

## Sciences géographiques, connaissance du monde et conception de l'Univers dans l'Antiquité

*par Raymond d'Hollander, ingénieur général géographe*

### 2. SCIENCES GEOGRAPHIQUES DURANT LA PERIODE GRECQUE (SUITE)

#### CHAPITRE 5. ARISTOTE - ALEXANDRE LE GRAND ET L'EXTENSION DE L'ŒCUMÈNE

##### 5.1 Aristote (384-322)

Il n'est pas question d'analyser ici l'ensemble de l'œuvre immense d'**Aristote**, mais nous limiterons notre étude à l'impact qu'il a eu sur les Sciences géographiques.

Aristote naquit en 384 ou 383 avant J.C. à Stagire, colonie grecque de Thrace, ce qui lui vaut quelque fois l'appellation de «stagirite». Dans sa jeunesse il vint à Athènes, où il fut élève de Platon; il ne quittera l'Académie fondée par Platon qu'à la mort de ce dernier.

En 343 ou 342 avant J.C. le roi **Philippe de Macédoine** le fit venir à sa cour de Pella pour faire l'éducation de son fils Alexandre; Aristote avait une quarantaine d'années, Alexandre en avait 13.

Six ans plus tard, après la mort de Philippe et l'avènement d'Alexandre, Aristote rejoignit Athènes et y fonda son école dans un gymnase consacré à Apollon Lycéen, d'où le nom de «lycée» donné à cette école, qui supplantera l'Académie de Platon déclinante.

L'enseignement s'y donnait «ex cathédra», mais se poursuivait en promenades du maître et de ses disciples, ce qui explique le nom de «péripatéticiens» qui leur a été donné, ainsi que «d'école péripatéticienne» attribué à l'école d'Aristote.

L'œuvre d'Aristote comprend trois groupes d'ouvrages :

- Les traités logiques réunis sous le titre collectif «d'organon».
- L'histoire naturelle.
- Les physiques :
  - «La Physique» en 8 livres,
  - «De la création et de la corruption» en 2 livres,
  - «Du ciel » ou «De Caelo» en 4 livres
  - «Les météorologiques» en 4 livres,

et peut-être un traité «Du Monde», dont on n'est pas sûr qu'il soit de lui.

Au point de vue conception générale de la Science, Aristote se différencie assez nettement de **Platon**. Selon Aristote les concepts scientifiques que nous élaborons ne sont pas en nous à l'état latent; ils résultent de l'**expérience**, d'où la grande place accordée dans l'école péripatéticienne à l'observation, qui était très peu à l'honneur dans l'Académie de Platon.

Autre différence en ce qui concerne les Mathématiques, qui jouent un rôle dominant chez Platon, alors que pour Aristote elles ne sont qu'un instrument pour la Science; par contre la Physique, dans laquelle Aristote inclut l'Astronomie, tient dans les Sciences une place prépondérante.

##### 5.1.1 La physique d'Aristote

Aristote, comme Platon, divise l'Univers en deux parties :

- le monde sublunaire soumis aux changements,
- le monde céleste immuable.

Dans le monde sublunaire, Aristote reprend le schéma d'Empédocle des quatre éléments qui ne sont pas des corps premiers, mais les aspects d'une substance unique : «la matière», qui peut revêtir plusieurs formes, qui sont ses «puissances». Elles sont tributaires de quatre qualités : le froid, le chaud, le sec, l'humide, dont l'association donne :  $C_4^2 = 6$  combinaisons; deux d'entre elles sont à exclure :

le froid-chaud, le sec-humide.

Restent donc :

- le froid-sec, attribué à la terre,
- le froid-humide, attribué à l'eau,
- le chaud-humide, attribué à l'air,
- le chaud-sec, attribué au feu.

Les quatre éléments : terre, eau, air, feu, donnent naissance à tous les corps de la nature, selon une formule de permutation circulaire; c'est ainsi que le chaud-sec ne peut provenir du chaud-humide. En outre Aristote admet un 5e élément ou 5e essence : «l'éther» au-dessus de la sphère du feu (voir ci-après).

Les sphères de la terre, de l'eau, de l'air et du feu sont disposées concentriquement du plus pesant en bas : la terre, au plus léger : le feu, en haut.

Chaque élément a son lieu naturel, qu'il s'efforce de rejoindre lorsqu'il ne s'y trouve pas. Les quatre éléments sont souvent mélangés, mais si un élément se trouve dans le lieu d'un élément plus lourd que lui, il prendra un mouvement de bas en haut pour rejoindre son lieu naturel ; ce sera l'inverse pour un élément qui se trouve dans le lieu d'un élément plus léger : il prendra un mouvement de haut en bas.

En bon naturaliste Aristote voyait un but dans tout changement et mouvement : une pierre tombe sur le sol parce que c'est sa «place naturelle».

Un objet se déplaçant de A à B ne peut atteindre B qu'avec l'aide d'un moteur actif : «Tout ce qui est en mouvement doit être mû», affirmation aussi simple que fautive et qui constituera une entrave sérieuse aux progrès de la mécanique.

D'après Aristote une flèche devrait tomber au sol dès qu'elle perd le contact de son «moteur» : la tension de la corde de l'arc. Le refus de voir que les corps en mouvement tendent à rester en mouvement, à moins d'être arrêtés ou détournés, empêcha la naissance d'une vraie science physique jusqu'à Galilée.

Un mouvement simple est celui de la chute d'un corps. Aristote estime que les durées des chutes de deux corps sont en raison inverse de leurs poids. Si un poids P tombe en un temps T, un poids 2P doit tomber en un temps T/2. Il faudra attendre l'expérience de Galilée à la Tour de Pise pour infirmer cette proposition d'Aristote.

### 5.1.2 Le système du monde d'Aristote

Pour Aristote l'Univers est limité et clos. Le dernier ciel est une limite absolue, au-delà de laquelle il n'y a pas de lieu. Alors que les derniers Pythagoriciens avaient lancé la Terre dans l'espace, Aristote, qui connaît pourtant bien l'hypothèse de **Philolaos**, place la Terre immobile au centre de l'Univers ; autour de la Terre s'étagent les sphères de l'eau, de l'air et du feu, chacun de ces éléments ayant son lieu propre. Leur ensemble forme le monde sublunaire ; au dessus de la sphère de la Lune s'étend la région de l'éther incorruptible et huit autres sphères célestes transparentes et concentriques : celles des deux planètes inférieures, du Soleil, des trois planètes supérieures, celle des étoiles fixes et enfin celle du «Premier moteur», qui fait tourner toute la machine. La sphère ultime du «Premier moteur» étant un corps matériel, son mouvement ne peut être spontané. Aristote imagine la présence d'un moteur fait d'une substance immatérielle obéissant à un acte pur ou d'amour (divin).

Quel est le devenir et la fin de ce mouvement ? La réponse est empruntée à **Héraclite**, **Empédocle** et Platon. Alors qu'il imagine l'Univers clos, Aristote admet le monde éternel, d'une éternité faite de grands cycles. Nous avons vu (en 4.6) les modifications qu'il a apportées au système des sphères homocentriques d'Eudoxe, déjà revu et corrigé par Callippe, au total 56 sphères, agencées de manière que leurs mouvements soient périodiques. Au bout d'un certain temps l'ensemble du ciel retrouve un ordre initial et tout recommence.

Reprenant le mythe platonicien, le monde sublunaire est selon Aristote soumis aux changements dus aux transformations des éléments, synonymes de dégénérescence et de corruption. Mais au dessus de la sphère de la Lune les cieux se maintiennent éternels, inaltérables ; on y trouve le 5e élément : «l'éther», d'autant plus immuable et pur que l'on s'éloigne de la sphère de la Lune.

Cette division de l'Univers en deux parties : l'une méprisable soumise aux changements et aux dégradations, l'autre d'essence divine constituera la base de la cosmologie médiévale.

Il convient toutefois de préciser que l'œuvre d'Aristote, accompagnée de commentaires du philosophe arabe **Averroës** n'est parvenue à Paris qu'au 13e siècle, alors que le christianisme est encore imprégné du platonisme de **Saint Augustin**. Certains esprits se sont mal accommodés du difficile équilibre entre l'Aristotélisme (la raison) et le Christianisme (la foi), de sorte que la pénétration d'Aristote suscita une certaine résistance de l'Eglise, comme en témoigne la condamnation d'Aristote par l'évêque **Etienne Tempier**, à Paris en 1277.

La division de l'Univers en deux parties : le monde sublunaire et le monde céleste permettait à Aristote, d'après **Arthur Koestler** (Bibl. 5) de résoudre le dilemme provoqué par les philosophies opposées d'Héraclite (550-480) et de Parménide (515-440).

Héraclite (voir 2.243) regardait l'Univers comme le produit des forces dynamiques d'un flux éternel, selon un processus continu de changements.

A l'opposé Parménide (voir 2.41) enseignait que tout changement n'est qu'une illusion, car ce qui existe ne peut naître de ce qui n'existe pas, ni de ce qui diffère.

Pour Héraclite «tout s'écroule», pour Parménide «rien ne change jamais».

Il est évident que la cosmologie d'Aristote

donnait raison à Héraclite pour le monde sublunaire et à Parménide pour tout ce qui est au dessus de la sphère de la Lune.

### 5.1.3 La Géographie d'Aristote

#### A la terre, l'extension de l'œcumène

Aristote est le premier philosophe grec à exposer les arguments pour prouver la sphéricité terrestre :

- l'argument géocentrique : les corps de l'Univers se dirigent naturellement vers son centre, donc vers la Terre qui est sphérique,
- les particules terrestres, par suite de la pesanteur, s'agglomèrent autour du centre d'une manière égale, d'où la forme sphérique,
- dans les éclipses de Lune l'ombre de la Terre sur la Lune a une forme circulaire.

Dans son traité «Du ciel» Aristote indique : «Les mathématiciens qui cherchent à déterminer la grandeur du globe terrestre lui donnent environ 400 000 stades de tour». Il est très vraisemblable que cette détermination de la circonférence terrestre soit due à Eudoxe (voir 4.31).

Dans ses «Météorologiques» Aristote décrit comme suit la forme et les dimensions de l'œcumène grec : «On représente d'une manière ridicule le contour de la terre habitée, lorsqu'on lui donne une forme circulaire. Que la terre habitée ne puisse avoir cette forme, c'est ce que démontre à la fois le raisonnement et l'expérience. Les voyages de terre et de mer nous montrent en effet que la zone habitable est resserrée dans sa largeur, d'un côté par la «zone polaire»\*, de l'autre par la zone tropicale, l'une et l'autre inhabitables, tandis que dans le sens de sa longueur (de l'Est à l'Ouest), la zone tempérée embrasse le tour entier de la Terre, et qu'elle serait partout propre à l'habitation de l'homme, si la mer n'interrompait pas la continuité des terres. La Terre habitable a donc une étendue beaucoup plus grande en longueur qu'en largeur. L'intervalle compris entre les Colonnes d'Hercule et l'Inde est à l'espace qui s'étend depuis l'Éthiopie jusqu'à la Méotide (Mer d'Azov) et aux parties extrêmes de la Scythie, comme cinq, et même un peu plus, est à trois, autant du moins que les voyages terrestres et maritimes peuvent fournir des éléments certains pour les déterminations de cette nature. La portion habitée de la Terre a été, en effet, explorée dans le sens de sa largeur jusqu'aux lieux où elle cesse d'être habitable».

Y a-t-il une allusion au voyage de **Pythéas** dans cette dernière phrase ? La réponse donnée

\* Cette «zone polaire» a pour limite le parallèle 54° (voir Eudoxe 4.34).

par certains historiens est affirmative, parce que, plus loin, Aristote signale que la constellation de la «Couronne» (boréale) ne se couche jamais dans les pays situés à l'extrémité de la zone habitable ; ces historiens supposent que cette observation aurait été faite par **Pythéas**. Mais on s'étonne alors qu'Aristote ne cite pas Thulé lorsqu'il traite de l'extension de l'œcumène en latitude.

En ce qui concerne les rapports : différence de longitude à différence de latitude de l'œcumène, ils ont varié sensiblement de Démocrite à Ptolémée :

• Démocrite .....	3/2	
• Eudoxe .....	2	
• Aristote («les Météorologiques») .....	5/3	
• Aristote (Traité «Du Monde»)* .....	7/4	(70 000 stades sur 40 000 stades)
• Dicéarque .....	3/2	= 1,50
• Posidonius .....	7/4	= 1,75
• Marin de Tyr .....	225/86,5	= 2,60
• Ptolémée .....	180/79,25	= 2,27

Aristote termine son exposé général de la Terre habitable par : «il ne paraît pas que les parties (de la zone tempérée) qui sont au delà de l'Inde d'un côté et de l'autre, au delà des colonnes d'Hercule, se rejoignent de manière à former un tout continu de terre habitée».

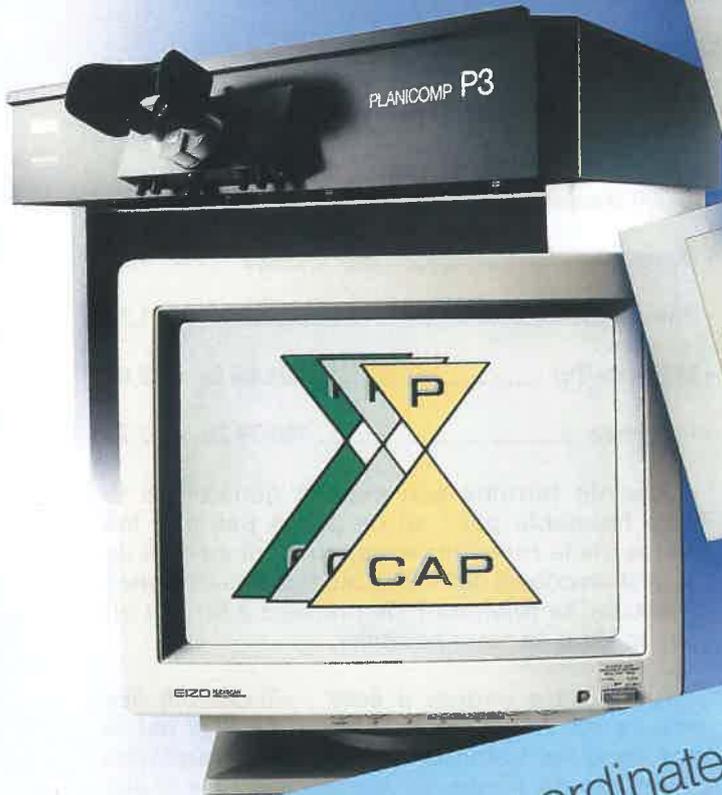
A un autre endroit il écrit : «Toutefois des auteurs ont avancé que l'espace occupé par la mer entre les Colonnes d'Hercule et les parties orientales de l'Inde, ne devait pas être d'une grande étendue, se fondant sur le fait que les extrémités de la Mauritanie et les extrémités de l'Inde nourrissaient également des éléphants.»

Cette phrase revêt une importance particulière, car la croyance en une étendue restreinte de l'Atlantique se perpétuera au cours des siècles et influencera même l'entreprise de Christophe Colomb.

Pour Aristote le monde se partage en trois grandes parties : l'Europe, l'Asie et la Libye (l'Afrique).

- L'Europe s'étend des Colonnes d'Hercule au Tanaïs (Don),
- L'Asie du Tanaïs et de l'isthme arabe (isthme de Suez) jusqu'aux rivages inconnus de l'Océan

\* Dans la mesure où le Traité «Du monde» peut être attribué à Aristote.



Planicom avec ordinateur PC

La qualité dans un environnement DAO/SIG

La version PC du système Planicom avec

- P-CAP, le module de base pour l'orientation et les mesures MDT et AT vous permet d'accéder au monde des systèmes DAO et SIG basés sur MS DOS:
- MicroStation PC d'Intergraph en sortie en format IGDS et DXF
- pcARC/INFO d'ESRI pour les applications SIG
- AutoCAD d'Autodesk avec fonctions DAT/EM et sortie DXF.

Grâce à l'interface de P-CAP, l'utilisateur peut se servir également d'autres systèmes DAO/SIG. En plus, il bénéficiera des avantages de l'appareil de mesure, de la simplicité d'emploi de l'appareil Planicom P 3 avec curseur P et tablette de digitalisation p.ex.



**Carl Zeiss**  
 Sàrl France  
 21, rue Livio  
 67100 Strasbourg  
 Tél. 88.39.34.15

**Carl Zeiss – un partenaire sûr en photogrammétrie**



**SOLIDE  
COMME DU  
GRANIT...**

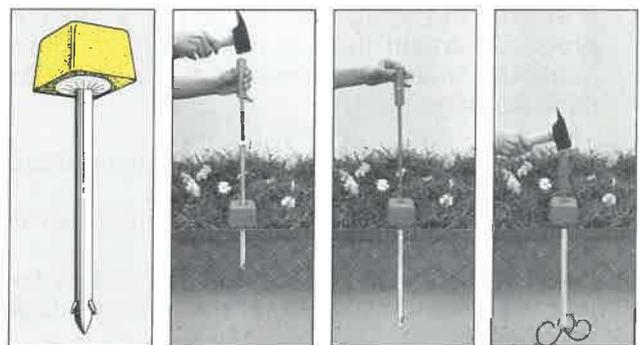
**BORNE FENO**

**ANCRÉE  
POUR LONGTEMPS.**

Autrefois, pour être solidement ancré dans le sol et pour des millénaires, il fallait faire le poids !

Aujourd'hui, la borne FENO offre les mêmes avantages que le menhir de nos ancêtres. Mais plus discrètement.

Les milliers de géomètres qui utilisent la borne FENO dans plus de 30 pays en sont d'ailleurs convaincus.



ETS FAYNOT - BP 13 - 08800 THILAY  
Tél. : 24.32.81.22. - Fax : 24.32.84.93. Tx : 840 345

 **FAYNOT**

Oriental,

- La Libye de l'isthme arabe aux Colonnes d'Hercule.

### *B La Géographie physique d'Aristote*

On peut considérer Aristote comme le fondateur de la géographie physique. Dans «les Météorologiques» il explique comment s'effectuent les transformations des éléments de son système physique. Le moteur de ces transformations est le double mouvement du Soleil : le mouvement quotidien avec l'alternance jour/nuit, le mouvement annuel avec la variation de déclinaison : réchauffement quand la déclinaison augmente, refroidissement lorsque la déclinaison du Soleil diminue.

Pour expliquer les phénomènes météorologiques, Aristote admet deux sortes d'exhalaisons : l'une sèche et fumeuse venant de la Terre, l'autre humide et vaporeuse venant de l'eau ; elles se transforment sous l'action de la chaleur solaire, variable selon les positions du Soleil.

L'exhalaison humide monte, attirée par le Soleil ; lorsque celui-ci s'éloigne, elle se refroidit, se condense et retombe en pluie.

L'exhalaison sèche et fumeuse, mise en mouvement par différentes impulsions, telles que le contact avec des couches d'air froid, provoque les vents. Une faible quantité de vent enfermée dans un nuage, lorsqu'elle s'en échappe brutalement peut provoquer éclair et tonnerre. Lorsqu'il y a une quantité plus grande c'est l'ouragan. Aristote explique aussi la formation du brouillard, de la rosée, de la grêle, de la gelée blanche, de la neige.

En hydrographie Aristote rejette la vieille conception qui faisait sortir fleuves et rivières de réservoirs souterrains. Ce sont les montagnes qui refroidissent la vapeur d'eau, qui s'élève et la condensent en eau. Les fleuves et rivières descendent donc des montagnes et ce sont les montagnes les plus hautes, qui alimentent les fleuves les plus importants comme l'Indus.

Aristote a été le premier à expliquer l'accroissement du delta du Nil par alluvionnement ; d'abord marécageux, le delta s'assèche progressivement. Il en est de même pour le Palus Météotide (mer d'Azov), qui finira par s'assécher et se combler.

Les tremblements de terre sont provoqués par les mouvements de l'air souterrain :

- soit qu'il rencontre une résistance pour sortir,
- soit qu'il se trouve comprimé.

Les régions qui présentent des crevasses dans leur sous-sol sont le plus souvent éprouvées par les séismes.

Les courants de la mer sont dus à l'étroitesse de certains détroits, soit à la dénivellation des fonds marins, soit à la masse des fleuves qu'elle reçoit. Du Palus Météotide aux Colonnes d'Hercule s'est établi un courant marin continu produit par une pente du fond marin.

Les marées sont dues aux vents, qui selon l'action du Soleil exercent une pression variable à la surface de l'Océan, provoquant élévation ou abaissement du niveau d'eau.

Les solutions proposées par Aristote paraissent bien naïves ; mais l'essentiel n'était-il pas de poser pour la première fois les problèmes de la géographie physique?

### *C Les connaissances géographiques d'Aristote*

La connaissance géographique de l'œcumène par Aristote est celle de ses prédécesseurs. Il a varié d'opinion au sujet de la mer Caspienne. Dans «les Météorologiques», écrit en partie avant l'expédition d'Alexandre, il fait de la mer Caspienne une mer fermée, comme Hérodote. Dans le Traité «Du monde», postérieur aux Météorologiques et qui n'est peut-être pas d'Aristote, la mer Caspienne s'ouvre par un canal sur la mer Boréale, notion que des généraux d'Alexandre avaient répandue auprès d'Alexandre lui-même.

Aristote connaît trois grandes îles de la mer Extérieure, c'est-à-dire hors de la Méditerranée :

- «les îles Albion» (Grande Bretagne),
- «l'erné» (Irlande) au Nord ;
- «l'île Taprobane» (Ceylan ou Sri-Lanka) au Sud, dans la «mer Erythrée» (Océan Indien).

Il remarque qu'à l'exception du Nil tous les fleuves viennent du Nord et il en conclut que le Nord est la région la plus élevée.

Il énumère les centres montagneux les plus remarquables du Monde :

- Le Caucase qui donne naissance au «Phase»,
- «les Monts Riphées situés sous l'Ourse, même au delà de l'extrême Scythie»,
- la «Pyrène», la plus haute montagne de la Celtique, où naissent :
  - «l'Ister» (Danube),
  - le «Tartessus»,
- les «Monts Arcyniens», l'Hercynia Sylva des temps postérieurs, en Germanie centrale,
- «l'Argyros» en Libye (Afrique), montagne d'argent, où le Nil a sa source.

On voit ainsi combien au temps d'Aristote les notions géographiques des Grecs étaient confuses, surtout sur la partie occidentale de l'œcumène et sur la Celtique, où ils confondaient Alpes et Pyrénées.

## D La rose des vents d'Aristote

De très bonne heure les marins grecs surent qu'ils devaient connaître les vents et leurs directions pour pouvoir naviguer en mer. Connaître le vent c'est aussi connaître les aspects de l'atmosphère, la température de l'air. La direction du vent sera donc utilisée comme un élément d'orientation géographique. **Marin de Tyr** citera plus tard un certain nombre de villes «opposées» de part et d'autre de la Méditerranée, villes que l'on était à peu près sûr de joindre avec un vent de terre fort, le vent du Sud lorsqu'on partait d'Afrique, le «borée» ou vent du Nord quand on quittait l'Europe. C'est ainsi que Tarragone sur la côte espagnole et Iol Césaraea (l'actuelle Cherchel) étaient des villes «opposées» parce que le vent du Sud permettait de joindre la deuxième ville à la première et qu'un vent du Nord permettait de naviguer de Tarragone vers la ville africaine.

Les quatre directions de vent d'**Ephore** (voir n°3.15) correspondaient aux quatre points cardinaux : outre les vents du Nord et du Sud il y avait les vents d'Est et d'Ouest, les anciens Grecs ayant remarqué qu'ils soufflaient lors des équinoxes dans la direction du Soleil levant ou du Soleil couchant.

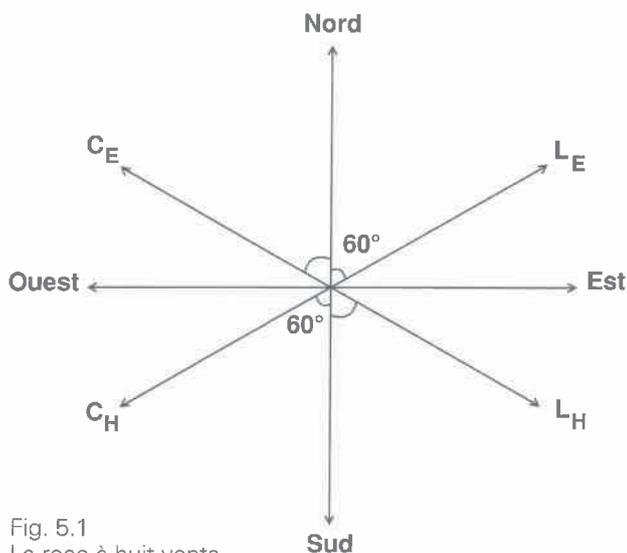


Fig. 5.1  
La rose à huit vents.

Avant Aristote on utilisait une rose à huit vents (fig. 5.1). Les marins grecs distinguaient l'orient et l'occident équinoxiaux (correspondant respectivement à la direction du Soleil levant et du Soleil couchant aux équinoxes : Est et Ouest) :

- d'une part de l'orient et de l'occident solsticiaux d'été correspondant à la direction du lever  $L_E$  du Soleil et à celle du coucher du Soleil :  $C_E$ , lors du solstice d'été,
- d'autre part de l'orient et de l'occident solsticiaux d'hiver correspondant à la direction du lever  $L_H$  du Soleil à celle du coucher du Soleil :  $C_H$ , lors du solstice d'hiver.

Cette rose à huit vents fut portée à douze vents par Aristote qui ajouta quatre autres vents de chaque côté de la direction Nord Sud en prenant les directions des bissectrices formées par la direction Nord Sud et les directions  $C_H L_E$  et  $L_H C_E$ . Mais il y avait en Méditerranée des variations de latitude pouvant atteindre  $15^\circ$ , de sorte qu'une rose des vents établie à la latitude d'Alexandrie :  $\varphi_{Al} = 31^\circ$  était sensiblement différente de celle établie pour la latitude de Marseille :  $\varphi_M = 43^\circ$ .

On peut déterminer les directions de la rose des vents en un lieu de latitude  $\varphi$  en calculant l'azimut  $Az$  du lever du Soleil en ce lieu au solstice d'été par exemple.

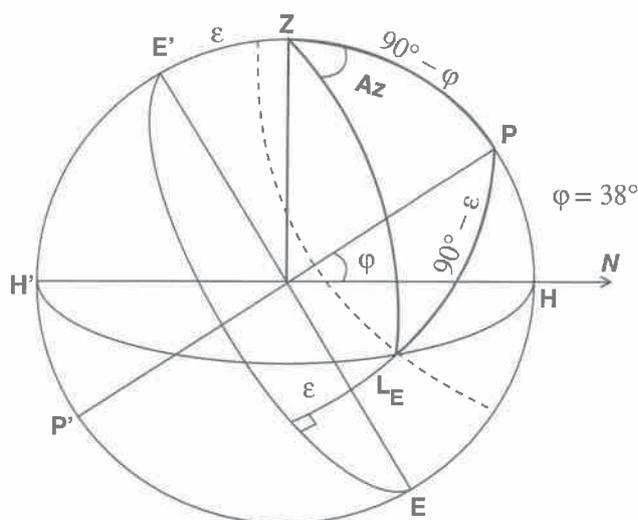


Fig. 5.2

Considérons (fig. 5.2) le triangle de position  $PZL_E$  : P pôle boréal, Z zénith,  $L_E$  position du Soleil sur l'horizon à son lever lors du solstice d'été, où sa déclinaison au temps d'Aristote était :

$$\delta_M = \varepsilon = 23^\circ,75$$

On a  $\widehat{ZL_E} = 90^\circ$ ,  $\widehat{ZP} = 90^\circ - \varphi$ ,  $\widehat{PLE} = 90^\circ - \varepsilon$ ,

l'angle  $\widehat{PZL_E}$  étant l'azimut  $Az$  cherché. La formule fondamentale de la trigonométrie sphérique donne :

$$\cos(90^\circ - \varepsilon) = \cos 90^\circ \cos(90^\circ - \varphi) + \sin 90^\circ \sin(90^\circ - \varphi) \cos Az,$$

d'où on tire :

$$\cos Az = \frac{\sin \varepsilon}{\cos \varphi}$$

Pour  $\varphi = \varphi_{Al} = 31^\circ$  on trouve :  $Az = 62^\circ$  ;

pour  $\varphi = \varphi_M = 43^\circ$  on obtient :  $Az = 56^\circ,6$ .

Pour la latitude d'Athènes  $\varphi = \varphi_{At} = 38^\circ$ , on trouve  $Az = 59^\circ,3$ , de sorte que pour cette latitude les angles étaient respectivement dans le 1er quadrant :  $59^\circ,3 = 29^\circ,65$ ,  $90^\circ - 59^\circ,3 = 30^\circ,7$ .

2

Ainsi la rose des vents qu'avait établie Aristote

# SOKKIA

## STATION MONO MOBILE 3-D MONMOS

Un nouveau système de mesure des grandes structures en 3-D qui apporte d'importantes innovations aux méthodes des mesures traditionnelles.

La **NET 2** bénéficie de toutes les technologies avancées et développées par SOKKISHA, 1<sup>er</sup> fabricant Mondial de matériel de topographie. Ses performances permettent d'améliorer sensiblement les méthodes de mesures de toutes natures : avions, bateaux, barrages, ponts...

Le système de mesure en **3-D MONMOS** se compose d'une SEULE station totale donnant des mesures sans prisme au 10<sup>ème</sup> de millimètre et d'un carnet d'enregistrement spécialement adapté aux mesures de grandes structures.



NET 2 : Télémètre intégré - Colimation multi-axes



LÀ ENCORE SOKKISHA INNOVE :  
Une station gyroscopique : le **GP1-2**

HAUTE PERFORMANCE  
EN TOUTES CIRCONSTANCES

Le **GP1-2**, un système entièrement intégré fiable et robuste qui réalise les travaux de terrain les plus complexes avec une parfaite précision.

Tandis que le gyroscope détermine le nord (précision de 20"), la station mesure les angles avec une précision de 1" et la distance jusqu'à 3 700 mètres (avec 9 prismes).

Le **GP1-2** a sa meilleure place dans les conditions les plus ardues de travail de terrain, les grands chantiers de construction, tunnels, mines, etc...

**QUEL QUE SOIT L'OUVRAGE A REALISER EN TOPOGRAPHIE, VOUS POUVEZ COMPTER SUR LES INSTRUMENTS SOKKIA.  
ENTREPRENEZ AVEC SOKKISHA !  
CHOISISSEZ LA ROBUSTESSE ET LA FIABILITE.**

**SOKKISHA FRANCE S.A.**

12, Avenue Gabriel-Péri  
78360 MONTESSON  
Tél. : (1) 30.53.09.73  
Fax : (1) 39.76.63.15

**SOKKISHA RHÔNE-ALPES**

174, Avenue Jean-Jaurès  
69007 LYON  
Tél. : 78.69.14.28  
Fax : 78.69.50.24



# SETAM Informatique

Systèmes clés en main sur P.C. et réseau NOVELL  
**Au service du géomètre depuis 1973**

2, rue du Square Jean.Gibert - 78114 Magny-les-Hameaux  
 Tél : 16 (1) 30 52 40 49 (lignes groupées) Fax : 16 (1) 30 52 11 25

**SPECIALISTE AUTOCAD** Autocad Authorized Dealers  
 Conseils - Formation - Assistance  
 \* 90 Références. Géomètres dans toute la FRANCE

## TOPOLISP®

**Un des plus efficaces logiciels développé par SETAM sous AUTOCAD et appliqué à la profession du géomètre.**

Puissantes commandes de constructions géométriques, faciles à utiliser et permettant d'effectuer tout type de plans : plan d'intérieur, plan topographique, plan de division, profils en long et en travers T.N., lotissements, implantations, courbes de niveau, etc...

Développement spécifique en AUTOLISP : Héberges ; Gaz de France ; S.N.C.F.

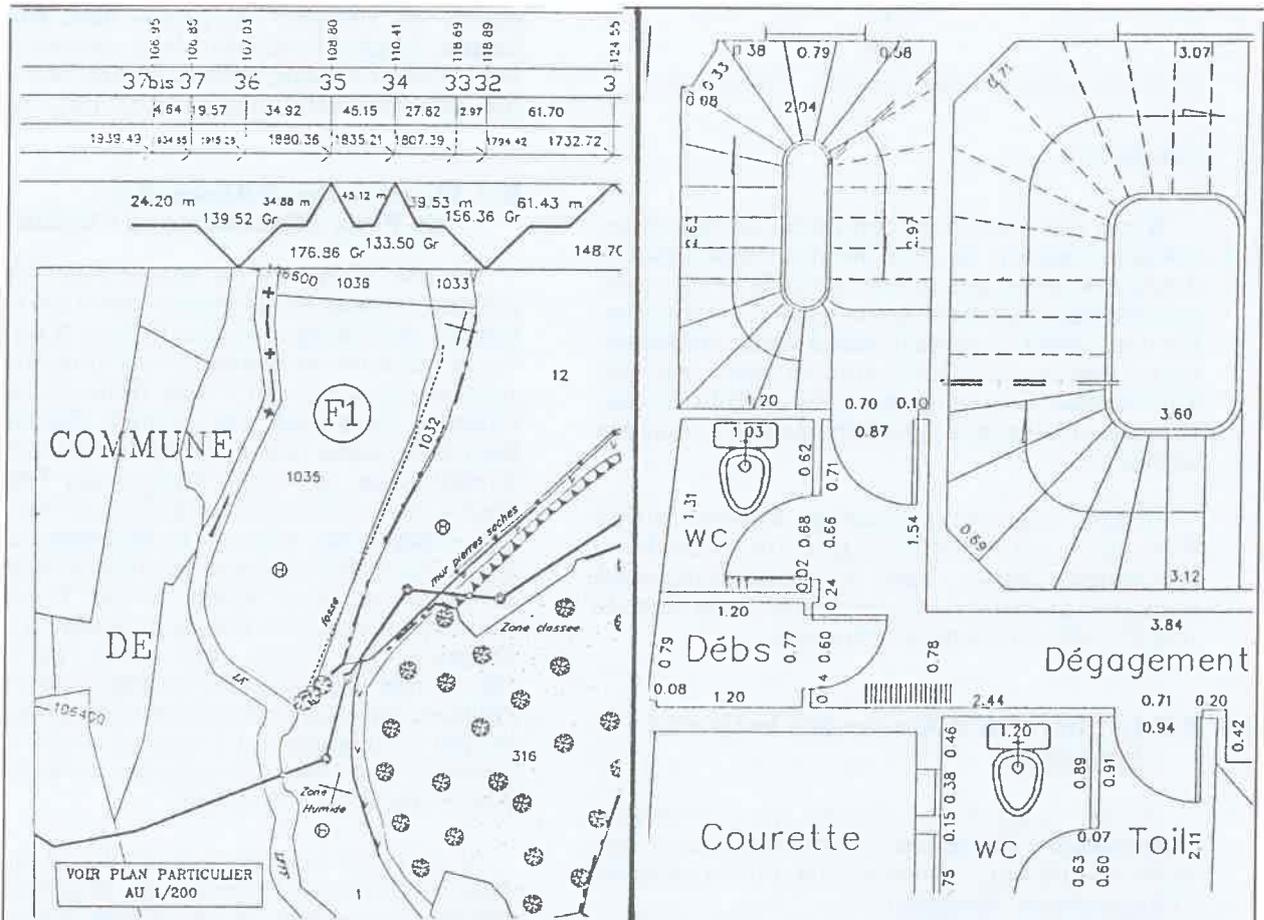
Interfacé avec la plupart des logiciels topo. (Fichiers points-code) **Interface MOSS.**

### POLYACAD

Génération de 60% à 80% d'un plan sur un poste secondaire pour AUTOCAD.

### GEOSET

\* Transfert de carnets électroniques - \* Calculs topo - \* Report imprimantes - tables traçantes - \* Digitalisation - \* Interpolation et Dessin des courbes de niveau - \* M.T.N.(DXF pour Autocad) - \* Cubatures - \* Ouvrages - \* Profils.



**AUTOCAD : La Sécurité d' un Standard Mondial en continuelle évolution + TOPOLISP : Les Applicatifs pour le géomètre + une FORMATION en topo sur site + une EXPERIENCE de 25 ans dans l'environnement du géomètre = Un Confort pour votre cabinet.**

9.Demande de renseignements sans engagement de ma part : à l'attention de M. FORLANI Pierre.

Nom : ..... Tél : .....

Adresse : .....

..... Fax : .....

pour la latitude d'Athènes avait ses douze angles égaux entre eux au degré près.

Il reviendra à **Timosthène** (voir chap. 8) le mérite d'unifier les roses des vents utilisées en Méditerranée en prenant la latitude de Rhodes :  $\varphi_R = 36^\circ$ , pour laquelle on trouve :  $Az = 60^\circ, 1$ .

Ainsi la rose des vents de Timosthène présentait des angles égaux au dixième de degré près.

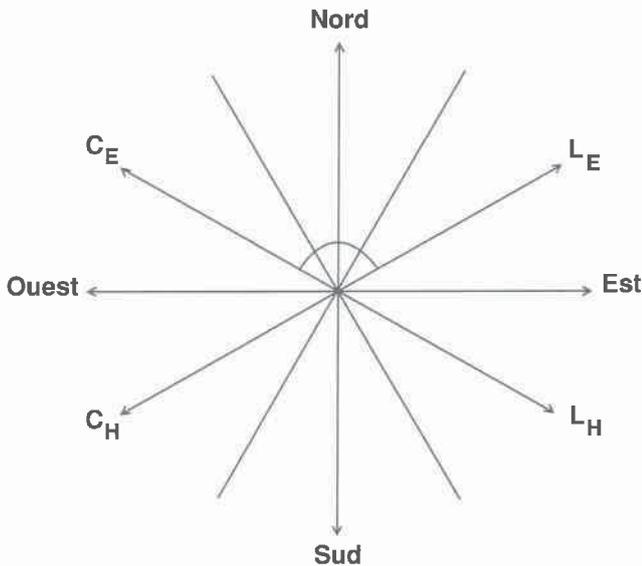


Fig. 5.3 Rose à douze vents (Aristote - Timosthène).

### Conclusion

Nous nous sommes contentés de passer en revue les aspects les plus marquants de l'œuvre d'Aristote en ce qui concerne les Sciences géographiques, mais Aristote fut aussi un remarquable naturaliste, décrivant 400 espèces animales ; on lui doit la grande division du règne animal entre vertébrés («sanguins») et invertébrés («ex-sangués»), ainsi que la notion capitale «d'espèce animale».

L'œuvre géographique et astronomique d'Aristote ne constitue pas un progrès à proprement parler, mais le grand philosophe constitue un témoin irremplaçable de la science positive des Grecs de son époque.

## 5.2 L'itinéraire d'Alexandre le Grand (334-323)

Avant d'aborder l'étude de l'itinéraire d'**Alexandre le Grand** il convient de citer une autre expédition militaire, que l'on a appelée «l'Anabase de Xénophon»\*.

\*Anabase signifie en grec expédition à l'intérieur.

Ayant accepté de prendre part à l'expédition menée par **Cyrus le Jeune** contre son frère **Artaxerxès, Xénophon**, après la défaite de Cyrus dans les plaines de Babylonie, dirigea la retraite du Corps des Grecs, réduit à dix mille hommes. Xénophon relata cette retraite des «Dix Mille», qui eut lieu en 401 avant Jésus Christ ; il décrit aussi soigneusement l'itinéraire suivi, précisant ainsi la Géographie de l'Assyrie, de l'Arménie, des bords de la Mer Noire, des Monts du Kurdistan et du Sud du Caucase, où Xénophon fut le premier Grec à pénétrer.

Entre «l'Anabase de Xénophon» et l'expédition d'Alexandre, c'est-à-dire entre 401 et 334, soixante-sept ans s'écoulèrent sans événement notable pour une meilleure connaissance de l'œcumène grec, sauf si on admet que le voyage de Pythéas a eu lieu avant 334 (voir n° 6.3).

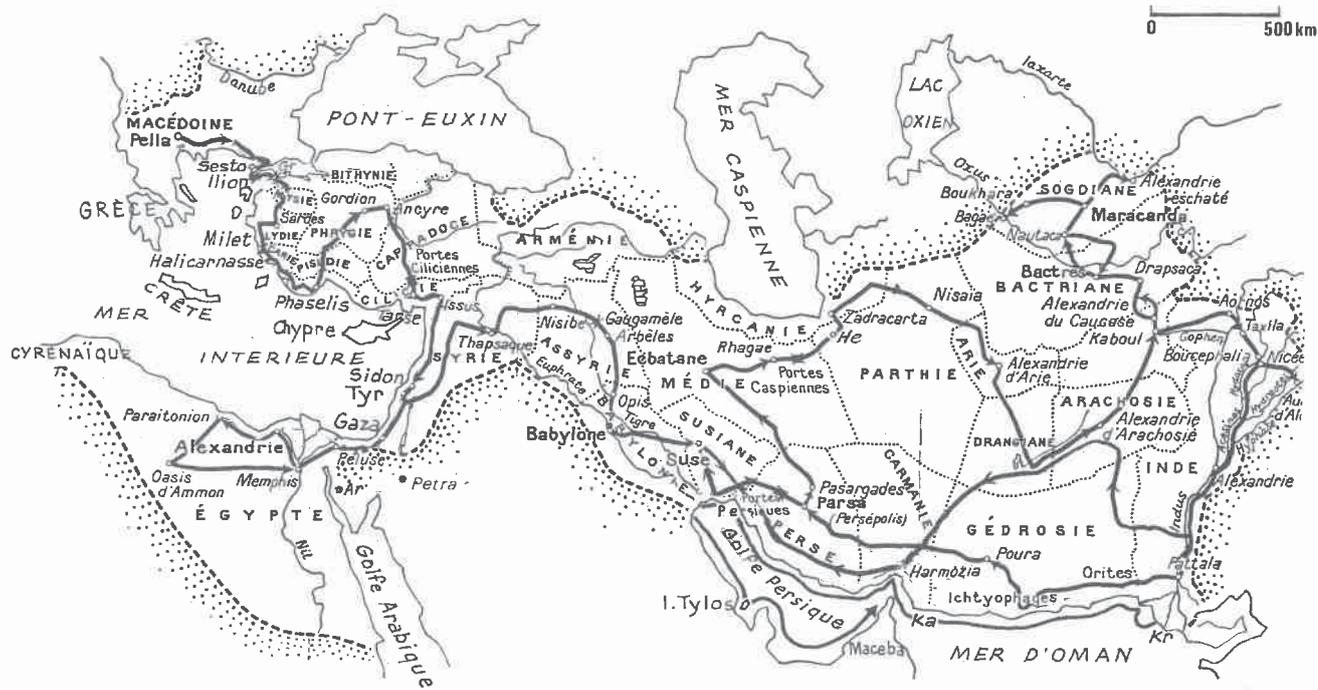
Alexandre le Grand élève d'Aristote, ne fut pas seulement un prodigieux homme de guerre ; ce fut aussi un homme éclairé, à l'esprit ouvert, qui se faisait accompagner par des philosophes et des ingénieurs, dont les fameux «bématistes», chargés de l'arpentage des pays conquis.

En 336 avant J.C., année de son avènement au trône de Macédoine, Alexandre mène campagne contre les Thraces, campagne dont **Ptolémée Lagus**, le futur fondateur de la monarchie grecque, consigna les péripéties, en donnant de nombreuses informations sur le pays des Thraces.

### 5.2.1 L'itinéraire d'Alexandre de Pella (Macédoine) à l'Indus

En 334, à la tête de son armée, Alexandre pénètre en Asie et remporte contre les Perses la bataille du Granique (Gr sur la carte 5.4 ci-après). Nous passons rapidement sur l'itinéraire qui lui permet de conquérir l'Asie Mineure, la Syrie, l'Égypte, pays déjà bien connus des Grecs. En Égypte il poussa jusqu'à l'oasis d'Ammon (actuellement Siwa). Au retour il passe par Thapsaque, Nisibe, remporte la victoire de Gaugamèle, entre en 331 à Babylone, traverse la Babylonie et atteint Suse. Par les Monts Zagros il arrive à Persépolis et à Pasargadès, qu'il atteint en 330. Traversant la Perside, berceau des Perses, il rejoint la Médie et Ectabane, d'où Darius s'était enfui. Puis il franchit les «Portes Caspiennes», contourne le massif de l'Elbourz, arrive dans une plaine florissante, jouxtant la Mer Caspienne, où il regroupe son armée. Il poursuit vers l'Est, puis oblique vers le Sud, fonde Alexandrie d'Arie (ou Hérat).

Il continue vers le Sud et atteint fin 330 le fleuve Hilmend ou Helmand, qui se jette dans une dépression fermée en Drangiane. Il remonte ce fleuve, fonde Alexandrie d'Arachosie, pénètre dans le massif de l'Afghanistan et atteint Kaboul. Au printemps 329 il franchit l'Hindou-Kouch et



--- limite de l'Empire d'Alexandre

Carte 5.4 Limite de l'Empire d'Alexandre

conquiert Bactres, capitale de la Bactriane. Ayant franchi l'Oxus (actuellement l'Amou Daria), il pousse une reconnaissance en Sogdiane où il conquiert Maracanda (actuellement Samarcande) ; sur la rive gauche de l'Iaxarte (actuellement Syr Daria) il fonde Alexandrie Eschaté.

Dans le trajet de Suse à Samarcande Alexandre et les bématises qui l'accompagnaient avaient noté l'orientation des chaînes de montagne, des fleuves et rivières ; ils avaient constaté des reliefs prodigieux, avec des gorges profondes et étroites, tels qu'ils n'en avaient jamais vus.

Au printemps 327 Alexandre quitte Bactres, franchit à nouveau l'Hindou Kouch, repasse à Kaboul, traverse l'Indus et parvient à Taxila, haut lieu du brahmanisme, d'où il part pour la conquête du Pendjab. Il traverse une série de rivières, mais arrivé à l'Hyphase il s'arrête, car son armée épuisée refuse de le suivre plus avant. Il fait marche arrière, rejoint l'Hydaspe, affluent de l'Indus et fait construire une flotte avec les bois des pentes de l'Himalaya.

### 5.2.2 La descente de l'Indus

On estime que la flotte d'Alexandre comportait environ 2 000 navires de toute sorte, dont 800 vaisseaux de guerre et de transport. L'armée d'Alexandre est évaluée à 120 000 hommes. La plus grande partie de cette armée s'embarqua sur

Ar : Arsinoë  
He : Hécatompylos  
Ka : Karpella (près du Cap Jask)  
Kr : Krokala

les navires à Nicée le 23 octobre 327 avant J.C. Alexandre avait chargé **Cratère** de suivre à pied avec un corps de troupe sur la rive droite (côté Ouest). **Héphestion** commandait un autre corps plus nombreux sur la rive gauche (côté Est). Enfin un 4<sup>e</sup> détachement suivait à trois jours de distance à titre d'arrière garde.

La descente des deux mille navires, sur lesquels les hommes chantaient, dut être un spectacle inoubliable pour les populations riveraines. Au cours de cette descente, Alexandre dirigea plusieurs fois des opérations militaires, fonda une citadelle et une ville : Alexandrie des Sogdes ou de l'Indus. Avant d'arriver à Pattala, à la pointe du delta de l'Indus, il ordonna à **Cratès** de rejoindre la Carmanie par le milieu des terres afin de procéder à la reconnaissance et à l'arpentage de cette partie intérieure de son empire ; il avait déjà pris la décision de prendre lui-même l'itinéraire le plus pénible, par le désert de Gédrosie.

A Pattala il arrive environ 10 mois après son départ de Nicée, charge Héphestion d'y construire une forteresse pendant qu'il reconnaît l'Océan. Il rejoint celui-ci par un bras occidental de l'Indus, revient à Pattala et descend le bras

oriental, limite de son empire. La distance estimée des sources de l'Indus à son embouchure était de 13 000 stades\*.

### 5.2.3 L'itinéraire-retour de Pattala à Babylone

De Pattala Alexandre partit environ un mois plus tôt que sa flotte ; il traversa le désert de Gédrosie sous une chaleur accablante, bien qu'on fut en Automne, et il opéra une première jonction avec sa flotte près du détroit d'Ormuz. A Persépolis il ferma l'immense boucle de son itinéraire, opéra ensuite une 2e jonction avec sa flotte au fond du Golfe Persique à l'embouchure du Pasitigris (Tigre oriental), puis il rejoignit Suse, où il procéda à la distribution de gratifications à son armée. Il avait déjà épousé Roxane, fille du Satrape de la Bactriane ; à Suse en 324 il épousa Barsine, fille de Darius. Ses principaux officiers épousèrent aussi les filles des plus nobles familles persanes.

De Suse il partit reconnaître une partie de la péninsule arabique et il pressentit qu'elle était aussi vaste que l'Inde. Il mourut à Babylone en 323 avant J.C., à l'âge de 33 ans, après avoir contracté 8 blessures en 11 années d'expéditions.

### 5.2.4 L'expédition de Néarque

Alexandre avait confié à **Néarque** le commandement de sa flotte, avant de l'avoir quittée à Pattala au début de l'Automne de 326. Néarque avait reçu l'ordre de reconnaître les côtes de la Mer d'Oman et du Golfe Persique jusqu'aux bouches du Tigre et de l'Euphrate. Néarque descendit la branche occidentale de l'Indus, de Pattala à Krokala (Kr sur-carte 5.4), qui fut le premier port maritime des Indes dans lequel des vaisseaux grecs, construits en Inde, aient pu jeter l'ancre.

Néarque attendit environ un mois pour bénéficier des moussons, qui soufflent du Nord-Est durant quatre mois environ, de fin octobre à fin février. On donnait le nom de « vents étésiens » aux vents du Nord dans la Méditerranée orientale ; **Arrien** donne le même nom à ces vents de mousson des côtes de l'Inde. **Strabon** indique que la flotte mit à la voile en Automne, malgré que les vents ne fussent pas encore propices, les Barbares ayant commencé des attaques contre la flotte. Nous verrons ci-après comment, d'après un lever de constellation, on peut reconstituer la date d'appareillage de la flotte.

\* D'après Vivien de St Martin (Bib. 3) il s'agit de stades nautiques de Néarque, dont 1100 constituent un arc de 1° terrestre, donc un peu plus de 100 m. Selon d'autres sources ce stade correspond à 51 toises, soit  $51 \times 1,949 = 99,4m$ . Les deux estimations sont donc comparables, mais des sources différentes indiquent que le stade nautique valait 166,67m.

La première partie de la navigation de Néarque s'effectua de Krokala au Cap Jask, situé tout près de la Karpella de **Ptolémée** (Ka sur carte 5.4). Il reconnut la côte des Orites, celle des Ichtyophages, qui se nourrissaient exclusivement de poissons séchés et qui faisaient leurs cabanes avec des carcasses de poissons. Tous les caps, baies et accidents de la côte furent notés et trois distances furent estimées :

- Côte des Arabites : 1 000 stades,
- Côte des Orites : 1 600 stades,
- Côte des Ichtyophages : 10 000 stades.

La deuxième partie de la navigation de Néarque eut lieu du Cap Jask à l'embouchure du Pasitigris. Après avoir mouillé près du Cap Jask, Néarque pénétra dans le Golfe Persique, atteignit l'Anamis (Minab) où il retrouva Alexandre et une partie de son armée. L'Anamis se trouve légèrement à l'Est d'Harmoza, devenu aujourd'hui Ormuz.

Dans le détroit d'Ormuz Néarque reconnut la petite île qui porte le même nom, puis l'île plus allongée d'Oaracta (devenue île de Qeshm). Il poursuivit la reconnaissance du littoral de Karmanie, puis de Perse. Le 5 février 325 il atteignit le fond du Golfe Persique à l'embouchure du Pasitigris (Tigre oriental), où il rencontra à nouveau Alexandre. Après avoir remonté le Pasitigris, Néarque arriva à Suse fin février 325 avant J.C., après environ 4 mois de navigation depuis Krokala et après avoir rempli parfaitement la mission que lui avait confiée Alexandre.

### 5.2.5 Reconstitution de la date d'appareillage de la flotte de Néarque

D'après un texte de Strabon la flotte mit à la voile le jour où Néarque vit les Pléiades levées vers l'Est peu de temps après le coucher du Soleil. Dans un ouvrage, traduit de l'anglais, et intitulé : « Voyage de Néarque des Bouches de l'Indus jusqu'à l'Euphrate » (Bib 1), l'auteur **William Vincent** estime que le jour de l'appareillage coïncide approximativement avec le « lever achronique des Pléiades », c'est-à-dire avec le « lever vrai du soir » de cette constellation, selon la terminologie d'Autolycus (voir 3.3). Rappelons qu'on appelle « lever vrai du soir » un lever d'étoile se produisant en même temps que le coucher du Soleil ; rappelons aussi qu'un tel lever n'est pas visible, car au Soleil couchant la clarté du ciel empêche de voir briller l'étoile qui se lève. Mais on peut admettre que Néarque vit après le coucher du Soleil les Pléiades à une hauteur telle, qu'il en déduisit que le lever de cette constellation avait coïncidé approximativement avec le coucher du Soleil.

Le problème de la détermination de la date d'appareillage de la flotte de Néarque revient donc à déterminer le jour de l'année 326 avant J.C. où s'est produit le «lever vrai du soir» des Pléiades. A propos d'Autolycus nous avons cité la méthode de Delambre de résolution par le calcul du problème de la détermination des levers et couchers vrais d'une étoile, nous réservant de traiter la question d'une manière différente et plus simple à propos de la date d'appareillage de la flotte de Néarque. Voici cette méthode inspirée de celle de William Vincent (op. cit).

L'astronome **Bradley** a donné la longitude et la latitude écliptique de l'étoile Lucida Pleiadam au commencement de l'année 1760 :

$$l' = \sphericalangle 26^{\circ} 38' 34'', \beta' = 4^{\circ} 1' 36''.$$

Le signe du Taureau est le 2e signe du zodiaque entre celui du Bélier et celui des Gémeaux, de sorte que la longitude à partir du point  $\gamma$  était :

$$l' = 26^{\circ} 38' 34'' + 30^{\circ} = 56^{\circ} 38' 34''.$$

Entre 1760 et 326 avant J.C. il y a 2085 années juliennes, de sorte que, par suite de la précession des équinoxes, le déplacement du point  $\gamma$  durant ce laps de temps a été de :  $29^{\circ} 7' 55''$ .

La longitude écliptique de l'étoile était donc en 326 avant J.C. :

$$l = 56^{\circ} 38' 34'' - 29^{\circ} 7' 55'' = 27^{\circ} 30' 39'', \text{ soit } l = 27^{\circ},5108$$

Nous négligerons l'influence de la nutation, de sorte qu'en 326 avant J.C. la latitude écliptique de l'étoile était :

$$\beta = \beta' = 4^{\circ} 1' 36'' = 4^{\circ},0267.$$

Nous prendrons pour obliquité de l'écliptique celle de 326 avant J.C. donnée par William Vincent :

$$\varepsilon = 23^{\circ} 44' 14'' = 23^{\circ},7372$$

et nous fixerons à  $24^{\circ}$  la latitude de l'embouchure de l'Indus, où se trouvait rassemblée la flotte de Néarque :

$$\phi = 24^{\circ}.$$

Soit L le lever du soir de l'étoile ; L se trouve donc vers l'Est, situé en avant du plan de figure. Comme il s'agit d'un «lever vrai du soir» le Soleil se couche au même instant en  $S'_0$  vers l'Ouest, situé en arrière du plan de figure (Fig 5.5).

Soit  $\gamma \sigma \gamma' \sigma'$  l'écliptique, représenté en traits ponctués en avant du plan de figure, en tiretés courts en arrière du plan de figure ; il coupe l'horizon HH' en  $S_0$  (vers l'Est) et  $S'_0$  (vers l'Ouest).

Soit EE' l'équateur qui coupe l'horizon HH' en Q (vers l'Est) et en Q' (vers l'Ouest).

Abaissons de L l'arc de grand cercle perpendiculaire à l'écliptique en B et coupant l'équateur en D.

L'arc  $\widehat{\gamma B}$  n'est autre que la longitude écliptique de l'étoile, soit  $\widehat{\gamma B} = l = 27^{\circ},5108$ , alors que l'arc BL n'est autre que la latitude écliptique de l'étoile :  $\beta = 4^{\circ},0267$ .

L'axe des pôles PP' faisant avec l'horizon l'angle  $\phi$ , égal à la latitude du lieu, l'équateur fait avec l'horizon l'angle complémentaire :

$$\widehat{LQD} = 90^{\circ} - 24^{\circ} = 66^{\circ},$$

angle que nous désignerons par  $\widehat{Q} : \widehat{Q} = 66^{\circ}$ .

L'algorithme de calcul est conduit de façon à résoudre successivement trois triangles sphériques :

- le triangle sphérique rectangle  $\gamma BD$ ,
- le triangle sphérique LDO,
- le triangle sphérique  $S_0BL$ .

a) Résolution du triangle sphérique  $\gamma BD$  rectangle en B :

Éléments connus :

$$\begin{aligned} \widehat{D\gamma B} &= \varepsilon \\ \widehat{\gamma B} &= l \end{aligned}$$

Éléments calculés :

$$\begin{aligned} \widehat{BDQ} &= \widehat{D} \\ \widehat{DB} & \end{aligned}$$

On trouve :

$$\begin{aligned} \widehat{D} &= 69^{\circ},0824 \text{ et } \widehat{DB} = 11^{\circ},4820 \\ \text{d'où } \widehat{DL} &= \widehat{DB} + \widehat{BL} = \widehat{DB} + \beta \\ \widehat{DL} &= 15^{\circ},5087 \end{aligned}$$

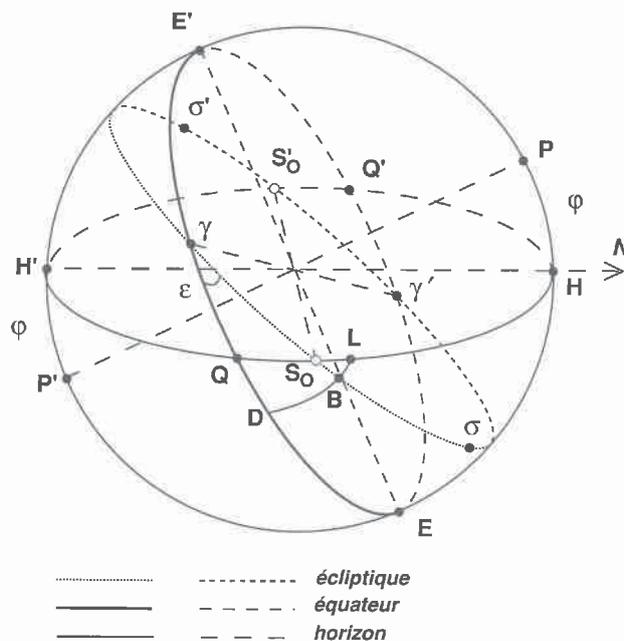


Fig. 5.5

b) Résolution du triangle sphérique LDQ :

Éléments connus :

$$\begin{aligned} \widehat{D} &= 69^{\circ},0824 \\ \widehat{DL} &= 15^{\circ},5087 \\ \widehat{Q} &= 66^{\circ} \end{aligned}$$

On pourrait en déduire directement par une formule en cotangente la valeur de l'angle  $\widehat{QLD} = \widehat{L}$ .

Nous préférons décomposer ce triangle en deux triangles sphériques rectangles, en abaissant de L l'arc de grand cercle perpendiculaire en H à QD (Fig 5.6).

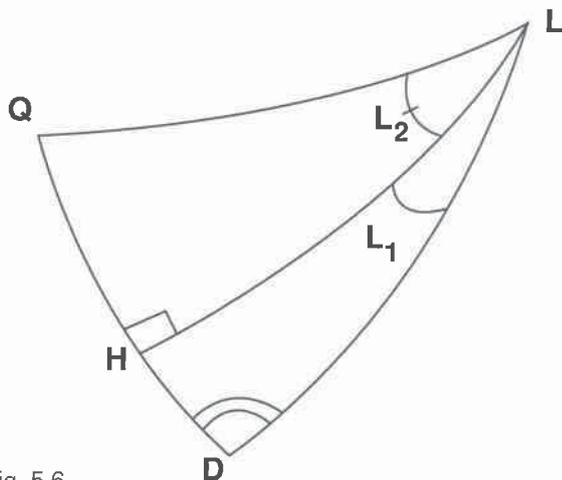


Fig. 5.6

b1) Résolution du triangle sphérique LHD rectangle en H :

Éléments connus :

$$\begin{aligned} \widehat{D} &= 69^{\circ},0824 \\ \widehat{DL} &= 15^{\circ},5087 \end{aligned}$$

Éléments calculés :

$$\begin{aligned} \widehat{HLD} &= \widehat{L}_1 \\ \widehat{HL} & \end{aligned}$$

On trouve :

$$\widehat{L}_1 = 21^{\circ},6361 \text{ et } \widehat{HL} = 14^{\circ},4635$$

b2) Résolution du triangle sphérique LHQ rectangle en H :

Éléments connus :

$$\begin{aligned} \widehat{Q} &= 66^{\circ} \\ \widehat{HL} &= 14^{\circ},4635 \end{aligned}$$

Éléments calculés :

$$\widehat{L}_2 = \widehat{HLQ}$$

On trouve :

$$\begin{aligned} \widehat{L}_2 &= 24^{\circ},8377 \\ \text{d'où } \widehat{QLH} &= \widehat{L}_1 + \widehat{L}_2 = 46^{\circ},4738 \end{aligned}$$

c) Résolution du triangle sphérique  $S_oBL$

rectangle en B :

Éléments connus :

$$\begin{aligned} \widehat{L} = \widehat{QLH} &= 46^{\circ},4788 \\ \widehat{BL} = \beta &= 4^{\circ},0267 \end{aligned}$$

Éléments calculés :

$$\begin{aligned} \widehat{BS}_o, \\ \widehat{LS}_oB = \widehat{S}_o. \end{aligned}$$

On trouve :

$$\widehat{BS}_o = 4^{\circ},2282 \text{ et } \widehat{S}_o = 43^{\circ},6749.$$

Si on ne tient pas compte de la réfraction, on obtient donc :

$$\widehat{\gamma S}_o = \widehat{\gamma B} - \widehat{BS}_o = 27^{\circ},5108 - 4^{\circ},2282$$

$$\widehat{\gamma S}_o = 23^{\circ},2826$$

$$\text{et } \widehat{\gamma S}'_o = \widehat{\gamma S}_o + 180^{\circ} = 203^{\circ},2826$$

Telle est sans réfraction la longitude écliptique  $\widehat{\gamma S}'_o$  du Soleil lors du «lever vrai du soir» de l'étoile Lucida Pleïadum. Nous avons repris les calculs précédents en tenant compte de la réfraction et nous avons trouvé :  $\widehat{\gamma S}'_o = 202^{\circ},7993$ . La différence entre les deux résultats est inférieure au 1/2 degré et n'influe guère sur la détermination du jour où a lieu le lever vrai.

$$\text{De } \widehat{\gamma S}'_o \text{ on déduit } \widehat{\gamma S}_o = 203^{\circ},2826 - 180^{\circ} = 23^{\circ},2826$$

Comme la longitude du Soleil augmente d'environ  $1^{\circ}$  par jour, le lever vrai du soir de l'étoile «Lucida Pleïadum» se situe environ 23 jours après l'équinoxe d'automne de l'année 326 avant J.C. Nous disons «environ» car si le calcul a permis de déterminer avec rigueur la valeur de la longitude écliptique du Soleil, l'observation effectuée par Néarque au soir de l'appareillage de la flotte était assez imprécise, puisque le lever vrai n'est pas visible ; comme nous l'avons indiqué en début de ce paragraphe, Néarque vit après le coucher du Soleil l'étoile en question à une hauteur telle, qu'il en déduisit que son lever avait coïncidé approximativement avec le coucher du Soleil.

### 5.2.6 Détermination des autres levers et couchers vrais et apparents de Lucida Pleïadum

Proposons nous de situer le lever vrai du soir de Lucida Pleïadum par rapport aux autres levers et couchers vrais et apparents en faisant la liaison avec notre étude sur Autolycus.

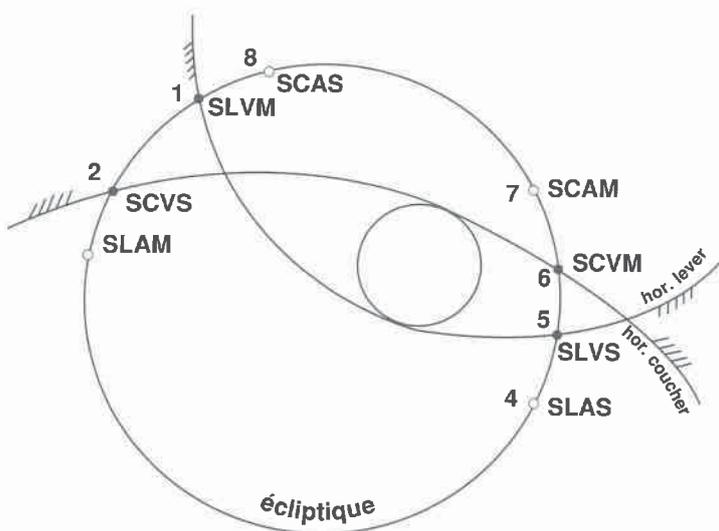


Fig. 5.7

La latitude écliptique de cette étoile étant faible, c'est une étoile zodiacale pour laquelle la figure correspondante est intermédiaire entre les cas de figure 3.6 et 3.7 de notre étude sur Autolycus.

L'ordre des phénomènes concernant cette étoile est donc durant l'année (Fig 5.7) :

- 1) **LVM** «Lever Vrai du Matin», que l'on désigne aussi sous le nom de «lever cosmique». Ce lever correspond à la position SLVM du Soleil à l'intersection de l'écliptique et de l'horizon du lever de l'étoile.
- 2) **CVS** «Coucher Vrai du Soir» ou «coucher achronique». Ce coucher correspond à une position SCVS du Soleil, à l'intersection de l'écliptique et de l'horizon du coucher de l'étoile. Nous calculerons ci-après l'intervalle  $\delta$ , entre SLVM et SCVS.
- 3) **LAM** «Lever Apparent du Matin» ou «lever héliaque du matin», correspondant à une position du Soleil : SLAM sur l'écliptique à  $15^\circ$  de SLVM en nous plaçant dans l'hypothèse d'Autolycus.
- 4) **LAS** «Lever Apparent du Soir» ou «lever héliaque du soir», correspondant à la position SLAS du Soleil à environ  $150^\circ$  de SLAM dans l'hypothèse d'Autolycus, ce qui correspond à 5 mois.
- 5) **LVS** «Lever Vrai du Soir» ou «lever achronique», dont nous avons déterminé la date dans le paragraphe précédent. Il correspond à une position du Soleil SLVS à l'intersection de l'écliptique et de l'horizon du lever. Ce point est donc symétrique de SLVM à la fois sur l'écliptique et sur l'horizon du lever. Le jour du lever vrai du soir se situe donc 6 mois après celui du lever vrai du matin. En outre LVS a lieu environ 15 jours après LAS dans l'hypothèse d'Autolycus.
- 6) **CVM** «Coucher Vrai du Matin» ou «coucher cosmique» de l'étoile, qui correspond à une posi-

tion SCVM du Soleil à l'intersection de l'écliptique et de l'horizon du coucher. Ce point est donc symétrique de SCVS à la fois sur l'écliptique et sur l'horizon du coucher. Le jour du coucher vrai du matin se situe donc 6 mois après celui du coucher vrai du soir ; en outre il a lieu à un intervalle de temps  $\delta$  après LVS ; nous calculerons  $\delta$  ci-après.

7) **CAM** «Coucher Apparent du Matin» ou «coucher héliaque du matin», correspondant à la position SCAM du Soleil sur l'écliptique et intervenant environ 15 jours après CVM dans l'hypothèse d'Autolycus.

8) **CAS** «Coucher Apparent du Soir» ou «coucher héliaque du soir», correspondant à la position SCAS du Soleil sur l'écliptique, se produisant environ 5 mois après CAM dans l'hypothèse d'Autolycus, et environ 15 jours avant CVS dans la même hypothèse.

Proposons nous maintenant de déterminer le coucher vrai du matin de Lucida Pleïadum. L'étoile se couche en C, vers l'ouest situé en avant du plan de figure, alors que le Soleil se lève en S'p à l'intersection de l'écliptique et de l'horizon vers l'Est (en arrière du plan de figure). Désignons par Sp le point diamétralement opposé à S'p à la fois sur l'horizon et sur l'écliptique (Fig 5.8).

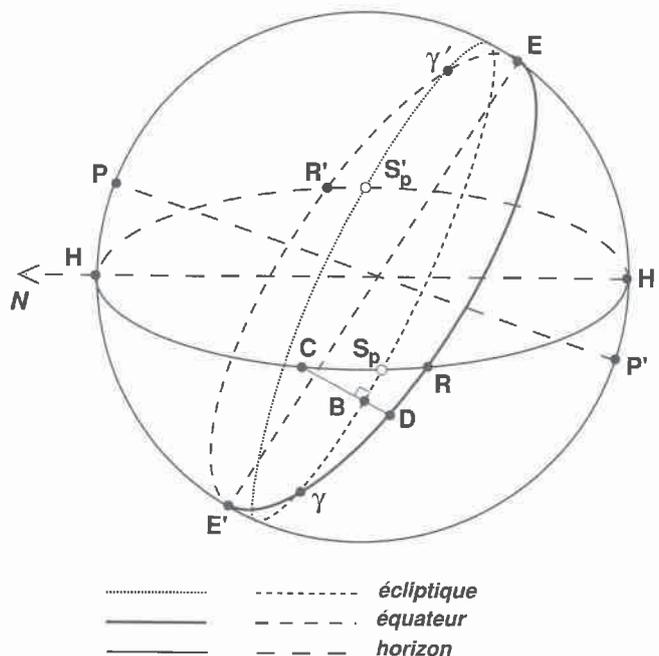


Fig. 5.8

L'équateur EE' rencontre le cercle horizon HH' en deux points diamétralement opposés R et R'. Abaissons de C l'arc de grand cercle CB perpendiculaire à l'écliptique et qui prolongé rencontre l'équateur en D.

Suivons exactement la même méthode de calcul que pour le lever vrai du soir (n°5.2.5).

a) Résolution du triangle  $\gamma BD$  rectangle en B

C'est le même triangle qu'en 5.2.5.

On obtient :

$$\widehat{D} = 69^{\circ},0824, \widehat{DB} = 11^{\circ},4820$$

d'où  $\widehat{DC} = 15^{\circ},5087$ .

b) Résolution du triangle sphérique CDR,

que nous ramenons aussi à la résolution de deux triangles sphériques rectangles en abaissant de C l'arc de grand cercle perpendiculaire en I à DR (Fig 5.9).

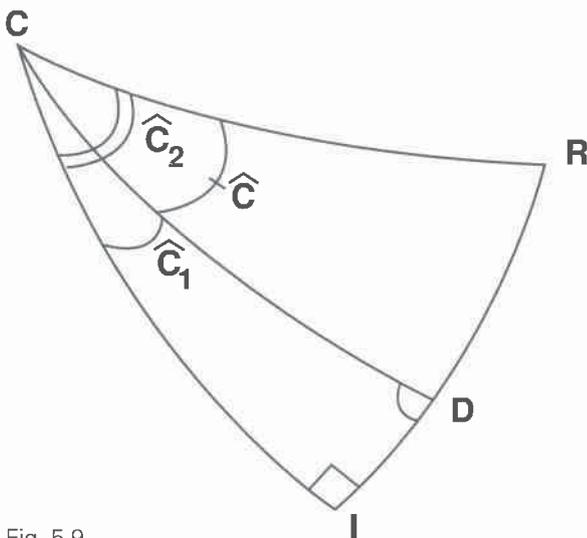


Fig. 5.9

Le premier triangle CID est le même que le triangle LHD du n°5.2.5.

On a donc :

$$\widehat{IC} = \widehat{HL} = 14^{\circ},4636$$

$$\widehat{C}_1 = \widehat{L}_1 = 21^{\circ},6361.$$

Dans le triangle CIR posons  $\widehat{ICR} = \widehat{C}_2$ .

Éléments connus :  $\widehat{R} = \widehat{Q} = 66^{\circ}$ ,

$$\widehat{IC} = 14^{\circ},4635.$$

Élément calculé :  $\widehat{C}_2$

On trouve :

$$\widehat{C}_2 = 32^{\circ},3792 \text{ et } \widehat{C} = \widehat{C}_2 - \widehat{C}_1 = 10^{\circ},7431$$

C Résolution du triangle SpBC rectangle en B

Éléments connus :  $\widehat{C} = 10^{\circ},7431,$

$$\widehat{BC} = \beta = 4^{\circ},0267.$$

Élément calculé :  $\widehat{BS}_p$

On trouve :

$$\widehat{BS}_p = 2^{\circ},5496$$

On en déduit :

$$\widehat{\gamma S}_p = \widehat{\gamma B} + \widehat{BS}_p = \widehat{l} + \widehat{BS}_p = 27^{\circ},5108 + 2^{\circ},5496 = 30^{\circ},0604$$

$$\widehat{\gamma S}'_p = 180^{\circ} + 30^{\circ},0604 = 210^{\circ},0604$$

Ainsi en négligeant la réfraction, on a en l'année 326 avant J.C., à la latitude :  $\varphi = 24^{\circ}$  :

• pour le LVS de Lucida Pleïadum :

$$\widehat{\gamma S}'_o = 203^{\circ},2826$$

• et pour le CVM de Lucida Pleïadum :

$$\widehat{\gamma S}'_p = 210^{\circ},0604.$$

On en tire les longitudes écliptiques du Soleil,

• pour le lever vrai du matin (LVM) :

$$\text{LVM} = \text{LVS} - 180^{\circ} = 23^{\circ},2826$$

• et pour le coucher vrai du soir (CVS) :

$$\text{CVS} = \text{CVM} - 180^{\circ} = 30^{\circ},0604.$$

d'où :  $\delta = \text{CVS} - \text{LVM} = \text{CVM} - \text{LVS} = 6^{\circ},7778$ .

On en déduit le tableau récapitulatif ci-après :

LVM	=	23°,2826
CVS	=	30°,0604
LVS	=	203°,2826
CVM	=	210°,0604

Des levers et couchers vrais de l'étoile, on déduit ses levers et ses couchers apparents en additionnant ou soustrayant  $a = 15^{\circ}$ , dans l'hypothèse d'Autolycus (voir 3.32 B). Toutefois nous avons vu en 3.33 A que les longueurs des arcs, séparant lever et coucher vrai du lever ou coucher apparent correspondant, dépendaient d'un certain nombre de paramètres physiques, que l'on ne peut que déterminer expérimentalement, l'hypothèse d'Autolycus, donnant à ces quatre arcs la valeur uniforme de  $15^{\circ}$ , étant une simplification assez grossière.

**5.2.7 Bilan de l'expédition de Néarque**

La relation de Néarque, amiral de la flotte et celle d'**Onésicrite**, qui en était le pilote existe dans les écrits de **Strabon**, d'**Arrien**, de **Diodore** et de **Pline**. Certains historiens ont mis en doute la véracité de la relation de Néarque par suite de certaines exagérations et de fables. C'est ainsi que Néarque parle d'une île enchantée, d'une origine miraculeuse des Ichtyophages ; mais à cette époque tous les narrateurs grecs avaient l'habitude d'émailler leurs récits de descriptions merveilleuses. Bien que naviguant dans l'hémisphère Nord, il aurait au mois de Novembre vu le Soleil culminer au Nord à midi en un endroit, ce qui constitue une erreur regrettable de sa part.

Dans l'ensemble sa contribution géographique est importante, aussi bien par les mesures qu'il donne, par la description des accidents de la côte suivie et par les observations qu'il fait sur terre : étude des habitants, de la faune, de la végétation. Il analyse des structures géographiques en caractérisant les climats, les paysages, les types de production. Il traite des productions de l'Inde : riz, coton, belles mousselines, canne à sucre, soie. Jamais un de ces articles n'avait été porté d'Inde en Grèce par mer. Néarque inaugure ainsi une voie commerciale nouvelle, qu'avait imaginée Alexandre pour importer ces marchandises en Grèce.

### 5.2.8 Autres explorations commandées par Alexandre

#### *Explorations terrestres :*

**Callisthène**, neveu d'Aristote, fut chargé en 331 d'explorer le haut Nil et d'étudier le régime de ce fleuve ; Alexandre adressa le rapport de l'expédition à Aristote, qui le déclara pleinement satisfaisant. L'ambassadeur qui fut envoyé chez les Scythes en 330 fut chargé d'étudier la topographie du pays.

#### *Explorations maritimes :*

**Herakleidès** (ou Héraclide) reçut la mission d'explorer en 324 la mer d'Hyrcanie, c'est-à-dire la Caspienne. D'une part il devait construire des vaisseaux avec les bois dont le pays abonde, d'autre part il devait reconnaître si la Caspienne était réunie au Pont-Euxin ou si, comme le Golfe Persique et la Mer Rouge, elle était un épanchement de l'Océan. On ne connaissait que le Sud de la Mer Caspienne et la boucle Sud de l'Iaxarte (Syr Daria) sur laquelle avait été fondée Alexandrie-Eschaté. L'Iaxarte se jettait-il dans la Mer Caspienne ?

Le même problème se posait pour l'Oxus (Amou Daria) :

• **Anaxicratès** fut chargé d'explorer le Golfe Arabique (Mer Rouge) et le Yemen.

• **Androsthène de Tasos** devait longer le côté occidental du Golfe Persique (voir carte n° 5.4) car Néarque avait exploré le côté oriental. Androsthène reconnut l'île de Tylos (actuellement Bahrein), où il nota que faute de pluie, les plantes s'adaptèrent aux eaux salines. Il y releva aussi le bois de teck et une variété de cotonnier.

### 5.2.9 Les Bématistes d'Alexandre

Alexandre avait pris soin de confier l'arpentage des territoires conquis aux «bématistes», les ancêtres grecs des ingénieurs géographes militaires. Les bématistes étaient chargés aussi de reconnaître les itinéraires que suivraient les troupes d'Alexandre, de recueillir les renseignements topographiques avant les batailles et de les consigner par écrit. Parmi ces bématistes on connaît un certain **Philonidès**, mais la plus grande partie d'entre eux était placée sous les ordres de **Baéton** et de son collègue **Diognète**. Le premier publia au retour un ouvrage géographique intitulé : «Stathmes» (ou stations). Malheureusement cet ouvrage n'est pas parvenu jusqu'à nous. Pline nous en a conservé un extrait concernant la partie de l'itinéraire compris entre les Portes Caspiennes et l'Hyphase et nous donne un aperçu des distances contenues dans la table dressée par Baéton et Diognète, table qui devait faire partie des «Stathmes».

L'usage grec était de compter en pas ou plutôt en double pas. Il y avait 2 pieds et demi dans un pas et 5 pieds dans un double pas ; soit 1,54m par double pas.

La table donnait : 133 000 doubles pas des Portes Caspiennes à Hécatompylos (He sur la carte 5.4) et 566 000 doubles pas de cette ville à Alexandrie d'Arie, ce qui donne des Portes Caspiennes à Alexandrie d'Arie un total de :

$$(133\ 000 + 566\ 000) \times 1,54\text{m} = 1\ 076\ 460\text{m} = 1\ 076,46\text{km}$$

On a une autre évaluation de cette distance d'après Strabon : 6 400 stades, soit :

$$6\ 400 \times 157,5 = 1\ 008\ 000\text{m} = 1\ 008,00\text{km}$$

Les cheminements suivis, le long desquels étaient comptés les doubles pas, se recoupaient en un certain nombre de «stations» ou de «stathmes», qui ont donné leur nom à l'ouvrage de Baéton, et qui concernaient surtout des cols, des confluent, des carrefours. Nous leur donnerions aujourd'hui le nom de «points nodaux». Les orientations devaient être prises au Soleil.

Un autre bématiste : **Amyntas** écrivit un livre relatant des résultats de mesurages d'itinéraires, intitulé lui aussi : «Stathmes».

D'après les données des bématistes Strabon a reconstitué le tracé de deux routes partant d'Alexandrie d'Arie et se dirigeant : l'une vers la Bactriane par le Paropamisos, l'autre vers l'Indus vers le Sud.

Eratosthène s'appuya sur les données des bématistes d'Alexandre pour donner un tracé plus précis des parties orientales de l'œcumène. Comme le montrera plus tard Hipparque, en critiquant la carte d'**Eratosthène**, les résultats obtenus par les bématistes avaient une précision très médiocre, malgré l'affirmation ci-après de **Vivien de St Martin** (Bibl. 3) :

«Nos moyens actuels de vérification pour une portion considérable de ce long itinéraire, qui embrasse toute la longueur de la région comprise entre le Sud de la Mer Caspienne et les approches du Gange, ont permis d'y constater une exactitude géométrique que ne surpasseraient pas les procédés de nos ingénieurs». Ceci fut écrit en 1873 ; la 2<sup>e</sup> triangulation française, celle des ingénieurs géographes, poursuivie, en ce qui concerne la triangulation de détail, après 1831 par les officiers d'Etat-major, était terminée et l'on voit mal des mesures au pas atteindre la précision d'une cartographie appuyée sur un réseau de triangulation !

Il apparaît aussi par des fragments que ces bématistes avaient été chargés par Alexandre de recueillir des renseignements sur la nature géographique des diverses régions conquises, sur la

faune, la flore, le peuplement. C'est ce que fit notamment Néarque.

### 5.3 Bilan de l'expédition d'Alexandre le Grand

Alexandre avait en onze ans quasi doublé la surface de l'œcumène grec. Les itinéraires à grand parcours levés par les bématises d'Alexandre reçurent un tracé bien défini, devinrent de grandes voies commerciales et militaires dans les royaumes nés de l'Empire d'Alexandre, fixant les grands itinéraires caravaniers de la Chine et de l'Inde vers la Méditerranée.

C'est ainsi qu'on peut citer :

- 1) l'itinéraire de Thapsaque à Ectabane par Arbelès et Artémite, abrégant notablement le détour vers le Sud que fit Alexandre,
- 2) l'itinéraire d'Ectabane à Bactres par les Portes Caspiennes, joignant directement Nissaïa à Bactres, en évitant la grande boucle du Sud parcourue par Alexandre,
- 3) l'itinéraire suivi par Alexandre des Portes Caspiennes à l'Indus par Alexandrie d'Arrie, Alexandrie d'Arachosie, Kaboul et la passe de Khaïber,
- 4) l'itinéraire de Suse à Kerman par les Portes Persiques.

La longue voie longitudinale qui partait de Tyr, empruntait l'itinéraire 1, puis l'itinéraire 2, gagnait ensuite le Pamir et la Chine, fut pendant des siècles «la route de la soie». En 1931 la «Croisière Jaune» d'André Citroën emprunta dans sa traversée de l'Iran et de l'Afghanistan le parcours suivi par Alexandre le Grand vingt deux siècles auparavant.

Trois historiens d'Alexandre : **Callisthène, Aristobule et Onésicrite** (chef pilote de Néarque) ont eu des préoccupations géographiques et ont essayé de décrire les territoires conquis par Alexandre, mais les digressions ethnologiques, zoologiques, botaniques l'emportent sur la géographie proprement dite.

Alexandre fut aussi un bâtisseur et un aménageur : 7 villes fondées par lui portèrent le nom d'Alexandrie. La plus prestigieuse d'entre elles : Alexandrie d'Egypte, dont le choix du site fut particulièrement heureux, contribuera largement au rayonnement de la culture grecque à partir du 3ème siècle avant J.C. et plus particulièrement à l'épanouissement des sciences géographiques.

Alexandre fit construire aussi des ports, des digues, des canaux d'irrigation, des ponts... Enfin il fit recenser les productions des pays conquis. C'est ainsi que **Gorgos**, «expert minier», fut chargé de faire un rapport sur les considérables ressources, en sel, en or, en argent, du royaume indien de Sopeithès.

---

## Bibliographie

1) Voyage de Néarque des Bouches de l'Indus jusqu'à l'Euphrate ou journal de l'expédition de la flotte d'Alexandre, rédigé sur le journal original de Néarque conservé par Arrien... par **William Vincent** ; traduit de l'anglais par **J.B.L.J. Billecocq**. Imprimerie de la République Paris An VIII.

2) Histoire de l'astronomie ancienne par **M. Delambre**. Paris 1817.

3) Histoire de la Géographie et Atlas pour l'histoire de la Géographie par **Vivien de St Martin**. Paris 1873.

4) Histoire des Sciences par **B. Brunet et A. Mieli**. Paris 1936.

5) Les somnambules par **Arthur Koestler**. Paris 1960.

6) La science antique et médiévale. Tome I de l'Histoire Générale des Sciences. Paris 1966.

7) Alexandre le Grand par **Pierre Briant**. Paris 1974.