

numéro 81

juin 2018

www.albireo78.com

*Albireo*⁷⁸

L'ALBIREOSCOPE

FAST, le radiotélescope chinois
Stephen Hawking

Sadr

en couverture



NGC 5139, Omega du Centaure

Constellation : Centaure

Instrument : T355

Capteur : CCD Moravian G2—8300

Image : L (112 x 60s), RVB (10x60s)

Total : 2h 22

Date : avril 2018

David - Sébastien - Lionel

Sommaire

4



La Chine fait sa révolution scientifique

Michel

Le radiotélescope le plus grand du monde à l'assaut des pulsars mais aussi d'un renouveau de la recherche scientifique chinoise.

10

Stephen Hawking... *Michel*

L'histoire de la vie d'un grand mathématicien et vulgarisateur scientifique qui s'est intéressé à l'évaporation des trous noirs...



18

C'est arrivé ce jour-là...



Des événements en relation avec le monde de l'astronomie qui se sont déroulés en juin 1908, 1868, etc...

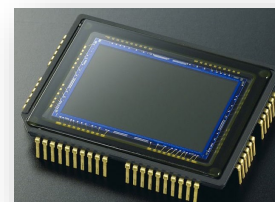
24

Capteurs CCD : la bonne configuration

Jean-louis

Les caractéristiques du capteur doivent être choisies en fonction de l'instrument sur lequel on veut faire des images....

épisode 1 : l'imagerie planétaire

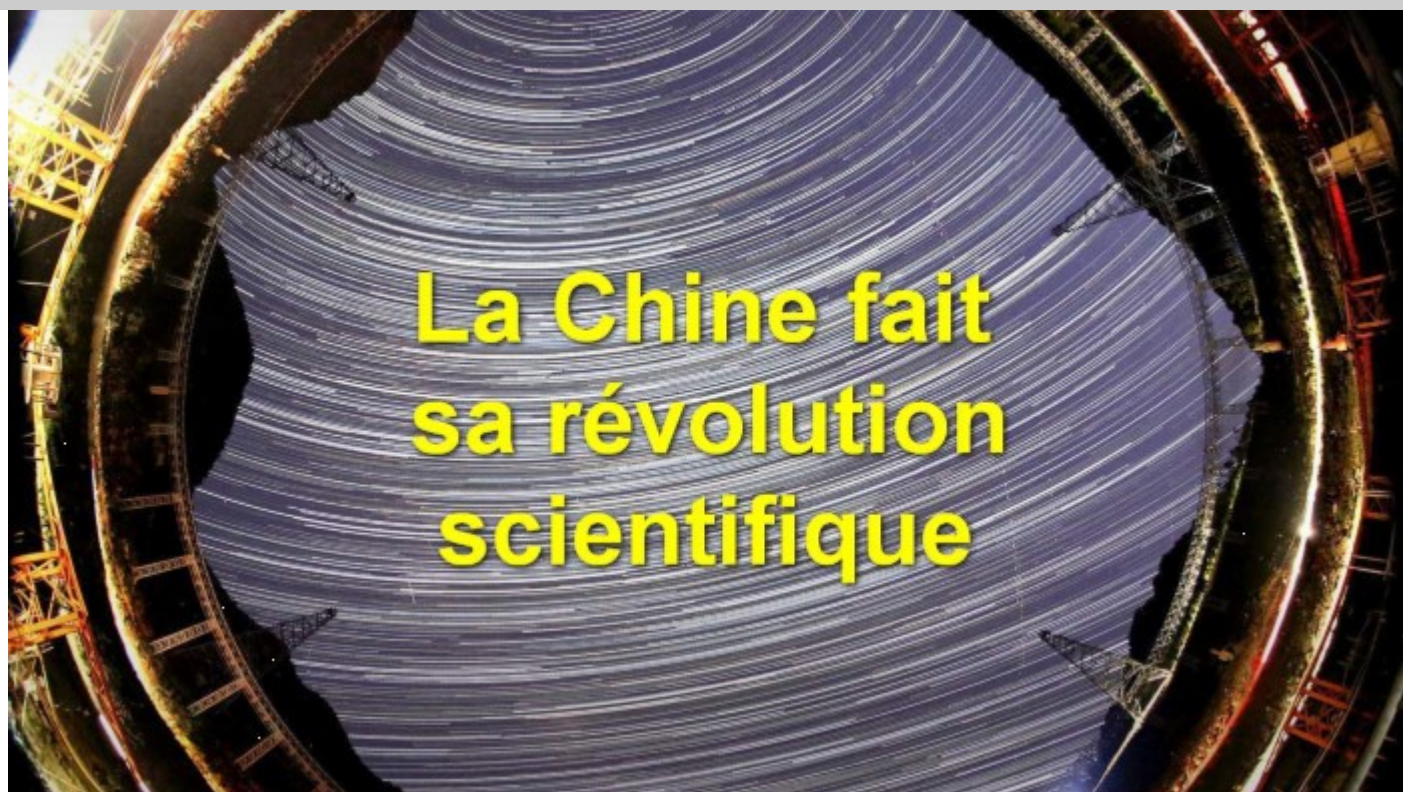


30



Du côté de chez Sadr *lionel*

Les dernières images et les travaux les plus récents obtenus avec notre observatoire piloté à distance.



La Chine fait sa révolution scientifique

Les ambitions scientifiques de la Chine sont aujourd'hui immenses. Il y a quelques décennies, la nation chinoise figurait à peine dans le classement mondial scientifique. Maintenant, en termes de dépenses de recherche et du nombre d'articles scientifiques publiés, la Chine talonne les Etats-Unis.

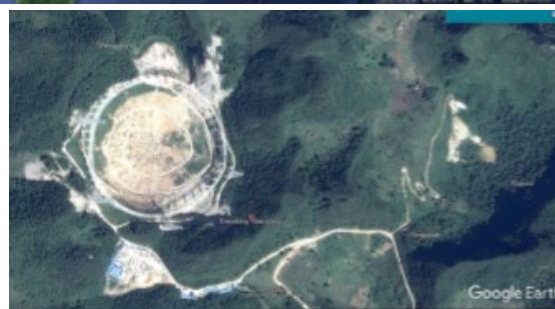
Cependant, malgré ces progrès rapides, la Chine doit faire face à un certain nombre de défis. Voici un de ces projets scientifiques clés qui illustrent cela et qui pourra nous aider à répondre à la question :

« La Chine peut-elle devenir un leader mondial dans la recherche ? »

FAST : Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope

Niché dans une vaste dépression naturelle, le géant chinois s'est récemment éveillé pour scruter le ciel et a déjà trouvé quelques nouveaux pulsars...

Il se trouve en Chine, dans un coin encore rural de la province du Guizhou, dans le sud-ouest du pays : avec Google Earth, une cuvette de 500 mètres de diamètre devait pouvoir se repérer dans la nature environnante restée à l'abri de l'industrialisation galopante du pays, d'autant que Wikipédia nous indique que le site est près du village de Dawodang. Ces images ont été prises en 2014, le site est encore en construction (commencée en 2011). Google Earth (en 2018), n'est pas à jour car la mise en service du radiotélescope a été réalisée en 2016.



Voici un aperçu du site quand le réflecteur était presque terminé :



Gigantesque cuvette qui brille au soleil, entourée de montagnes déchiquetées, avec les travailleurs de la construction qui sont occupés à mettre la touche finale à cette structure ; ils sont bien minuscules dans cette immense toile de fond.

FAST éclipse tous les autres radiotélescopes. C'est le plus grand jamais construit, mesurant 500 m de diamètre. L'ancien recordman était l'observatoire d'Arecibo, à Porto Rico, avec un diamètre de 305 m. Le télescope Lowell à Jodrell Bank dans le nord de l'Angleterre mesure 76 m. A vrai dire, ce n'est pas seulement une surenchère : plus c'est grand... mieux c'est quand il s'agit de radioastronomie !

« En Chine, en astronomie, nous sommes loin derrière le monde », explique le professeur Peng Bo, directeur adjoint du télescope.

« Nous avons l'habitude d'aller à l'étranger, d'utiliser des télescopes en dehors de la Chine. Je pense qu'il est temps pour nous de construire quelque chose en Chine. »



Prof. Peng Bo



Comme la lumière, les ondes radio sont une forme de rayonnement électromagnétique - mais elles ont des longueurs d'onde extrêmement longues, allant d'environ un millimètre à plus de 100 km de longueur. Et parce que ces signaux cosmiques ont voyagé sur de grandes distances dans l'espace, ils sont aussi incroyablement faibles. C'est pourquoi les radiotélescopes doivent être grands - plus le réflecteur est grand, mieux il peut recueillir les signaux, plus il est sensible. Si grand que l'équipe espère que FAST captera les ondes radio provenant des confins de l'espace.

Alors que certains télescopes, tels que le télescope spatial Hubble, utilisent la lumière pour voir l'Univers visible, un radiotélescope ressemble plus à une oreille géante qui écoute les ondes radio émises par des objets dans l'espace le plus profond.

Le radiotélescope sera à la recherche d'anciens signaux de l'hydrogène - l'un des éléments constitutifs de l'Univers primordial - pour essayer de comprendre comment le cosmos a évolué.

Il sera également à la recherche des nouvelles étoiles, en particulier un type d'étoile à rotation rapide et extrêmement dense appelé pulsar.

Et il rejoindra même la chasse à la vie extraterrestre.

« *La recherche de la vie extraterrestre est un sujet brûlant pour tous les télescopes - et aussi pour le public. Je pense que Fast peut apporter une contribution* », dit Peng.



La dépression de Dawodang, avant et après le début de la construction du radiotélescope



Dix années ont été nécessaires en examinant des images du pays, prises par satellite, pour dénicher le bon endroit afin d'accueillir ce gigantesque équipement. Mais sa construction a eu lieu en un temps record : un peu plus de cinq ans, de 2011 à 2016 et c'était terminé.

Le réflecteur est fabriqué à partir de 4450 pan-

neaux triangulaires qui ont été minutieusement mis en place. Bien que la structure dans son ensemble soit trop grande pour être déplacée, chacun des panneaux peut être ajusté. Cela signifie que la surface du télescope peut être modifiée pour permettre aux scientifiques d'étudier les parties du ciel qu'ils choisissent.

L'homme qui dirige cet ambitieux projet, le professeur Nan Rendong, des observatoires astronomiques nationaux de l'Académie chinoise des Sciences, affirme que le télescope a été le plus grand défi de sa carrière.



Prof. Nan Rendong

« Le Guizhou est une province en développement et notre site est éloigné, dans une région pauvre de la campagne... Toutes les parties lourdes de la structure que nous devons transporter à partir d'une zone industrielle, à des milliers de kilomètres de là, à travers ces terribles routes sinueuses... Parfois, les problèmes semblaient insurmontables... En fin de compte, cependant,



nous avons trouvé un moyen. »

Dans les temps anciens, la Chine était un chef de file mondial dans la science, célèbre pour quatre grandes inventions : la boussole, la fabrication du papier, l'impression et la poudre à canon. Mais au cours des siècles, alors que les dynasties dirigeantes mettaient davantage l'accent sur les arts, le progrès stagnait. Dans la tourmente de la Révolution culturelle des années 60, les choses ont empiré. Beaucoup d'intellectuels et d'universitaires ont été forcés de déménager à la cam-



Quelques uns des milliers de panneaux nécessaires pour fabriquer l'immense réflecteur

pagne, et la plupart des recherches scientifiques se sont arrêtées.

Mais des projets comme le télescope FAST sont de puissants symboles d'une renaissance scientifique. En 2013, les dépenses de recherche et de développement de la Chine ont dépassé celles de l'Europe et devraient dépasser celles des Etats-Unis d'ici 2020.

Une évaluation récente de la revue *Nature* a révélé qu'en termes de nombre d'articles publiés, la Chine se classe maintenant au 2^{ème} rang derrière les Etats-Unis.

Charlotte Liu, directrice générale en Chine de l'éditeur scientifique *Springer Nature* explique : *« Je pense qu'en Chine, il semble y avoir un sentiment d'urgence. Nous avons l'impression qu'au cours des 100 dernières années, nous avons perdu beaucoup d'opportunités parce que nous ne faisons pas de recherche... Et maintenant, il y a cette opportunité en terme de reconnaissance sociétale, du rôle que peut jouer la science. »*



Charlotte Liu

Cependant, pour ceux qui vivent dans l'ombre de Fast, le télescope apporte des changements indésirables. Les villages situés à moins de 5 km du télescope seront soumis à une zone de silence radio. Tout ce qui pourrait interférer avec le té-

lescope, comme les téléphones mobiles ou les réseaux sans fil, sera interdit, et, bien que le gouvernement offre une compensation à ceux qui veulent partir, certains sont mécontents. Certains rapports ont suggéré que des milliers de personnes pourraient être touchées.

Une femme : « *Ce sera trop difficile de vivre ici...* ».

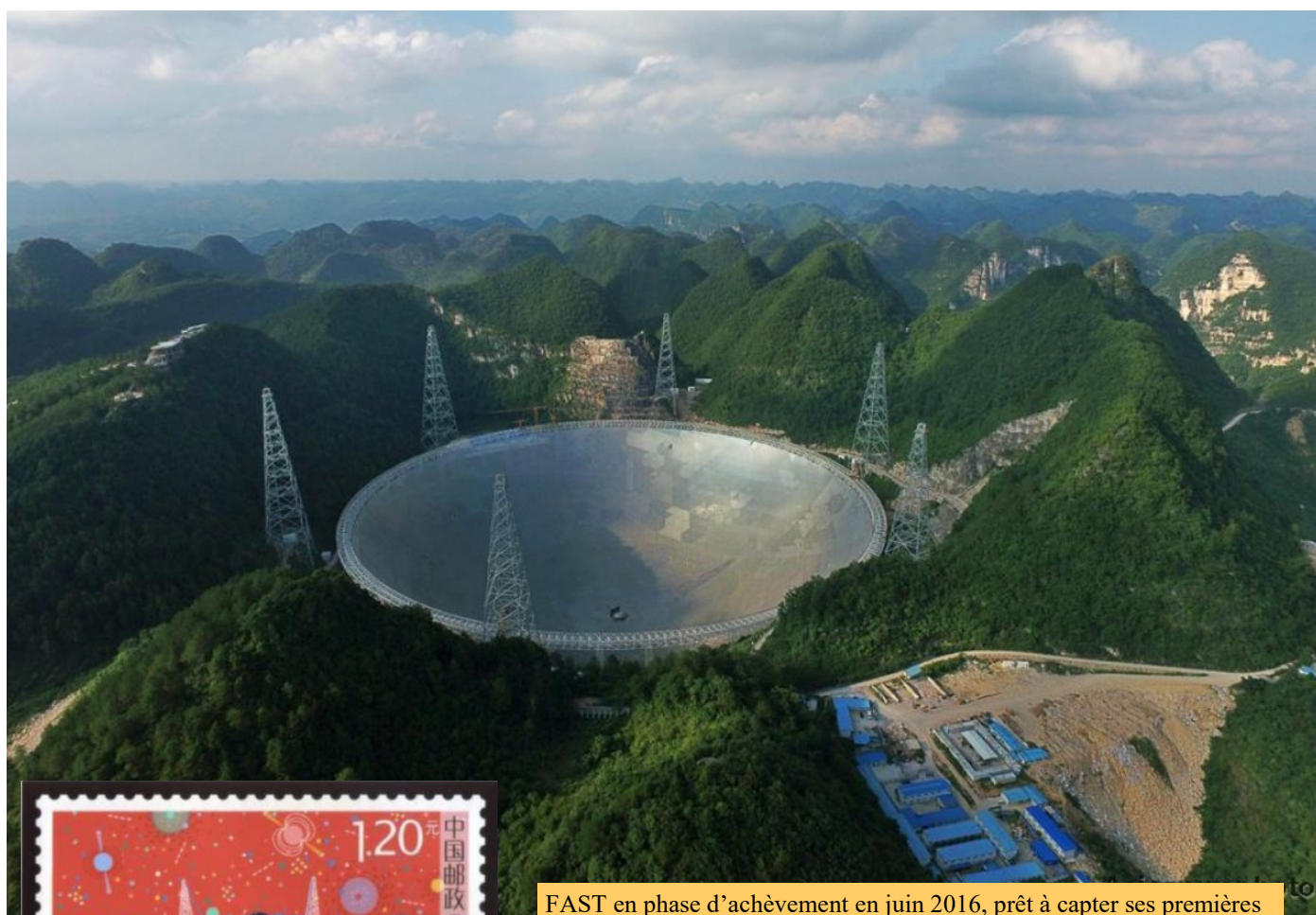
Alors elle déménagera bientôt.

Un homme : « *Bien que je soutienne le projet, je ne suis pas satisfait du montant de la compensation offerte. Il n'y a pas assez d'argent pour déménager en ville* ».

Les scientifiques disent accepter que les gens fassent des sacrifices, mais ils espèrent que le télé-



scope aidera la région. « *Cela attirera beaucoup de scientifiques et de touristes, et c'est aussi un très bon modèle pour l'éducation, pour les générations futures et pour l'industrie chinoise* », a déclaré Nan Rendong.



FAST en phase d'achèvement en juin 2016, prêt à capter ses premières informations de l'univers...



La poste chinoise a édité un timbre pour célébrer la mise en service de ce super radiotélescope de 500 mètres de diamètre.

En août 2017, FAST détectait ses deux premiers pulsars :

PSR J1859-01 (16 000 al)

PSR J1931-02 (4100 al)

Également appelés pulsar FAST #1 et #2 (FP1 et FP2).

Ils ont été détectés les 22 et 25 août et confirmés par le télescope Parkes en Australie le 10 septembre de la même année.

NB : le premier pulsar a été découvert par Jocelyn Bell le 28 novembre 1967.

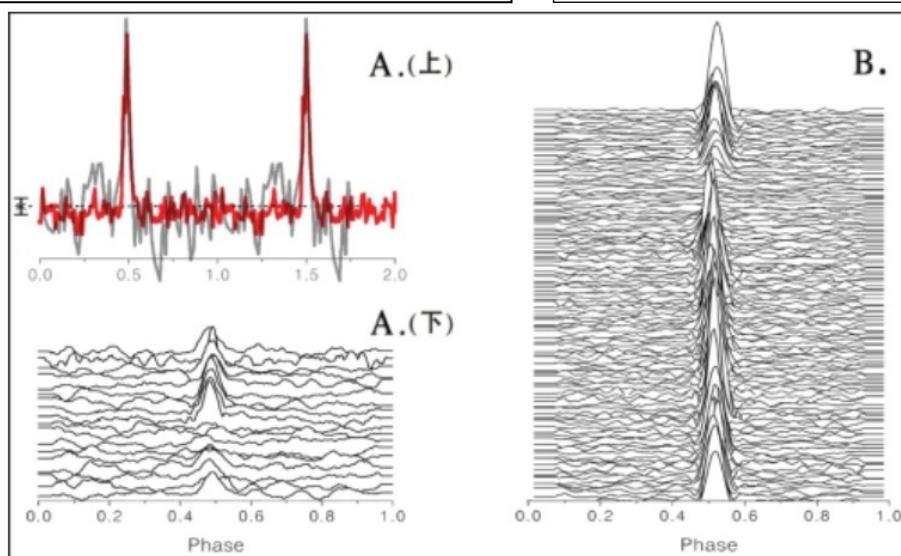
Les pulsars sont des résidus de fin de vie d'étoiles massives qui émettent des faisceaux d'ondes électromagnétiques selon l'axe des pôles magnétiques de l'étoile à neutrons résiduelle. L'interception de ce faisceau électromagnétique tournant par la Terre engendre une détection d'impulsions à fréquence élevée et relativement stable, tout comme un phare vu d'un bateau sur la mer.



Radiotélescope Parkes (64 mètres) - Australie

PSR J1859-01 est situé à 16 000 al
Avec une période de 1,83 s

PSR J1931-02 est situé à 4100 al
Avec une période de 0,59 s

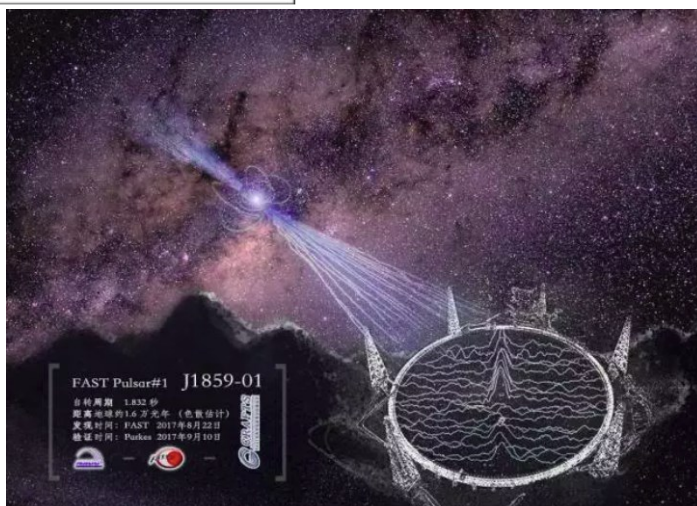


Profil impulsionnel des pulsars détectés

Depuis, FAST continue sa moisson de pulsars...

Nous lui souhaitons :

bonne chasse !



Le 14 mars 2018, **Stephen Hawking** nous quittait pour redevenir poussière d'étoile ; il avait 76 ans.

Have fun out there among the stars.

pic.twitter.com/S285MTwGtp

— Barack Obama (@BarackObama) March 14, 2018

Les hommages à ce savant hors du commun ont afflué de toutes parts ; les queues pour la signature du livre des condoléances se sont formées au *Gonville & Caius College*, où le professeur Hawking a travaillé pendant plus de 50 ans. Buckingham Palace a tout de suite annoncé que la reine allait envoyer ses condoléances.

Pour Lucy, Robert et Timothy, les enfants du professeur : « *Son courage, sa persévérance, sa brillante et son humour ont inspiré les gens du monde entier* ».



Le drapeau est en berne au Collège Gonville & Caius après l'annonce du décès du professeur Hawking

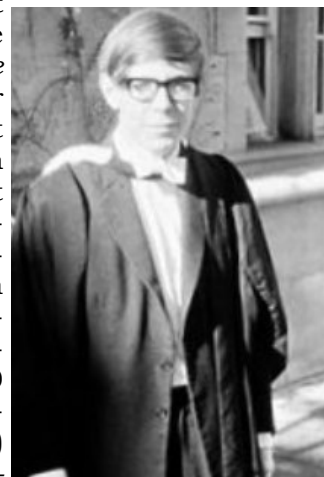
Stephen Hawking est né le 8 janvier 1942 à Oxford. Il s'est fait connaître comme grand théoricien et cosmologiste. Son succès auprès du grand public tient à la publication d'ouvrages de vulgarisation scientifique comme « une brève histoire du temps » (A brief History of time) qui a été un énorme « best seller ».



Quelques livres à succès de Stephen Hawking



Ses années universitaires, Stephen Hawking les passera au « University College » à Oxford où, au début, il se sentait seul et s'ennuyait : il trouvait son travail « ridiculement aisé ». Son tuteur en physique dira plus tard : « *il lui suffisait de savoir qu'une chose était possible, et il pouvait le faire sans chercher à voir comment les autres avaient pu le faire* ». Après cette première année « difficile », il s'est montré populaire, animé et spirituel, s'intéressant à la musique classique, à la science-fiction... allant même jusqu'à s'inscrire au *University College Boat Club*, pour barrer une équipe où il s'est montré casse-cou, en dirigeant avec risque, et conduisant à la destruction de quelques bateaux. Mais, après son diplôme, il quittera Oxford (où il estimera d'ailleurs avoir étudié 1 000 heures durant ses 3 années passées là-bas) pour Cambridge, au *Trinity Hall*, afin de s'occuper d'astronomie théorique et de cosmologie ; il y commence ses travaux en octobre 1962, et son superviseur est Dennis William Sciama, un des fondateurs de la cosmologie moderne. Le jeune Stephen avait 21 ans quand il est diagnostiqué atteint d'une rare forme de dégénérescence neuronale (sclérose amyotrophique latérale) ; une maladie qui, selon les docteurs, ne devait pas lui laisser beaucoup de temps à vivre. Stephen tombe dans la dépression mais ses professeurs l'encouragent. L'évolution de la maladie va quand même pouvoir être stabilisée (mais évoluera vers une paralysie quasi complète). La marche devient pour lui de plus en plus difficile, et il a des difficultés pour parler et



écrire. Hawking était farouchement indépendant et ne voulait pas accepter de l'aide ou faire des concessions à cause de ses inaptitudes physiques. Il préférait être regardé, disait-il, « comme un scientifique en premier, deuxièmement comme un écrivain scientifique vulgarisateur, et de toutes les façons comme tout être humain avec les mêmes désirs, conduites, rêves et ambitions... ». Fin 1960, il accepta, après beaucoup de persuasion, un fauteuil roulant qu'il conduisait de manière plutôt brutale. Hawking était populaire et spirituel mais sa maladie, ainsi que son insolence maintenaient les autres à distance... Il va toutefois continuer ses études et passer son doctorat à Cambridge, où il a une relation avec



Stephen Hawking et sa première femme : Jane

Jane Wilde, une amie de sa sœur. Il vont se marier le 14 juillet 1965. Stephen Hawking aura trois enfants : Robert, Lucy et Timothy. Le couple s'est séparé en 1995. Après une pneumonie en 1985 (lors d'une visite au CERN), les infirmières durent se relayer 24h/24 pour satisfaire aux surveillances médicales, et Elaine Manson était une des infirmières.

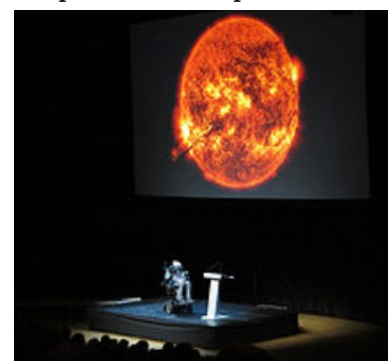


Elaine Manson avec Stephen Hawking

Stephen Hawking s'est remarié en septembre 1995 avec Elaine, son infirmière. Mais cette situation n'a pas évolué favorablement et en 2006, ils ont divorcé et Stephen Hawking s'est à nouveau rapproché de Jane et de sa véritable famille. C'est l'ancien mari de Elaine Manson qui avait adapté un micro ordinateur au fauteuil roulant pour que Stephen Hawking puisse s'exprimer

(jusque 15 mots par minute, sélectionnés par un bouton actionné par la main ; les phrases étaient mémorisées et envoyées au synthétiseur de parole une fois complètes). Hélas, Hawking a perdu graduellement l'usage de sa main. Il a collaboré avec Intel pour réaliser un système basé sur les impulsions cérébrales ou les expressions faciales mais sans succès. Par la suite, une société anglaise (SwiftKey) fournira un dispositif basé sur un logiciel de prédiction, un peu comme le clavier d'un smartphone actuel, dont la base de données avait été alimentée par les travaux écrits précédents de Stephen Hawking ; à la fin de sa vie, les difficultés respiratoires vont augmenter et il sera hospitalisé de nombreuses fois. Dans les années 90, Hawking a accepté le rôle de mentor et participé aux activités des fondations pour les handicapés et, avec d'autres, a signé la *Charter for the Third Millennium on Disability* qui demandait aux gouvernements de prévenir le handicap et protéger les handicapés. Malgré ses graves problèmes de santé, en 2007, il a accepté de faire un vol « zéro gravité », offert par Charles Branson qui l'avait entendu dire à la BBC que son plus grand désir aurait été de voyager dans l'espace. Derrière cette ambition personnelle, il souhaitait attirer l'attention du public sur les voyages spatiaux, et montrer aussi le potentiel des personnes

handicapées. A cette époque, les voyages spatiaux étaient prévus pour 2009... mais il mourra avant que cet aspect commercial des voyages ne débute. Malgré son handicap, Stephen Hawking va tout de même parcourir le monde et faire de nombreuses conférences afin de faire découvrir aux étudiants, et au grand public les mystères de l'Univers... Stephen Hawking va aussi rencontrer de nombreuses personnalités, et recevoir de nombreuses distinctions honorifiques dans son domaine des mathématiques et des sciences mais aussi,



Conférence de Stephen Hawking lors d'un congrès au Stockholm Waterfront, en 2015



Conférence à l'Université George Washington en 2008



par exemple, la médaille présidentielle de la liberté remise par le président des USA, Barak Obama, en personne.



Rencontre avec Nelson Mandela à Johannesburg en 2008

Cette très grande notoriété, Stephen Hawking la doit à son travail dans le domaine des mathématiques et des sciences de l'Univers, mais aussi à son talent de vulgarisateur et d'orateur, malgré une maladie qui l'a rendu très dépendant de ses infirmières et de l'électronique. Dans son livre « l'Univers dans une coquille de noix », il remercie ceux qui lui ont permis de mener une vie à peu près normale et ainsi de poursuivre ses recherches scientifiques ; et il n'hésite pas à plaisanter de son fauteuil roulant en parlant d'Isaac Newton : « *tout comme moi aujourd'hui, il détenait la « lucasian chair » à l'Université de Cambridge, mais elle n'était pas encore actionnée par un moteur électrique* ». En effet, à partir de 1979 jusqu'en 2009, Stephen Hawking occupera la chaire de professeur lucasien de mathématiques à l'Université de Cambridge ; un poste honorable et sans doute le poste académique le plus presti-

gieux au monde, occupé précédemment par Isaac Newton, mais aussi par Paul Dirac... en fait, toujours des hommes, à l'esprit scientifique influent. Le professeur Hawking apparaîtra aussi dans les médias, comme par exemple : une simulation holographique de lui-même dans un épisode de *Star Trek (the Next Generation)*, le dessin animé des *Simpsons*, ou encore la série « *The Big Bang Theory* »...



Cette renommée de savant brillant, il va la conquérir à partir de 1973 : Hawking décide d'étudier la gravité quantique et la mécanique quantique. Avec le mathématicien Sir Roger Penrose, il démontre que la théorie de la relativité générale d'Einstein implique que l'espace et le temps auraient un début lors du *Big Bang* (un point infini-tésimal : *une singularité*), et une fin dans les trous noirs. Une rencontre avec des chercheurs russes à Moscou, dont les travaux relatifs au *principe d'incertitude* montrent que les trous noirs en rotation émettent des particules, va le stimuler. Des calculs plus poussés présentés à partir de 1974, contrairement à sa seconde loi qui disait que les trous noirs ne peuvent jamais devenir plus petits, montrent que les trous noirs émettent des radiations (*la radiation de Hawking*), de manière continue et perdent de l'énergie jusqu'à évaporation (effets quantiques près de *l'horizon du trou noir*).

Combien de temps met un trou noir pour s'évaporer ?

En fait, plus le trou noir est grand, plus sa température est basse et donc son émission de particules est faible, et son évaporation lente. La durée de vie du trou noir est proportionnelle au cube de la masse du trou.

- Pour un trou noir de 2 masses solaires, la durée de vie est de $1,2 \times 10^{67}$ ans,
- Un trou noir de 20 masses solaires a une durée de vie de $2,7 \times 10^{70}$ ans.

Or, l'âge de l'Univers est d'environ 10^{10} ans. Ces durées de vie sont donc gigantesques ! Notre Voie Lactée ne risque pas encore de voir son trou noir Sagittarius A* disparaître...

NB : calculs réalisés par Page (élève de K. Thorne et Hawking) en 1978. Sagittarius A* est évalué à environ 4 millions de masses solaires.

La radiation de Hawking a été très controversée mais à la fin des années 70, la chose était bien admise et constituait une percée significative dans les théories de la physique moderne.

Hawking a aussi prédit l'existence de mini trous noirs au début de l'Univers, lors du Big Bang ; ceux-ci auraient perdu leur masse par évaporation, avec potentiellement une explosion finale libérant une énorme quantité d'énergie.

Hawking, dans les années 70, considérait que les particules et la lumière qui entraient dans un trou noir étaient définitivement détruites si le trou noir s'évaporait, et cette « information » définitivement perdue pour l'Univers. Mais le physicien américain Léonard Susskind n'était pas d'accord. Ces idées devinrent connues sous le terme « paradoxe de la perte d'information ». En 2004, Hawking admettait que l'information devait être conservée.

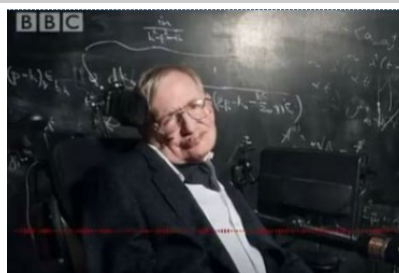
Dans les premières années de sa carrière, Hawking était prudent et rigoureux : une affirmation supposait une excellente démonstration ; cependant au fil du temps il préférait avoir raison que d'être rigoureux, sans doute l'effet de se sentir physiquement en déclin et vouloir finir le plus vite possible le travail. Malgré son talent de chercheur, tout comme Einstein, il admettait avoir fait quelques « bévues » comme :

- Le paradoxe de la perte d'information dans les trous noirs
- L'inexistence du boson de Higgs.

La réputation de Stephen Hawking reposait beaucoup sur ses recherches liées à la Relativité Générale d'Einstein, et les trous noirs. Mais il est souvent sorti des sentiers battus, usant de sa capacité à mettre en lumière ce qu'il ressentait comme de grands challenges, ou des menaces potentielles pour l'humanité ; cela faisait la une des médias ou, quelques fois, c'était sujet à polémique.

• Quitter la Terre

Hawking était vraiment inquiet que nous mettions « tous nos œufs dans le même panier ». Pendant des décennies, il n'aura pas cessé d'appeler l'humanité à la colonisation d'autres planètes. Sa croyance était que l'humanité pouvait éventuellement avoir à faire face à une grande catastrophe, du niveau d'une extinction massive, sans doute plus vite que prévue. Même avec une faible probabilité, un gros astéroïde heurtant notre planète est l'exemple classique. Il



était cependant confiant sur le fait que l'homme allait conquérir l'espace mais ajoutait : « nous établirons des colonies auto-suffisantes dans

l'espace, mais pas avant un siècle, aussi devons-nous être très prudents jusque là... ». En ce sens, il rejoignait les cogitations d'un entrepreneur « super star » : Elon Musk, qui, lui aussi, a fait la une des journaux avec ses projets de colonisation de Mars et annonçait déjà en 2013 : « Soit nous étendons la Terre à d'autres planètes, soit nous risquons l'extinction ; un événement d'une telle ampleur est inévitable, et nous sommes en train de le forger ! ». En accord avec Elon Musk, Stephen Hawking a aussi désiré attacher son nom à un projet de recherche technologique pour le voyage intersidéral : « The Breakthrough Starshot Initiative ». D'autres menaces pèsent aussi sur le genre humain :

• L'intelligence artificielle

Hawking admet que cela offre de grandes opportunités mais s'alarme aussi des risques associés.



Pour lui, le développement complet de l'intelligence artificielle pourrait annoncer la fin de la race humaine. Jusque maintenant, les développements réalisés sur ce sujet sont utiles ; Hawking se servait justement de ces progrès pour pallier son handicap ; mais il était effrayé à l'idée que la machine puisse égaler, voire surpasser l'homme qui est limité par sa lente évolution biologique.

• Le changement climatique

Le physicien de Cambridge pensait que le changement climatique est l'un des plus gros défis à relever pour nous, Terriens. Le but du « réchauffement à ne pas dépasser » afin de ne pas tomber dans l'irréversible lui faisait peur et il s'indignait de la décision américaine de ne pas satisfaire au traité de Paris :

« Nous sommes près du point de non retour... La

décision de Trump peut conduire la Terre à devenir comme Vénus, avec une température d'une centaine de degrés, avec des pluies acides ». Hawking n'était pas le seul à considérer le réchauffement de notre planète comme étant le grand enjeu des siècles à venir.

Quelques « pensées » du savant :

- **Les armes nucléaires**

« Certains ont reproché à Einstein d'avoir permis de construire la bombe atomique en découvrant l'équivalence de la masse et de l'énergie. Tient-on Newton pour responsables des accidents d'avion sous prétexte qu'il a découvert la gravité ? »



- **Pourquoi l'Univers existe ?**

« Si nous trouvons la réponse à cela, ce sera l'ultime triomphe de la raison humaine - car alors nous connaîtrions l'esprit de Dieu »

- **Les trous noirs**

« Einstein avait tort lorsqu'il disait « Dieu ne joue pas aux dés ». Considérant ce que les trous noirs suggèrent, non seulement Dieu joue aux dés, et en plus, il les jette où on ne peut pas les voir ».



- **L'humanité**

« Nous sommes seulement une race avancée sur une planète mineure d'une étoile moyenne. Mais nous pouvons comprendre l'Univers. Cela fait de nous quelque chose de spécial ».

- **Vivre**

« Premièrement, pensez à regarder en haut, vers les étoiles, et non en bas, à vos pieds. Deuxièmement, ne jamais abandonner le travail. Le travail vous donne un sens et un but et la vie est vide sans cela. Troisièmement, si vous êtes assez heureux pour trouver l'amour, rappelez-vous que c'est là et ne le jetez pas ».

- **Marketing**

« Je veux que mes livres soient vendus dans les kiosques des aéroports ».

- **Dieu**

« Parce qu'il y a des lois comme celle de la gravité, l'Univers peut et s'est créé lui-même à partir de rien... Il n'est pas nécessaire d'invoquer Dieu pour allumer la tablette tactile et mettre l'univers en marche ».

- **Euthanasie**

« Le malade doit avoir le droit de mettre fin à sa vie, s'il le désire ; ceux qui l'aident ne doivent pas être poursuivis en justice. Nous ne voulons pas que les animaux souffrent, pourquoi pas l'homme ? Mais je pense que c'est une grossière erreur. Combien même la vie peut sembler difficile, il y a toujours quelque chose que l'on peut faire, et réussir. Tant qu'il y a de la vie, il y a de l'espoir ».

- **La rencontre avec des extra-terrestres**

« Je pense que ce serait un désastre. Les extra-terrestres seraient bien plus avancés que nous. L'histoire des peuples avancés rencontrant des peuplades primitives sur cette planète n'est pas heureuse, et pourtant, c'est la même espèce. Je pense qu'il faudrait faire profil bas ».

- **Avoir été diagnostiqué avec cette maladie**

« Mes espérances ont été réduites à néant à 21 ans. Tout, depuis, a été du bonus ».

- **La mort**

En 2011, il disait « Je vis dans la perspective d'une mort prochaine depuis 49 ans. Je n'ai pas



peur de la mort, mais je ne suis pas pressé. J'ai tant de choses à faire ».

- **Les ondes gravitationnelles**

Stephen Hawking a débattu de ce sujet lors de sa dernière interview à la BBC : « Le fait qu'un trou noir puisse se former à partir de la fusion de deux étoiles à neutrons était connu de la théorie. Mais cet événement est le premier test ou observation. La fusion produit probablement une étoile à neutrons hyper-massive en rotation qui s'effondre ensuite pour donner un trou noir. Ceci est différent

des autres façons de former des trous noirs, comme dans une supernova ou lorsqu'une étoile à neutrons accrète de la matière d'une étoile normale. Avec une analyse minutieuse des données et une modélisation théorique sur les superordinateurs, il est possible d'obtenir des nouvelles informations sur la dynamique de la formation des trous noirs et des sursauts gamma. Les mesures d'ondes gravitationnelles nous apporteront un meilleur aperçu de la façon dont l'espace-temps et la gravité fonctionnent et transformeront ainsi notre compréhension de l'Univers. Les observations d'ondes gravitationnelles permettent de tester la relativité générale dans des situations où un champ gravitationnel est fort et hautement dynamique. Certaines personnes pensent que la relativité générale a besoin d'être modifiée pour éviter d'introduire l'énergie noire et la matière noire. Les ondes gravitationnelles sont une nouvelle façon de rechercher une signature des modifications possibles de la relativité générale. Une nouvelle fenêtre d'observation de l'Univers conduit générale-



Les détecteurs **LIGO** (à Hanford et Livingston, Etats-Unis) et le détecteur **Virgo** (Cascina, Italie) © LIGO Laboratory et Virgo / Nicola Baldocchi 2015

ment à des surprises qui ne peuvent pas encore être prévues. Nous continuons à nous frotter les yeux, ou plutôt les oreilles, car nous venons de nous réveiller au son des ondes gravitationnelles ».

• L'or

« La collision des étoiles à neutrons est une façon de produire de l'or. Il peut également être formé à partir de la capture rapide de neutrons dans les



Simulation de fusion de deux étoiles à neutrons. La collision des étoiles à neutrons est l'une des rares façons, ou peut-être la seule, de produire de l'or dans l'Univers.

supernovas. L'or est rare partout, pas seulement sur Terre. La raison pour laquelle il est rare est que les pics d'énergie nucléaire se fixent au fer, ce qui rend difficile la production d'éléments plus

lourds en général. Une forte répulsion électromagnétique doit également être surmontée par la force nucléaire afin de former des noyaux lourds et stables comme l'or ».



Stephen Hawking et Benedict Cumberbatch

Stephen Hawking a participé à de nombreuses interviews à la radio où on l'interrogeait sur des aspects scientifiques ou autres mais il a aussi participé indirectement, ou a été le sujet de films. Récemment, en hommage au savant disparu, la chaîne TV Arte a diffusé le film

« Hawking » qui racontait la vie du professeur, incarné pour la première fois par l'acteur Benedict Cumberbatch. Ce film a reçu un accueil très favorable du public. Ce n'est pas souvent que les scientifiques sont ainsi mis à l'honneur à l'écran ; le plus souvent, ils n'ont droit qu'à un petit

encart dans le journal... De ce point de vue, Hawking sort du lot.



Les funérailles

Stephen Hawking est décédé à 76 ans, le 14 mars 2018 à Cambridge. Ses funérailles ont eu lieu le 31 mars à l'église de l'Université : *Great St Mary Church* ; l'église est située près du collège *Gonville & Caius* fréquenté par le savant pendant plus de cinquante années.

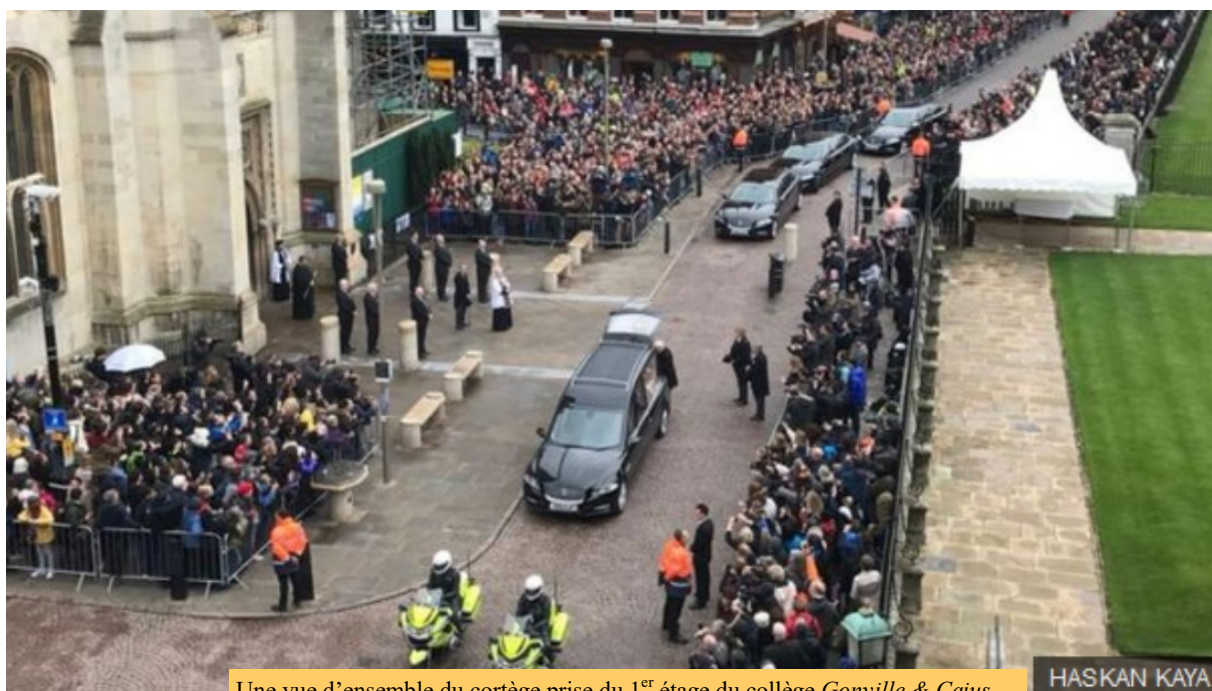


Le cortège funéraire a traversé le centre ville de Cambridge pour se rendre à l'église. Une foule importante se pressait pour photographier le corbillard.



Sur le chemin de l'église, le corbillard est photographié par la foule nombreuse venue rendre un dernier hommage.

Le cercueil était recouvert de fleurs : des lys blancs pour représenter l'Univers, et des roses blanches pour l'étoile polaire et la constellation voisine. Ses enfants, Lucy, Robert et Tim ont voulu cette cérémonie à Cambridge : « *il était reconnu, faisait corps avec l'Université de la ville... C'est pour cette raison que nous avons souhaité la*



Une vue d'ensemble du cortège prise du 1^{er} étage du collège *Gonville & Caius*

HASKAN KAYA

cérémonie dans cette cité qu'il a tant aimée et qui l'a aimé. La vie de notre père et son travail représente beaucoup de choses pour beaucoup de monde, quelle que soit la religion, ou pas. Aussi l'office sera à la fois inclusif et traditionnel, reflétant le souffle et la diversité de sa vie ».

Le doyen de Westminster, le Révérend Dr John Hall a dit que les restes du professeur Stephen Hawking seraient incinérés à l'Abbaye, près de ses distingués savants compagnons

- Sir Isaac Newton a été incinéré à l'Abbaye en 1727,
- Charles Darwin a été incinéré à côté de Isaac Newton en 1882.

Abbaye de Westminster à Londres

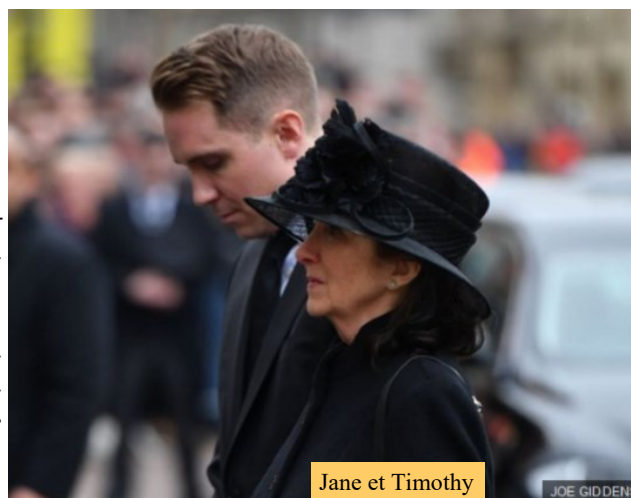




Les porteurs sont les professeurs du collège

Plus de 500 invités parmi la famille, les amis et collègues étaient attendus à la cérémonie privée.

Jane Hawking, la première femme de Stephen Hawking assistait à la cérémonie avec son fils Timothy :



Jane et Timothy

JOE GIDDENS

Extrait de l'éloge funèbre lue par le professeur Fay Dowker :

« Stephen a partagé son travail et son enthousiasme pour les questions fondamentales qu'il a abordées avec un large public.

Il a inspiré les gens avec l'excitation et l'importance de la recherche scientifique pure et a été admiré et vénéré pour son dévouement, en tant que savant, à la poursuite de la connaissance.

Cette haute estime a été démontrée partout dans le monde où il donnait une conférence publique : l'auditorium était toujours plein à craquer, l'atmosphère électrique et les applaudissements résonnaient.

Stephen était mon professeur, mon mentor et mon ami.

Moi, comme beaucoup de ceux qui le connaissaient et l'aimaient, j'en étais venu à penser à lui comme immortel et notre tristesse est teintée d'un sentiment d'incrédulité qu'il n'est plus là.

Mais son influence et son héritage vivront pour toujours ».



Stephen Hawking avec son ours, mascotte du collège

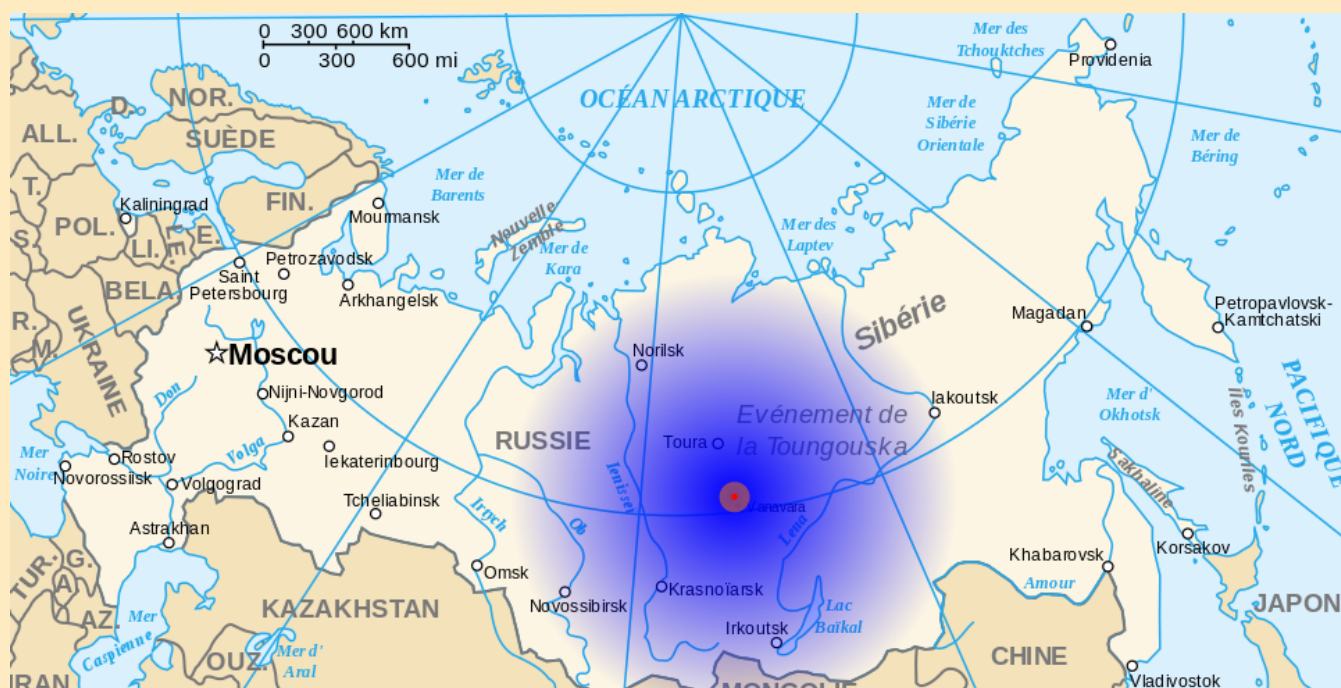
DAN WHITE

C'est arrivé ce jour-là...

Juin 1908, il y a 110 ans

Mardi 30 juin 1908, 7h 13, dans la région de la rivière Toungouska, une importante onde de choc détruit la forêt sur un rayon de 20 km et fait des dégâts jusqu'à une centaine de kilomètres. Plusieurs hypothèses ont été émises mais la plus plausible est celle de la désintégration d'un astéroïde ou d'un noyau cométaire dans l'atmosphère à une altitude comprise entre 5 et 10 km. Quelques témoins ont assisté au passage d'une boule de feu dans le ciel de la Sibérie centrale. L'explosion qui s'ensuit est estimée à plusieurs centaines de fois celle des bombes atomiques de Hiroshima et de Nagasaki. Elle entraîne un séisme enregistré à l'observatoire magnétique d'Irkoutsk, sa magnitude est encore de l'ordre de 5 à 1000 km de l'explosion. 60 millions d'arbres sont abattus et les incendies durent plusieurs semaines.

La chaleur crée un vortex qui entraîne des poussières et des cendres dans l'atmosphère. Avec les courants atmosphériques, on observe des halos dans la haute atmosphère jusqu'en Espagne. La luminosité exceptionnelle de l'atmosphère, même après le coucher du soleil, permet de lire en pleine nuit pendant plusieurs jours. Les scientifiques rapprochent ce phénomène de celui qu'ils avaient connu seulement 25 ans plus tôt avec l'éruption du volcan Krakatoa en 1883. La situation géographique et le contexte politique ne permettent une exploration du site qu'en 1927. Cette expédition russe est menée par Leonid Koulik. Sur place, il n'y a pas de cratère, il n'y a pas d'impact ni de débris. Les expéditions suivantes datent de 1958 et 1961. C'est alors qu'on y a découvert des petites sphères de silicates et de métal. En





1993, une équipe de chercheurs américains annonce que l'explosion est due à un petit noyau cométaire. En 2007, le géologue italien, Luca Gaspérini émet l'hypothèse que le lac Cheko se serait formé dans un cratère d'impact dû à un fragment du noyau cométaire ainsi qu'à une forte émission de dioxyde de carbone, de vapeur d'eau et de méthane contenus dans le pergélisol. L'objet lui-même, surnommé Ogdý, du nom du dieu du feu, aurait 50m de diamètre et des simulations, en 2007, permettent d'estimer sa masse à 62 000 tonnes. En 2010, l'expédition de Vladimir Alexeev plaide en faveur d'une comète avec la découverte dans la résine des arbres de poussières cosmiques qu'on trouve habituellement

dans la queue des comètes mais, en 2013, Victor Kvasnytsya relance le débat avec la découverte, dans la tourbe, de fragments de roche microscopiques plutôt associés à une météorite...

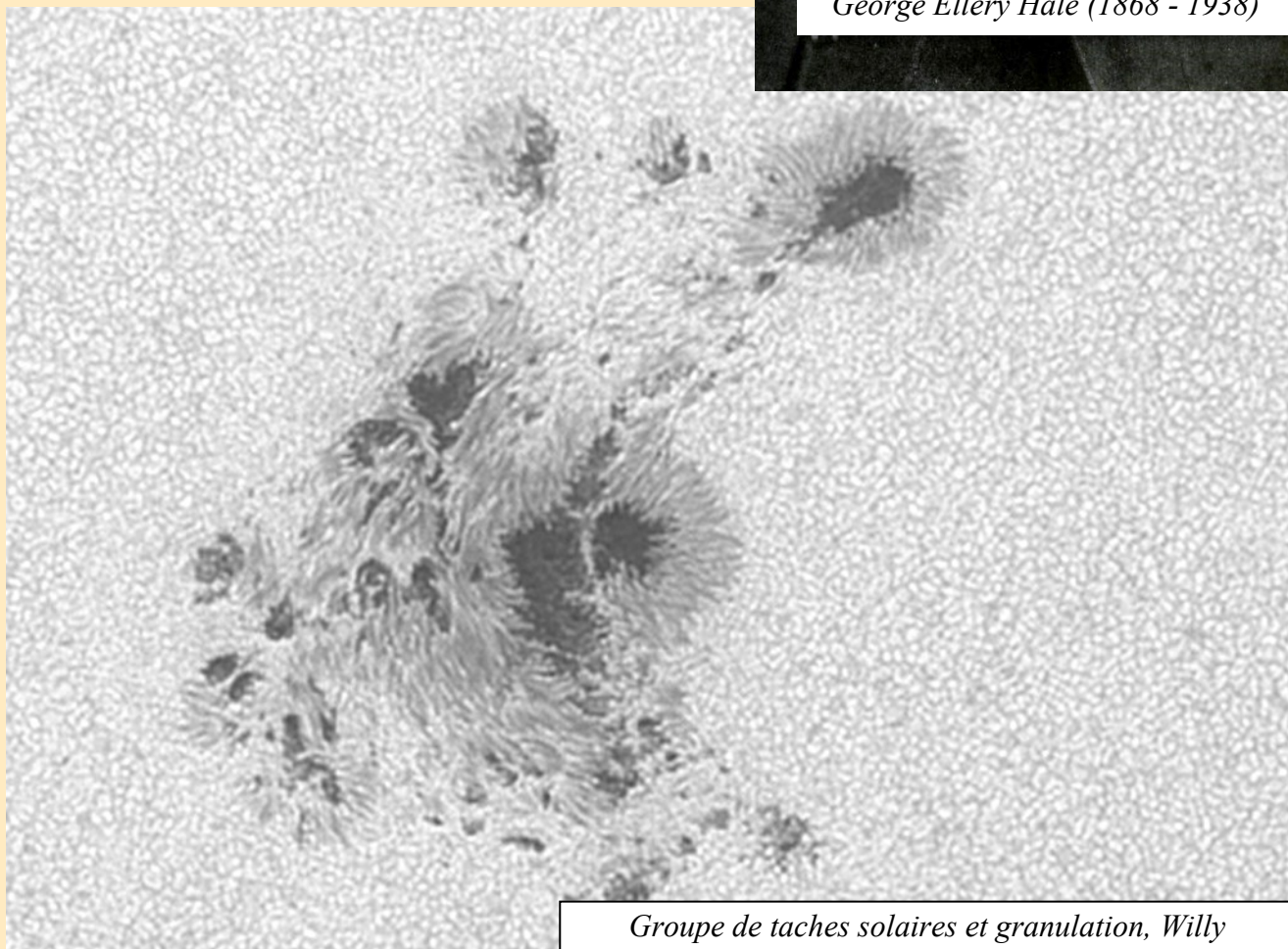


Juin 1868, il y a 150

George Ellery Hale est né le 29 juin 1868. C'est à partir d'un petit microscope qu'il se découvre une véritable passion pour l'optique et, à l'âge de 14 ans, George construit son premier télescope. Son père le remplace plus tard par un télescope d'occasion qu'ils installent sur le toit de la maison. George photographie le ciel, il observe une éclipse partielle et dessine les taches solaires. A 17 ans, il poursuit ses études au célèbre MIT, le Massachusetts Institute of Technology. On lui doit le spectrohéliographe avec lequel il découvre que les taches solaires sont liées à un champ magnétique. En poursuivant ses recherches sur les taches solaires, il découvre que leur champ magnétique est aligné suivant un axe Est-Ouest, que d'un



George Ellery Hale (1868 - 1938)

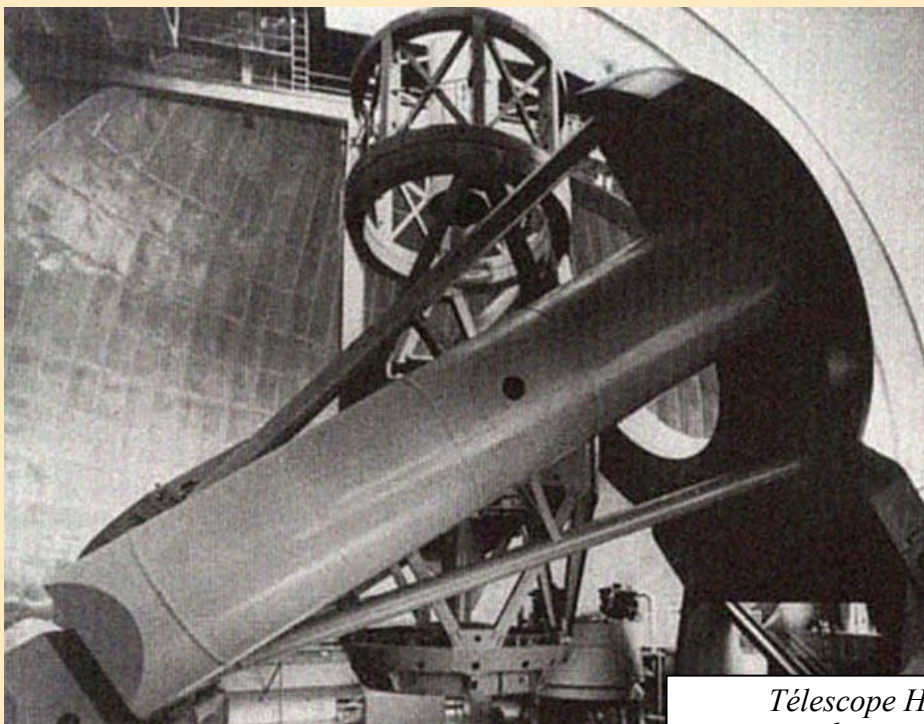


Groupe de taches solaires et granulation, Willy

cycle d'activité solaire au suivant, les polarités des groupes de taches s'inversent, autant de propriétés qu'on connaît maintenant sous le nom de « lois de Hale ». En octobre 1913, Geore Hale reçoit une lettre d'Albert Einstein lui demandant si certaines observations pouvaient être faites pour confirmer la théorie de la Relativité Générale concernant les effets de la gravité sur la lumière. Hale lui répond que de telles observations ne peuvent s'effectuer que lors d'éclipses totales de soleil. George Hale a encouragé et aidé toutes les initiatives personnelles en matière de recherches astronomiques ou de constructions d'observatoires comme ceux de Yerkes, du mont Wilson ou du mont Palomar. Au mont Wilson, Hale a encouragé Harlow Shapley et Edwin Hubble dans leur quête d'une des découvertes les plus importantes de l'époque : la fuite des galaxie et l'expansion de l'Univers. Hale est un organisateur prolifique, il aide à la création de bon nombre d'institutions astronomiques ou des journaux. Il joue aussi un rôle central dans le développement

du Caltech, le California Institute of Technology, qui devient une université de premier plan pour la recherche. Après son départ du poste de directeur de l'observatoire du mont Wilson, il construit le laboratoire solaire Hale à Pasadena, Californie. Mais sa renommée est internationale : dès son plus jeune âge, il réalise l'importance d'une collaboration entre pays pour la réalisation de grands projets. En 1904, il organise la conférence inaugurale de l'organisation internationale pour la recherche solaire. Seize sociétés scientifiques nationales se rendent à St Louis ; la Prusse décline l'invitation mais des représentants de la société de Physique allemande sont présents. La rencontre mène à la création de l'Union internationale pour la recherche solaire. Cette nouvelle organisation tient son premier meeting à Oxford en Angleterre puis en 1907 à Paris et au mont Wilson en 1910 où la coopération internationale dans la recherche s'élargit à toutes les étoiles, pas seulement au soleil. Peu de temps après le meeting de 1913 à Bonn, éclate la première guerre mondiale.

Ce n'est pas avant 1919 que les scientifiques se réunissent à nouveau sous le nouveau sigle de l'Union Astronomique Internationale. Ce sont des problèmes psychologiques et neurologiques (insomnie, schizophrénie) qui l'ont poussé à quitter ses fonctions de directeur de l'observatoire du mont Wilson. Il meurt le 21 février 1938 à l'âge de 70 ans.



*Télescope Hale de 5,08 m
du mont Palomar*

Youri Gagarine : le 12 avril 1961, il devenait, du jour au lendemain, l'homme le plus célèbre du monde ; il venait d'accomplir le premier vol humain dans l'espace, à bord du vaisseau Vostok.



Youri Gagarine en 1961 (Wikipédia)

Les circonstances de l'accident n'ont pas été révélées facilement, on s'en doute, et ce n'est que tardivement que les informations plus précises ont été dévoilées. Le plus probable semble être une mise en vrille incontrôlable de l'avion suite au passage d'un autre Mig25, alors que l'avion était dans une épaisse couche nuageuse à relativement basse altitude car il rentrait au terrain.



Gagarine superstar après son vol historique sur Vostok 1

Gagarine deviendra ainsi l'ambassadeur de l'Union Soviétique, et il va visiter de nombreux pays, dont la France : il sera au Salon International de l'Aéronautique et de l'Espace de Paris-Le Bourget en 1965. Hélas, il s'éloigne peu à peu, contre sa volonté, de son métier de cosmonaute. Malgré un entraînement important (il avait grossi...) il parvient à obtenir un rôle de doublure de Komarov dans la mission Soyuz mais l'accident de Komarov à l'atterrissage du vaisseau Soyouz 1 va définitivement lui fermer les portes d'accès à l'espace, et Gagarine n'est même plus autorisé à piloter des avions de chasse en solo ; Gagarine doit être protégé : il symbolise le triomphe de l'Union Soviétique.

C'est en faisant un exercice de pilotage avec un instructeur (Vladimir Seriouguine) qu'il s'est tué, à 34 ans, le 27 mars 1968 dans l'accident de son avion : un Mig 25.



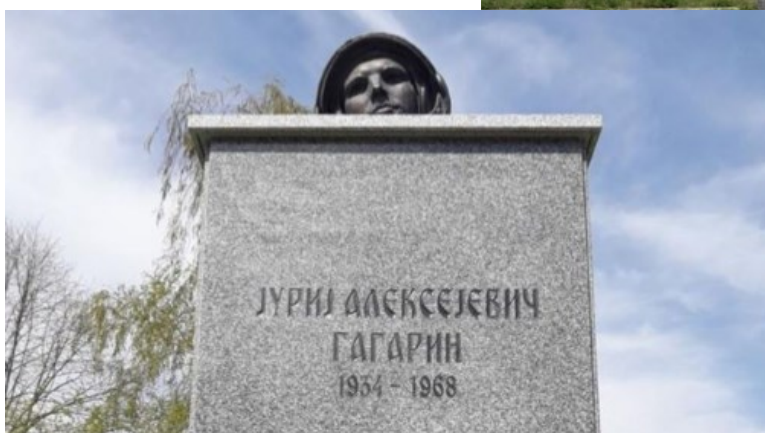
MIG 25 (Wikipédia)

Pour Korolev, développeur du projet Soyouz démarré en 1962 :

« Il était plein de bon esprit et rayonnait comme le Soleil »

Un monument, hommage à Gagarine, premier homme dans l'espace a été récemment érigé dans la capitale serbe de Belgrade :

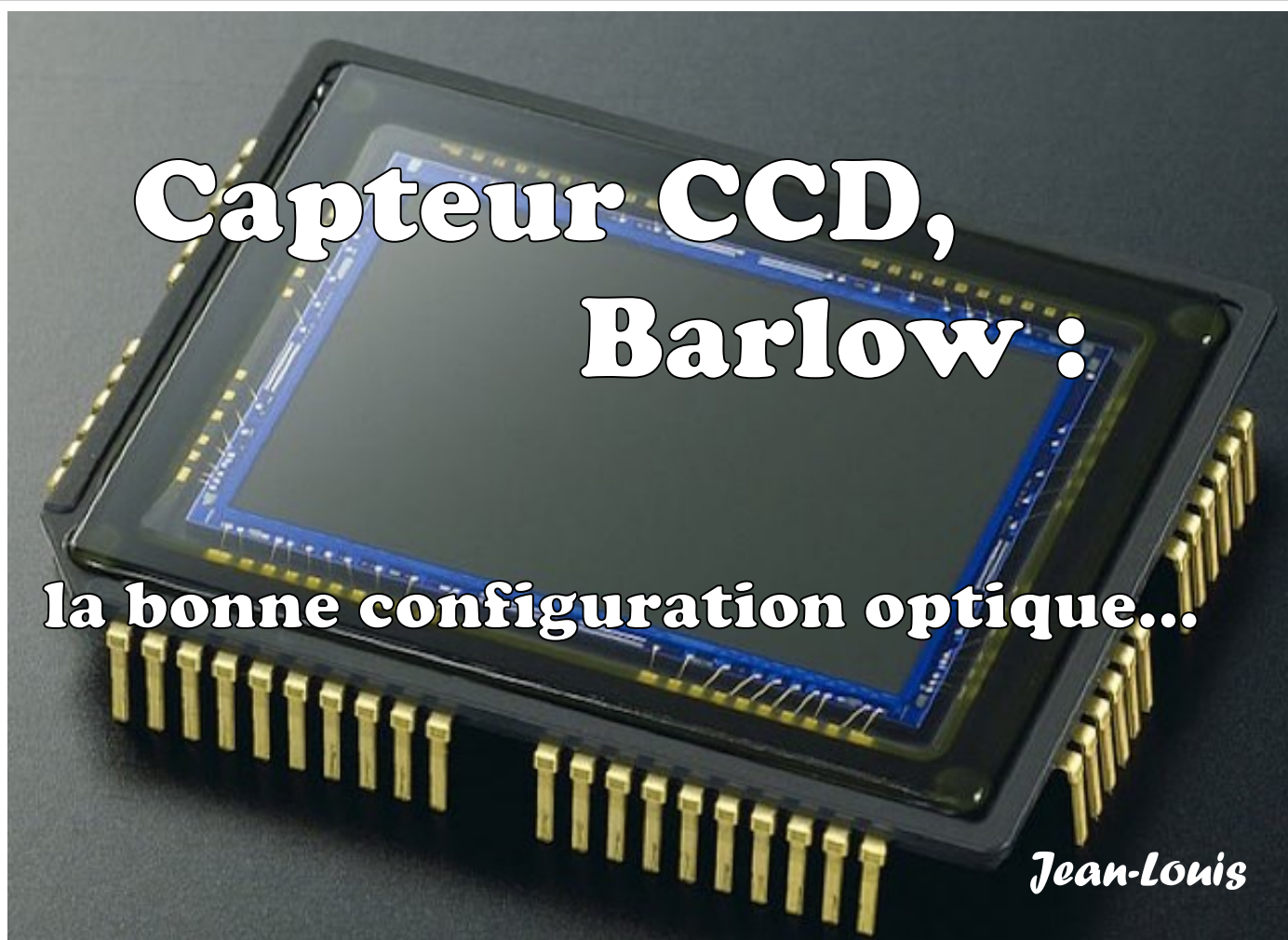
Comme on le voit sur cette photo, l'ensemble est du genre massif et rustique et cela n'a pas échappé aux habitants du coin qui l'ont trouvé de très mauvais goût. Son apparence : un petit buste perché au dessus d'un massif socle revêtu de granit a suscité de très vives et négatives réactions :



Des personnes ont suggéré que cette façon de faire avait été dictée par le fait que Belgrade est une ville très ventée, et il fallait donc quelque chose qui résiste au vent... D'autres, que les « designers » de la chose s'inquiétait des voleurs potentiels et il fallait que cela soit inaccessible. Mais aussi que le reste de la statue était caché dans le socle, ou que c'était une manière « artistique » de faire imaginer l'invisible corps. Par rapport à ce qui a été fait à Moscou, ce monument de Belgrade est un scandale et une insulte. Oui, c'était un hommage indigne au héros soviétique qui a orbité pour la première fois autour de la Terre le 12 avril 1961

« la seule façon de le voir correctement est de s'élever dans le ciel », « C'est somme toute symbolique, mais ça n'a rien de sensé comme spectacle ». Finalement, le peuple aura le dernier mot : la ville a décidé de revoir la copie et le buste a été démonté rapidement :





Lors de la formation « L'imagerie planétaire » donnée par Lionel au sein du club, l'exercice « *Attention à la compatibilité instrument + caméra, tout doit aller ensemble* » : cette remarque m'a conduit à créer un tableur pour aider à la détermination de la taille optimale des pixels du capteur, et, pour le planétaire, estimer la Barlow qui doit être utilisée pour répondre au critère d'échantillonnage. Pour le ciel profond, choisir des pixels adaptés au rapport F/D du télescope pour capter un maximum de lumière ; ensuite en fonction des caractéristiques électroniques du capteur, rendement quantique et rapport signal sur bruit, il devient possible d'estimer une plage d'exposition optimale en fonction de la magnitude de l'objet.

Oui, parfois vouloir gagner du temps, un peu par paresse, amène à en passer un peu plus dans la conception d'une feuille de calcul. Mais la contrepartie pour un débutant est très bénéfique car j'ai été amené à me poser un grand nombre de questions sur

l'interaction des différents éléments de la chaîne instrumentale. En partant de ce qui entre dans la pupille du télescope, jusqu'au récepteur final, l'œil ou le capteur de la caméra, tout est étroitement lié.

Le but premier étant de choisir une caméra CCD ou CMOS j'ai donc commencé par l'extrémité finale de l'instrument : le capteur. Les capteurs les plus récents figurent dans une liste où il y a la possibilité d'ajouter 9 nouveaux capteurs.

Les caractéristiques à entrer sont : la taille des pixels en μm , les dimensions du capteur LxH en mm, le nombre de pixels LxH.

Les autres caractéristiques physiques sont calculées automatiquement : la diagonale qui définit le format et le facteur de grossissement (Crop factor APS-C), permet de calculer le champ de vision donc de choisir les objets à imager, le nombre total de pixels qui joue sur la finesse des images.

Le Planétaire

Si nous revenons à la taille des pixels le critère de Shannon optimise l'échantillonnage (Ech) en fonction du pouvoir séparateur (PS) du télescope: $PS = 2x \text{ Ech}$

Je me suis interrogé sur la nature de l'échantillonnage qui est simplement la finesse de la conversion d'un signal reçu, les photons collectés par l'optique du télescope, en un signal soit digital en imagerie soit sensoriel en observation. Chaque pixel du capteur ou les bâtonnets de notre œil doit pouvoir apprécier des détails plus fins que la résolution du télescope. Les plus fins détails seront donc répartis sur deux pixels au minimum et trois au maximum.

La résolution ou pouvoir séparateur dépend dans le cas favorable de bonnes conditions d'observation du diamètre du télescope : $PS = 120 / D$ arc sec avec D (mm) (1 et 8).

Mais lorsque la turbulence est supérieure au pouvoir séparateur c'est elle qui va déterminer le pouvoir séparateur : $PS = \text{Turbulence}$.

1] Le pouvoir séparateur du télescope est meilleur que la turbulence

Par définition l'échantillonnage est l'angle sous lequel un pixel de la caméra voit une portion du ciel. L'échantillonnage est proportionnel à la taille des pixels et inversement proportionnel à la focale. $\text{Ech} = \text{Pix}/F$ en radian F(mm) et Pix (mm) avec 1 radian = $(180^\circ/3.1416) \times 3600 = 206265$ arc sec donc $\text{Ech} = 206265 \text{ Pix} / F$ arc sec ou **Ech = 206 Pix/F arc sec** avec F (mm) et Pix (μm)

Si on estime que la bonne valeur de l'échantillonnage est entre 2 et 3 fois le pouvoir séparateur PS, traduisons le critère de Shannon : $120/D = 2 \times 206 \times \text{Pix}/F \Rightarrow F/D = 3.43 \text{ Pix}$ ou bien

$0.194 F/D \leq \text{Pix} (\mu\text{m}) \leq 0.291 F/D$ ou bien **3.5 Pix $\leq F/D \leq 5$ Pix**

Ce qui permet d'optimiser à l'aide d'une Barlow la focale et donc le rapport F/D en fonction de la taille des pixels du capteur.

Si on utilise un filtre spécifique **PS = 0.251 λ (nm)/D(mm)** ; $\text{Pix} = (0.251/412) \lambda$ (nm) F/D.

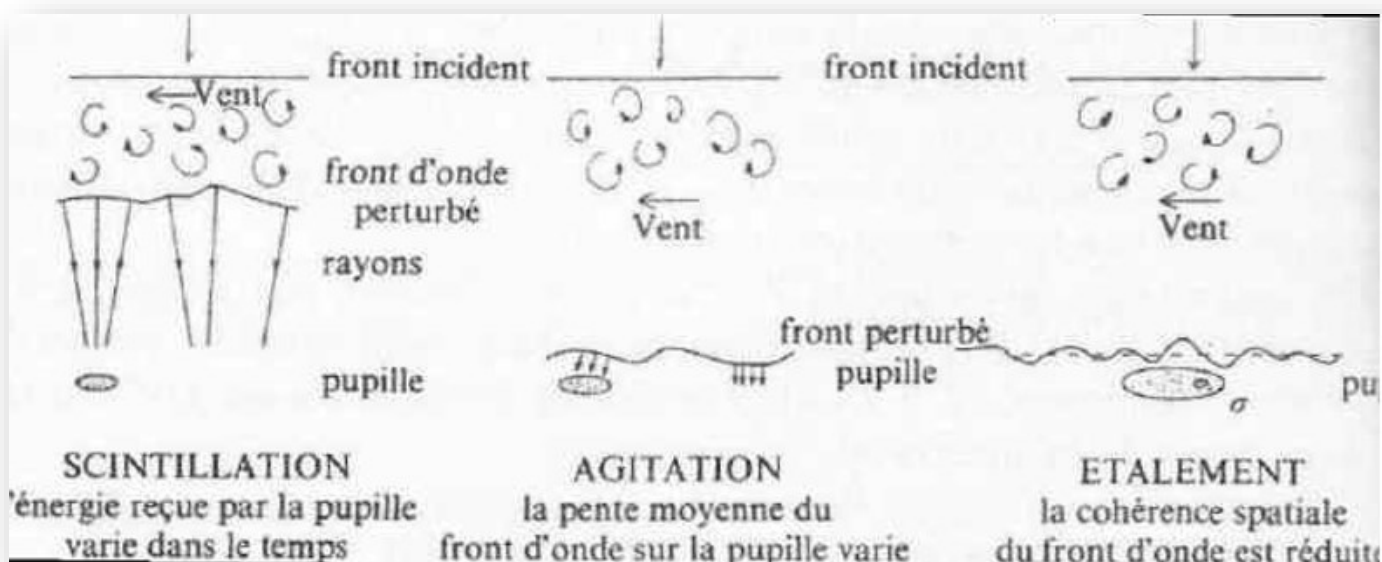
Aux faibles longueurs d'onde le pouvoir séparateur est plus petit, donc meilleur dans le bleu 450 nm que dans le rouge 650 nm. La longueur d'onde λ sera prise à 478 nm pour retrouver les valeurs précédentes.

La bonne taille des pixels qui vérifie : $2x\text{Ech} < PS < 3x\text{Ech}$ est coloré en vert, en dehors il y a sur-échantillonnage pour les pixels plus petits et sous-échantillonnage pour les plus gros.

Lorsque la taille du capteur n'est pas optimale en faisant varier la focale donc le rapport F/D à l'aide d'une lentille de Barlow on ramène l'échantillonnage dans le bon intervalle.

2] La turbulence est prépondérante

Deuxième cas à envisager, c'est de loin le plus complexe, lorsque la turbulence est plus grande que le pouvoir séparateur de l'instrument, fréquemment rencontré pour les télescopes de grand diamètre à bon pouvoir séparateur. L'échantillonnage dans ce



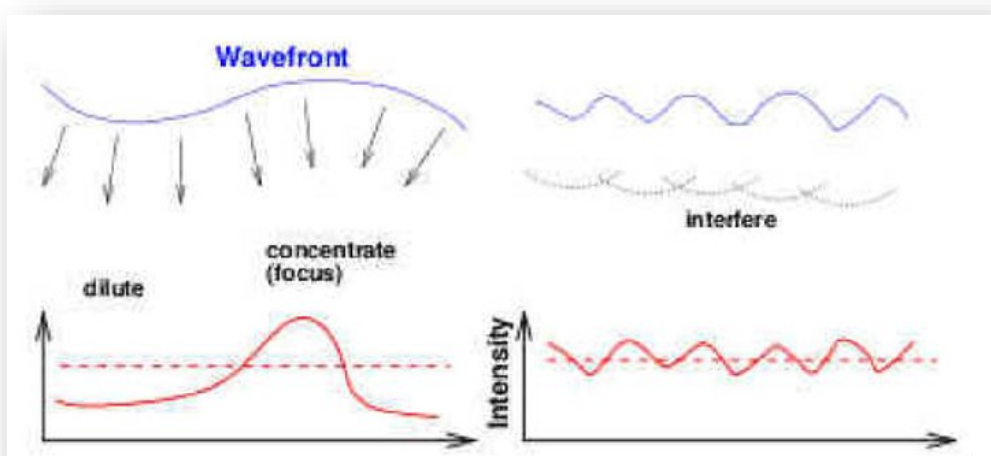
U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	
Taille Pixels μ	F/Dmin	Barlow Min	Barlow Max	1	2		3	4	5	6	
1	1	3.4	0.4	0.6	Focale (mm)	Diamètre (mm)	F/D	Pixel (μ)	λ (nm)	Barlow (x) / Réducteur (x)	Pouvoir Séparateur
2	11	3.8	0.4	0.6	900	120	9.0	2.40	478	1.2	1.000
3	12	4.1	0.5	0.7	Sony IMX178		Pixel optimal (μ)		Focale Barlow		Turbulence (")
4	13	4.5	0.5	0.7	Planétaire : OUI		2.6		1080		0.1
5	14	4.8	0.5	0.8	Ciel Profond : NON		Quand la Turbulence > Pouvoir Séparateur		D/80		Diamètre de Fried R0
6	15	5.2	0.6	0.9	Binning		Etendue		Exposition Totale (mn)		Etendue x Exposition
7	16	5.5	0.6	0.9	1x1		24		60		1422
8	17	5.8	0.6	1.0			Pixel optimal		Exposition optimale (mn)		Cible Etendue x Exp.
9	18	6.2	0.7	1.0			9.0		843.9		20000
10	19	6.5	0.7	1.1			Pix/F_D / Pix/F_D Opt		F/D optimal		Réducteur (x)
11	2	6.9	0.8	1.1			0.267 1.000		2.40		0.32
12	21	7.2	0.8	1.2			Exp/ExpOpt		7.1%		
13	22	7.6	0.8	1.3							
14	23	7.9	0.9	1.3							
15	24	8.2	0.9	1.4							
16	25	8.6	1.0	1.4							
17	26	8.9	1.0	1.5							
18	27	9.3	1.0	1.5							
19	28	9.6	1.1	1.6							
20	29	10.0	1.1	1.7							
21	3	10.3	1.1	1.7							
22	31	10.6	1.2	1.8							
23	32	11.0	1.2	1.8							

1 Entrez la Focale du télescope
 2 Entrez le Diamètre du télescope...
 La taille optimale des pixels vérifie: $\text{Pouvoir Séparateur} = 2 \times \text{Echantillonnage}$ elle correspond au b...
 3 Entrez la taille des pixels en sélectionnant le capteur dans la liste. L'é...
 Col. T et col. U Bon La bonne taille des pixels
 Bon avec Barlow La focale modifiée par un...
 Sur ou sous-échantillonné La taille des pixels est tro...
 4 Modifiez la longueur d'onde si vous utilisez un filtre (valeur par défaut $\lambda = 478 \text{ nm}$) PS = (120/478)

cas est la moitié de la turbulence et la taille optimale des pixels : $\text{Turbulence} = 2x \text{206 Pix/F}$ donc $\text{Pix} = \text{Turbulence} \times F/412$
 Il sera ici encore possible de rapprocher la taille optimale de la taille des pixels du capteur de l'instrument en jouant sur la focale avec une lentille de Barlow et obtenir un échantillonnage correct.
 Une analyse des phénomènes engendrés par la turbulence (2) permet de mieux comprendre quels instruments seront plus ou moins affectés dans leurs performances.

Avant son entrée dans l'atmosphère le front d'onde est considéré comme plan, les perturbations qu'il subit au travers des différentes couches avant son arrivée dans la pupille du télescope vont altérer la tache d'Airy.
 Par ordre croissant d'influence voici les trois phénomènes qui constituent la turbulence.

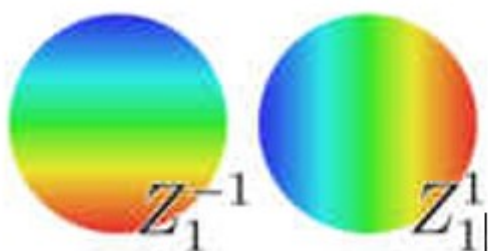
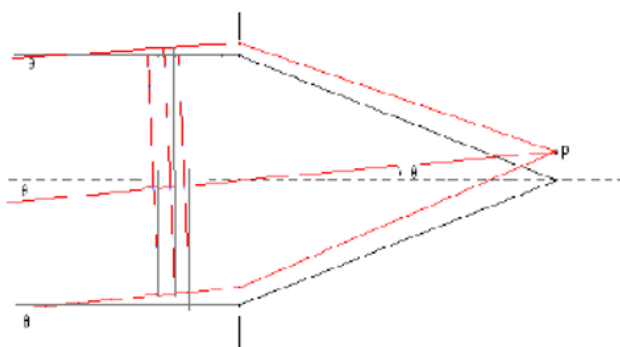
Première composante : la **scintillation** due à la variation du rayon de courbure qui entraîne l'apparition rapide de lentilles divergentes, convergentes et produit une dispersion, concentration d'énergie du front d'onde. Elle se manifeste pour de petits diamètres de télescopes ($D < 100 \text{ mm}$) sur des sources ponctuelles, les étoiles, mais pas sur les planètes de taille apparente plus grande, quelques secondes à quelques dizaines de secondes d'arc.



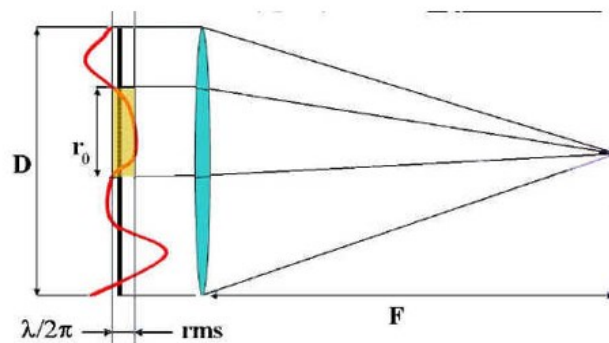
	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	
		Auteur: Jean-Louis Virichie		Tub: Albinero78					
r	Ech. instrument (") sans Barlow 0.549	Ech. instrument (") avec Barlow 0.458	F/D min instru. 8.2	F/D max 12.3	Barlow min 1.1	Barlow max 1.6	Focale min 985	Focale max 1478	
	Ech. Effectif (") 0.458	Echantillonnage Echantillonnage correct	F/D min effectif 8.2	F/D max 12.3	Barlow min 1.1	Barlow max 1.6	Focale min 985	Focale max 1478	
RO	Probabilité P (%)		Probabilité 1 bonne image sur						
m	Nombre d'Expositions 593	Exposition individuelle (s) 6.1	Pauses < Ultra Courtes	Diminution du Bruit de fond OUI		0.67	0.92		
a.	66	54.5	< Courtes	OUI		0.65	0.75		
	8	450	< Moyennes			0.29	0.29		
	4	900	< Longues						

au bon rapport F/D (col. 5) qui est indiquée en vert.
 L'échantillonnage de l'instrument est calculé avec cette taille et la focale: Ech = 206xPix/F
 pixels vérifie: $2x\text{Ech} < \text{PS} < 3x\text{Ech}$
 car une Barlow ramène l'échantillonnage dans les bonnes limites
 est trop petite ou trop grande par rapport à la taille optimale
 $(478)\times\lambda \text{ (nm)}/D\text{(mm)} = 0,251\times\lambda \text{ (nm)}/D\text{(mm)}$

Deuxième composante : **l'agitation** (télescopes : 100mm < D < 250mm) variation au cours du temps de l'angle d'incidence du plan moyen du front d'onde qui provoque un déplacement du centre de l'image sur les axes X et Y elle est aussi connu sous le nom de « Tip-Tilt ».



Troisième composante : **l'étalement** pour de grandes ouvertures (D>250mm) ; il produit des images d'étoiles bien plus étendues, de l'ordre de la seconde d'arc. Deux fronts d'onde qui devraient être séparés par une longueur d'onde finissent par se rejoindre le long d'un contour fermé entraînant une perte de cohérence spatiale. La zone délimitée par ce contour est appelé zone de cohérence et sa dimension est donnée par RO le diamètre de Fried.



L'image instantanée étalée est formée d'une multitude de sous figures de diffraction, portant le nom de tavelures dont les dimensions sont celles de la tache d'Airy du télescope à pleine ouverture. Chaque sous-pupille a la dimension RO.

Ex : $R_0 = 40 \text{ mm}$ $D=240 \text{ mm}$

$D/R_0 = 6$

36 sous pupilles de R_0

La résolution sera limitée à $1.22 \lambda / r_0 = 3.5''$

Alors que $1.22 \lambda / D = 0.57''$

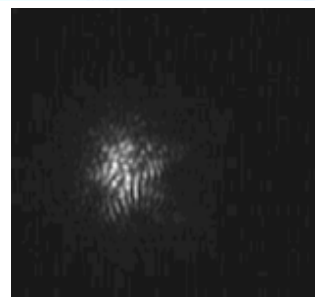
Dégradation de la résolution d'un facteur 6

Credit C.Cavadore 2006

Front d'onde

R_0 diamètre de Fried $\lambda / 2\pi \text{ rms} = 88 \text{ nm}$

$D \gg R_0$



U	V	W	X	Y	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM			
1	Taille Pixels μ	F/D min	Barlow Min	Barlow Max	1	2	3	4	5	6	Auteur: Jean-Louis Vilichie	Sub: Albreo78								
2	1	0.9	0.1	0.1	Focale (mm)	Diamètre (mm)	F/D	Pixel (μ)	λ (nm)	Barlow (x) / Réducteur (x)	Pouvoir Séparateur	Ech. Instrument (*) sans Barlow	Ech. Instrument (*) avec Barlow	F/D min instru.	F/D max	Barlow min	Barlow max	Focale min	Focale max	
3	11	10	0.1	0.2	2000	300	10.0	2.90	478	1.5	0.400	0.299	0.199	9.9	14.9	1.5	2.2	2976	4464	
4	12	11	0.1	0.2	Sony IMX290		Pixel optimal (μ)			Focale Barlow	Turbulence (")	Ech. Effectif (")	Echantillonnage	F/D min effectif	F/D max	Barlow min	Barlow max	Focale min	Focale max	
5	13	12	0.1	0.2			11.0			3000	1.5	0.750	Sur-échantillonnage	2.7	4.0	0.4	0.6	797	1195	
6	14	13	0.1	0.2	Planétaire : OJII		Quand la Turbulence >			D/R0	Diamètre de Fried R0	Probabilité P (%)	Probabilité 1 bonne image sur							
7	15	14	0.1	0.2			Pouvoir Séparateur			3.8	80	62.65%	2							
8	16	15	0.1	0.2	Ciel Profond : NON		Etendue	Exposition totale (min)	Etendue x Exposition	40	228	Nombre d'Expositions	Exposition nominale (s)							
9	17	16	0.2	0.3	binning		Pouvoir Séparateur			10.0	20000	1	3600							
10	18	16	0.2	0.2	1x1		Pixel optimal	Exposition optimale (mn)	cible Etendue x Exp.	10037.6	20000	1	3600							
11	19	17	0.2	0.3			Pix/F_D / Pix/F_D Opt	F/D optimal	Réducteur (x)	0.077	1.000	7.7%	2.90	0.43						
12	2	18	0.2	0.3			Exp/ExpOpt			0.43										
13	2.1	19	0.2	0.3																
14	2.2	20	0.2	0.3																
15	2.3	21	0.2	0.3																
16	2.4	2.2	0.2	0.3																
17	2.5	2.3	0.2	0.3																
18	2.6	2.4	0.2	0.4																
19	2.7	2.5	0.2	0.4																
20	2.8	2.6	0.3	0.4																
21	2.9	2.7	0.3	0.4																
22	3	2.7	0.3	0.4																
23	3.1	2.8	0.3	0.4																

Considérons maintenant que la turbulence est majoritairement attribuée à l'étalement ce qui nous permet d'écrire $PS = \text{Turbulence} = 0,251 \times \lambda \text{ (nm)} / R_0 \text{ (mm)}$.

Nous pouvons obtenir ainsi des données intéressantes caractérisant l'impact de la turbulence sur l'image produite.

Le diamètre de Fried R_0 est une bonne indication sur le diamètre équivalent d'un petit instrument produisant une même qualité d'image voir meilleure.

Le rapport D/R_0 caractérise la dégradation de la résolution donc l'étalement. L'étalement

devient plus important pour les valeurs de $D/R_0 > 3,5$.

Le nombre de tavelures dans une image est égal à $(D/R_0)^2$

Nous pouvons calculer la probabilité P d'obtenir de bonnes images $P = 5,6 \text{Exp}(-0,1557 (D/R_0)^2)$ (2)

On constate en fonction des différents diamètres des instruments que la probabilité P d'obtenir de bonnes images décroît très rapidement pour une même valeur de la turbulence.

Tableau pour une même turbulence de 1,5 arc sec:

Diamètre mm	PS Inst. arc sec	R0 mm	D/R0	P %	1/P
200	0,6	80	2,5	100	1
300	0,4	80	3,8	62,65	2
400	0,3	80	5	11,40	9
500	0,24	80	6,3	1,28	78
600	0,2	80	7,5	0,09	1140

Cette valeur de 1,5 arc sec est couramment rencontrée dans notre région. Ces instruments de grand diamètre produiront dans ces conditions de turbulence des images d'une qualité équivalente à celle d'une lunette de 80mm. Jusqu'à 300mm les valeurs sont acceptables au-delà il faut envisager une optique adaptative. Le développement d'une OA à faible coût est en cours au Pic du Midi.

<http://www.astrosurf.com/topic/115394-première-lumière-de-loptique-adaptative-low-cost-au-pic-du-midi/>

A la turbulence s'ajoute le phénomène de la dispersion chromatique induite par l'atmosphère qui par effet de prisme étale les couleurs au point focal, un correcteur de dispersion atmosphérique ADC est alors nécessaire pour refocaliser les différentes longueurs d'ondes.

Il est possible de figer la composante agita-

avec des pauses de quelques dizaines de millisecondes, puis, se référant à la probabilité de Fried, elles sont triées pour ne retenir que les bonnes images. Elles sont ensuite intégrées dans des logiciels comme AutoStakkert ou RegiStax : c'est la technique du Lucky Imaging.

<http://www.damianpeach.com/picdumidi2017.htm>

« Cette photo de Saturne est une des plus fines jamais prise depuis la Terre. »

<http://www.astrosurf.com/topic/113361-mission-planétaire-pic-du-midi/>

Examinons les paramètres instrumentaux qui ont été utilisés au Pic du Midi en juin 2017 par Damian Peach & col., vérifions que l'échantillonnage est bien optimisé.

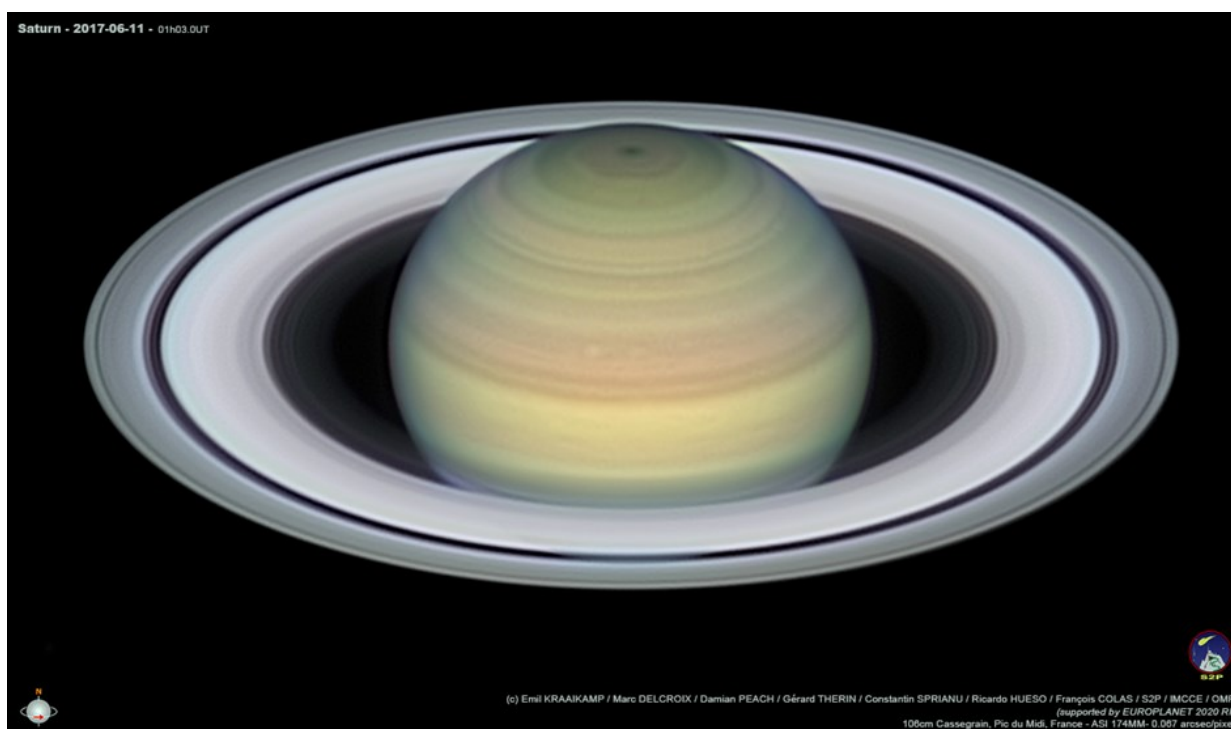
F = 18000 mm D = 1060 mm

Capteur IMX174 Ech 0.067 arc sec /pixel

Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
1	2		3	4	5	6		Auteur: Jean-Louis Virlichie
Focale (mm)	Diamètre (mm)	F/D	Pixel (μ)	λ (nm)	Barlow (x) / Réducteur (x)	Pouvoir Séparateur	Ech. instrument (") sans Barlow	Ech. instrument (") avec Barlow
18000	1060	17.0	5.86	478	1	0.113	0.067	0.067
Sony IMX174			Pixel optimal (μ)		Focale Barlow	Turbulence (")	Ech. Effectif (")	Echantillonnage
			5.3		18000	0.12	0.067	Echantillonnage correct
Planétaire : OUI			Quand la Turbulence >		D/R0	Diamètre de Fried R0	Probabilité P (%)	Probabilité 1 bonne image sur
			Pouvoir Séparateur		1.1	1000	100.00%	1

tion (Tip-Tilt) de la turbulence par de très courtes pauses. Des caméras ultra rapides prennent un très grand nombre d'images

Transposition des conditions d'observation de Saturne au Pic du Midi



CROA du 19 mai à Buthiers



Lionel

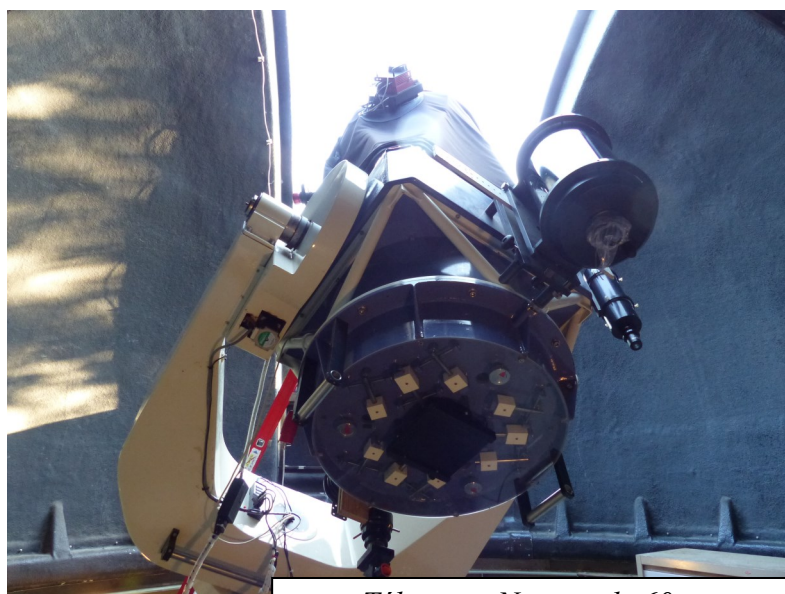
Groupe : Philippe, Gilles, Lionel (Philippe habilité à manipuler le télescope de 60cm).

Date : samedi 19 mai

Objectif principal : Jupiter

L'idée est de réaliser un film de la rotation de Jupiter en réalisant une petite animation à partir d'images individuelles. Pour avoir suffisamment de détails sur la planète, nous avons prévu une barlow pour augmenter la focale du télescope, un correcteur de chromatisme, et une roue à filtres. Le correcteur de chromatisme est indispensable lorsque les planètes sont basses sur l'horizon, comme c'est le cas lorsqu'elles sont visibles plutôt en été. L'atmosphère agit comme un prisme et disperse différemment les couleurs. Il

apparaît une belle irisation sur les bords des planètes, mais tous les détails sont en fait

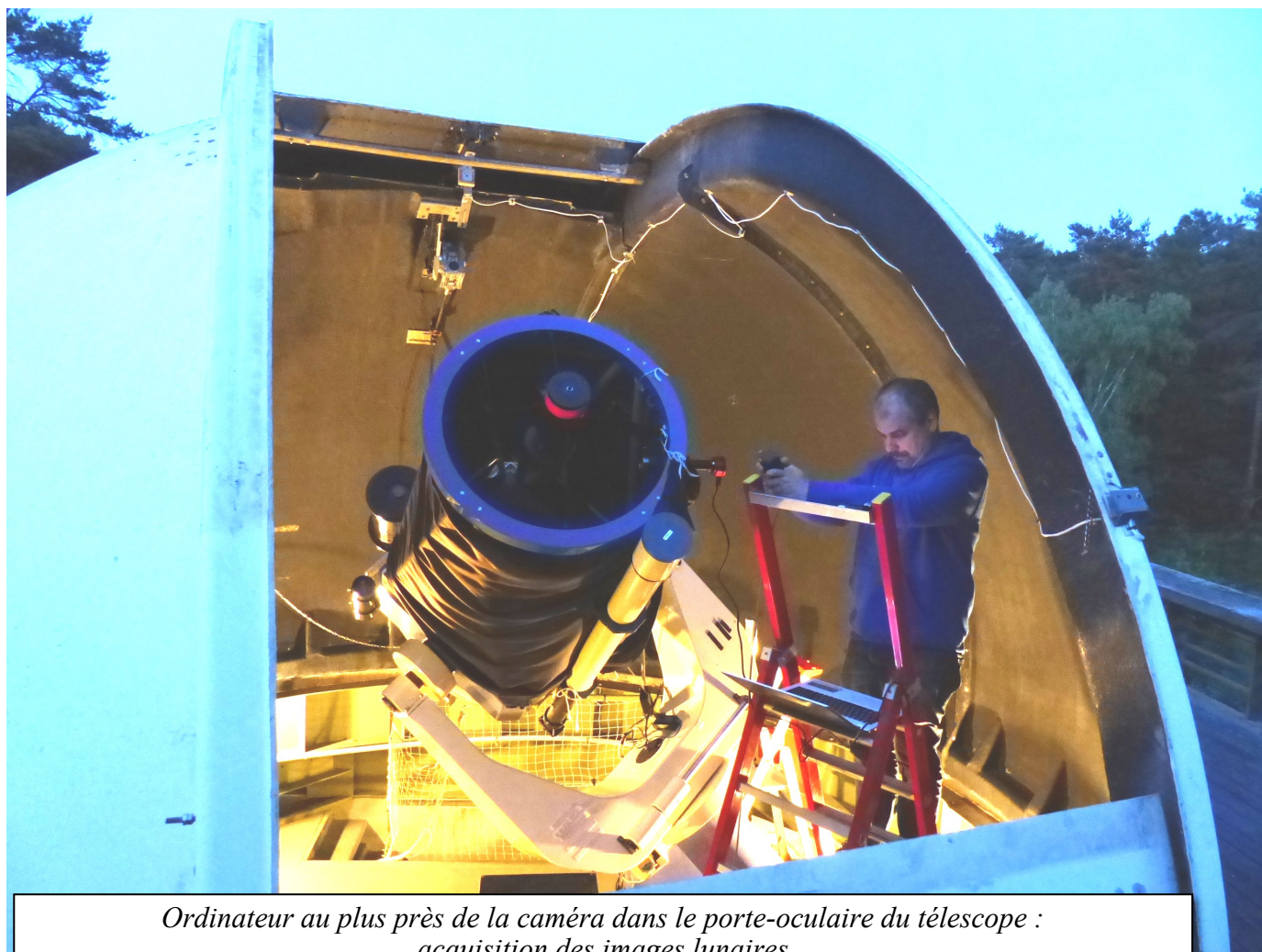


Télescope Newton de 60 cm

dispersés sous la forme de petits arcs-en-ciel. Le correcteur de chromatisme compense la dispersion atmosphérique. Le montage ainsi constitué déporte le capteur de la caméra assez loin du porte-oculaire ; il faut nous assurer que la mise au point est possible... Nous profitons de la présence d'un croissant de Lune pour faire les réglages. Notre montage s'avère être trop long : la mise au point est impossible et il va falloir se passer de la roue à filtres ; on vissera directement le filtre IR dans la caméra et le correcteur de chromatisme est inutile également puisque nous ne sélectionnons qu'une fenêtre autour de l'IR à 740 nm. Le montage ainsi raccourci nous permet enfin de faire la mise au point. En observant la Lune, nous constatons que la turbulence ne nous permettra pas de faire des images à d'autres longueurs d'ondes que l'IR, là où la turbulence est la plus faible. Nous constatons

aussi que le télescope n'est pas entraîné : il faut compenser la rotation de la Terre à la main, avec la raquette. Impossible de faire le moindre film dans ces conditions. Heureusement pour nous, un habitué des lieux qui habite tout près, a l'habitude de passer voir les équipes qui utilisent le télescope pour voir si tout va bien ; il comprend immédiatement que le télescope n'a pas été « rangé » suivant la procédure adéquate par l'équipe précédente. Une petite case à décocher et le télescope suit la Lune. Nous réalisons un film de 2 mn sur le cratère Pétavius, reconnaissable par sa faille caractéristique qui part du pic central pour rejoindre les remparts du bord du cratère.

Un peu plus tard, Jupiter est assez haute dans le ciel, Philippe commence une série de films de 30 mn. Plus de 140 000 images dans chaque film. Plusieurs traitements sont possibles par la suite : découper chacun des



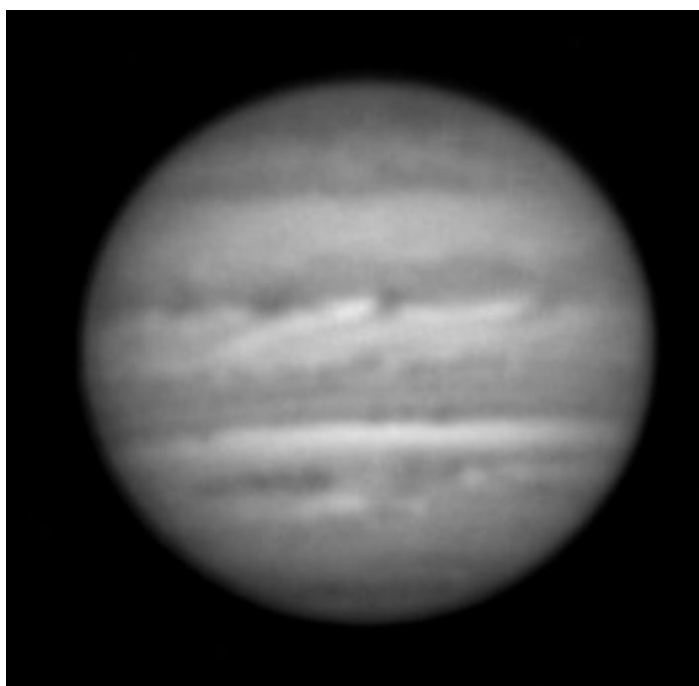
Ordinateur au plus près de la caméra dans le porte-oculaire du télescope : acquisition des images lunaires

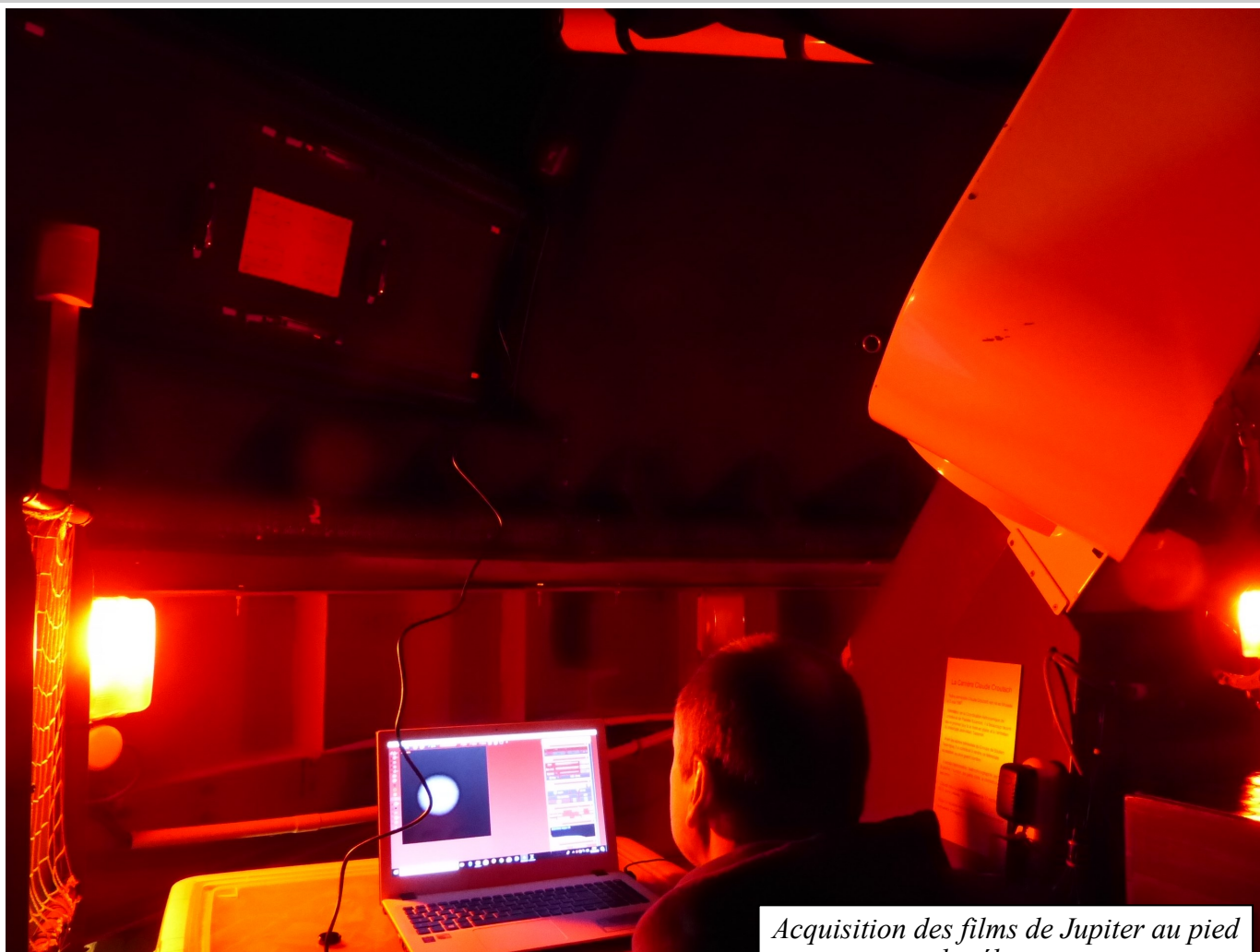


Gilles aux commandes des lunettes du Chili

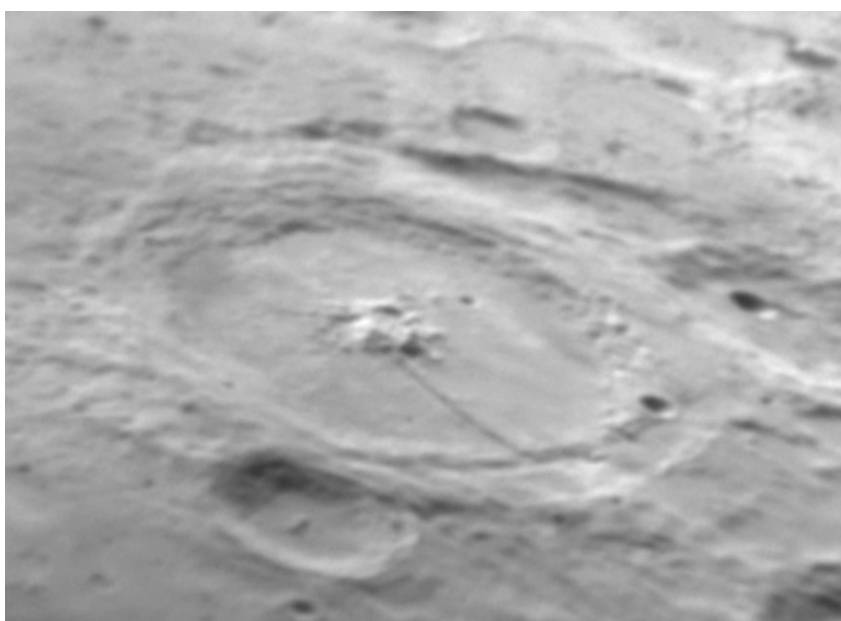
films de 30 mn, en films de 2 mn pour faire une image et ensuite réaliser un time lapse avec toutes ces images, espacées de 2 mn pour voir la rotation de la planète. On peut aussi ne réaliser qu'une seule image à partir de ces 140 000 images brutes, mais dans ce cas il faut penser à recalibrer les détails les uns par rapport aux autres, entre la première image du film et la dernière, la planète a tourné de 18° sur elle-même, on va flouter les détails si on ne tient pas compte de la rotation de la planète. Dans tous les cas, les traitements vont être assez longs à réaliser... Gilles en a profité pour faire des images avec notre installation au Chili, c'était sa nuit avec les lunettes de l'Observatoire Sadr. L'installation est en phase de test vers toujours plus d'automatisation...

Prochaine session prévue à Buthiers : samedi 2 juin, si le temps le permet.





Acquisition des films de Jupiter au pied du télescope



Pétavius (177 km de diamètre) et sa célèbre faille.

du côté de chez Sadr



L'observatoire Sadr : vers toujours plus d'automatisation...

Notre observatoire poursuit son évolution. A cause du décalage horaire entre la France et le Chili, compris entre 4 et 6h suivant les périodes de l'année, le début de la nuit, et donc des acquisitions, s'effectue entre minuit et 2h du matin (heure française). C'est donc au beau milieu de la nuit qu'il faut se connecter à l'observatoire, allumer les prises, les ordinateurs, mettre en route les instruments et leurs équipements et lancer la séquence des acquisitions. Avec l'habitude, l'opération peut ne prendre qu'un quart d'heure, finalement le plus long c'est le refroidissement de la caméra : les acquisitions des images ne commencent que lorsque la bonne température est atteinte. Grâce à la compétence de certains membres de l'équipe qui ont conçu des outils spécialement dédiés à la mise en

route des installations, l'enchaînement de ces opérations commence à pouvoir se faire de manière automatique. A terme, il nous suffira simplement d'indiquer l'heure à laquelle doit commencer la séquence d'acquisitions préalablement préparée pour qu'à 13000 km de chez nous, au beau milieu de la nuit, l'observatoire se mette seul en route...

Pendant la phase de test, nous surveillons, grâce aux caméras, le bon déroulement des opérations. Bien évidemment, lorsque la séquence des acquisitions se termine, toutes les opérations doivent se dérouler dans l'ordre inverse pour « ranger » les instruments et tout éteindre...



M17

Constellation : Sagittaire

Instrument : Newton 355

Date : avril 2018

Alors que les instruments étaient encore en phase de tests, voici une image de la nébuleuse M17 réalisée avec très peu de poses.

C'est une nébuleuse par émission. Elle est éclairée par un groupe d'une trentaine d'étoiles, masquées par la nébuleuse. Des étoiles jeunes du type B qui irradient le gaz alentour. L'hydrogène est ionisé, il prend une magnifique teinte rouge. Des images réalisées en infra-rouge révèlent une quantité importante de poussières propices à la formation des étoiles.





M83

Fabien, Frédéric

Constellation : Hydre Femelle

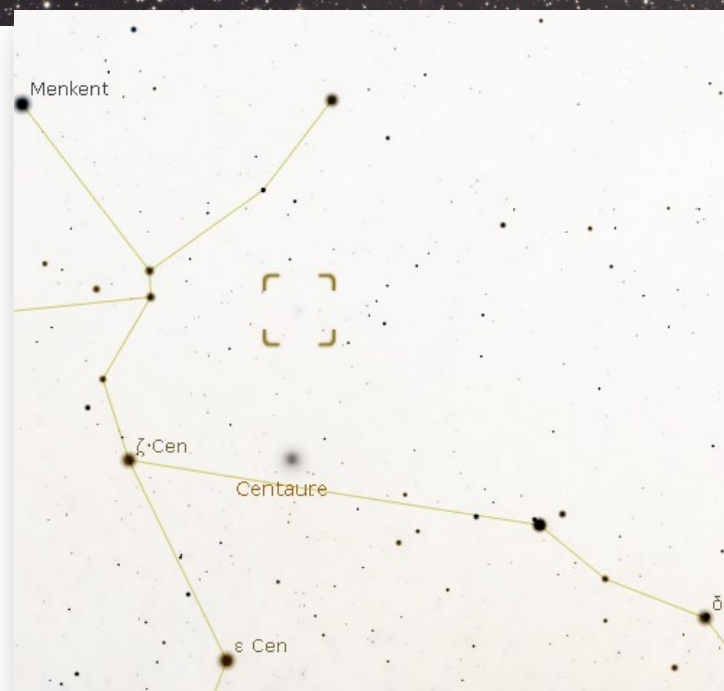
Distance : 15 millions d'al

Instrument : T355

Date : mars 2018

M83 a été découverte le 23 février 1752 par l'Abbé Nicolas-Louis de la Caille depuis le Cap de Bonne-Espérance. Elle possède des bras spiraux bien marqués. On y voit des régions rouges, de l'hydrogène ionisé à l'intérieur desquelles la formation stellaire est tout juste en train de s'amorcer mais aussi des régions plus bleues avec des étoiles jeunes et des régions plus sombres constituées de poussières.





NGC 5128

David, Sébastien, Lionel

Constellation : la Centaure

Distance : 13,7 millions d'al

Instrument : T355

Date : mars 2018

Image : Lum (1h 25),
RVB (14 min chaque)

Cette galaxie est connue pour être la radio galaxie la plus proche de la Terre. Elle abrite en son centre un trou noir supermassif qui émet des jets relativistes, responsable des émissions de rayonnements X et radio. Cette galaxie est facilement visible dans un instrument, on distingue parfaitement la bande de poussières sombre qui la caractérise.



Comète C/2016 M1 Panstarrs Pierre

Distance au Soleil : 390 millions km

Magnitude : 14,6

Instrument : T355

Date : avril 2018

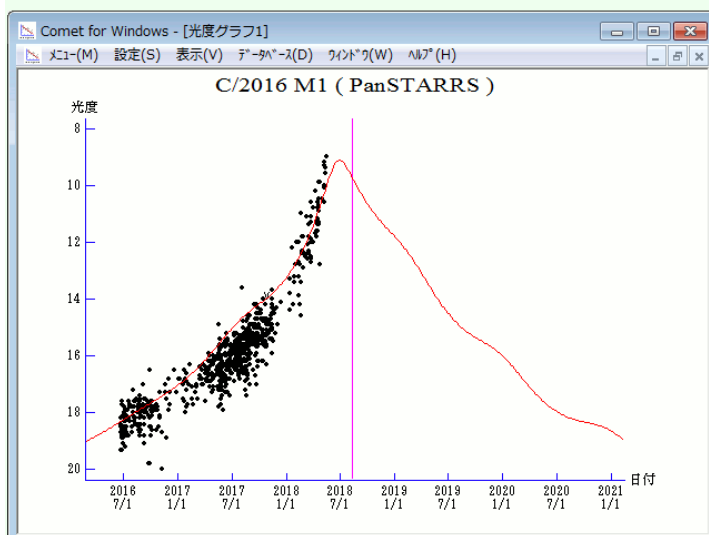
Image : 40 x 2 min

Les 40 images ont été alignées sur le noyau de la comète. Son déplacement, d'une image à la suivante fait que ce sont les étoiles qui présentent un filé.

Découverte le 22 juin 2016, elle sera au plus près de la Terre le 25 juin 2018. Si son noyau ne connaît pas de sursaut d'activité imprévue, elle devrait briller autour de la magnitude 9.

★ Magnitudes Graph

$$m1 = 5.0 + 5 \log d + 10.0 \log r$$





Exoplanète Wasp-39b Gilles

Constellation : la Vierge

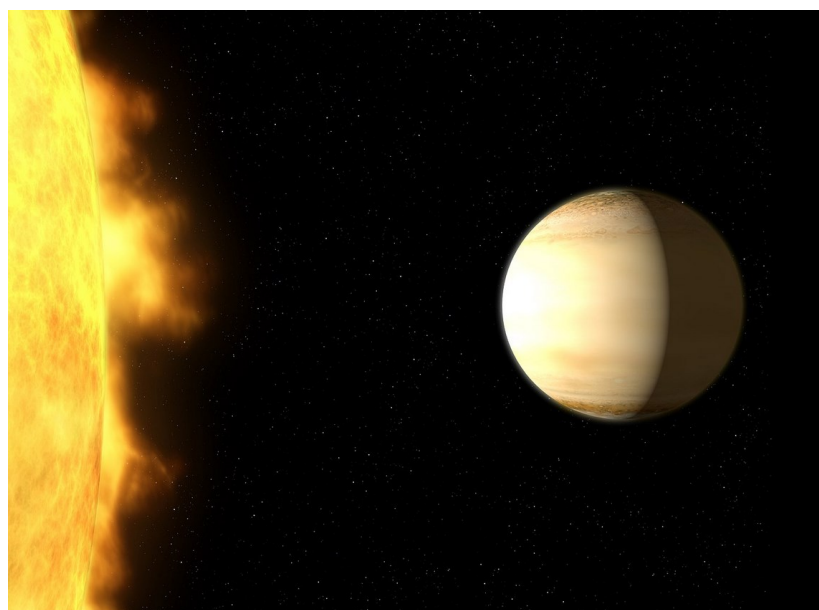
$M = 0,28M_{\text{jup}}$ $R = 1,27 R_{\text{jup}}$

$T = 4\text{j } 1\text{h } 19\text{m } 34\text{s}$

Rayon orbital = 0,0486 UA

Soit 7,3 millions km

Une « Saturne chaude » dont l'atmosphère contiendrait de grandes quantités de vapeur d'eau.



Ma première exoplanète (réussie) vue du Chili. Je renseignerai la base ETD sans doute demain. Une remarque intéressante : Si la profondeur et la durée du transit sont à peu près conformes aux valeurs annoncées, le début du transit semble décalé d'environ 30mn par rapport à l'heure annoncée mais les relevés faits par les astram précédents semblent indiquer qu'il y a une dérive au fil du temps dans

l'heure de début du transit. Tenant compte de cette remarque, l'heure de début trouvée n'est peut-être pas si étonnante. On va pouvoir s'attaquer à des exo pas ou très peu validées dans l'hémisphère sud et c'est pas ça qui manque. **Gilles**



Galerie

M81, M82

Nicolas



Nicolas
www.astropixels.fr

M51

Julien

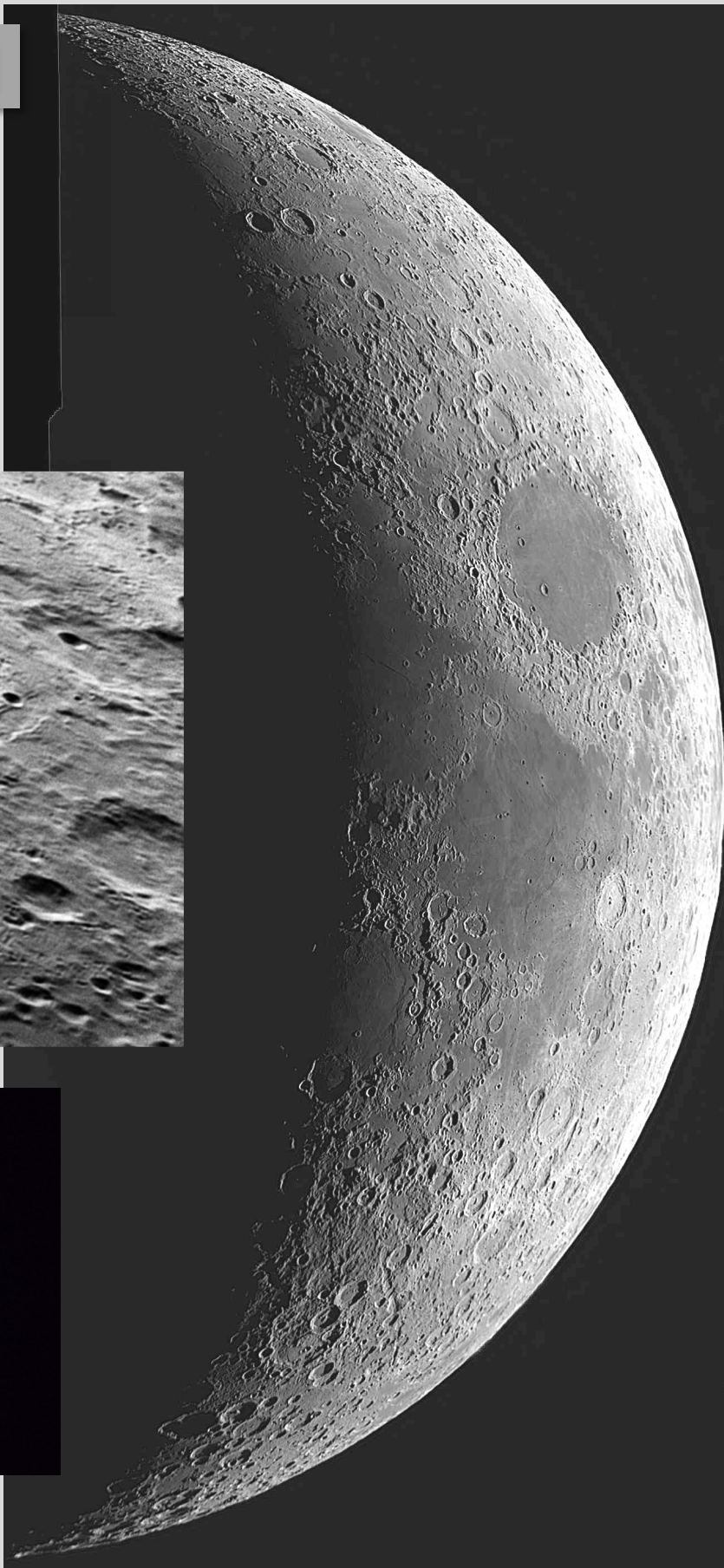


Planètes

Philippe



Lune et Jupiter Willy



Albireo78
saison 2017-2018



2 réunions par mois

Des présentations

- Des actus astro
- Des exposés

Des ateliers astro

- Niveau 1 pour utiliser et maîtriser son instrument
- Niveau 2 pour se lancer en astrophotographie
- Niveau 3 pour faire de la « science »

Débutants ou plus confirmés pour 35€ / an



www.albreo78.com

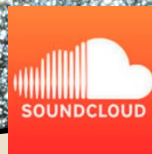


Observations

Gratuites et pour tous à Poigny-la-Forêt

Newsletter

123 abonnés



« En route vers les étoiles »

Notre émission radio
12 saisons, 128 émissions,
209 chroniques scientifiques

Soundcloud

128 abonnés



SADR

Notre observatoire en remote
www.sadr.fr

DSO

Deep Sky Objects
Browser



L'Albireoscope

31 abonnés