



À la mesure du Ciel

Ce feuilleton est consacré à l'une des disciplines sans doute les plus méconnues sinon les plus austères de l'astronomie : l'astrométrie ou la mesure de la position des astres dans le ciel. Elle est aussi l'une des premières activités des astronomes de l'Antiquité. Elle est au fondement de l'astronomie. Sans elle et sans le gain en précision associé à cette branche, acquis au fil du temps jusqu'à nos jours, l'astronomie n'aurait pu se développer. Il était donc urgent de revenir aux racines de l'astronomie.

— par Pascal Descamps

À LA RECHERCHE DU CATALOGUE PERDU D'HIPPARQUE

À l'époque où seules comptaient les constellations

FAIRE ENTRER LE CIEL DANS UN LIVRE, y lister ses étoiles, en donner leur position, voire leur éclat, peut nous sembler familier ou naturel. Cela ne l'était pas jusqu'au IV^e siècle av. J.-C., jusqu'à l'invention du cosmos sphérique par les Grecs. L'avancée est majeure. La sphère devient l'emblème de la perfection, elle envahit la pensée grecque, la terre est sphérique, la Lune est sphérique, le ciel est sphérique. La sphère céleste naît de façon claire avec Eudoxe de Cnide (408-355 av. J.-C.), il y consacre deux livres, les *Phénomènes* et le *Miroir*, tous deux perdus. Ils contenaient des descriptions des constellations et de leurs positions relatives sur la sphère céleste. À ce moment, le mot *astre* ne renvoie pas encore aux étoiles ou aux planètes, comme objets simples, il s'applique spécialement au Soleil, à la Lune et aux constellations. Le terme même d'astronomie, étymologiquement parlant (le radical *nomos*, « je partage »), signifie la science qui vise à partager les astres en constellations. L'objectif premier de ce découpage est la division du temps, la division de la nuit en heures, d'après le lever des constellations, celle de l'année en saisons. Quant au mois, les phases de la Lune s'en chargeaient. Si les ouvrages d'Eudoxe ont disparu, toutefois, un siècle plus tard, le poète Aratos de Soles en Cilicie (vers 310-245 av. J.-C.) en reprend le contenu dans son ouvrage les *Phénomènes*, poème d'environ

1150 vers, qui sera lui-même commenté un siècle plus tard par le grand astronome Hipparque de Nicée en Bithynie (vers 190-120 av. J.-C.) dans son *Commentaire aux Phénomènes d'Eudoxe et d'Aratos*. Il s'agit du plus ancien ouvrage astronomique grec transmis intégralement et le seul traité d'Hipparque préservé par la tradition écrite. Hipparque ne tient pas rigueur à Aratos, qui était un poète, des erreurs, mais le fait à l'égard d'Eudoxe, l'un de ses plus illustres prédécesseurs. Un autre ouvrage décrivant les 42 constellations avec leur nombre d'étoiles, mais sans aucune position d'étoile, est celui d'Ératosthène, les *Catastérismes* datant de 250-200 av. J.-C. ; Hipparque n'en fait pas mention. Ces phénomènes (levers et couchers simultanés d'étoiles) étaient importants pour ses contemporains, car ils réglaient la vie courante sous la forme de calendriers appelés *parapegmes*.

Le premier catalogue d'étoiles

LE COMMENTAIRE D'HIPPARQUE semble bien être le premier ouvrage donnant une description du ciel constituée à partir de la mesure de positions d'étoiles repérées par leurs coordonnées sur la sphère céleste. Eudoxe n'avait donné qu'un assemblage très imprécis des constellations les unes par rapport aux autres. Il est fort possible que ce texte fondateur ait un lien intime avec le *Catalogue des étoiles fixes* qu'Hipparque aurait écrit et que Ptolémée (vers

100-168), au II^e siècle de notre ère, aurait utilisé dans son *Almageste*, 265 ans plus tard. Si ce catalogue a bel et bien existé, il serait donc le premier du genre et Hipparque serait par la même occasion l'initiateur de l'usage de deux coordonnées angulaires pour repérer tout point de la sphère céleste. À côté d'une dimension pratique, celle d'Eudoxe ou d'Aratos, Hipparque franchit un cap en donnant à la description du ciel une dimension purement numérique. Quelle est sa motivation ? Rivaliser avec le grand Eudoxe ? Rectifier les erreurs d'Aratos ? Toujours est-il qu'il consacre la première partie de son *Commentaire* à critiquer les erreurs répandues par Aratos. Dans la seconde partie, il donne ses propres indications sur les levers et couchers des constellations de la sphère céleste et passe en revue les phénomènes simultanés qui concernent 16 constellations boréales, 14 australes et 12 zodiacales. Pourtant, une autre intention semble prédominer dans l'esprit d'Hipparque, le ciel ne serait peut-être pas celui du cosmos dogmatisé par Aristote le Stagirite (384-322 av. J.-C.), à savoir immuable, incorruptible, parfait. Si l'on en croit Pline l'Ancien (*Histoire naturelle*, I^{er} siècle), Hipparque se serait lancé dans cette entreprise titanesque de catalogue du ciel – « il osa, ce qui eût été difficile à un dieu même » –, à la faveur d'une étoile nouvelle (nova) apparue dans le ciel. Il décida donc d'en dresser le tableau fidèle que ses successeurs pourraient reprendre pour y noter les étoiles nouvelles, disparues ou s'étant déplacées. Ce catalogue transpirerait dans le *Commentaire* comme nous le verrons par la suite.

Un ciel changeant : la précession des équinoxes

S I BEAUCOUP DE HAUTS FAITS sont attribués à Hipparque, élevé au début du XIX^e siècle au rang de *plus-grand-astromome-de-l'Antiquité* (par Louis Gabriel

Michaud dans sa *Biographie universelle*, 1817), il est cependant incontestable qu'il soit le découvreur de la précession des équinoxes, attesté par Ptolémée dans le livre VII de l'*Almageste*. Hipparque compare pour cela les positions de certaines étoiles de la bande zodiacale (centrée sur le grand cercle de l'écliptique, qui est le chemin suivi par le Soleil au cours de son mouvement annuel. L'écliptique était connu des Grecs depuis la fin du V^e siècle, notamment à partir du zodiaque babylonien) avec celles mesurées 169 ans avant lui par les premiers astronomes de l'école d'Alexandrie, Aristille et Timocharis (en 294 et 283 av. J.-C.). Il s'aperçoit que toutes les étoiles ont changé de place en s'avancant dans l'ordre des signes d'environ deux degrés, soit une variation annuelle de 45" (la valeur exacte est de 1° en 72 ans ou 50" par an). Cependant, il resta circonspect, et, ne pouvant conclure si ce mouvement affecte l'ensemble du ciel, il légua aux générations futures une série d'alignements d'étoiles (plus de vingt). Le titre de l'ouvrage d'Hipparque sur le sujet, *Sur le déplacement des points équinoxiaux et tropicaux*, suggère qu'il croyait qu'il s'agissait d'un mouvement général, malheureusement l'ouvrage est perdu. Les alignements d'Hipparque devaient permettre aux astronomes qui viendraient après lui de trancher la question, ils liaient des étoiles zodiacales à des étoiles hors du zodiaque. À l'époque de Ptolémée, 260 ans plus tard, les alignements d'Hipparque s'étaient conservés, cela n'aurait pas été le cas si ce mouvement de précession n'avait affecté que la bande zodiacale. La précession affecte donc le ciel tout entier et c'est Ptolémée qui le montre. Il s'agit en définitive d'une lente révolution du ciel d'ouest en est autour des pôles de l'écliptique, qui résulte tout simplement de l'oscillation de l'axe de rotation de la Terre dans l'espace à la manière d'une toupie géante. La figure 1 illustre ce déplacement en l'espace de 2 000 ans jusqu'à nos jours. Les étoiles se déplacent toutes parallèlement au grand cercle de l'écliptique. En 2 000 ans, cela finit par se voir, puisque le déplacement se monte à 28°, soit presque un signe zodiacal.

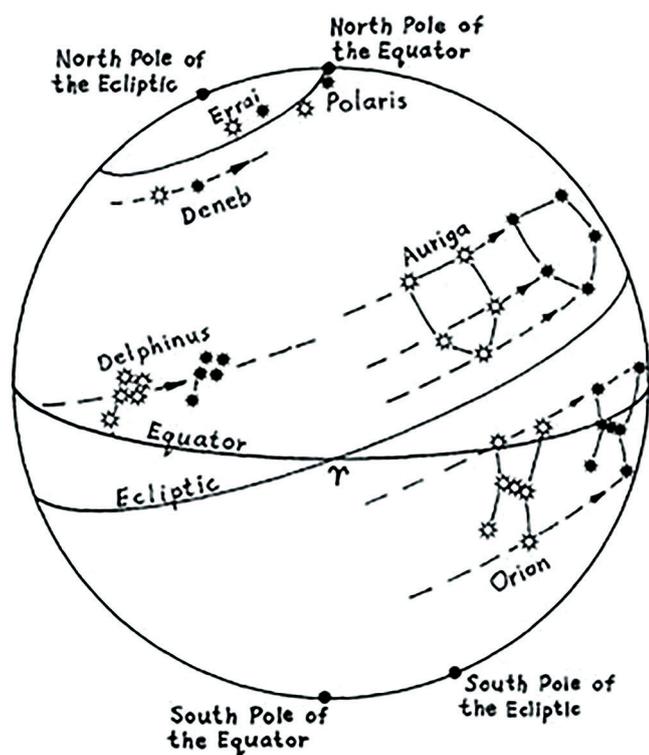


Fig. 1 - Précession des équinoxes.

La sphère des étoiles tourne autour des pôles de l'écliptique. Le point vernal (noté γ), intersection des deux grands cercles équatorial et écliptique, se déplace lentement vers l'ouest.

Tiré de J. Evans, *The History and Practice of Ancient Astronomy*, Oxford University Press, 1998.

La controverse du catalogue de Ptolémée

HIPPARQUE ÉTAIT DONC PERSUADÉ du caractère changeant du cosmos, très loin de l'immobilisme aristotélien. C'est sans doute la raison qui va le pousser à dénombrer les étoiles visibles à l'œil nu afin d'en mesurer les positions sur la sphère céleste et de les consigner dans ce que l'on peut affirmer être le premier catalogue stellaire de l'histoire. Cette compilation est devenue le Graal des historiens. Le fait même que le catalogue d'Hipparque n'ait jamais été retrouvé a encouragé astronomes et historiens à se laisser aller allégrement à toutes sortes de supputations à l'égard du catalogue de son successeur, Ptolémée, qui ne serait autre qu'une pâle copie

de celui du grand Hipparque auquel une précession de $2^{\circ}40'$ au lieu de $3^{\circ}40'$ aurait été affectée à toutes les longitudes, fausse de surcroît (Ptolémée avait fait sa propre estimation de la précession à 1° par siècle). L'astronome perse Al Sufi (903-986) ouvrit la polémique dès le x^e siècle, poursuivie par Tycho Brahé (1546-1601) au xvi^e siècle, puis ravivée par Delambre (1749-1822) au début du xix^e siècle.

La chose semblait entendue jusqu'à ce qu'au début du xx^e siècle, un historien allemand, H. Vogt, calcule en 1925 toutes les déterminations des positions d'étoiles faites par Hipparque à partir de son *Commentaire*, les transformant ensuite en coordonnées écliptiques afin de les comparer directement à celles de Ptolémée (Neugebauer, 1984). Ceci fait, la conclusion s'imposa, les deux catalogues n'avaient que peu de rapports entre eux, sauf cas très exceptionnels. Ptolémée était réhabilité. Mais un siècle plus tard, en 2020, une nouvelle étude à partir du même *Commentaire* aboutit à la conclusion inverse (Marx, 2020) : « L'analyse effectuée confirme une forte corrélation entre les données sur les étoiles de Ptolémée et celles d'Hipparque. » À la différence de l'étude précédente, seuls les phénomènes décrits par Hipparque (lever, culmination et coucher, pour deux types de points de la sphère céleste : des points de l'écliptique et des points représentant des étoiles) ont été pris en considération en partant de l'hypothèse qu'il s'est servi d'une sphère céleste mobile d'un mètre de diamètre sur laquelle avaient été portées les étoiles dont il avait déterminé la position (fig. 2). Hypothèse fort plausible, puisque Ptolémée affirmait qu'Hipparque en avait une en sa possession. Hipparque n'observe donc pas les phénomènes qu'il décrit, mais rend simplement compte de constatations qu'il tire en faisant tourner sa sphère étoilée. Aussi extraordinaire que cela puisse paraître, à l'aide de cette simple hypothèse, il a été possible de calculer deux paramètres astronomiques fondamentaux pour rendre compte des phénomènes visités, la valeur de l'obliquité de l'écliptique adoptée par Hipparque (c'est-à-dire

l'inclinaison du grand cercle de l'écliptique sur le grand cercle équatorial), soit $23^{\circ}40'$ (sachant que l'obliquité à l'époque d'Hipparque était de $23^{\circ}43'$ [Laskar, 1986]), et la latitude du lieu correspondante – vraisemblablement là où Hipparque vivait et observait ! –, $36^{\circ}15'$, qui est la latitude de Rhodes (Nadal et Brunet, 1984).

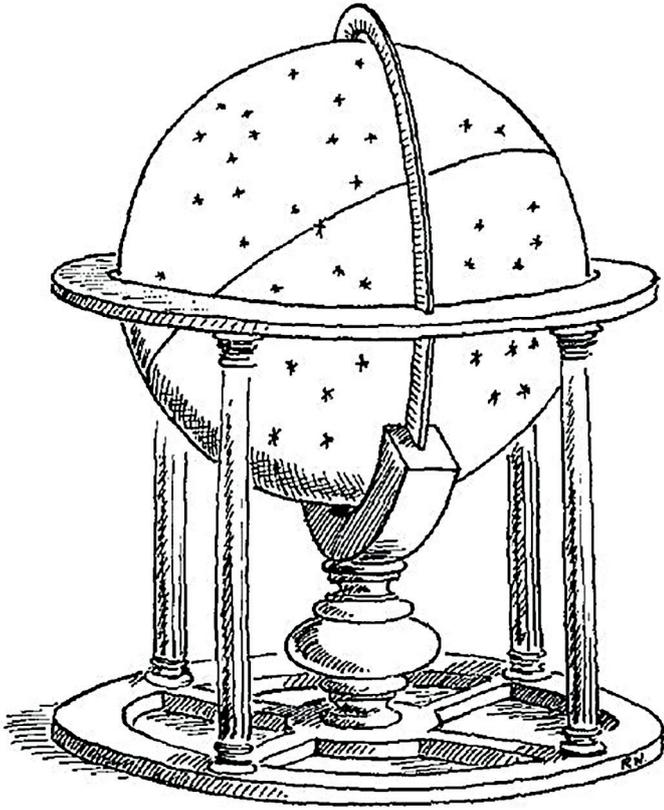


Fig. 2 - Exemple de sphère céleste mobile.

Tiré de Nadal & Brunet, 1984.

Le catalogue d'Hipparque sous nos yeux depuis 2 000 ans ?

LE FAMEUX CATALOGUE D'HIPPARQUE, toujours loué, jamais trouvé. On pensa le deviner à travers celui de Ptolémée dans son *Almageste*, puis en extirper des bribes dans le *Commentaire*, quand, au début des années 2000, on crut le voir gravé dans le marbre d'un globe céleste taillé par un sculpteur romain. Le globe de marbre porté par l'Atlas Farnese serait une matérialisation du catalogue d'Hipparque

(fig. 3). Le Titan Atlas, le corps ployé, contorsionné dans une attitude douloureuse, personnifierait ainsi l'entreprise démesurée d'Hipparque, le premier arpenteur du ciel. La statue date du I^{er} ou II^e siècle apr. J.-C., mais serait la copie d'un globe grec. L'aspect du ciel présenté sur le globe daterait du I^{er} siècle av. J.-C. De l'Atlas Farnese, on ne sait pas grand-chose non plus, ni quand ni où il a été découvert, tout ce que l'on sait est que le cardinal Alessandro Farnese le rapporta à Rome le 27 février 1562. Bianchini (1752) avait déjà mené une étude de l'Atlas à partir du catalogue d'étoiles de Flamsteed de 1690. Il avait trouvé que le cercle des étoiles visibles gravé sur le globe est positionné à une déclinaison de 50° , ce qui indiquait l'horizon de la Macédoine, là où Aratos travaillait. Il calcula la précession pour tenter de dater le globe.

Puis en 2005, avec des moyens d'investigation plus modernes, l'Atlas fait de nouveau parler de lui. Cette fois-ci, c'est sur le globe en marbre qui nous montre les étoiles à des positions telles qu'elles ont pu être calculées par Hipparque (Schaefer, 2005). La position en déclinaison du cercle des étoiles toujours visibles (circumpolaires) est même précisément déterminée, $51,7^{\circ} \pm 0,9^{\circ}$, ce qui donne la latitude du lieu pour lequel le globe a été sculpté, $38,3^{\circ} \pm 0,9^{\circ}$. Pour la disposition et la représentation des constellations, le globe s'accorde bien avec la description du ciel dans les *Phénomènes* d'Aratos. Par exemple, chez Aratos, la constellation d'Hercule est simplement appelée l'Agenouillé, sachant que l'identification au héros est postérieure à Aratos. Hercule est d'ordinaire représenté avec une massue et une peau de lion, ce qui n'est pas le cas de l'Agenouillé sur le globe Farnese. Le ciel présenté sur le globe daterait du I^{er} siècle av. J.-C. L'enthousiasme retomba bien vite quand l'année suivante furent mises en évidence les différences entre la représentation du ciel donnée par le globe Farnese et les positions des quelques étoiles mesurées par Hipparque dans son *Commentaire*, ainsi que les faiblesses méthodologiques d'une analyse qui, à dé-

faut d'être entièrement convaincante, est d'abord celle d'un convaincu avant l'heure (Duke, 2006).



Fig. 3 - L'Atlas du palais Farnese, statue de marbre de l'époque romaine datant du II^e siècle apr. J.-C.

Le globe mesure 65 cm de diamètre sur lequel ont été sculptées 41 constellations, ainsi que les grands cercles de référence (tropiques, équateur, écliptique, colures des équinoxes, cercles des étoiles toujours visibles et cercle des étoiles jamais visibles). La statue serait la reproduction d'un modèle hellénistique datant du I^{er} ou II^e siècle av. J.-C.

CC BY-SA 3.0 Sailko

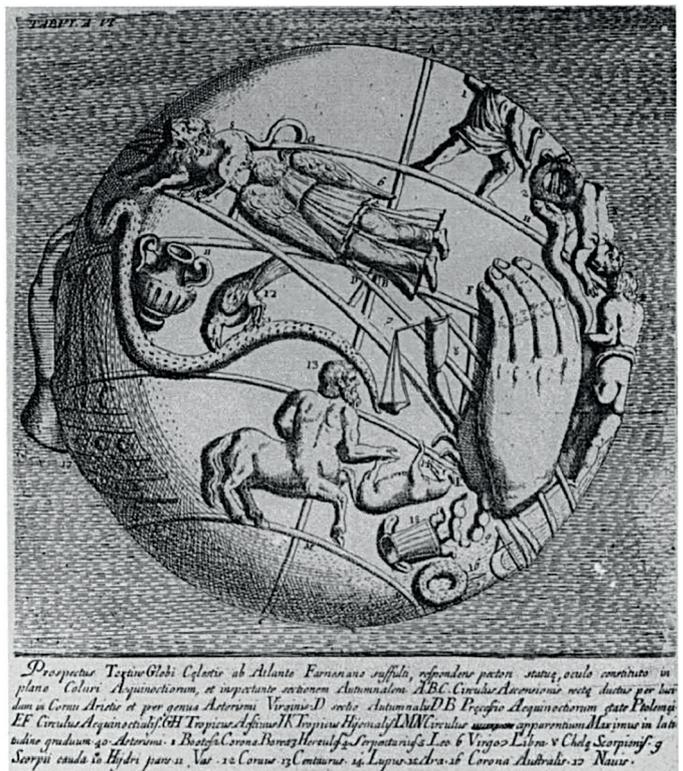


Fig. 4 - Description de l'Atlas Farnesiano par Bianchini.

Tiré de Bianchini, *Globus Farnesianus*, Rome, 1752.

L'aventure continue...

OCTOBRE 2022, nouveau rebondissement, nouvelle annonce, on a enfin retrouvé le mythique catalogue d'Hipparque dans un parchemin médiéval du monastère Sainte-Catherine, dans le Sinaï, en Égypte actuelle (Gysembergh *et al.*, 2022). Certes, les choses ne sont pas aussi simples qu'il y paraît de prime abord. Ce parchemin est issu du *Codex Climaci Rescriptus*, ouvrage constitué de palimpsestes (du grec *palin psên*, « gratter à nouveau »), qui sont des parchemins effacés et réutilisés pour réécrire par-dessus. À cette époque, les moines ne s'embarrassaient pas de considérations liées à la conservation des archives, il fallait être efficace et économe, et ne recopier que ce qui était considéré être à la pointe de l'état de l'art. En matière d'astronomie, l'*Almageste* de Ptolémée écrasait tout sur son passage, c'était le best-seller du moment, et ce jusqu'au XVI^e siècle ! Il est donc fort possible que

« son succès [ait] contribué à la perte de la plupart des travaux des prédécesseurs scientifiques de Ptolémée, notamment Hipparque, à la fin de l'Antiquité, car, étant obsolètes, ils ont cessé d'être copiés. » (Toomer, 1984).

Seulement, l'imagerie multispectrale a fait parler le parchemin, sous le texte latin visible, un autre texte, en grec celui-là, ou du moins des fragments d'un traité d'astronomie. Les fragments ainsi révélés présentent des similitudes frappantes pour 4 constellations circumpolaires, la Grande Ourse, la Petite Ourse, le Dragon et la Couronne boréale, avec le seul texte connu d'Hipparque, son *Commentaire* (fig. 5). D'où la présomption forte qu'il s'agirait du précieux catalogue de l'astronome grec. Évidemment, le « catalogue » ainsi retrouvé ne se présente pas sous la forme d'un... catalogue avec des coordonnées et des valeurs pour ces coordonnées. Cela relève presque du langage codé qu'il a fallu déchiffrer. Voici ce que dit par exemple le texte de la figure 5 une fois traduit, pas immédiatement compréhensible :

Corona Borealis, située dans l'hémisphère nord, s'étend en longueur sur $9^{\circ}\frac{1}{4}$ du premier degré du Scorpion à $10^{\circ}\frac{1}{4}$ dans le même signe zodiacal (c'est-à-dire dans le Scorpion). En largeur, elle s'étend sur $6^{\circ}\frac{3}{4}$ de 49° [...] du pôle Nord à $55^{\circ}\frac{3}{4}$. À l'intérieur, l'étoile (β CrB) à l'Ouest à côté de l'étoile brillante (α CrB) est en tête (c'est-à-dire qu'elle est la première à se lever), étant à Scorpion $0,5^{\circ}$. La quatrième étoile (ι CrB) à l'Est de l'étoile brillante (α CrB) est la dernière (c'est-à-dire qu'elle se lève) [...] à 49° du pôle Nord. Le plus au Sud (δ CrB) est le troisième à compter à partir du brillant (α CrB) vers l'Est, qui est à $55^{\circ}\frac{3}{4}$ du pôle Nord.

Est-ce pour autant le catalogue d'Hipparque ? Est-ce un fragment de l'ouvrage d'Hipparque ? Rien ne le prouve. Cela pourrait être une copie. Cependant,

à nouveau, la clameur médiatique, mais aussi institutionnelle, se fait péremptoire et vient déformer les conclusions des auteurs de cette recherche. Peu importe dans le fond, car le plus intéressant dans ces quatre constellations écrites sur un vieux bout de parchemin est qu'elles nous apprennent que les positions des étoiles considérées étaient beaucoup plus précises que celles du catalogue de Ptolémée. Seul Hipparque pouvait être capable d'une telle performance. Autre information, les positions sont données en coordonnées équatoriales et non en coordonnées écliptiques, comme c'est le cas avec Ptolémée. C'était l'une des grandes interrogations laissées en suspens jusqu'à nos jours. Hipparque est ainsi le premier à mettre en place un véritable système de coordonnées sphériques. Enfin, les positions ainsi récupérées ne coïncident pas avec celles du catalogue de Ptolémée après les avoir affectées de la précession, allant dans le sens des partisans de Ptolémée qui ne se serait pas contenté de transporter à son époque les données du catalogue d'Hipparque. Hipparque et Ptolémée sont décidément inséparables et continueront à n'en pas douter à faire parler d'eux et à nous surprendre là où on ne les attend plus...

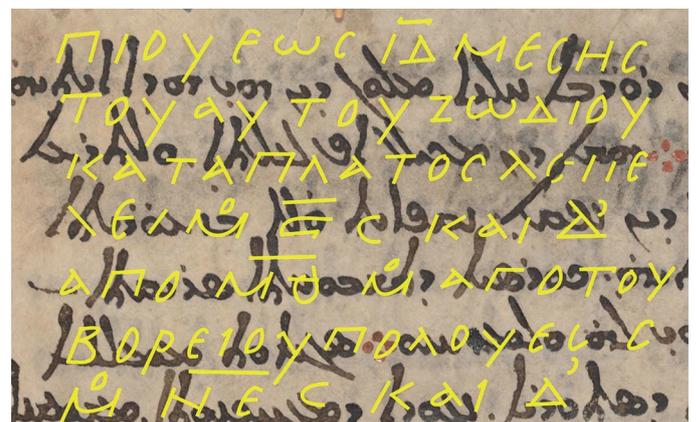


Fig. 5 - Détail du folio 53v donnant sous le texte latin (en noir) le texte en grec qui a été effacé (en jaune) décrivant la constellation de la couronne boréale de la même façon qu'Hipparque le fait dans son *Commentaire*.

Tiré de Gysembergh et al., 2022.

Références

- D.W. Duke, « Analysis of the Farnese Globe », *Journal for the History of Astronomy*, vol. 37, 2006.
- J. Evans, *The History and Practice of Ancient Astronomy*, Oxford University Press, 1998.
- J. Laskar, « Secular Terms of Classical Planetary Theories Using the Results of General Theory », *Astronomy and Astrophysics*, vol. 157, 1986.
- R. Nadal & J.-P. Brunet, « Le “Commentaire” d’Hipparque. I. La sphère mobile », *Archive for History of Exact Sciences*, vol. 29, 1984.
- O. Neugebauer, *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Springer-Verlag : Berlin, 1975.
- C. Marx, « The Determination of Hipparchus’ Phenomena and their Consistency with the Almagest Star Catalog », *Astronomische Nachrichten*, vol. 341, 2020.
- V. Gysembergh, P.J. Williams, E. Zingg, « New Evidence for Hipparchus’ Star Catalogue Revealed by Multispectral Imaging », *Journal for the History of Astronomy*, vol. 53, 2022.
- B.E. Schaefer, « The Epoch of the Constellations on the Farnese Atlas and their Origin in Hipparchus’ Lost Catalogue », *Journal for the History of Astronomy*, vol. 36, 2005.
- G.J. Toomer, *Ptolemy’s Almagest*, Duckworth : London, 1984.