

Traduction d'une conférence en italien donnée en 1938 par
l'Amiral Jean Theofanidis
à l'Institut di Studi Romani à Rome

Avant-propos.

L'astronomie a été conçue par les anciens grecs d'après les observations de leurs navigateurs, et développée par leurs savants à l'usage exclusif de la navigation. Durant les temps modernes, les érudits de l'occident ont réalisé de très importants progrès au sujet de la connaissance des sciences astronomiques des anciens, mais aucun progrès appréciable n'a été fait sur les méthodes de navigation de ces temps, faute d'éléments suffisants.

Les fragments de cuivre du petit appareil trouvé au fond de la mer à Anticythère en 1901, exposés au Musée Archéologique d'Athènes, et les restes d'inscriptions qui subsistent sur les lamelles qui adhèrent aux côtés de ces fragments m'ont fourni les éléments d'étude de cette question. L'appareil d'Anticythère est unique en son genre, mais durant le naufrage du navire, il fut écrasé par de pesants blocs de marbre qui le fracassèrent, et ceci explique pourquoi il ne fut pas récupéré en entier par les plongeurs. De plus, la partie retrouvée était tellement enveloppée de pétrifications et de coquilles, qu'en recevant ces objets sur le pont, on crut que c'était un simple morceau de pierre et on fut sur le point de le rejeter à l'eau. Heureusement se trouvait là le sous-lieutenant de vaisseau Periclès Rediadis, qui mourut récemment vice-amiral. Il remarqua, sortant du bloc, un fragment de roue dentée, et empêcha à temps la perte du très précieux objet.

J'ai reconstruit l'appareil en entier, et l'ai présenté à l'Académie d'Athènes, avec un bref rapport, complété par mes déductions relatives à la navigation des anciens (1).

L'époque certaine du naufrage, le premier siècle avant J.-C., coïncide avec celle de l'activité la plus éclatante de l'antique Rome. Et comme Vitruve, qui vivait au temps d'Auguste, a décrit les horloges anaphoriques, je pense qu'un développement de la communication que j'ai faite à Athènes pourrait contribuer aux recherches sur les méthodes de navigation des Romains.

C'est dans cet esprit que j'ai rédigé la communication que j'ai l'honneur de faire à cette illustre assemblée.

A Introduction.

En 1901, des plongeurs de Simi au Dodécanèse, occupés à la recherche des éponges, observèrent un groupe de statues de marbre émergeant, en partie, du fond de la mer près de l'île d'Anticythère. Ils constatèrent ensuite que ces statues étaient posées sur le pont d'une grande nef, recouverte jusqu'au plat-bord de sable solidifié. La moitié du navire était échouée sur un fond de 40 brasses, tandis que l'autre moitié, en porte-à-faux, était suspendue sur un fond de 150 brasses. On a dit que cette épave était celle d'un navire de charge, en route pour Constantinople ou Rome. Ces deux hypothèses me semblent improbables (2). A mon avis, il s'agissait d'une importante unité de la flotte de guerre de Cléopâtre qui, se dirigeant vers Alexandrie par un temps très mauvais fut déviée par la tempête et fit naufrage en dérivant près d'un bas-fond, près de la côte. On sait que la flotte de guerre de Cléopâtre se composait alors de grandes unités, ce qui confirme mon hypothèse.

Les travaux de sauvetage des trésors commencèrent vers la fin de 190 aux soins du gouvernement grec.

Avec les oeuvres d'art, on trouva quelques objets d'usage courant en marine, qui contribuèrent à établir que le naufrage eut lieu au siècle précédant l'ère chrétienne. Une grande partie des statues trouvées étaient des copies de chefs-d'oeuvre classiques, et, à juger d'après leur quantité, seul un souverain prodigue, comme Cléopâtre, qui au temps de sa liaison avec Antoine dépensa avec lui, comme on sait, des sommes immenses, fut en état de les acheter.

Que le navire naufragé ait été d'un grand tonnage, c'est ce que me font supposer quelques-uns de ses accessoires, aujourd'hui exposés au Musée d'Athènes, et qui n'ont pu appartenir qu'à un grand navire. L'ancre, par exemple, que montre la fig. 1. Elle était en plomb, et son poids était tel que les plongeurs durent la sectionner en quatre pour la soulever. Son poids peut être estimé à environ une tonne. Son bras mesure en tout 1,20 m et le trou par où passait le fût, 28 x 26 cm. Ce fût était de bois, mais n'a pas été récupéré. On a retrouvé un des bras du jas, que nous voyons au premier plan de la fig. 2. Il porte en relief le mot SOTIRA en grec, en écriture inversée. Ajoutant aux poids des quatre tronçons des bras, celui du jas entier, qui était aussi de plomb, l'anneau, etc, on peut évaluer à environ deux tonnes le poids total de l'ancre. D'après le rapport existant entre le poids de l'ancre et le tonnage, celui du navire naufragé devait correspondre, selon la règle adoptée pour la construction des navires en bois, à plus de 5000 tonnes, superstructure comprise.

Une preuve de la capacité du navire naufragé est donnée par l'épaisseur, (dix cm) de certaines poutres longues de trois m. et relevées en même temps que les blocs de marbre et des fragments du navire. L'état de conservation de ces boiseries est surprenant, après un séjour de plus de vingt siècles au fond de la mer. Des clous retrouvés qui ont une longueur de 40 cm, on peut déduire que l'épaisseur des flancs du navire était de 50 cm, structure comprise. La capacité du navire peut encore se calculer d'après le grand nombre des statues récupérées, placées à l'entrée du Musée Archéologique d'Athènes.

A la partie supérieure de la fig. 2 nous voyons trois pièces en forme de cône tronqué. Ces pièces, qui sont en plomb, et pèsent environ 30 kg chacune, devaient, je pense servir de sondes quand le navire, amenant ses voiles, se laissait entraîner par la tempête. Leur grand poids servait indubitablement à les tenir en position verticale durant leur immersion, afin que, en touchant le fond, elles marquent l'approche d'une côte. A partir de ce moment les navigateurs mesuraient le fond à l'aide de sondes ordinaires, comme aujourd'hui. Je crois que Luc l'Evangeliste a ce procédé en vue dans la description qu'on lit dans les Actes des Apôtres (XXVII-26-30).

La fig. 3 montre une autre ancre de plomb, sectionnée en deux. De celle-ci, on n'a récupéré que les bras, dont l'un est plus courbé que l'autre.

La fig. 4 représente quatre ornements de bronze, terminés par des têtes de lion, d'ours, de cheval et de femme. Leur exécution en paires fait penser que ce sont des ornements d'un lit à deux têtes. Elle montre en outre l'importance et la somptuosité du navire, somptuosité qui se retrouve en divers objets et dans sa verrerie, exposée dans les vitrines du Musée Archéologique d'Athènes.

Sous l'influence de l'eau de mer pendant vingt siècles, tous les objets récupérés étaient entourés de sable solidifié et de coquilles. Les petites pièces étaient en outre fossilisées. Dans les premiers jours du sauvetage on avait retiré de la mer un quadrige de marbre, de grandeur presque naturelle. Il formait, avec ses pétrifications, un bloc si volumineux et si pesant qu'il s'en fallut de peu, quand il arriva à la surface, qu'il ne fût chavirer le petit aviso grec envoyé pour récupérer le trésor. On dut le laisser retomber à la mer, et à partir de ce moment les plongeurs détachaient, au fond, le plus possible, les incrustations pour alléger les objets, avant de les envoyer à la surface. Pendant une de ces opérations, une partie des flancs et du pont du navire se scinda, ce qui provoqua sans doute la rupture du navire suspendu en porte-à-faux et en précipita une partie à la profondeur de 150 brasses, en déterminant la perte d'un trésor inestimable.

L'instrument nautique d'Anticythère.

Pour décrire en détails l'instrument d'Anticythère, il me faudrait un temps assez long. J'ai cru devoir me limiter à une brève relation, et développer celle-ci plus tard dans une brochure qui permettra aux savants d'étudier toutes ses particularités.

Des fragments récupérés, il résulte que la trouvaille d'Anticythère se composait d'un système compliqué de roues dentées, montées des deux côtés d'une platine de ~~laiton~~ cuivre qui servait de plan fixe. Cette platine portait d'un côté une roue de 105 mm de diamètre ϕ , et de l'autre une de 131 mm A. Cette roue A était commandée par une vis sans fin dont il n'existe plus que l'anneau de support de sa manivelle, qui permet d'estimer à 25 mm la hauteur de l'instrument, de ce côté.

Des trois fragments récupérés, le troisième en grandeur est un quart de disque portant des cannelures circulaires concentriques. Entre ces cannelures, on distingue les dents de friction de deux bras qui empêchaient le jeu des roues. Il reste aussi deux index, dont l'un servait à marquer la déclinaison du Soleil, et l'autre sa position réelle, et à 25 mm du centre du disque, un axe vertical portant des fragments de roues superposées.

Le disque de la roue A est découpé en croix, de façon à former quatre grands bras; il porte sur son limbe les petits supports d'un mécanisme à mouvement d'horlogerie qui fournissait, sur un quadrant, les indications astronomiques voulues par les navigateurs, au moyen d'index posés sur des anneaux à axes excentriques. Chaque planète devait avoir son quadrant, étant donné que la distance du centre de l'excentrique ~~xxxix~~ diffère, non seulement de celle du Soleil, mais aussi de celle des autres planètes. Autour de la roue A existent, attachés au plan fixe, des fragments de supports qui soutenaient la platine servant de quadrant.

Sur le second fragment se trouvait un anneau de 31 mm fixé sur une lame qui portait un trou où, comme on voit, s'attachait l'axe excentrique du troisième fragment avant la rupture de l'instrument. On peut dire que ce fragment faisait partie du mécanisme porté par la roue de 131 mm. Sur cette même lame se voit la trace d'un anneau excentrique.

La fig. 11 montre l'empreinte d'une circonférence de 135 mm de diamètre, divisée en degrés ou demi-degrés. Cette graduation était

destinée à donner, au moyen de l'index déjà mentionné, les coordonnées équinoxiales, comme on le déduit aussi du symbole de Lycava marqué sur le disque de l'anneau de 31 mm. Ce symbole est celui de l'année tropique solaire, qui s'indiquait par la lettre L écrite en sens inverse.

Sur le côté opposé du fragment qui contient la roue de 131 mm, on voit en autres un système de minces lames superposées, fixées ~~à~~ ~~fixées~~ sur le plan du disque. A ces lames étaient faits des trous destinés à maintenir en position stable les roues qui tournaient excentriquement l'une près de l'autre, sur des plans parallèles, roues dont les axes étaient distants l'un de l'autre de moins de leurs rayons. Cette disposition avait pour but de réaliser l'application de la théorie d'Apollonius sur le mouvement des centres des excentriques des diverses planètes, en un temps égal à la vitesse du Soleil.

J'ai reconstruit le mécanisme qui était porté par la roue de 131 mm en me basant sur les données exposées. Sur la base de la projection des centres des excentriques des planètes Mars, Jupiter et Saturne (et plus tard aussi de Venus) j'ai calculé les mesures des roues ~~que~~, guidées par l'anneau existant de 31 mm, j'ai fixé sur des tubes dont le bord supérieur formait de lui-même un anneau. En fait, après avoir placé les roues sur les trous des lames respectives, j'ai mis un tube dans l'autre, comme le montre la fig. 14, et j'ai fixé l'ensemble sur les petits supports de la roue A.

De ce côté, l'instrument peut donc fournir les coordonnées écliptiques et équinoxiales des corps célestes susmentionnés du système solaire. On obtenait ces coordonnées au moyen de deux index dont l'un avait un mouvement oscillant d'aller et retour. On voit les restes de ces index sur le troisième fragment de la fig. 5 et 6.

Le plan fixe du côté qui porte la roue θ de 105 mm porte en relief la lettre H^A qui symbolise la projection de l'orbite anomalistique de la lune sur le globe céleste.

De ce côté le plan mobile est constitué par le disque de la roue θ , conservé à demi, et de la moitié d'une roue dentée n d'environ 102 mm, attachée à θ . Sur le centre du disque subsiste la moitié d'une roue μ qui engraine avec une seconde roue δ du même diamètre, posée sur le plan de θ . Cette seconde roue δ est double, et celle qui est placée à la tête de l'axe porte, et fait corps avec un petit disque qui portait, près de son bord, un bouton, détaché lors du bris de l'instrument. Sur le plan de θ subsiste un des petits supports du mécanisme d'horlogerie, et sous le plan, sur l'axe de l'anneau n, la moitié de deux petites roues u et u₁.

Du mécanisme d'horlogerie soutenu par les petits supports o il ne reste que le fragment qu'on voit sur la fig. 12-13, constitué d'une petite lame sur laquelle sont collées, fortement comprimées, les roues que nous voyons.

Le bouton du disque μ^{δ} obligeait une lame-disque concentrique à θ et portant les lignes des apsides, à se déplacer alternativement d'un petit secteur, avec un mouvement modifiable irrégulièrement. L'index de la Lune, qui se mouvait sur son bord, donnait la déclinaison de la Lune.

Le dessin de la fig. 17 Montre le mécanisme reconstruit par moi.

L'appareil retrouvé donnait aux navigateurs tout ce que contenaient d'utile les éphémérides astronomiques, et les lamelles portant des inscriptions révèlent l'existence d'une science nautique chez les anciens.

Des résidus des inscriptions retrouvées, ceux de la fig. 6, qui se présentent à l'inverse d'une incrustation, parelent de roues superposées. Il s'agit évidemment de l'axe transmettant les mouvements des planètes, puisqu'on y lit le nom d'Aphrodite.

Les restes de l'inscription qui se trouve à côté de la fig. 10 se rapportent à l'oeuvre d'Hipparque, et servaient aux navigateurs pour trouver la latitude directement sur la platine, en utilisant l'identification des étoiles qui se levaient, passaient au méridien et culminaient(?) en même temps.

Les fragments de l'inscription 4 de la fig. 11 parlent du solstice, de sa distance des planètes, et donnent la position d'élongation du Soleil et des diverses planètes à l'époque, ainsi que leur déclinaison.

Les restes de la 5e inscription de cette même fig. 11 se rapportent aux excentriques, et ceux de la 3e, à partir de la 5e ligne, des nombres 4, 200, 75.5, moitié de... 123 et finissent en faisant mention de diverses projections, comme l'indique le dernier mot: EKLIPTIKI.

De ces inscriptions, trois ont été déchiffrées au début. L'archéologue Valerio Stais en a ajouté deux plus tard, et une encore, au début de mes recherches, par le spécialiste en inscriptions Leonardo, qui a précisé que les caractères de cette inscription étaient doriques, du second ou du premier siècle avant J.-C.

Ces inscriptions ont conduit à ma conviction inébranlable au sujet de la destination de ce merveilleux instrument, que j'ai reconstruit en me guidant sur le peu que j'ai vu, sans recourir à une imagination arbitraire. Pour cette modeste contribution de ma part à l'histoire de la science nautique, j'ai passé beaucoup de temps avant d'arriver à la vraie reconstruction, parce que je ne voulais pas me laisser induire par les connaissances de la science nautique d'aujourd'hui, qui m'auraient conduit à des conclusions malheureuses. J'ajoute en terminant cette partie de mon travail que l'instrument d'Anticythère exécutait tout ce que j'ai exposé.

DEUXIEME PARTIE

Navigation

L'idée que les navigateurs anciens faisaient de longs trajets, et aussi nombre de voyages d'exploration, mais qu'ils naviguaient sans connaissances et constamment le long des côtes, sans se risquer à la haute mer, est démentie par les auteurs antiques eux-mêmes. On peut citer des écrits d'Eratostène mentionnés par Strabon, de Diodore, de l'auteur ignoré que l'on suppose être Arianus, et de Saint Luc lui-même, dans la description de son voyage vers l'Italie.

Eratostène disait que si le volume de l'Atlantique n'était pas un obstacle, ses contemporains pourraient voyager sur un même parallèle de l'Ibérie à l'Océan Indien.

Plin mentionne que le fameux astronome Hipparque a calculé les différences des divers phénomènes pour chaque degré d'un méridien, de l'Equateur au Pôle Nord.

Les navigateurs avaient, déjà au 6e s. av. J.-C., à leur disposition, l'astrologie nautique de Thalès, et sept livres d'éphémérides nautiques, corrigées, elles aussi, comme le dit Pline, par Hipparque. Les éléments de ces éphémérides indiquaient les dates, les heures et les divers aspects du ciel. Les étoiles qui étaient indiquées comme portées sur le méridien en même temps que celles qui se levaient et qui culminaient, avec des déclinaisons différentes, servaient certainement à l'orientation vers le Nord, puisqu'en ce temps α Urs. min. était très distante du pôle et qu'il ne pouvait être possible de s'orienter d'après elle.

Dans des temps plus reculés, la division du ciel en constellations avait pour but unique la division du temps pendant le mouvement des astres. Le ciel était observé comme une horloge rotative ayant le pôle pour centre. Un simple coup-d'oeil suffisait donc à un navigateur pratique pour déterminer, pendant les nuits sereines, l'heure avec une approximation suffisante, et aussi facilement que nous la lisons sur un cadran d'horloge.

Jusqu'au 5e s. av. J.-C., on connaissait en tout 20 constellations boréales et 14 australes, outre les étoiles du Zodiaque. Hipparque, au 2e s. av. J.-C. en avait déjà catalogué 1080, et au 6e s. av. J.-C. le Zodiaque était déjà divisé en 12 parties égales.

Que les navigateurs aient été à même de trouver exactement l'azimut du Soleil quand ils naviguaient en haute mer, c'est prouvé par les connaissances qu'ils avaient sur la direction des vents, qui déjà était déterminée pour diverses applications marines. Il fallait la connaître, non seulement pour pouvoir suivre la voie la plus indiquée pour leur trajet, mais aussi pour savoir dans quelle direction était poussé le navire pendant les grandes tempêtes, alors que sous un ciel complètement couvert de nuages, ils étaient forcés d'amener les voiles et de se laisser traîner au vent.

La direction exacte des vents ne pouvait s'obtenir par des observations prises à terre, parce que tous les vents y subissent une déflexion due principalement aux montagnes. L'amiral Démosthène, trois siècles avant J.-C. réussit à établir la direction de quatre vents outre les quatre qui étaient alors fixés. Il obtint évidemment ce résultat grâce à la définition précise de l'azimut.

Erathostène prit de cet amiral les informations dont il eut besoin pour la compilation de sa Rose des Vents; non pas celle que nous appelons ainsi de nos jours, les 32 divisions équidistantes de la circonférence, portant les noms de vents dont la plupart ne soufflent jamais. Erathostène avait besoin, pour compléter les vraies directions des vents, de haute mer, de connaître les angles que ceux-ci faisaient avec le méridien, angles estimés par un savant nautique compétent.

La Rose des Vents d'Erathostène intéressait une grande zone marine, et probablement tout le bassin de la Méditerranée Orientale. Il devait y avoir une autre anémologie pour le bassin occidental, mais on ne l'a pas trouvée.

Beaucoup d'éléments prouvent le grand intérêt des astronomes anciens pour la science nautique, qui fut vulgarisée pour permettre aux navigateurs manquant d'instruction de contrôler en haute mer, la direction du navire, et de savoir à tout moment, d'un simple coup-d'oeil, la latitude et la distance parcourue par la nef.

Nulle part nous ne rencontrons des données sur le procédé employé par les anciens pour maintenir la ligne de navigation. On sous-entend qu'ils adoptaient de jour et par temps propice des instruments portant

ombre (Skiatherika horologia) et gradués, ainsi que des anémologues (Roses des Vents) dont les méridiens horizontaux (?) assuraient la horizontalité, comme on le fait aujourd'hui pour les boussoles.

L'astrolabe plan et la trisection de l'angle.

Comme on le sait, la description de l'astrolabe plan faite par Jean Philoponos d'Alexandrie, et publiée dans le Rheinisches Museum en 1838, a mis un terme aux discussions des divers pseudo-savants qui soutenaient que l'astrolabe plan était une invention arabe, bien que Vitruve, dans sa relation sur l'astrolabe plan le qualifie d'instrument antérieur à son époque, et l'attribue à l'astronome Eudoxe, au 4^e s. av. J.-C., ou à Apollonius, au 3^e s., et malgré que Ptolémée, au 2^e s. de l'ère chrétienne, en donnant les données mathématiques relatives à la construction des astrologes (sic) plans confirme que leur inventeur fut le fameux Hipparque, qui vivait au 2^e s. av. J.-C.

Du temps d'Hipparque, les navigateurs experts résolvaient, à mon avis, graphiquement avec précision les problèmes de la définition de l'heure et de l'azimut, au moyen de la règle et du compas, tandis que l'instrument connu sous le nom d'astrolabe plan bien que basé sur les mêmes principes, résolut ces problèmes *grasso modo* à cause de ses petites dimensions. Celui-ci se construisait certainement pour les navigateurs sans instruction, et ne prétendait pas à une précision absolue.

Que les problèmes de mesure des angles aient été résolus par les navigateurs au moyen de la règle et du compas, je le déduis du problème de la trisection de l'angle. J'ai prêté grande attention à ce problème, pensant que si on a trouvé, cinq siècles av. J.-C. la méthode de l'école de Platon, et au 4^e s. av. J.-C. la courbe d'Hippias, la solution de ce problème était nécessaire aux astronomes pour mesurer exactement la distance zénitale des corps célestes.

Et comme les dimensions des astrolabes plans ne suffisaient pas à marquer même les 360 degrés, je suis porté à une déduction personnelle, que les navigateurs experts utilisaient des instruments altimétriques de dimensions supérieures à celles des astrolabes plans, instruments qui n'étaient pas, comme ces derniers: des instruments logistiques.

Détermination de l'heure et de l'azimut par la règle et le compas.

Pour déterminer l'heure et l'azimut, je suppose que les navigateurs pour faciliter leur construction graphique, disposaient d'un disque de cuivre sur lequel était gravée - au moins - une circonférence graduée en degrés et demi-degrés, comme celle qui se voit sur les fragments récupérés.

Après avoir tracé une circonférence de rayon égal à celui du prototype, ils traçaient deux lignes perpendiculaires pour indiquer les quatre points de l'horizon. Ensuite, s'ils voulaient calculer l'heure, ils prenaient au compas, sur le disque de cuivre, l'ouverture des degrés et fractions de degrés de la latitude, et si celle-ci était boréale - comme elle l'était toujours - ils la marquaient en-dessous du Nord, déterminant ainsi le Zénith.

Ils prenaient ensuite au compas, sur le disque de cuivre, l'ouverture correspondant à la distance zénitale et la marquaient des deux côtés du zénith, établissant ainsi deux points dont ils marquaient la projection stéréographique sur la ligne Nord-Sud, et par ces deux

~~Points~~

points ils décrivaient une circonférence. Du sommet de la perpendiculaire à la ligne N-S comme centre, et avec comme rayon la distance polaire (dont ils prenaient au compas l'ouverture de la même façon), ils marquaient sur la circonférence externe la projection de l'astre. Ils prenaient ensuite la projection stéréographique de ce point sur la ligne N.-S, et avec le centre de la circonférence externe comme centre et la distance de la susdite projection du centre comme rayon, ils décrivaient un arc qui coupait la projection du cercle de hauteur. Si l'observation se faisait avant midi, ils joignaient le point de la section située sur la ligne N-S au centre, et la prolongeaient jusqu'à la circonférence externe. L'ouverture de compas, de l'extrémité de cette droite jusqu'au Sud, prise sur le disque de cuivre, donnait l'heure. Pour obtenir l'heure conventionnelle, l'heure KAIPIKH, ils procédaient conformément à la règle d'Ipsiclès (fig. 21).

Pour trouver l'azimut, on procédait de la même façon, avec cette différence qu'on utilisait les degrés et fractions de degrés de la latitude, pour localiser, au dessus du Nord, le pôle, et les degrés de la distance polaire des deux côtés, et la projection stéréographique des deux points, le diamètre permettant de tracer une circonférence figurant le cercle d'inclinaison de l'astre. On prenait alors, de la même façon, de l'extrémité de la perpendiculaire sur la ligne N-S (qui marquait donc le zénith), la distance zénitale, et sa projection stéréographique sur la ligne N-S. Enfin, avec comme rayon la distance de cette dernière projection du centre de la circonférence primitive, ils décrivaient depuis ce centre une circonférence qui coupait la projection du cercle de hauteur en deux points. Si l'observation se faisait vers le levant, on unissait le centre au point d'intersection situé vers le levant et l'on prolongeait cette ligne jusqu'à la circonférence externe. Puis on prenaient au compas l'ouverture du Nord à ce dernier point et on lisait sur le cercle de cuivre le degré de l'azimut (fig. 22).

Pour trouver de cette façon l'azimut durant tout le trajet, le navigateur pouvait utiliser la même feuille, en se limitant à prendre sur la ligne N-S, chaque fois, la projection de la distance zénitale.

Il résulte de ce qui précède que les navigateurs calculaient l'heure et l'azimut à la règle et au compas et obtenaient exactement la distance zénitale par l'observation ~~du Soleil~~ du Soleil ou d'un astre, de la façon sus-expliquée.

Géographie.

Les erreurs considérables contenues dans l'oeuvre de Ptolémée : GEOGRAFIKA, pour les coordonnées des divers lieux de la Terre, sont dues, comme on sait, au fait qu'il se servait pour porter les divers lieux sur sa projection, des données du géographe Marin de Tyr, du 1er s. av. J.-C. La projection conique en éventail inventée par Ptolémée était bien exacte, mathématiquement, et donnait les coordonnées et les distances, mais elle ne marquait pas les directions d'un lieu à l'autre et n'était donc pas utile aux navigateurs.

Marin adopta pour ses cartes un système propre de réseau rectangulaire, protogone, sans aucune base mathématique, inutile aux navigateurs. Il la fit d'inspiration arbitraire, en se servant d'une ~~échelle~~ échelle pour mesurer sur ses cartes les distances, directement. Les cartes en projection stéréographique, alors en usage, dues à l'immortel Hipparque, portaient les coordonnées et la direction des lieux,

mais ne donnaient pas les distances. Marin mit sur ses cartes les coordonnées des lieux en les prenant d'après les données des cartes d'Hipparque, dont ils adopta aussi d'abord la longueur d'une ^{minute} ~~petite~~ ~~fraction~~ du méridien terrestre. Mais pendant l'élaboration de son système, Marin se décida en faveur d'une nouvelle mensuration de l'arc de méridien, faite par Posidonius, et admise sans discussion par l'école alexandrine. Sans apporter les réductions nécessaires aux calculs (anagôgas) il changea les données d'Hipparque, qui fixaient la longueur d'une minute à 728 stades, et calcula sur les bases de la mensuration de Posidonius, c.à d. 500 stades. Il créa ainsi une confusion; Ptolémée, mettant sur ses cartes les distances des cartes de Marin telles quelles, prolongea cette confusion. Tout ceci résulte du rapport fait en 1804 par l'astronome français Gosselin.

Pour placer sur sa projection les divers lieux de la Terre, Hipparque se servit des données des cartes d'Eratosthène, ainsi que de celles rapportées par divers navigateurs depuis le temps d'Eratosthène jusqu'à son propre temps. Mais, soit qu'il ignorât la mesure de l'arc de méridien faite par Eratosthène, soit qu'il refusât de l'accepter, Hipparque adopta une mensuration propre et nouvelle, qui donnait 728 stades à la minute, au lieu de 700 que calcula Eratosthène. En fait, les calculs faits, il changea sur sa carte les données d'Eratosthène.

La longueur de l'arc de méridien calculée par Eratosthène avait l'exactitude d'aujourd'hui. Evidemment Hipparque ne se basa pas sur la mesure d'Eratosthène avec l'idée de rendre plus parfaite son oeuvre. On ne saura jamais quelle fut l'erreur commise par Hipparque pendant cette mensuration. Ce qui est certain, c'est que malgré l'adoption d'une autre longueur pour la minute d'arc, il ne récusa pas les données de la carte d'Eratosthène. Il se borna à les calculer sur la base de son unité, changeant ainsi les données exactes contenues sur la carte d'Eratosthène. Relativement aux données d'Eratosthène et en tenant compte des erreurs contenues dans les distances de nombreux lieux connus alors, Gosselin montra en 1804: que toutes les distances erronées de la carte d'Eratosthène furent mesurées, avec une exactitude surprenante, par des observations astronomiques; que les données furent prises avec une autre échelle; que la personne qui les inscrivit, le fit sans attention, sans convertir d'abord les unités qui avaient servi à ces mesures en stades alexandrins. En divers lieux s'employaient diverses unités de longueur, comme il arrive encore de nos jours, et le stade alexandrin différait de celui des autres régions helléniques.

Gosselin, ignorant évidemment qu'Eratosthène avait mesuré la longueur de l'arc de méridien sur la base des tableaux, rigoureusement exacts, du cadastre égyptien, en déprécia la valeur, assurant qu'un tel travail n'avait pu être fait que par des astronomes babyloniens ou égyptiens. Pour le même motif, il lui attribua injustement les erreurs grossières d'inscription des données des navigateurs sur ses cartes sans conversion préalable des unités, en s'étonnant de ce qu'Hipparque ait pu accepter les données de ces cartes.

Pourtant les données des cartes d'Eratosthène sont merveille, dès que Gosselin rétablit convenablement les diverses unités. Des limites occidentales d'Espagne jusqu'au Gange, sur toute la longueur, leur précision montre qu'elles furent exécutées d'après des observations astronomiques absolument parfaites. Si on excepte les Bordes Caspiennes dont la distance aux Colonnes d'Hercule (Gibraltar) présente une différence de 37', la différence de toutes les autres ne dépasse pas 19'.

Gosselin confond la science avec ses applications. Il ne pense pas qu'Hipparque, qui vers 130 av. J.-C. avait découvert le phénomène de la précession, était incapable de commettre une erreur aussi grande que d'admettre sans contrôle les ~~xxxx~~ données de ses prédécesseurs. Absorbé dans ses propres réflexions, après son remarquable travail de restauration de la vérité en géographie, Gosselin nia qu'Hipparque ait créé la trigonométrie sphérique, qu'il considérait exclusivement le calcul des distances des lieux dont on connaissait les coordonnées. Il ne remarqua pas la valeur de la projection stéréographique d'Hipparque pour la solution des problèmes de navigation; il ne vit que son application aux questions géographiques. Se basant sur les erreurs des données des cartes d'Hipparque découvertes par lui, Gosselin porta ailleurs son attention.

A la suite de cette erreur fondamentale de Gosselin, ses contemporains, et ceux qui s'occupaient de cette question, crurent qu'elle se terminait au point où Gosselin l'avait laissée. La conséquence des conclusions de Gosselin fut le refus absolu des spécialistes d'admettre l'emploi, sur les navires, des horloges anaphoriques, tant décrites et mentionnées depuis le premier siècle avant J.-C.

Leur plus grande erreur fut de s'orienter vers la méthode de détermination des longitudes décrite par Ptolémée, méthode basée sur les éclipses de lune, sans penser:

- 1) que ce procédé existait déjà avant Hipparque et se montra inapplicable;
- 2) qu'ils attribuaient à Ptolémée une valeur supérieure à celle qu'il avait réellement;
- 3) que les erreurs des cartes d'Hipparque ne lui étaient pas dues, mais bien à ceux qui pensèrent, après sa mort, à utiliser sa projection stéréographique;
- 4) qu'à l'égard de la navigation, les constructions géométriques d'Hipparque dispensaient les navigateurs de se servir de cartes marines, dès qu'ils connaissaient les coordonnées des divers lieux de la Terre;
- 5) que, étant donné l'important progrès de la science, et l'existence, avant Hipparque, d'horloges hydrauliques, portées à perfection, il était impossible qu'Hipparque, vrai inventeur de la longitude en tant que coordonnée, n'eût pas appliqué pour la transformation des temps le théorème fondamental qui permettait au navigateur de trouver la longitude du navire au moyen de l'horloge anaphorique.

Les horloges anaphoriques.

L'existence à bord des navires d'horloges anaphoriques, et par suite la mesure de la différence de longitude géographique par la comparaison des heures synchrones de deux lieux est prouvée par les restes de l'inscription 3 de la fig. 11.

Les horloges d'hiver, dites clepsydres, étaient utilisées longtemps avant Hipparque. Leptine, qui vécut une ou deux générations avant Hipparque, soutient bien d'une part que tant les clepsydres que les instruments à flux d'eau, à part la mesure de deux intervalles égaux de temps, étaient presque incapables de mesurer le temps. Mais d'autre part il déclare que la fixation des phases des planètes fixes (?) est due aux clepsydres. Leptine, parlant ainsi, se contredit lui-même.

Claude Ptolémée n'admet pas, dans l'introduction de son *Almageste*,

l'exactitude absolue des horloges hydrauliques, et attribue leurs erreurs aux anomalies éventuelles du flux de l'eau. Il avait en vue évidemment, les anomalies provenant des altérations du diamètre des tubes par incrustation.

Vitruve a écrit au sujet des horloges anaphoriques, en les appelant horloges d'hiver, d'un nouveau type.

Les horloges anaphoriques, comme le laisse entendre leur nom, ne donnaient pas le temps du lieu d'observation, mais celui d'un autre lieu. Elles auraient été dénommées anaphoriques du temps d'Hipparque, époque où, au moyen de la projection stéréographique on obtenait facilement le calcul de l'heure, et elles étaient destinées à donner ~~le temps moyen d'un lieu donné~~ le temps moyen d'un lieu donné. Cette déduction est confirmée par le fait qu'au temps d'Hipparque, on utilisait pour la conversion des intervalles chronométriques l'équation de temps (Prostaphérèse).

Je crois que Ptolémée dit ce qu'il dit en pensant aux horloges hydrauliques de mer, et non de terre, à la suite d'une comparaison des longitudes d'un même lieu données par sa Géographie et par divers navigateurs, ou tout au moins, d'une comparaison des éléments nombreux fournis par les géographes antérieurs. Les coordonnées fournies par les divers navigateurs différaient parce qu'il n'était certainement pas facile d'observer les distances zénitales exactes pendant la navigation. L'évaluation de l'angle à mesurer se ferait, grosso modo, avec une approximation de 10' au plus, pour autant qu'on usât d'instruments plus grands que l'astrolabe décrit par Jean Philoponos, ou astrolabe arabe, dont les graduations se faisaient en degrés et demi-degrés.

Ici, je dois exprimer ma surprise du fait que les inventions d'Héron sur la vapeur, et celles de Ctésibius et d'autres savants alexandrins sur l'air comprimé n'aient eu aucune suite. On ne s'explique pas comment, pendant dix-sept siècles, il n'y eut aucune recherche ultérieure à ce sujet.

Il subsiste peu d'ouvrages décrivant l'histoire des sciences mathématiques et astronomiques pendant l'époque qui précéda et suivit Hipparque. En outre, les oeuvres conservées sont dues à des écrivains incompetents. Les astronomes et mathématiciens grecs travaillaient sur la base de leurs découvertes en géométrie, conscients du niveau élevé de leur science. Ils découvrirent la vérité dans leur travail, mais leurs ~~résultats~~ résultats furent cachés par l'ineptie de leurs successeurs immédiats.

La plus grande partie de l'oeuvre d'Hipparque est perdue, et la plus grande partie de ce qui est sauvé le fut par Ptolémée; par lui, les honneurs qui lui sont dûs sont rendus. Mais Ptolémée se tait sur ce qui concerne la navigation. Par son insistance à déterminer les longitudes au moyen des éclipses, insistance due certainement à la nécessité d'avoir une exactitude absolue sur les coordonnées géographiques, il aboutit au manque de toute indication sur les calculs nautiques. On n'en parlerait plus aujourd'hui si l'on n'avait trouvé les restes de l'inscription projetée.

A l'appui des conclusions sur la perfection et le rendement de l'instrument et sur les points de vue exposés, je ferai deux observations: Primo: que cet instrument fait application du "tétrakoruphon" (carré) que les mathématiciens du 18e s. présentèrent comme un travail neuf;

toujours à la suite des travaux faits au 3^e s. avant notre ère par les harmonies analogiques, alors qu'on sait que ce thème fut épuisé par Apollonius. Secundo, que les roues dentées n'ont pas été mises là pour servir simplement à une nécessité donnée, mais que leurs centres et leurs rayons ont été calculés sur la base d'une projection stéréographique de l'écliptique du Soleil et des écliptiques des autres planètes sur le plan du Tropique du Capricorne, d'où ont été prises les distances et établies les positions des centres.

Je termine ma conférence devant cette illustre assemblée en exprimant la conviction que les anciens Romains, dont le mouvement maritime fut énorme et s'étendit aux lieux les plus lointains de la Terre connue alors, ont utilisé des méthodes de navigation semblables, sinon les mêmes. Les écrits de Pline et d'autres écrivains antiques sur l'astronomie me permettent cette conviction.

F I G U R E S

- 1.- Ancre en plomb (photo).
- 2.- Fragment d'ancre et plombs de sonde (photo).
- 3.- Ancre en plomb (photo).
- 4.- Ornements en bronze (photo).
- 5.- Photo d'un fragment
- 6.- Schéma du même (v. Praktika fig. 2)
- 7.- Photo d'un autre fragment
- 8.- Schéma du même (v. Praktika fig. 1bis)
- 9.- Photo d'un troisième fragment (v. Zinner, Copp. Lehre fig. 13)
- 10.- Schéma du même (v. Praktika fig. 3)
- 11.- Schéma d'un fragment (v. Praktika fig. 4)
- 12.- Photo d'un fragment (illisible)
- 13.- Schéma d'un jeu de rouages interprétant la précédente photo.
- 14.- Schéma d'un système mécanique (v. Praktika fig. A a p. 147)
- 15.- Photo de l'autre face du fragment fig. 7 (v. Zinner fig. 12)
- 16.- Schéma général de reconstitution (v. Praktika fig. C p. 148)
- 17.- La même. 17a.- Détail 17b Tracé des divisions de l'écliptique
- 18.- Analogue à Praktika fig. 5 et B p. 147
- 19.- v. Praktika fig. A p. 146
- 20.- v. Praktika fig. 5
- 21.- Tracé stéréographique d'un point de latitude donnée
- 22.- D° pour la déclinaison et l'azimut

Traduit par H.Michel, Août 1955

Communication introductive sur la trouvaille d'Anticythère et les communications de Mr. Theophanidis, par Mr. Maltezos.

On sait qu'il y a 32 ans, on a retrouvé, entre autres débris d'un bateau naufragé au large d'Anticythère, un instrument de cuivre unique en son genre, exposé actuellement au Musée Archéologique Central. De très fragiles lamelles de cuivre, retrouvées presque à l'état de poussière, entouraient la boîte de cet instrument, dans laquelle se trouvait tout un système de roues dentées, dont quelques-unes étaient particulièrement conservées.

En ce qui concerne l'époque de ce naufrage et la destination de cet instrument, plusieurs savants grecs et étrangers ont longuement disserté. D'une étude de V. Staï (Les trouvailles d'Anticythère 1905) il résulte clairement que le naufrage eut lieu pendant le 1er siècle avant J.-C. L'instrument en question est donc contemporain ou antérieur au dit naufrage, et date peut-être du 2e siècle av. J.-C. En toute probabilité, il appartient à l'époque d'Hipparque.

D'après les rares inscriptions qui ont pu être déchiffrées sur le couvercle de l'instrument, et dont certaines constituent des instructions pour son usage, il est très probable qu'il s'agit d'un engin astronomique à l'usage de la navigation, et non d'un instrument transporté à titre de simple curiosité.

Mais comme ces débris offrent aux chercheurs, dans l'état où ils sont, peu d'éléments permettant une conviction sur leur usage et leur emploi, des avis très divers ont été exprimés par ces savants.

Quelques-uns (Svoronos et Rediadis) le considèrent comme un astrolabe plan, et en raison des roues dentées, comme un astrolabe mécanique. D'autres suggèrent d'en faire une horloge anaphorique; d'autres encore un dromomètre mécanique. Quant au professeur Alb. Rem, professeur de philologie classique à Munich, il le considère comme un planetarium, planisphère ou mappe-monde d'Archimède, dont la substructure montre, par un système de roues dentées, l'emplacement des planètes, du Soleil et de la Lune. A cet avis se sont ralliés l'archéologue G. Karo et l'historien K. Rados.

Il est fort probable que Ptolémée avait sous les yeux un instrument de ce genre quand il écrivit son chapitre "Hypothèses sur les mouvements circulaires terrestre et célestes".

Ceux qui s'intéressent à ce genre de trouvailles, hormis Rediadis et quelques autres, sont surtout des historiens. Le Vice-Amiral Theophanides est non seulement arrivé aux mêmes conclusions sur le genre d'application de la trouvaille d'Anticythère, mais il a construit un instrument qui, selon lui, est une exacte reconstitution de l'instrument ancien. L'instrument de Theophanidis montre l'écliptique, le méridien et les éléments du système solaire; c'est donc une mécanique qui donne la position des planètes connues alors, et celle du Soleil et de la Lune pour n'importe quel jour.

Essayé par une commission de l'Académie, l'instrument a répondu aux résultats attendus, d'une manière relativement précise et sensiblement équivalente aux données des bulletins astronomiques.

Les signes gravés au 6e degré de l'une des lames, les signes du Zodiaque, un fragment de lamelle graduée en demi-degrés et d'autres lames gravées permettent de conclure à un instrument de calcul de l'heure et de l'azimut. Il est basé sur la projection stéréographique de la sphère céleste sur le tropique du Capricorne et permet l'orientation des bateaux de nuit, par l'observation du lever et du coucher des astres. Cet instrument serait donc, selon les recherches de Theophanidis, un planetarium et aussi une horloge. Ce chercheur, se basant sur les éléments constitutifs de l'instrument, montre comment une horloge anaphorique permet de déterminer la longitude géographique du navire.

Guidé par les inscriptions qui ont subsisté et par son expérience personnelle, il arrive à la conclusion que le bateau portait aussi une horloge anaphorique, et que les navigateurs de l'antiquité savaient préciser le point en bateau.

J'hésite à admettre, pour des raisons bien connues, que les navigateurs savaient, dès le 1er siècle av. J.-C., déterminer la longitude pendant la navigation.

Enfin, grâce à une autre inscription gravée qui a subsisté sur la même lame, et qu'a notée Theophanidis, il est parvenu à construire une autre plaque qui résoud directement le problème. La même construction semble avoir été mentionnée par Vitruve, sous le nom de ploognômona (indicateur du sens de la navigation)

Trad. Mme Gripekoven-Tombroff