Les autres observations de Galilée

- Vénus
- Saturne
- Les taches solaires

Observations de Vénus

1 – Les textes de Galilée

Galilée parle de ses observations de Vénus dans divers documents.

D'abord, comme pour Saturne, Galilée envoie un anagramme relatant sa découverte dans une lettre à Giuliano de Médicis du 11 décembre 1610 (Opere, X, 483). Il lui délivre la clé de l'anagramme le 1er janvier 1611 après qu'il ait publié ses découvertes dans des lettres.

Sa première description se trouve dans une lettre à B. Castelli et à Clavius du 30 décembre 1610 :

« Quand Vénus a commencé à être visible dans le ciel du soir, je commençais à l'observer et je vis que sa forme était circulaire, quoique extrêmement petite. Plus tard, je la vis croître en taille de façon significative, tandis qu'elle gardait toujours sa forme ronde. En approchant de son élongation maximum, elle commença à perdre sa forme circulaire de l'autre côté du Soleil et en peu de jours elle prit une forme semi-circulaire. Cette forme se maintint pendant quelques jours. Plus précisément elle conserva cette forme jusqu'à ce qu'elle commence à se rapprocher du Soleil, abandonnant lentement la tangente[1]*. Elle commença alors à prendre une forme nettement cornue. Ainsi elle continua à décroître pendant toute la période pendant laquelle elle resta visible dans le ciel du soir. Opere* ; X, 500.

[1] Son élongation maximum.

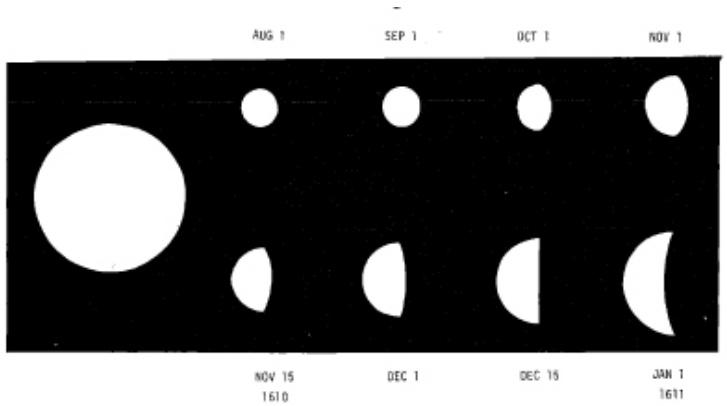
Un second texte parle de Vénus, dans le Dialogue p. 506 :

« Passons à Vénus : au moment de sa conjonction du soir, quand elle est au-dessous du Soleil, elle devrait apparaître presque 40 fois plus grande qu'au moment de son autre conjonction, celle du matin ; et pourtant elle ne paraît même pas doublée : c'est que, en plus de l'effet du rayonnement, elle a la forme d'une faucille, et non seulement ses cornes sont fines, mais elles reçoivent la lumière du Soleil obliquement, et donc assez pâle ; parce que cette lumière est maigre et faible, le rayonnement est moins large et moins vif que lorsqu'elle nous montre son hémisphère tout éclairé. Mais le télescope montre très clairement ses cornes aussi délimitées et distinctes que celles de la Lune, et on voit qu'elles appartiennent à un très grand cercle, presque 40 fois plus grand que le même disque quand il est au-dessus du Soleil en sa dernière apparition du matin. »

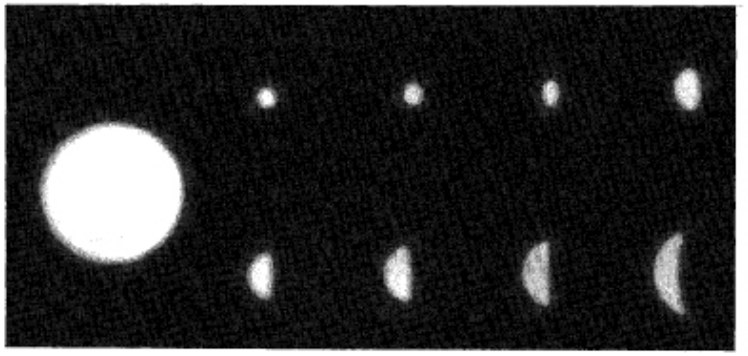
2 – Commentaires

En recalculant le cycle de Vénus autour de décembre 1610, Palmieri[1] en conclut que Galilée a commencé ses observations au printemps 1610. Galilée n'identifie pas la forme gibbeuse. Il est probable que sa lunette ne lui permettait pas de distinguer la forme gibbeuse de la forme ronde. Il commence à distinguer le changement de forme lorsqu'elle devient semi-circulaire puis identifie le passage à la forme en croissant, en même temps que Vénus continue de grossir dans le ciel du soir, alors qu'elle se rapproche du Soleil. Ceci peut s'expliquer dans la conception héliocentrique mais aussi dans une conception géocentrique associant des épicycles.

[1] Paolo Palmieri. Galileo and the discovery of the phases of Venus. Journal for the History of Astronomy. 2001; 32: 109-129. Voir aussi Owen Gingerich. Phases of Venus in 1610. Journal for the History of Astronomy. 1984; 15: 209-210.



Vénus au moment où Galilée a réalisé ses observations (Gingerich)



Observation de Vénus avec une lunette légèrement défocalisée (Gingerich) : la phase gibbeuse est difficile à affirmer.

Découverte et observations de Saturne par Galilée.

1 – Les textes de Galilée

Dans une première lettre du 30 juillet 1610 à Belesario Vinta[1], secrétaire du Grand Duc de Toscane, Galilée annonce :

« Je recommençais le 25 de ce mois à observer de nouveau Jupiter, à l'est, le matin, entouré de ses planètes médicéennes, je découvris alors une autre merveille très étrange, que je souhaiterais faire connaître à votre Altesse Sérénissime, qu'il faut cependant garder secrète, jusqu'à ce que mon travail soit publié. Mais je voulais en informer votre Altesse Sérénissime pour que, si d'autres la découvrent, ils sachent que personne ne l'avait observée avant moi. Je suis tout à fait certain que personne ne la verra avant que je ne la signale. C'est que l'étoile de Saturne n'est pas une étoile unique, mais qu'elle est composée de trois, qui se touchent presque, ne changent ni ne se déplacent les unes par rapport aux autres et sont alignées le long du zodiaque, celle du milieu étant environ trois fois plus grosse que les deux autres ; elles ont cette forme : »

[1] Tome 6, pp 114-115.

L'anagramme :

Il envoya l'anagramme[1] suivant à ses collègues, en particulier à Képler qui lorsqu'il le reçut pensa que Galilée parlait de Mars :

Smaismrmilmepoetaleumibunenugttauiras

Le 9 novembre 1610 il adresse à Marco Velseri la traduction suivante :

Altissimum planetam tergeminum observavi,

soit *« j'ai observé la plus haute planète* (la plus éloignée, donc Saturne) *comme trigéminée. »*

Dans cette même lettre il précise :

« Si on les observe avec un grossissement pas très fort, elles n'apparaîtront pas comme trois étoiles distinctes, mais il apparaîtra que Saturne a la forme d'une olive, comme ceci :

Mais avec un grossissement qui augmente de mille fois sa surface, trois globes seront vus distinctement, et qu'ils se touchent presque, sans séparation entre eux plus grande qu'une fine ligne noire.

Il correspond aussi avec Christophe Clavius. Ce dernier lui écrit le 17 décembre 1610[2] qu'il a vu Saturne formé d'un seul corps avec deux anses latérales. Galilée lui répond le 30 décembre 1610[3] qu'il a vu, lui, trois corps.

[1] Ibid, tome 6 p 127. Note de l'éditeur.

[2] Tome 8 pp 120-122.

[3] Tome 6 pp 131-136.

Troisième lettre : (mai 1612) écrite à Marco Velseri[1] en réponse à Scheiner

« … Moi qui l'ai observé plus de mille fois à différents moments, avec un excellent instrument, je peux vous assurer qu'on ne perçoit aucun changement, et le raisonnement, basé sur notre expérience de tous les autres mouvements des étoiles, peut nous rendre certains qu'il n'y en aura aucun ; parce que s'il existait un mouvement dans ces étoiles [les deux latérales] semblable à celui des astres médicéens ou des autres étoiles, elles se seraient déjà séparées de Saturne ou seraient rentrées en conjonction avec l'étoile principale de Saturne, même si leurs mouvements étaient mille fois moins rapides que les autres mouvements des autres étoiles errantes dans le ciel.

Autre lettre à Marco Velseri du 1er décembre 1612 :

« J'ai aussi observé le triple-corps de Saturne cette année, à peu près au solstice d'été ; et, ayant cessé de l'observer plus de deux mois, comme quelqu'un qui est persuadé de sa constance, je l'ai finalement observée ces quelques derniers jours. Je l'ai trouvée solitaire, sans ses étoiles voisines et somme toute, parfaitement ronde et clairement définie comme Jupiter. Alors que doit-on dire de cette étrange métamorphose ? Peut-être que les deux petites étoiles se sont consumées à la manière des taches solaires ? Peut-être qu'elles se sont évaporées et se sont envolées soudainement ? Peut-être Saturne a-t-il dévoré ses propres enfants ? Ou encore n'était-ce qu'une illusion ou un défaut que les verres ont produit pendant si longtemps pour beaucoup d'autres [observateurs que moi] ? Peut-être que le temps est venu de raviver les espoirs, obligés d'être tus chez ceux qui, guidés par de plus profondes méditations, ont réalisé que toutes ces nouvelles observations sont des illusions qui n'ont jamais existé.

[1] Lettere intorno alle macchie solari. Tome 3 p 396 et décembre 1612, p 506-507

… Les deux petites étoiles de Saturne, qui pour le moment sont cachées, se montreront cependant un peu, pendant deux mois, autour du solstice d'été de l'année prochaine, 1613, pour ensuite se dissimuler, restant cachées jusqu'aux environs du solstice d'hiver de 1614, temps au bout duquel il pourra survenir que de nouveau, pour quelques mois, elles se montreront de nouveau pour quelque temps, se cachant ensuite de nouveau jusqu'au prochain hiver, moment où, je pense, avec beaucoup de confiance, qu'elles réapparaîtront, sans se cacher jusqu'au prochain solstice d'hiver de 1615. Elles seront enclines quelque peu à vouloir se cacher ; cependant je ne peux croire qu'elles se cacheront complètement, mais au contraire, se manifestant un peu plus tard, nous les verrons distinctement et plus lumineuses et grandes que jamais. Et j'oserais même dire résolument que nous les verrons pendant plusieurs années sans interruption. Je n'ai maintenant aucun doute quant à leur réapparition. »

Lettre de Galilée transcrite par Giovanni Faber (vers 1616) et mal interprétée[1] :

« Je ne peux m'empêcher de relater à Votre Excellence un nouvel et étrange phénomène que j'ai observé plusieurs jours auparavant à propos de l'étoile Saturne, dont les compagnons ne sont plus deux petits globes parfaitement ronds, comme ils l'étaient auparavant, mais sont à présent de beaucoup plus gros corps, plus du tout ronds, comme on peut le voir sur la figure ci-jointe, *, c'est à dire deux demi ellipses (sic) avec deux petits triangles sombres au milieu des figures contiguës au globe central de Saturne qui lui, est vu comme toujours, parfaitement rond. »*

En réalité voici le dessin de Galilée :

[1] Cité par A. van Helden:'*Saturn and his anses*, Journal for the history of Astronomy 1974, 5, pp 105-121.

Lettre à Benedetto Castelli de 1640 :

« La première vision que j'eus de Saturne était celle de trois astres ronds disposés sur une ligne droite d'ouest en est, celui du milieu beaucoup plus grand que les latéraux. J'ai continué de les voir ainsi pendant plusieurs mois, mais lorsque je les regardai de nouveau je le vis solitaire. Étonné par cela, je me demandais comment un tel changement avait pu survenir, et avec mon propre raisonnement, je pris le courage de dire que dans cinq ou six mois, quand sera venu le temps du solstice d'été, les deux petites étoiles réapparaîtraient. Et c'est ce qu'il advint et elles restèrent ainsi un long moment. Après avoir interrompu mes observations en raison de leur proximité aux rayons du soleil, je retournais à leur observation et je le vis avec deux mitres à la place des étoiles rondes, ce qui lui donnait l'aspect d'une olive. Cependant le noyau situé au centre était vu très distinctement, entouré de deux taches noires positionnées au milieu de sa jonction avec les mitres, ou peut-on dire, de ses oreilles. Je l'observais ensuite ainsi pendant plusieurs années. Maintenant, comme vous l'écrivez, Rev. Père, les mitres se sont transformées en petits globes ronds, comme mes amis me l'ont relaté[1] ; et il se pourrait que pendant les trois dernières années pendant lesquelles je n'ai pas été capable de les observer, Saturne ait été de nouveau solitaire puis est retourné à son état initial, l'état dans lequel je l'ai vu la première fois. Des contacts dans le futur avec d'autres observateurs, enregistrant les périodes des changements, périodes qui seront alors connues lorsqu'il y aura des gens curieux de faire ce que j'ai fait si longtemps, et peut-être mieux que moi, permettront d'y voir plus clair. »

[1] Galilée est aveugle.

2 – Commentaires

Dans la première lettre à Belesario Vinta, secrétaire du grand Duc de Toscane, Galilée raconte qu'il observait alors à la lunette Jupiter et ses planètes. Il compare alors ses observations de Jupiter à celles de Saturne. Il relate ainsi cette « merveille étrange », les étoiles de Saturne sont en effet très différentes de Jupiter car les trois corps qui la composent ne bougent pas et sont très proches les uns des autres. Il note, comme pour les satellites de Jupiter, qu'ils se situent sur une ligne parallèle au zodiaque[1]. Sa description tout en étant précise ne relate que ce qu'il voit, sans interprétation et sans comparaison avec d'autres observations.

Cette première lettre reste confidentielle, mais il ne peut s'empêcher d'envoyer à ses collègues, un mystérieux anagramme que ceux-ci seraient bien en peine de déchiffrer et qui cependant atteste qu'il est le premier à ce jour à avoir *« observé la plus haute planète comme trigéminée »*.

Dans sa seconde lettre, Galilée apporte des précisions. Il observe que si le grossissement de la lunette n'est pas très fort, on observe une olive plutôt que trois corps. Ceci témoigne de sa grande rigueur de ses observations. Aucun détail n'est laissé de côté. On peut facilement reproduire aujourd'hui ce changement de forme en défocalisant légèrement sa lunette (figure ci-dessous). Ainsi on observera Saturne passer de sa forme bien connue à une disposition avec trois objets puis à une forme simplement oblongue.

[1] L'écliptique.

Images actuelles de Saturne avec une WebCam. En haut la vue de Saturne a été prise avec une bonne mise au point. En bas, en défocalisant la lunette, on obtient une image qui ressemble à ce que Galilée décrit.

Galilée a dévoilé sa découverte dans sa troisième lettre. Il utilise indifféremment les termes étoiles, astres et planètes pour ces différents objets. En fait Galilée distingue la Lune, le Soleil et la Terre, des autres objets. Les autres sont des astres dont certains sont fixes (les étoiles fixes) et d'autres sont des errants (les planètes). C'est ainsi que Vénus, Mars et d'autres planètes sont parfois appelées « étoiles ». Il en est de même pour les satellites galiléens (ou médicéens).

Mais il fait tout de même une importante distinction entre les corps de Saturne qui ne bougent pas et les astres médicéens qui se déplacent autour de Jupiter qu'il différencie encore des planètes qui tournent autour de Soleil. La confusion des termes n'est pas une confusion des concepts.

Galilée continue à observer Saturne jusqu'en mai 1612 et dans cette longue période il ne perçoit aucun changement dans la position des trois corps. Il est ainsi convaincu de la permanence

de ces positions. Il cesse ensuite d'observer pendant deux mois, pris par d'autres activités.

Sa quatrième lettre apporte avec elle une grande surprise. En effet Saturne forme maintenant un corps unique semblable à Jupiter. Que sont devenus les corps latéraux ?

Il propose plusieurs explications :

– Soit les corps latéraux de Saturne, semblables aux taches solaires, apparaissent et disparaissent.
– Soit ils se sont envolés ou évaporés.
– Soit Saturne aurait dévoré ses enfants ! Les « boules » externes seraient tombées sur Saturne.
– Il remet aussi en cause la qualité des lunettes utilisées par les observateurs de l'époque.

Mais il se ravise et prédit le retour des « deux petites étoiles de Saturne » et estime que celles-ci ne sont que cachées. Il détermine un calendrier très précis de leurs apparitions et disparitions en rapport avec la période de révolution de Saturne ?

Galilée qui a fait de nombreuses observations, confirmées par d'autres astronomes qui les ont réalisées avec des instruments différents, ne peut accepter ni une illusion d'optique ni une disparition définitive des trois corps. Mais comment en arrive-t-il à établir un calendrier aussi précis des apparitions et disparitions des corps latéraux ? Galilée ne décrit pas de modèle qui pourrait expliquer ces phénomènes.

Dans un article publié en 1974, A. Van Helden[1] propose deux modèles. L'un implique un mouvement des corps latéraux autour de Saturne, comme des satellites, l'autre une rotation de la triple formation toute entière autour d'un axe ; il prête ce concept aux observateurs du temps de Galilée, car traiter les corps latéraux de Saturne comme des satellites était naturel pour l'époque.

Une autre lettre intéressante est celle, déjà signalée, que

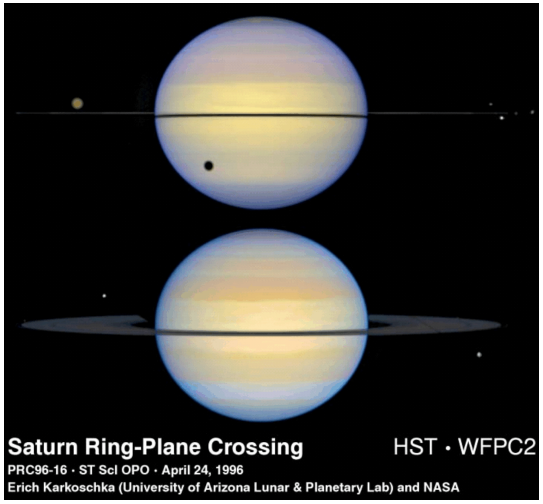
[1] van Helden, 1974 5 /id.

G. Faber a transcrite et mal interprétée. Elle date de l'été 1616. Cette retranscription indique que Galilée, qui n'a pas observé Saturne depuis longtemps, est de nouveau surpris par ses observations. En effet il observe une forme ovale accompagnée de deux triangles noirs. Galilée ne propose pas d'interprétation et ne décrit pas, contrairement à d'autres observateurs, cet aspect sous le nom d'anses. Le lecteur moderne pense tout de suite aux anneaux de la planète mais pour Galilée et les scientifiques de son temps, c'est inimaginable.

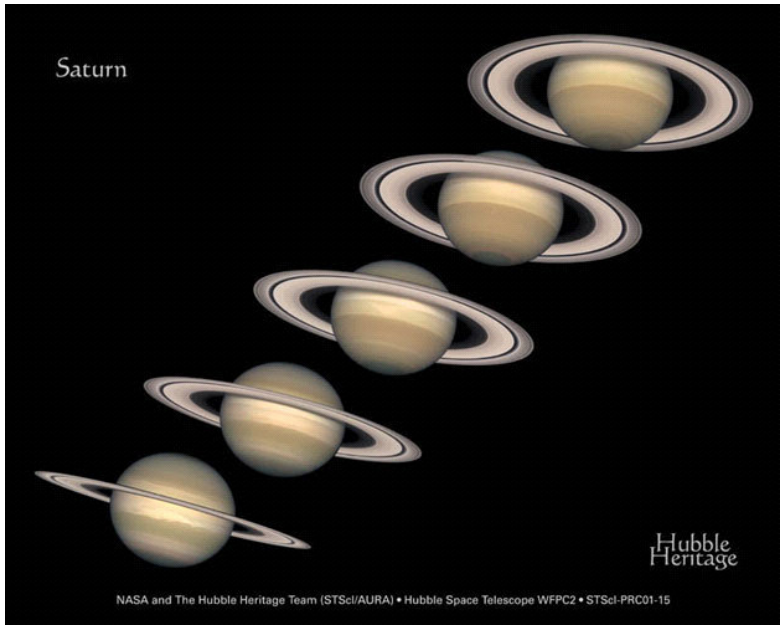
Enfin, en 1640, Galilée résume ses réflexions sur Saturne dans une lettre à son pupille Benedetto Castelli. Galilée rappelle qu'il a découvert Saturne trente ans auparavant et que depuis, les descriptions se sont multipliées sans grand changement ; il est conscient qu'il faudra faire encore beaucoup d'observations avant de résoudre l'énigme des trois corps.

La question sera tranchée en 1659 par Christian Huyghens qui identifie les anneaux de Saturne.

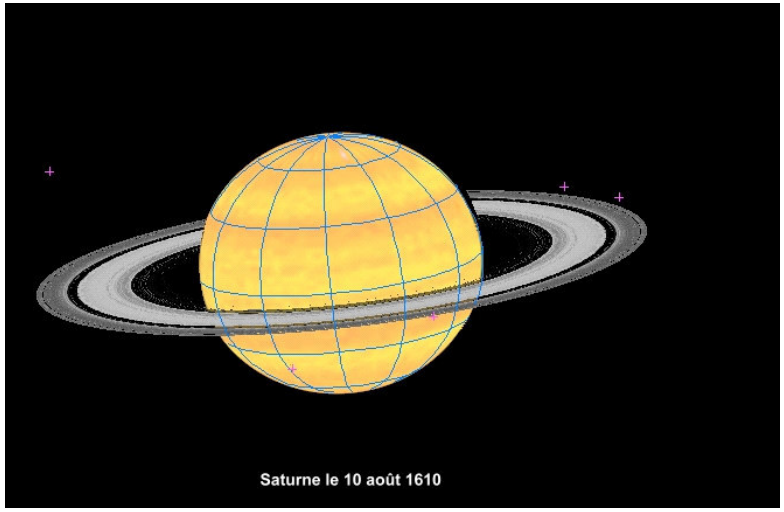
Les photos ci-dessous peuvent permettre d'expliquer l'évolution de l'aspect de Saturne au cours du temps.



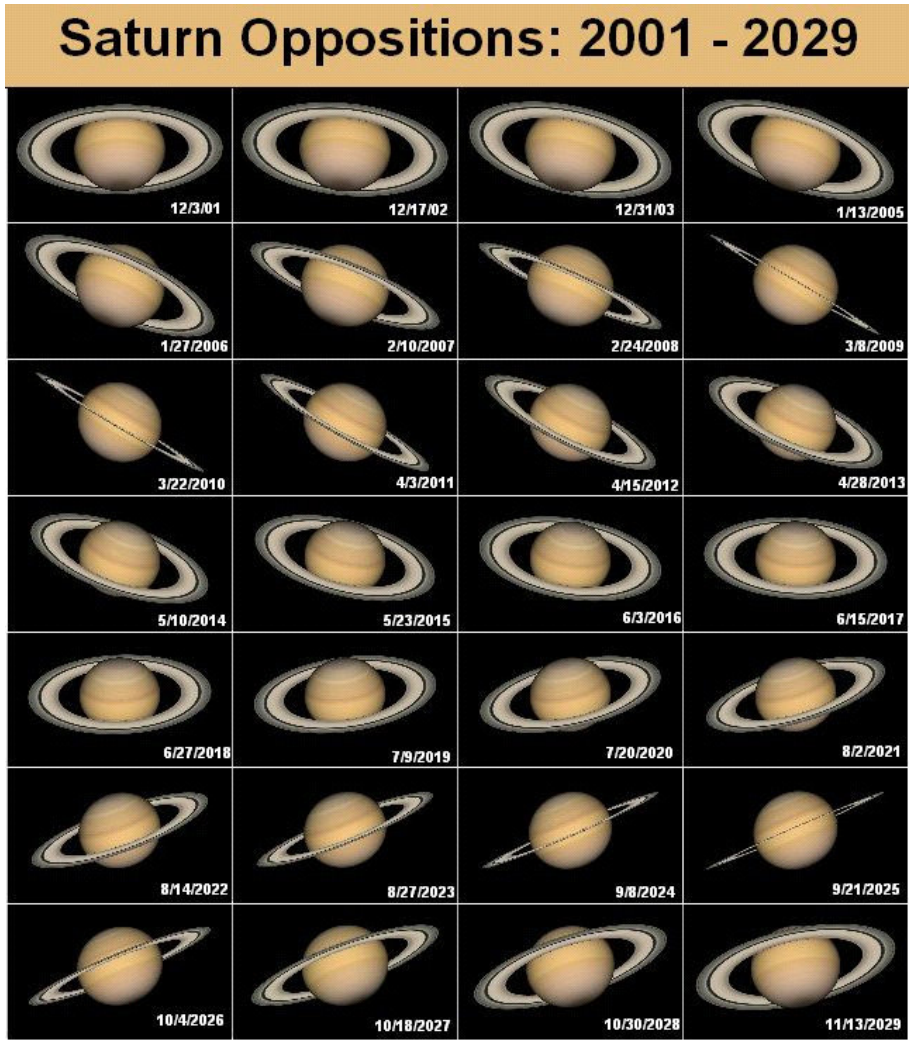
Les anneaux de Saturne ne sont pas visibles facilement lorsque le plan des anneaux se trouve dans l'axe de vision depuis la Terre.



Évolution de l'orientation des anneaux vus depuis la Terre à différentes périodes (montage photographique).



Saturne tel que Galilée aurait pu l'observer avec un meilleur instrument le 10 août 1610.



Cycle de l'évolution de la position des anneaux (NASA, Hubble Space Telescope). L'orientation du plan de rotation de Saturne par rapport à l'observateur se modifie au cours du temps. Ce tableau, issu d'une simulation, montre l'aspect de Saturne tel qu'il pourra être observé depuis la Terre entre 2009 et 2029.
NB : les dates sont au format américain mm/jj/aaaa.

Les taches solaires

1 – Découverte des taches solaires

Des taches apparaissent à la surface du Soleil de façon non prévisible. Certaines se déforment et disparaissent au bout de quelques heures, voire quelques jours, alors que d'autres ont une durée de vie beaucoup plus longue et peuvent parcourir tout le disque solaire avant de disparaître.

Elles furent observées en 1610 et 1611 par plusieurs observateurs munis de lunettes astronomiques (Jean Fabricius, Harriot, Scheiner).

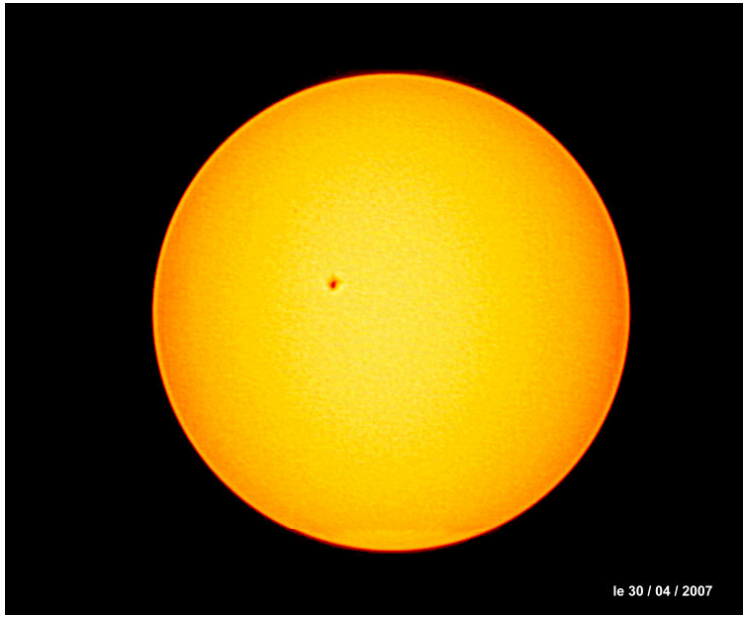


Photo d'une tache solaire prise à la webcam
par un membre de la SAL le 30 avril 2007.

Galilée les identifia sans doute fin 1610 et les montra publiquement en avril 1611. Elles lui permirent de démontrer que le Soleil n'était pas un astre parfait et immuable.

Lettre du 4 août 1612

Le 4 août 1612 Galilée écrit à Marco Velseri et lui confirme la réalité des taches solaires.

« … Et d'abord, qu'elles soient des choses réelles et non de simples apparences ou illusions de l'œil ou des lentilles, il ne fait aucun doute… Et je les ai observées depuis 18 mois et les ai montrées à plusieurs de mes proches. Et l'année dernière, justement à cette époque de l'année, je les ai fait observer, à Rome à beaucoup de prélats et autres seigneurs… »

Lettre du 14 août 1613

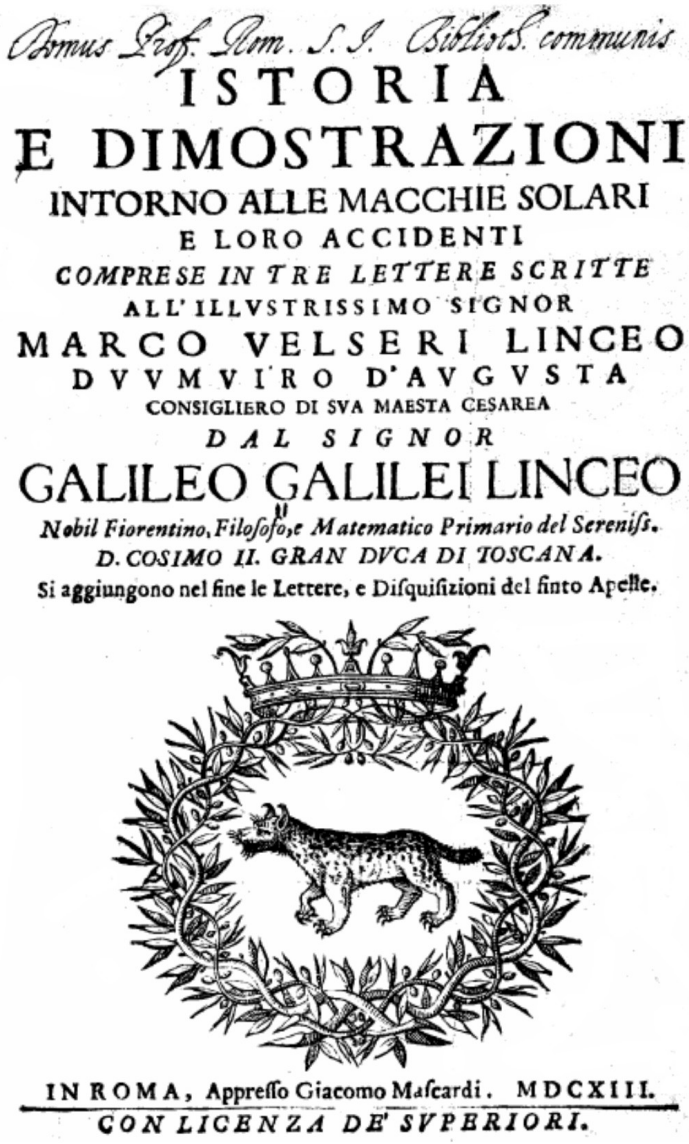
En 1613 Galilée écrit trois lettres à Marco Velseri dans lesquelles il expose sa théorie sur les taches solaires.

Voici la traduction des principaux paragraphes de la lettre du 14 août 1613.

« … Je réponds à votre très illustre Seigneurie et lui confirme de la façon la plus résolue que les taches solaires que l'on aperçoit au moyen du télescope sur le disque solaire ne sont pas très éloignées de sa surface mais au contraire lui sont contiguës ou séparées par une si petite distance qu'elle est imperceptible.

De plus ce ne sont pas des étoiles ou autres corps solides de durée permanente. Il s'en produit continuellement de nouvelles et d'autres se dissolvent. Certaines ont une courte durée, de deux ou trois jours et d'autres une durée plus longue de 10, 15 et à mon avis, même 30, 40 et plus.

Ensuite je dirai : ce sont des figures très irrégulières qui subissent des changements continuels. Certaines varient beaucoup et rapidement et d'autres varient peu et lentement.


Romus Prof. Rom. S.I. Bibliot. communis.

ISTORIA
E DIMOSTRAZIONI
INTORNO ALLE MACCHIE SOLARI
E LORO ACCIDENTI
COMPRESE IN TRE LETTERE SCRITTE
ALL'ILLVSTRISSIMO SIGNOR
MARCO VELSERI LINCEO
DVVMVIRO D'AVGVSTA
CONSIGLIERO DI SVA MAESTA CESAREA
DAL SIGNOR
GALILEO GALILEI LINCEO
Nobil Fiorentino, Filosofo, e Matematico Primario del Serenis.
D. COSIMO II. GRAN DVCA DI TOSCANA.
Si aggiungono nel fine le Lettere, e Disquisizioni del finto Apelle.

IN ROMA, Appresso Giacomo Mascardi. MDCXIII.
CON LICENZA DE' SVPERIORI.

Les observations de Galilée sur les taches solaires ont été reproduite dans un petit fascicule.

Lorsqu'elles se condensent, leur opacité augmente et lorsqu'elles se diluent, leur opacité diminue.

En plus de leur changement de forme, on en voit certaines se diviser en trois ou quatre et souvent, beaucoup s'unissent en une seule et cela non seulement au voisinage du bord du disque solaire mais aussi dans la partie médiane.

Outre ces mouvements désordonnés, elles ont un grand mouvement commun de déplacement uniforme le long des parallèles du corps solaire.

Cela nous fait dire premièrement que le corps du Soleil est absolument sphérique et deuxièmement qu'il tourne sur lui-même en entraînant les taches et en faisant une rotation en un mois lunaire environ, dans le même sens que les planètes soit de l'ouest vers l'est.

De plus, il y a quelque chose qui mérite d'être souligné : la majorité des taches se trouvent sur une zone du corps solaire comprise entre deux cercles correspondant à la limite des déclinaisons des planètes. En dehors de ces limites je n'ai vu jusqu'à maintenant aucune tache.

Toutes les taches se trouvent à moins de 28 ou 29 degrés du grand cercle du Soleil…

Le fait de les voir se déplacer d'un mouvement d'ensemble bien qu'elles soient souvent plus de 20 ou 30 est un argument solide pour dire qu'il n'y a qu'une seule cause à ce déplacement et non comme font les planètes chacune pour soi tournant autour du Soleil sur leur propre orbite et à sa propre vitesse.

Il faut donc nécessairement conclure qu'elles sont toutes sur la même orbite qui les porte autour du Soleil à la manière des étoiles fixes ou bien qu'elles sont vraiment dans le corps solaire lui-même, lequel en tournant les entraîne avec lui.

De ces deux possibilités, la seconde est à mon avis la vraie et l'autre la fausse. Toute autre possibilité sera également fausse et impossible comme je tenterai de le démontrer en m'appuyant sur son invraisemblance et ses contradictions.

Les hypothèses selon lesquelles les taches sont à la surface du Soleil et sont entraînées dans son mouvement de rotation sont en accord avec toutes les apparences sans aucune difficulté.

On peut alors définir sur le globe solaire les pôles et les cercles de latitude et de longitude comme nous le faisons sur la sphère céleste.

On appellera longueur des taches leur dimension suivant le cercle de longitude et largeur des taches, leur dimension dans la direction perpendiculaire.

Une fois ces termes définis, nous pouvons expliciter toutes les propriétés qui s'observent sur les taches solaires soit relativement à leurs positions soit à leurs mouvements.

Lorsqu'elles apparaissent sur le bord de la surface solaire les taches ont une longueur très petite mais leur largeur est la même que lorsqu'elles sont à la partie centrale de la surface du Soleil. Par effet de perspective on aura la même chose lorsqu'elles disparaissent sur l'autre bord du disque solaire.

Bien que toutes les taches qui apparaissent sur le bord du disque solaire ne soient pas réduites à l'épaisseur d'un fil, certaines forment un ove plus chétif que d'autres. Cela provient du fait que ce ne sont pas des taches superficielles mais qu'elles ont une certaine grosseur, je veux dire une certaine hauteur. Certaines sont plus hautes, d'autres sont moins hautes comme cela se produit pour nos nuages bien que cette hauteur reste petite par rapport aux autres dimensions.

On note en deuxième lieu que les espaces parcourus en des temps égaux, diminuent de plus en plus quand la tache s'approche du bord du disque solaire.

Troisièmement, les taches qui se trouvent sur un même parallèle semblent se toucher si leur distance réelle est petite, par contre si leur distance réelle est plus grande, elles apparaissent bien séparées, mais à distance beaucoup plus faible que lorsqu'elles sont au milieu du disque. Elles se rapprochent de nouveau lorsqu'elles atteignent l'extrémité opposée du disque solaire.

Je précise en plus que toutes les taches ne se montrent pas

séparées jusqu'à la dernière circonférence. Certaines s'unissent, mais je remarque toujours que leur opacité diminue beaucoup en s'approchant du bord du disque. Cela se produit à mon avis quand le côte éclairé se découvre et que le côté non éclairé se cache.

Les taches qui ne sont pas sur le même parallèle mais sont pour ainsi dire sur le même méridien, ont des distances entre elles, qui ne varient pas et gardent cette distance depuis leur apparition jusqu'à leur disparition.

Celles qui ne sont ni sur le même parallèle ni sur le même méridien ont des distances qui commencent à croître puis diminuent…

Le fait de savoir si les taches sont sur le Soleil et entraînées par son mouvement de rotation, ou bien si le Soleil est fixe et que c'est son atmosphère qui tourne et qui les entraîne avec elle, reste dans un certain sens une énigme. Cela pourrait être l'un ou l'autre cas. Cependant il me semble plus probable que le mouvement provienne du globe solaire plutôt que de son atmosphère. Et j'en déduis que l'atmosphère du Soleil doit être un fluide très léger puisqu'on voit facilement les changements de forme des taches qui s'agrègent et se divisent. »

Description des taches

Galilée dit que les taches solaires se trouvent toujours dans une zone de 29 degrés de part et d'autre de l'équateur ce qui ne semble pas être confirmé par ses dessins. Il est vrai que la majorité des taches se trouvent dans cette zone.

« Toutes les taches se trouvent à moins de 28 ou 29 degrés du grand cercle du Soleil. »

Galilée distingue l'aspect aléatoire (apparition, disparition, association et division imprévisibles) et le mouvement global des taches qui se déplacent parallèlement à l'équateur solaire :

« Le fait de les voir se déplacer d'un mouvement d'ensemble bien qu'elles soient souvent plus de 20 ou 30 est un argument solide pour dire qu'il n'y a qu'une seule cause à ce déplacement … »

Galilée donne la bonne interprétation du mouvement des taches.

« Les hypothèses selon lesquelles les taches sont à la surface du Soleil et sont entraînées dans son mouvement de rotation sont en accord avec toutes les apparences sans aucune difficulté. »

L'étude systématique de la déformation des taches aux bords oriental et occidental du Soleil conduisent Galilée à la certitude que le Soleil est sphérique et que ces déformations sont des effets de perspective.

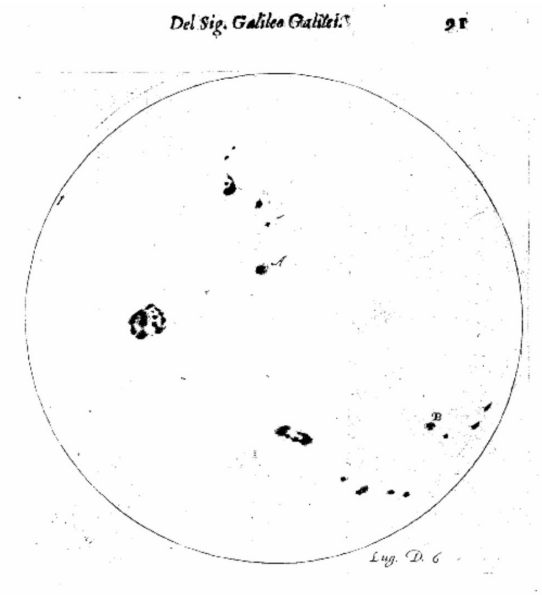
Les premières mesures

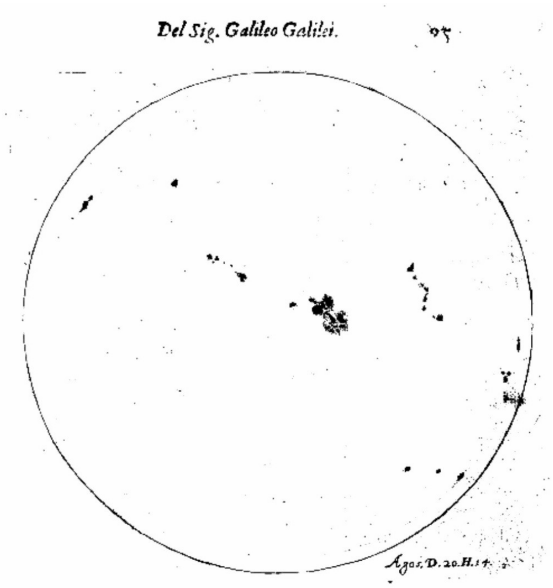
Galilée introduit pour la première fois le lien entre le mouvement et la mesure du temps qui conduira à la naissance de la mécanique.

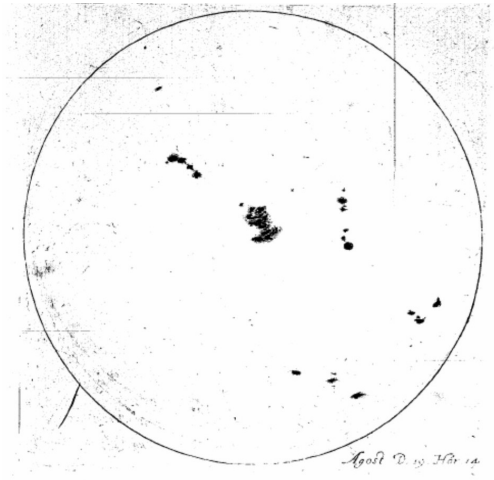
« On note en deuxième lieu que les espaces parcourus en des temps égaux, diminuent de plus en plus quand la tache s'approche du bord du disque solaire. »

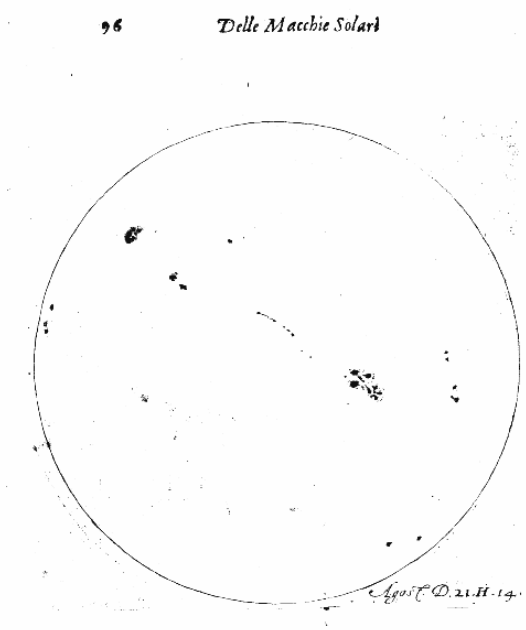
Les dessins de Galilée

Voici quelques dessins de taches solaires faits par Galilée en 1612.









Ces dessins ont été faits par Galilée les 19, 20 et 21 août 1612 : ils montrent la progression des taches solaires.

Définition des coordonnées des taches

Pour quantifier le déplacement des taches, Galilée définit un système de coordonnées sur le Soleil, analogue au système appliqué à la sphère céleste et terrestre :

« On peut alors définir sur le globe solaire les pôles et les cercles de latitude et de longitude comme nous le faisons sur la sphère céleste. »

2 – La rotation du Soleil autour de son axe

Galilée se pose la question de savoir si les taches sont réellement sur le Soleil et dans ce cas, le Soleil tourne sur lui-même en 28 jours ou bien si elles sont dans l'atmosphère solaire et seule l'atmosphère tourne alors que le Soleil reste fixe. Il reconnaît que l'observation des taches solaires ne permet pas de lever le doute mais il estime que la première hypothèse est la bonne.

« Le fait de savoir si les taches sont sur le Soleil et entraînées par son mouvement de rotation, ou bien si le Soleil est fixe et que c'est son atmosphère qui tourne et qui les entraîne avec elle, reste dans un certain sens une énigme. Cela pourrait être l'un ou l'autre cas. Cependant il me semble plus probable que le mouvement provient du globe solaire plutôt que de son atmosphère. »

Galilée en déduit que si le Soleil est entouré d'une atmosphère, celle-ci doit être extrêmement légère puisqu'on voit si bien ce qui se passe à la surface du Soleil.

Méthode pour calculer la période de rotation du Soleil

Le calcul est fait à partir de deux photos réelles prises à la webcam, deux jours consécutifs.

En déplaçant la souris, on mesure le nombre de pixels entre la tache et le bord oriental du Soleil (AB = 123 pixels). La tache est pratiquement à l'équateur.

Le lendemain on trouve AC = 172 pixels. Le diamètre du Soleil AD = 485 pixels.

Il faut bien comprendre que le disque solaire que l'on voit, est la projection de la sphère solaire perpendiculairement à la direction de vision. La trajectoire apparente des taches est rectiligne mais la trajectoire vraie est un arc de cercle dont le rayon est égal au rayon du Soleil. Ce qui entraîne la figure ci-dessous.

Calcul de la période apparente de la rotation d'une tache

Le centre n'est pas connu. On cherche l'angle c. On mesure AB et AD. On en déduit OB et OC.

$$R = \frac{AD}{2} \qquad \cos a = \frac{OB}{R}$$

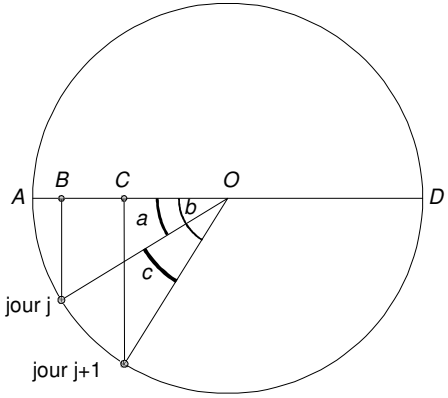
d'où $\cos b = \dfrac{OC}{R}$ $\quad c = b - a \quad$ $T = \dfrac{360}{c}$ jours

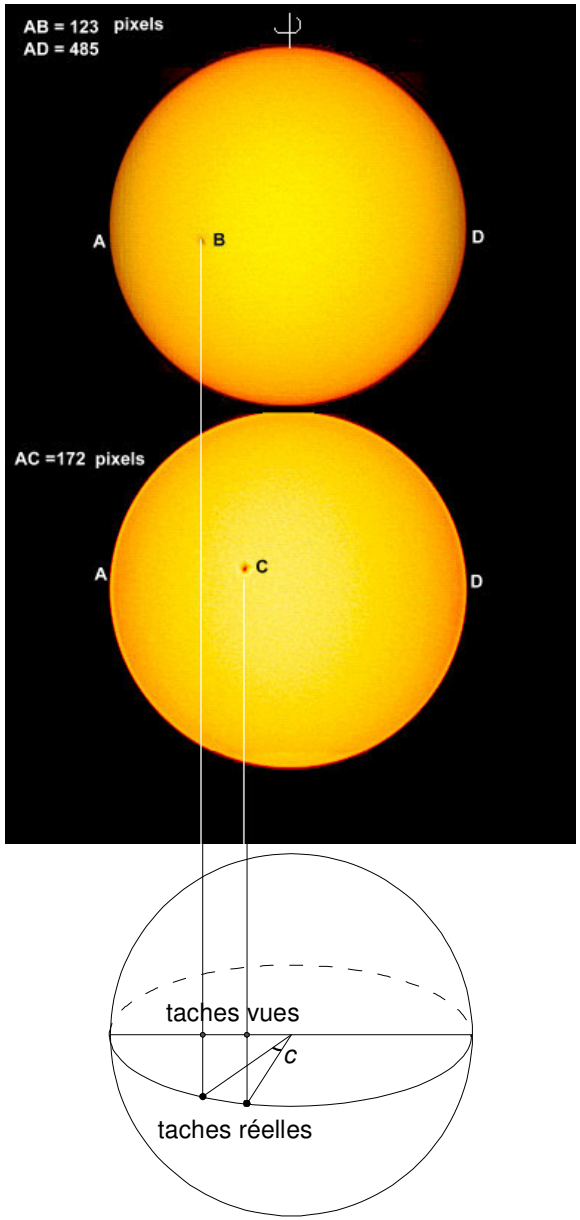
a = 60,5° ; b = 73,2° ; c = 12,7°

T = 28 jours.

La période apparente vue de la Terre est T = 28 jours

L'axe de rotation est perpendiculaire au plan de l'image.
Les taches sont pratiquement sur l'équateur.
En un jour le Soleil a tourné d'un angle c.





Cette image est obtenue par superposition des deux photos. Les taches vues correspondent à la projection des taches réelles sur l'équateur solaire

Rotation du Soleil

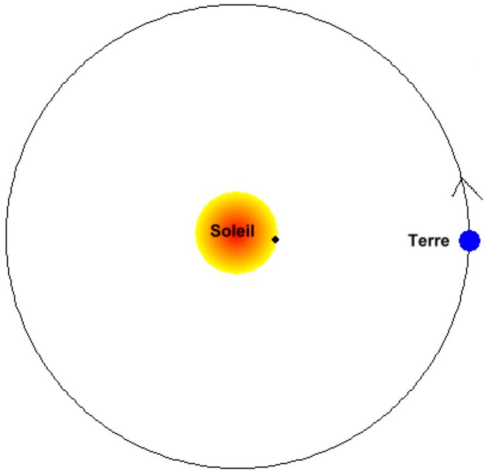
Même si le Soleil ne tournait pas autour de son axe, un observateur terrestre verrait les taches tourner.
Soit T la période de rotation des taches, soit T_1 la période mesurée depuis la terre, soit T_2 la période de rotation de la Terre autour du Soleil.

On démontre que :

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2}$$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{28} + \frac{1}{365}$$

$T = 26$ jours



Le soleil n'est pas une boule solide. La vitesse de rotation est maximale à l'équateur et diminue lorsqu'on s'approche des pôles. Cette méthode simple donne une valeur approchée en accord avec des mesures bien plus complexes.

Autres références

Galileo Galilei. *Dialogues sur les deux grands Systèmes du monde*. Paris. Le Seuil. 1992

Galilée. *Ecrits coperniciens*. Paris. PUF 2004

Galilée. *Discours sur deux sciences nouvelles*. Paris. Epiméthée ; PUF. 1995.

Ludovico Geymonat. *Galilée*. Paris. Robert Laffond. 1957

Galilée. Pour la Science. *Les Génies de la Science* n°1. Novembre 1999.

Giordano Bruno, Galilée. *Europe*. Mai 2007, n°937.

Opere di Galileo Galilei. Edizione Nazionale. Antonio Favaro (dir.) Firenze. Typografia di G. Barbara. 1892.

Redondi Pietro. *Galileo heretico*. Princeton University, Princeton, 1987. La version en italien date de 1983.

Strano Giorgio Ed. *Galileo's telescope*. The instrument that changed the world. Giunti. Florence. 2008.

Références astronomique accessibles à tous :

Astronomie et Astrophysique. Marc Seguin et Benoît Villeneuve. Masson. 2002.

A la découverte du Système solaire. David W. Hughes et Carole Stott. Nathan.

Au plus près de Saturne. Philippe Morel Ed. Vuibert. 2005.

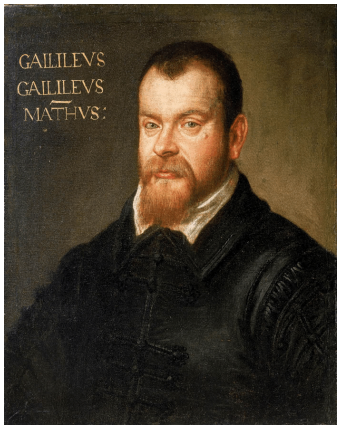
Mars comme si vous y étiez. Guillaume Cannat et Didier Jamet. Editions Eyrolles. 2004.

Observer le Soleil et le Lune. Florence Messineo. Ellipses. 2008

Planètes et satellites. André Brahic. Vuibert. 2001.

Bibliographie

1564 – Naissance à Pise, le 15 février, de Galileo Galilei.
1581 – Etudes de médecine à l'université de Pise. Se tourne rapidement vers l'étude des mathématiques.
1589 – Professeur de mathématiques à Pise. Expérience de la tour penchée de Pise ?
1591 – Quitte Pise pour Padoue, y obtient la chaire de mathématiques.
1597 – Lettre à Kepler, se déclare copernicien.
1604 – Parvient à une première formulation de la loi de la chute des corps.
1609 – Construction du télescope, le perfectionne, et fait ses découvertes astronomiques.
1610 – Publication du *Sidereus Nuncius* (Le Messager céleste). Quitte Padoue pour Florence, mathématicien ducal.



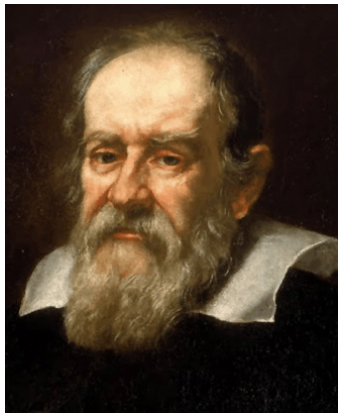
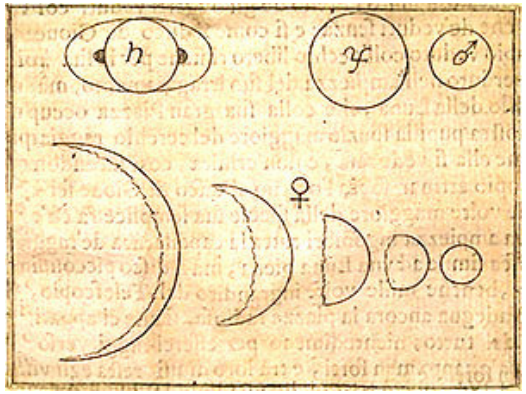
Galileo Galilei par Domenico Robusti en 1605

1611 – Voyage triomphal à Rome. Confirmation des découvertes par les astronomes jésuites, dont Clavius. Élection à l'Accademia dei Lincei. Observe les phases complètes de Vénus.
1612 – Publication du Discours sur les corps flottants, et vive controverse sur l'hydrostatique. Observe au télescope les taches solaires, polémique avec Christoph Scheiner, sur leur nature et sur la priorité de la découverte.
1613 – Publication des Lettres sur les taches solaires. Se déclare pour la première fois ouvertement copernicien.
1614 – Attaqué publiquement dans un prêche du père Caccini. Une enquête est ouverte secrètement au Saint-Office.
1615 – Dénonciation auprès du Saint-Office. Rédaction par Galilée de la Lettre à Christine de Lorraine. Se rend à Rome défendre sa position.

Galilée, portrait par Léoni

1616 – 23 février, décret des Consulteurs du Saint-Office censurant l'opinion copernicienne. 26 février, reçoit du cardinal Bellarmin

l'injonction de ne plus enseigner le système copernicien. 5 mars, mise à l'Index jusqu à correction des ouvrages de Copernic.
1620 – Publication par la congrégation de l'Index de la liste des corrections à Copemic.
1621 – Rédaction de *L'Essayeur* (*Il Saggiatore*) en réponse à l'ouvrage du père jésuite Horatio Grassi,
1623 – Élection à la papauté du cardinal Maffeo Barberini (Urbain VIII). Galilée lui dédie *L'Essayeur*.
1624 – À Rome, six longs entretiens avec le pape. Tente d'obtenir la révocation de la censure anticopernicienne.
1625 – Commence à rédiger son *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*.
1630 – Après de longues interruptions pour cause de maladie, achève le Dialogue. Obtient l'imprimatur à Rome.
1632 – Publication du Dialogue ; Ventes de l'ouvrage interrompues sur ordre du Saint-Office. Galilée appelé à Rome.
1633 – Arrivée à Rome en février. Questionné en avril, rédige sa défense en mai. Soupçonné d'hérésie. Sentence et abjuration le 22 juin. Assigné à résidence, rejoint sa villa d'Arcetri, près de Florence.


Portrait de Galileo Galilei par Giusto Sustermans en 1636

1637 – Devient aveugle.
1638 – Publication à Leyde du manuscrit des *Discours concernant deux sciences nouvelles*.
1642 – Mort de Galilée, le 8 janvier.