est assez long à positionner. Comme d'habitude, j'ai photographié le dessin qui est fait sur un calque. En effet, j'observe derrière un renvoi coudé, l'image vue est donc inversée miroir. Le dessin terminé, je retourne ma feuille et j'ai ainsi les points cardinaux fidèles à la réalité.

Fabrice : pas faciles les conditions ce matin en région parisienne, voiles d'altitude et grosse turbu, bref il fallait bien choisir le moment pour réaliser les captures de la mosaïque.

TSA 120 + double stack 60 mm coronado + BF 15 + Luménéra 2.1
11 captures de 120 images, 95 / 120 dans registax et montage dans CS



*Les oeuvres planétaires de Nicolas
en ce début de mois de mars.*

