

Coordonnées répertoriées dans la Géographie de Claude Ptolémée

Une explication vraisemblable de la surévaluation des longitudes par l'observation des éclipses de Soleil

■ Pierre HERRMANN

NOTE DE LA RÉDACTION D'XYZ : L'auteur, d'une érudition certaine, n'est spécialisé ni en Astronomie ni en Sciences géographiques. Ainsi, il émet dans cet article certaines hypothèses originales, voire anticonformistes. Elles trouveront une vérification probante dans l'article suivant de Robert Vincent.

■ MOTS-CLÉS

Coordonnées, éclipses, (éclipses de Soleil, éclipses de Lune), géographie (Géographie), gnomon, latitude, longitude, Ptolémée (Claude), Table de Peutinger - Chine, Inde, Empire romain.

Les coordonnées mentionnées dans la Géographie de Claude Ptolémée résultent de mesures et non d'évaluations, comme on l'admet usuellement. L'analyse des méthodes de mesure disponibles à l'époque montre que la précision des latitudes est correcte. Les longitudes présentent une bonne corrélation linéaire avec celles connues aujourd'hui : le méridien zéro est à 11° 20' à l'ouest de Greenwich ; la surévaluation est de 47 %. L'examen des méthodes de mesure révèle qu'elles ont été déduites de l'observation d'éclipses de Soleil : manifestement l'auteur de la Géographie ignorait qu'elles ne sont pas observables partout au même moment, ce qui explique la surévaluation des longitudes. Dans l'article suivant de Robert Vincent, un calcul des longitudes à partir des heures de passage de l'éclipse de Soleil du 11 août 1999 montre que la surévaluation des longitudes avait exactement la même valeur que celle déduite des longitudes de la Géographie : ceci valide on ne peut mieux notre hypothèse. La mesure des coordonnées a requis un énorme travail : divers indices montrent qu'il résulte certainement d'une coopération internationale (Chine, Inde et Rome). Qui plus est, Ptolémée ne s'est probablement pas impliqué dans la mesure des coordonnées, elles ont certainement été insérées dans la Géographie après sa mort.

Claude Ptolémée a vécu au II^e siècle de notre ère à Alexandrie. Ses traités d'astrologie et d'astronomie l'ont rendu célèbre. Mais surtout, il a rédigé une "Géographie" qui se compose de huit livres : six d'entre eux – du deuxième au septième – listent environ huit mille toponymes avec leurs coordonnées ; divers commentaires géographiques y ont été insérés.

Les lieux décrits se situent dans l'Empire romain mais également dans d'autres pays, y compris en Chine. La proportion de lieux facilement identifiables varie

selon les régions ⁽¹⁾ : élevée dans la partie occidentale de l'Empire, elle faiblit au fur et à mesure que l'on s'approche de l'Orient, pour devenir infime au-delà des frontières.

Lorsque l'on compare les coordonnées de la Géographie avec celles mesurées à l'époque actuelle, des désaccords importants apparaissent ⁽²⁾. Les érudits les ont donc critiquées ⁽³⁾, ce qui explique qu'elles aient été peu étudiées à ce jour ⁽⁴⁾.

Dans le premier livre, Ptolémée cherche comment réaliser des cartes : ce livre constitue une bonne introduc-

tion au huitième qui en contient plusieurs. Ce qu'il écrit concernant la mesure des coordonnées peut se comprendre en ce sens : celles-ci sont utiles parce que les cartes en sont déduites. En revanche, il s'étend peu sur la provenance de ces coordonnées : il révèle seulement qu'il y a des incompatibilités entre les données disponibles de son temps et celles qui ont été fournies par Marin de Tyr. Ce dernier ayant vraisemblablement vécu peu de temps avant Ptolémée ⁽⁵⁾, des mesures ont certainement été entreprises à cette époque, mais nous ne pouvons pas savoir si les coordonnées consignées dans la Géographie sont celles de Marin de Tyr ou si elles résultent de nouvelles mesures. Il aurait pourtant été logique que Ptolémée s'explique sur ce point : à défaut l'on peut s'interroger sur le lien existant entre le géographe et la liste des coordonnées.

Il est également difficile d'établir une relation entre les cartes du huitième livre et les listes de toponymes avec leurs coordonnées contenues dans les six autres : en dehors de l'Empire l'on retrouve rarement les mêmes toponymes. Divers indices ont amené certains érudits à considérer ces cartes comme des adjonctions tardives ; notons cependant que l'une d'entre elles montre la déformation caractéristique des projections préconisées par Ptolémée. Suite à ces incertitudes, nous ne tiendrons pas compte des cartes et ne chercherons pas à en établir nous-mêmes. Nous ne nous livrerons pas non plus à une étude toponymique qui



a déjà été tentée, du moins pour certaines régions.

Nous n'examinons ici que les coordonnées de la Géographie. Comme toutes les localités ne peuvent être identifiées, notamment en Orient, nous avons sélectionné une centaine d'entre elles en limitant leur nombre en Occident, de manière à ne pas sous-estimer les autres régions. Malheureusement, en dehors de la capitale de la Chine, aucun toponyme situé en dehors des empires parthe et romain n'a pu être retenu.

Latitudes des toponymes listés dans la Géographie

Divers auteurs antiques ont publié quelques latitudes⁽⁶⁾. Plus tard, à l'apogée du califat de Bagdad, des géographes ont édité des listes de toponymes avec leurs coordonnées : leur comparaison avec ceux de la Géographie est délicate car la plupart des noms diffèrent considérablement⁽⁷⁾. Environ la moitié des coordonnées publiées par al-Battani correspondent à celles de Ptolémée, la proportion descend à un quart pour celles de Yāqūt et n'est que de dix pour-cent pour celles d'al-Khwarazmi. Néanmoins, il est rare que les deux coordonnées (latitude et longitude) d'un toponyme correspondent en même temps à celles indiquées par Ptolémée : la proportion n'est que d'une quinzaine de pour-cent pour al-Battani et Yāqūt et infime pour al-Khwarazmi. Il est donc invraisemblable que ce dernier ait recopié Ptolémée, et peu probable que les deux autres géographes aient procédé à de simples compilations accompagnées d'une réactualisation des toponymes. Les listes réalisées par les géographes arabes sont pratiquement restreintes au califat, ce qui limite les possibilités de comparaison à une quinzaine de villes⁽⁸⁾ (voir tableau).

En Occident, l'on ne publiera des listes de toponymes avec coordonnées que

bien plus tard. En 1530 Oronce Fine sur-évalue encore les latitudes de 52 minutes en moyenne, l'écart-type n'étant cependant plus que de 15 minutes⁽⁹⁾.

Les latitudes incluses dans la Géographie ont vraisemblablement été mesurées à partir de la longueur minimale de l'ombre d'un gnomon, lors des équinoxes, la latitude étant alors le complément à 90° de l'angle de hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon. Cette méthode semble facile mais sa précision est limitée. Il faut tout d'abord transformer la longueur de l'ombre en un angle : en utilisant une méthode graphique, il faut être très soigneux pour obtenir une grande précision. Une table trigonométrique a été incluse par Ptolémée dans l'Almageste mais elle est d'un emploi incommode : elle ne donne pas la cotangente nécessaire pour transformer la longueur de l'ombre en un angle, mais quelque chose qui s'apparente au sinus. Son utilisation requiert donc des calculs trop complexes (racines carrées) pour la mesure des latitudes⁽¹⁰⁾. L'on peut même douter que la table éditée récemment soit une copie fidèle de ce qui existait dans l'Antiquité⁽¹¹⁾.

Ajoutons qu'il y a d'autres causes d'erreur : l'ombre de l'extrémité supérieure du gnomon est floue, le diamètre apparent du Soleil étant d'une trentaine de minutes. Par ailleurs, une incertitude concerne le moment exact des équinoxes, car une erreur d'un jour entraîne déjà un écart de latitude d'environ vingt-quatre minutes. Et même en l'absence d'erreur de date, l'on aura encore une dispersion des latitudes de vingt-quatre minutes. En effet, la notion d'équinoxe n'est qu'une approximation : ce n'est pas durant toute la journée où il se produit que le centre du Soleil coupe l'équateur céleste, mais à un moment précis. Si ce moment coïncide avec midi (heure locale) la mesure sera juste, sinon l'erreur induite par la mesure de la posi-

tion du Soleil à la mi-journée pourra atteindre $\pm 12'$.

Des mesures auraient pu être faites à d'autres dates que celles des équinoxes, mais elles auraient requis une bonne connaissance des variations de la déclinaison du Soleil au cours de l'année ; or nous savons que l'inclinaison de l'écliptique n'était connue qu'à quelques dizaines de minutes d'angle près.

Avec les connaissances de l'époque, l'on pouvait atteindre au mieux une précision d'environ un demi-degré pour la mesure des latitudes, ce qui correspond à une incertitude de positionnement d'un lieu quelconque, sur la surface terrestre, d'une cinquantaine de kilomètres, donc trop forte pour permettre des localisations précises. Ceci peut expliquer les critiques injustifiées dont Ptolémée a été l'objet : elles résultent d'une méconnaissance des problèmes de mesure⁽¹²⁾. Il est d'ailleurs regrettable, qu'à ce jour, ses coordonnées n'aient été utilisées que pour des problèmes de localisation d'un intérêt limité⁽¹³⁾.

L'écart-type des différences entre les latitudes connues aujourd'hui et celles de la Géographie est de 2° 2', donc supérieur à ce que l'estimation des causes d'erreurs avait laissé entrevoir : environ un demi-degré. L'histogramme des écarts (donné plus loin) montre cependant que la distribution d'environ la moitié des latitudes correspond à ce que le calcul d'erreur avait laissé prévoir : le savoir-faire de ceux qui ont procédé aux mesures était donc excellent pour l'époque⁽¹⁴⁾. En revanche, pour ce qui est de la deuxième moitié des toponymes, les différences sont trop grandes et leur dispersion n'est pas gaussienne : les écarts les plus importants concernent le Maghreb, où les latitudes sont systématiquement sous-évaluées de plus de 4°. Notons cependant qu'environ deux siècles auparavant, Strabon avait déjà fait pratiquement la même sous-évaluation pour Carthage : il est donc possible que la Géographie de Ptolémée reprenne en cette région d'anciennes valeurs erronées. En Bretagne (l'île), les latitudes sont au contraire fortement surévaluées.

Ailleurs dans l'Empire, des mesures fortement décalées sont souvent mêlées à

Erreurs de latitude en minutes	Ptolémée	Yāqūt	al-Khwarazmi	al-Battani
Moyenne (erreurs systématiques)	46	77	-17	-33
Ecart-type (erreurs aléatoires)	126	167	94	130



d'autres tout à fait valables. Par exemple, dans le Nord-Ouest de la Gaule, à Amiens et à Boulogne-sur-Mer, l'écart dépasse deux degrés, alors qu'à Vermand il n'est que de 8'. Les différences entre les latitudes connues aujourd'hui et celles de la Géographie sont souvent plus faibles pour les grandes villes que pour les petites. Ceci ne signifie pas forcément que les dernières résultent d'interpolations : elles peuvent simplement avoir été mesurées avec moins de soin.

Dès que l'on franchit les limites de l'Empire, les latitudes sont souvent surévaluées⁽¹⁵⁾. Par exemple pour Balkh ou la capitale de la Chine, la surévaluation atteint près de quatre degrés. C'est dans le Sud-Est asiatique que les erreurs sont les plus grandes. Les bouches du Gange sont encore à peu près correctement positionnées, avec une sous-évaluation d'environ quatre degrés, mais plus au sud les coordonnées deviennent fantaisistes. Ainsi la dimension de l'île de Ceylan est beaucoup trop grande : environ quinze degrés du nord au sud alors

qu'en réalité il n'y a qu'un peu plus de trois degrés ; de plus, elle est positionnée dans l'hémisphère sud alors que sa pointe méridionale est à environ six degrés au nord de l'équateur. Plus loin, la disposition des lieux ne correspond nullement à la réalité : les Gréco-Romains ignoraient tout de la péninsule de Malacca et des îles de la Sonde.

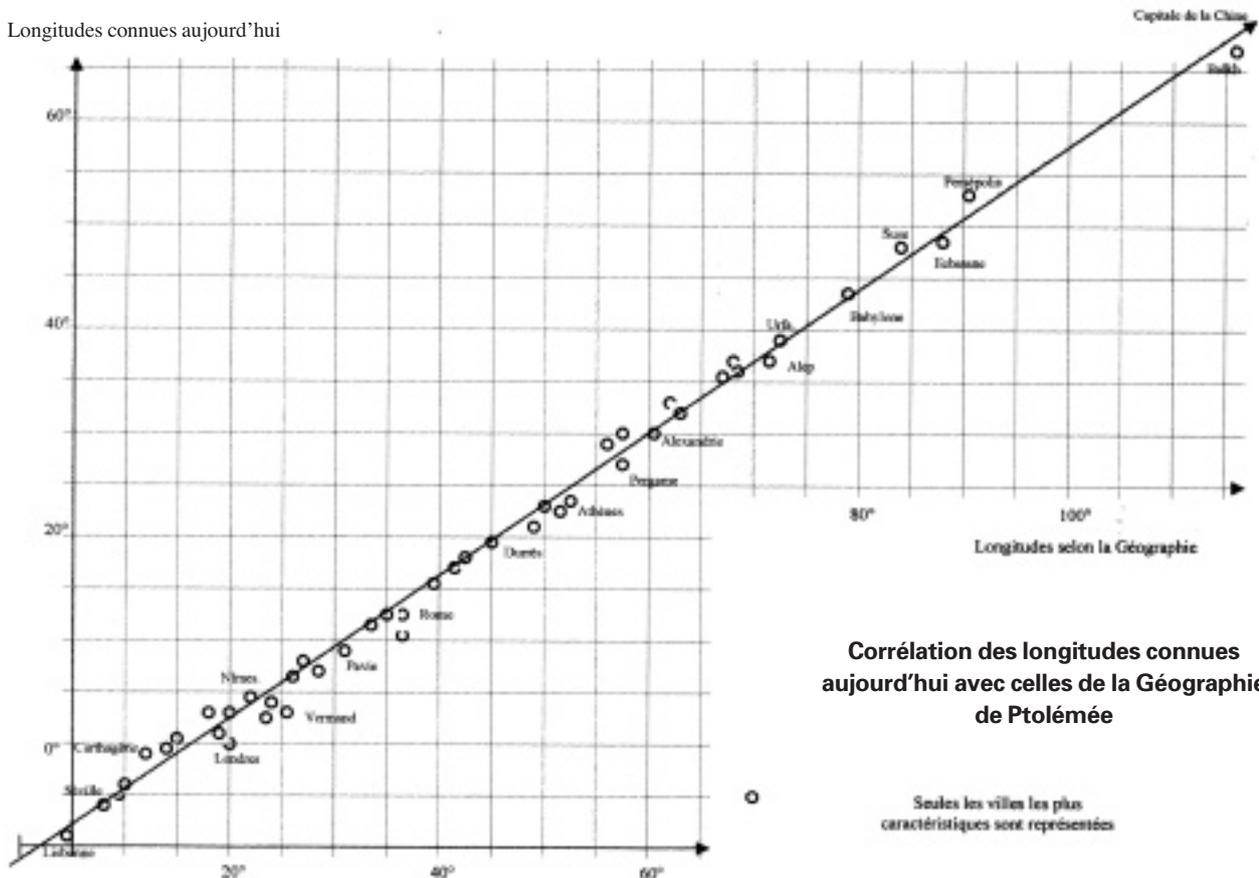
Longitudes des toponymes

Les longitudes de la Géographie sont manifestement surévaluées, cependant lorsque l'on trace un diagramme donnant, en fonction des longitudes connues aujourd'hui, celles de Ptolémée, l'on constate que les points s'alignent bien. La pente de la droite de régression montre que les longitudes sont surévaluées dans un rapport de 1,47. Ce coefficient permet de mesurer que le méridien zéro des longitudes est à 11° 20' à l'ouest de Greenwich : il ne correspond pas à la ville d'Alexandrie, ce que Ptolémée avait laissé entrevoir. En réalité la liste énumérée dans la

Géographie commence par la description de l'Irlande : les quelques sites mentionnés sont difficilement localisables. Notons cependant que l'îlot le plus occidental, au large de la péninsule de Dingle, est à 10° 39' ouest⁽¹⁶⁾ : il constitue vraisemblablement le point de départ des longitudes de la Géographie⁽¹⁷⁾.

Dans ce qui suit nous admettons que les longitudes de la Géographie ne sont pas accidentellement erronées, mais qu'une cause spécifique a amené une surévaluation de 47 % : notre but est de l'analyser afin de trouver son origine. Nous appellerons longitude *corrigée* celle qui est obtenue en divisant les valeurs de la Géographie par 1,47 et en y retranchant 11° 20' : l'écart de longitude sera calculé en comparant cette dernière valeur à la longitude du lieu connue aujourd'hui.

L'écart-type de ces différences de longitude est de 1° 17' : il est presque deux fois plus faible que celui des latitudes, alors que la mesure des longitudes est a priori plus difficile ! La dispersion des longitudes est si faible qu'elle ne peut



correspondre à ce qu'une simple estimation, faite à partir des connaissances géographiques de l'époque, aurait permis.

En comparant les deux histogrammes, l'on s'aperçoit que la dispersion des longitudes est plus grande, ce qui est normal, mais que c'est l'absence de grands écarts, donc de grandes erreurs, qui a réduit l'écart-type. L'exemple type est fourni par le Maghreb : nous avons indiqué par des hachures les mesures correspondantes. Les latitudes sont toujours fortement sous-évaluées, en revanche la dispersion des longitudes est presque normale. En cette région, il est donc probable que la provenance des longitudes est différente de celle des latitudes : les mesures résultent vraisemblablement de deux campagnes différentes.

Ailleurs les anomalies régionales sont moins nettes, des écarts plus importants sont souvent intercalés entre des mesures valables. Ceci se produit notamment dans le Nord-Ouest de l'Empire : par exemple à Vermand l'écart atteint 2° 53', en revanche il est faible à Cologne, Trèves ou Strasbourg. Les autres écarts importants correspondent

à des lieux situés en dehors de l'Empire, notamment à Suse et à Persépolis où ils dépassent également deux degrés. Insistons cependant sur le fait que de tels écarts sont faibles, l'on ne fera guère mieux avant le XVIII^e siècle.

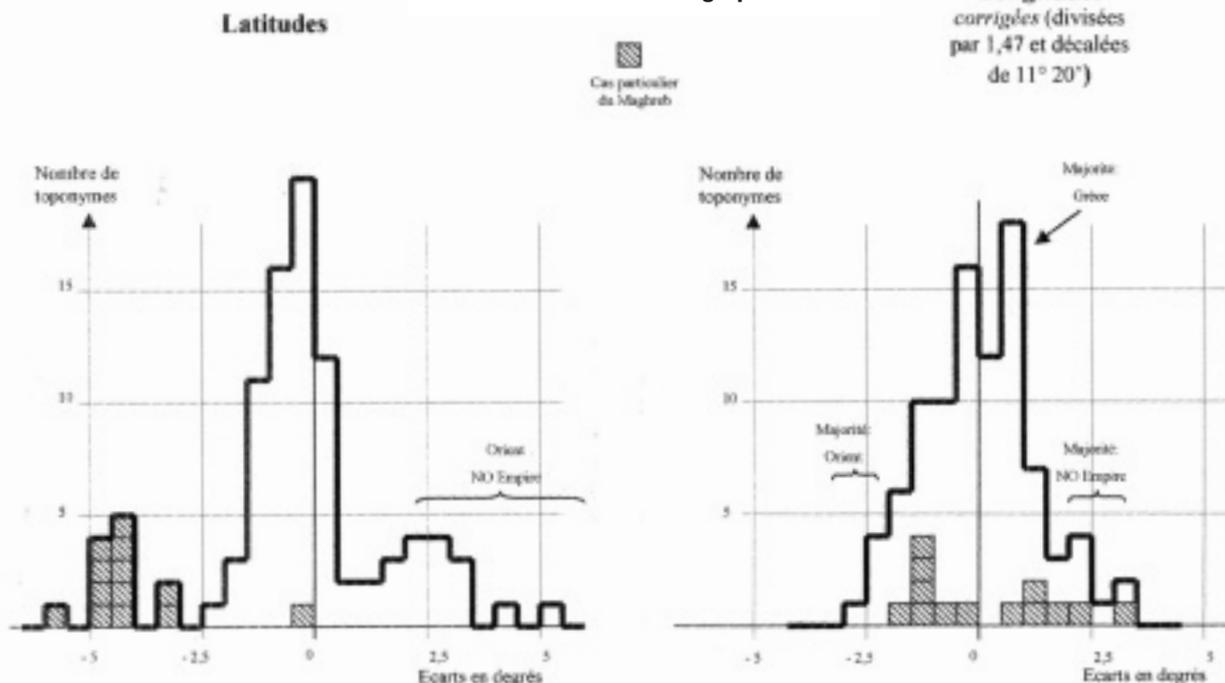
En Grèce, y compris en Ionie, la plupart des longitudes présentent un écart compris entre 1/2° et 1°, ce qui dédouble le sommet de l'histogramme. Les latitudes correspondantes ont cependant une distribution tout à fait normale.

Comment les longitudes ont-elles été mesurées ? L'on a souvent évoqué des interpolations, cependant de telles opérations sont complexes et difficiles à réaliser. L'on peut facilement s'en convaincre en analysant les discussions de Strabon quant à la dimension et à la forme de la Méditerranée⁽¹⁸⁾ ; pour le Proche-Orient il en est réduit à des observations oiseuses sur Hipparque ; ailleurs il critique de la même manière Pythéas le Massaliote en prenant à témoin Homère⁽¹⁹⁾, alors que ce dernier n'a jamais fourni la moindre valeur permettant d'en déduire des longitudes. Dans tous leurs ouvrages les géographes gréco-romains montrent qu'ils avaient des connaissances trop insuffi-

santes de l'Empire pour fournir, par interpolation, des coordonnées même très approximatives⁽²⁰⁾ : par exemple ils donnaient une orientation nord-sud aux Pyrénées ! Ajoutons qu'une telle opération réalisée d'après de bonnes cartes s'apparente à un cercle vicieux, puisque les cartes précises à grande échelle sont obligatoirement déduites d'observations astronomiques⁽²¹⁾. Pour contourner cette difficulté, l'on a imaginé que les coordonnées auraient été déduites d'itinéraires⁽²²⁾. C'est aussi peu vraisemblable car :

- de telles interpolations sont encore plus incertaines que celles faites à partir de distances à vol d'oiseau⁽²³⁾ ; contrairement à ce qui est souvent affirmé, les voies romaines étaient fréquemment très sinueuses : la sinuosité globale de tous les itinéraires d'Antonin est de 45 %⁽²⁴⁾ ;
- la plupart des gros écarts ne concernent qu'une seule coordonnée, l'autre présentant un écart faible ; or les mesures de latitude et de longitude sont indépendantes, puisque faites à des dates différentes (équinoxe ou éclipse). Au contraire, une interpolation fautive devrait plutôt entraîner une erreur concernant les deux à la fois ;

Histogramme des écarts entre les coordonnées connues aujourd'hui et celles de la Géographie



- une telle opération ne déforme pas les longitudes par rapport aux latitudes ;
- la succession des toponymes à l'extérieur de l'Empire exclut cette hypothèse (voir plus loin) ;
- aucun itinéraire décrivant des routes de pays situés à l'extérieur de l'Empire romain, hormis celles de l'Inde⁽²⁵⁾, ne nous est parvenu, ou n'a été évoqué par les anciens. En ce qui concerne la Table de Peutinger (qui ne constitue pas un itinéraire) il est invraisemblable qu'elle ait pu être à l'origine de la Géographie⁽²⁶⁾.

Selon Ptolémée les longitudes peuvent être déduites de l'observation des éclipses⁽²⁷⁾. Effectivement, si l'on admet qu'une éclipse peut être observée simultanément depuis différents lieux, il suffit de mesurer, lors d'une telle occurrence, la position angulaire d'un astre dans le sens est-ouest. La longitude aurait aussi pu être déduite de l'heure locale de l'éclipse, cependant cette méthode aurait entraîné des incertitudes supplémentaires.

Deux types d'éclipses peuvent être observés sans instruments astronomiques : celles dites de Lune et celles dites de Soleil. Il ne faut pas s'en tenir à une traduction stricte du terme utilisé par Ptolémée car le sens des expressions a pu évoluer entre-temps ; nous verrons plus loin qu'il n'est même pas certain que Ptolémée ait été à l'origine de la collecte des coordonnées. Notons que, selon Strabon, les deux types d'éclipses auraient été utilisées à l'époque pour mesurer les longitudes⁽²⁸⁾.

Les éclipses de Lune se produisent lorsque cet astre entre dans le cône d'ombre de la Terre. Ces éclipses sont trop lentes et surtout l'ombre de la Terre n'est pas assez nette pour pouvoir noter avec précision les instants du phénomène et permettre d'en déduire des différences de longitude. Une erreur d'une demi-heure correspond déjà à une erreur de longitude de 7° 30'. Il est donc invraisemblable que l'on se soit servi des éclipses de Lune pour établir les longitudes consignées dans la Géographie avec la précision que nous avons relevée. Ajoutons que de telles observations n'entraînent pas de surévaluation des longitudes. Qui plus est, la mesure de la position des astres est difficile car ces éclipses

ne sont observables que la nuit : il faut donc, soit noter précisément l'heure locale de leur occurrence, soit relever la position exacte des étoiles, ce qui en l'absence d'instruments astronomiques est difficile.

Pour un observateur terrestre, lors d'une éclipse de Soleil, c'est la Lune qui occulte le Soleil. Une telle éclipse est plus rapide qu'une éclipse de Lune et surtout les début et fin du phénomène sont observables d'une façon précise car les bords de la Lune sont nets. Comme elle est observée de jour, l'on peut se contenter de suivre l'ombre d'un gnomon pour mesurer la position angulaire du Soleil, sans outillage plus perfectionné. En un lieu, les éclipses de Soleil sont plus rares que les éclipses de Lune ; qu'elles soient partielles ne constitue pas un inconvénient⁽²⁹⁾ : au contraire cela peut faciliter la mesure de la position angulaire du Soleil, au moment adéquat, au moyen d'un gnomon.

Manifestement les hommes de l'époque ignoraient que les éclipses de Soleil ne sont pas observables partout au même moment : par suite de la rotation de la Lune autour de la Terre, le cône d'ombre se déplace rapidement. Cependant la vitesse de balayage est affectée par plusieurs causes importantes, notamment par la rotation de la Terre sur son axe qui se fait dans le même sens que l'éclipse, ainsi que par la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon. Les calculs théoriques sont complexes. Nous préférons pour notre part, renvoyer le lecteur à l'article suivant de Robert Vincent qui montre qu'en adoptant la méthode utilisée au temps de Ptolémée, les longitudes déduites des heures de passage de l'éclipse de Soleil du 11 août 1999 présentent exactement la même surévaluation que celle déduite des longitudes mentionnées dans la Géographie. Ceci montre que ce sont certainement des éclipses de Soleil qui ont été utilisées pour mesurer les longitudes.

La mesure des longitudes au moyen de l'observation des éclipses semble intuitive, mais elle a toujours suscité des difficultés. Il est intéressant d'analyser la dernière tentative faite en ce sens. Au XVII^e siècle, l'emploi de lunettes astro-

nomiques avait permis de découvrir les éclipses des satellites de Jupiter, qui sont fréquentes, rapides et visibles sur toute la Terre en même temps. Elles auraient donc dû permettre une mesure précise des longitudes ; cependant l'on a constaté que leur périodicité fluctuait d'environ un quart d'heure. Olaus Römer a attribué ces fluctuations au temps mis par la lumière pour nous parvenir, lequel est variable selon les positions respectives des deux planètes. Il a été le premier à montrer que la lumière ne se propage pas instantanément.

Depuis lors l'on n'utilise plus les éclipses, quelles qu'elles soient, pour mesurer les longitudes⁽³⁰⁾ ; celles-ci ont été mesurées au moyen de chronomètres de marine (John Harrison vers 1760) qui gardent le temps du méridien d'origine avec précision, durant des semaines, voire des mois.

Dans l'Antiquité les clepsydres, ou autres instruments servant à mesurer le temps, étaient beaucoup trop imprécis. Le changement de la méthode utilisée pour mesurer les longitudes explique certainement pourquoi la principale cause d'erreur, affectant les valeurs données par Ptolémée, n'a pas été décelée : ceux qui connaissaient ces problèmes ne se sont guère souciés des coordonnées contenues dans la Géographie de Ptolémée et les historiens qui s'y sont intéressés ne se sont pas suffisamment préoccupés des problèmes astronomiques...

Une seule éclipse de Soleil n'a pas pu couvrir toute la zone décrite dans la Géographie, vraisemblablement plusieurs éclipses ont été utilisées. Une analyse systématique des coordonnées permettrait certainement de découvrir bien des points intéressants, mais il s'agit là d'un travail énorme qui dépasse notre objectif et nos moyens. Ajoutons que ce travail doit se faire impérativement à partir d'une bonne édition critique de la Géographie, car les anciennes éditions soulèvent trop de problèmes : les reproches que certains de leurs auteurs se sont mutuellement adressés constituent un bon indice à cet égard⁽³¹⁾. Nous nous contenterons donc d'examiner le problème de la provenance des coordonnées.

Provenance des coordonnées

La succession des toponymes dans la Géographie n'est pas aléatoire : dans l'Empire ils suivent souvent des routes qu'il est ainsi possible de retracer ; notons que si leur tracé semble erratique, la direction moyenne est correcte. Ceci confirme que les coordonnées proviennent de véritables mesures car, si elles avaient été le résultat d'interpolations, le tracé serait plus "lisse" mais avec une direction moyenne aléatoire. En revanche, en Orient, la succession des toponymes est différente : elle correspond à un balayage de chaque pays, approximativement dans le sens ouest-est, dont le meilleur exemple se trouve au chapitre 20 du livre VI. Il est peu vraisemblable que cette différence ait une origine rédactionnelle : elle résulte vraisemblablement d'une méthodologie de mesure différente selon le pays. Vouloir attribuer toutes les coordonnées à un seul auteur semble inadéquat.

En tout état de cause la mesure des coordonnées consignées dans la Géographie a constitué un travail colossal. Déjà pour les latitudes il aurait fallu de nombreux siècles à une seule équipe pour réaliser un tel travail⁽³²⁾.

La mesure des longitudes à partir des éclipses a dû mobiliser énormément de monde, car il fallait être simultanément présent dans toutes les localités concernées lors des éclipses. Ptolémée n'a donc pas pu mesurer lui-même toutes les coordonnées qu'il mentionne. Même si seule la position de quelques lieux avait été mesurée, les autres coordonnées résultant d'interpolations, ceci ne modifierait guère le problème : par exemple, en se contentant de ne relever que 10 % des longitudes, il lui aurait fallu disposer d'environ un millier d'équipes de disciples ! Qui plus est, il fallait que ces hommes soient des experts, car mesurer très précisément la position du Soleil n'est pas à la portée du premier venu. Ajoutons que, lors de l'éclipse, le ciel risquait d'être voilé : il fallait donc tout recommencer à l'occasion d'une nouvelle éclipse...

En dehors de toute considération concernant les énormes moyens requis

et le coût de telles opérations, il faut bien se rendre compte qu'elles n'ont pas pu passer inaperçues : l'on peut dans une certaine mesure les comparer à celles qui ont abouti, au XVIII^e siècle, à la réalisation de la première carte détaillée et complète de la France.

Son auteur, Cassini, a écrit⁽³³⁾ : *"Pouvait-on espérer qu'un ouvrage de si longue haleine, qui devait être traversé par tant d'obstacles de différents genres, put être achevé ? Non, sans doute, et il ne fallait rien de moins que la protection et la magnificence du Roi pour oser seulement le tenter"* Plus loin il évoque *"les oppositions et les insultes de la part des habitants."* Nous ne pensons pas que la mesure des coordonnées consignées dans la Géographie résultaient d'un ordre impérial car, en ce cas, Ptolémée aurait cité le prince qui l'aurait commandité⁽³⁴⁾. Cependant un tel travail a dû requérir une autorisation du plus haut niveau, pourtant aucun texte antique ne fait allusion à une opération de cette envergure.

Plus étonnant, comment Ptolémée s'est-il procuré les coordonnées relatives aux lieux situés en dehors de l'Empire ? Généralement, l'on pense que des commerçants grecs auraient pu les lui fournir ; pour l'Asie centrale le nom du Macédonien Maès Titianus a été avancé⁽³⁵⁾. C'est cependant peu probable, car un commerçant n'aurait guère eu les connaissances nécessaires pour faire des observations astronomiques avec la précision que nous avons constatée⁽³⁶⁾. De plus, ne pouvant parcourir que quelques itinéraires, il aurait été incapable de fournir des données concernant l'ensemble d'une vaste région. Plus, comment aurait-il pu être présent dans les divers lieux pour faire des mesures le jour de l'éclipse ?

Ajoutons finalement que des étrangers, donc des hommes a priori suspects, n'auraient guère pu se livrer à des observations astronomiques sans susciter de la méfiance ; il est aussi peu vraisemblable qu'ils se seraient contentés de transmettre les valeurs : quel commerçant sensé aurait accepté de transporter des listes mystérieuses dont il aurait eu le plus grand mal à expliquer la teneur au premier poste de

contrôle rencontré⁽³⁷⁾. De toute façon, ce travail de courrier n'expliquerait en rien la provenance des coordonnées...

Il a certainement fallu une certaine forme de coopération entre plusieurs pays. En ce qui concerne l'Inde, nous disposons de quelques informations : le roi Rudradâman I, qui a régné à l'époque de Ptolémée, de 130 à 160, s'est intéressé aux problèmes astronomiques. C'est à cette époque que des savants hindous auraient fait des progrès notables, ce qui leur aurait permis de comprendre l'origine des éclipses et de les prévoir ; c'est alors que l'on aurait commencé à mesurer les longitudes⁽³⁸⁾.

En ce qui concerne la Chine, la Géographie mentionne une "capitale" sans nom propre dont la longitude corrigée est de 109° 49', ce qui correspond bien à l'antique capitale Xi'an (108° 52'). Cependant, à cette époque, Luoyang l'avait remplacée⁽³⁹⁾ et sa longitude, de 112° 26', correspond moins bien. En ce qui concerne la latitude de cette "capitale", elle correspond dans les deux cas à une surévaluation d'environ quatre degrés, ce qui est proche de la valeur relevée pour d'autres villes orientales. Pourquoi cette "capitale", certainement une grande ville, n'a-t-elle pas de nom propre ? Il est également curieux que la Chine soit divisée en deux : la première partie, située au nord-ouest de cette "capitale", est décrite dans le livre VI, alors que l'autre partie n'est décrite que dans le livre VII. Il convient donc de se demander si le relevé n'aurait pas été fait à une période où ce pays était morcelé.

Le seul cartographe connu en Chine, à des dates aussi reculées, est Pei Xiu. Il a vécu au temps des Jin occidentaux, une époque où ce pays était divisé, ce qui expliquerait la scission de la Chine entre les livres VI et VII. Dans le domaine qui nous occupe nous ne savons pratiquement que deux choses : Pei Xiu aurait réalisé une carte, perdue par la suite. Il a énoncé six principes selon lesquels une bonne carte doit être réalisée mais n'a pas cru nécessaire de les expliquer en détail, comme Ptolémée l'a fait dans son premier livre ; il écrit néanmoins qu'elle doit respecter les droites et les angles.



L'approche du savant chinois semble plus pragmatique et en opposition avec celle de Ptolémée.

En comparant leurs écrits l'on a l'impression d'assister à une véritable querelle d'érudits. Malheureusement Pei Xiu a vécu environ un siècle trop tard, car il n'aurait formulé ses principes qu'en 267⁽⁴⁰⁾. L'on peut cependant émettre plusieurs hypothèses :

- il y aurait une erreur de chronologie concernant la Chine ou l'Occident : c'est l'hypothèse la moins vraisemblable, les datations de Pei Xiu et de Ptolémée semblant bien assurées ;
- Pei Xiu se serait simplement approprié les travaux de savants chinois antérieurs, mais ceci n'explique pas la scission de la Chine entre les livres VI et VII, car au II^e siècle la Chine constituait un empire unitaire ;
- Ptolémée aurait seulement rédigé le premier livre ; les livres numérotés de II à VII n'auraient été inclus que plus tard dans la Géographie, peut-être justement à l'époque de Pei Xiu. Cette hypothèse a l'avantage d'expliquer bien des choses, notamment la mauvaise relation entre le premier livre et ceux comportant les coordonnées, les discordances entre les cartes et les coordonnées, etc.

Après les épisodes de Pei Xiu, Ptolémée et Rudradâman I, l'on n'entreprendra plus de tels travaux. Le motif qui a provoqué, un demi-millénaire plus tard, un renouveau d'intérêt des géographes arabes pour de telles opérations est facile à saisir : certains califes étaient attirés par la géographie. Ensuite, il faudra encore attendre des siècles avant que des recherches soient entreprises dans le domaine cartographique, en Chine comme en Inde. Et il faudra attendre encore plus longtemps, pour qu'en Occident des coordonnées soient mesurées.

Le rôle de Ptolémée

La concordance temporelle des travaux cartographiques entrepris dans l'Empire romain, en Inde et en Chine, montre qu'il y a certainement eu collaboration entre ces pays, mais nous n'avons aucune information concer-

nant la forme qu'elle a pu prendre. Le seul point connu est qu'en Inde comme en Chine, le gouvernement était directement impliqué dans le projet : Rudradâman I était roi et Pei Xiu ministre des travaux. Plus récemment, chez les Musulmans, la réédition des listes de toponymes avec coordonnées était commanditée par le prince. Ptolémée fait exception.

Nous sommes donc amenés à envisager l'hypothèse que Ptolémée ne soit pas l'auteur des livres comportant les coordonnées : nous avons déjà vu qu'il y a peu de relation entre ceux-ci et le premier livre de la Géographie qui, lui, est certainement l'œuvre de Ptolémée. L'on a peut-être ajouté, après la mort du savant alexandrin, les listes de toponymes avec coordonnées pour assurer leur pérennité ; sans cette précaution elles auraient probablement disparu, comme en Chine et en Inde. Il est en effet rarissime que des données chiffrées des anciens temps nous soient parvenues.

La qualité des coordonnées contenues dans les livres de la Géographie, numérotés de II à VII, sont d'une précision surprenante pour l'époque, souvent à la limite de ce qu'il était possible d'obtenir. De surcroît, leur quantité est impressionnante. Qui les a mesurées ? En ce qui concerne la réalisation des spectaculaires aqueducs romains, Frontin révèle que leur gestion était entièrement confiée à des esclaves ; parachuté à la tête de ce service par l'empereur il était le seul homme libre, mais il avoue n'avoir aucune compétence en ce domaine⁽⁴¹⁾ !

Nous ne savons rien du système éducatif qui formait ces esclaves-spécialistes ; en revanche, nous connaissons relativement bien celui des aristocrates. Dans son Apocoloquintose du divin Claude, Sénèque met en exergue les mérites de ce système ; le résultat, et pas seulement en ce qui concerne l'éducation de Néron, nous laisse dubitatifs : ce n'est certainement pas ainsi que l'on formait les esclaves-spécialistes de haut vol ! Ailleurs Sénèque écrit⁽⁴²⁾ : *"Rappellerai-je la notation par signes abrégatifs (notes tyronniennes), qui enregistre instantanément le discours le plus rapide et permet à la main de s'adapter à la célérité de la parole ?*

Les plus vils esclaves ont fourni ces trouvailles. La sagesse a son siège plus haut. Elle n'instruit pas les doigts... Elle n'est pas ouvrière de l'outillage, qui répond aux nécessités de l'existence." Son trait peut concerner les esclaves de Frontin, mais plus sûrement ceux qui ont si bien mesuré les coordonnées. Pourtant, l'évolution du monde résulte plus souvent de travaux fastidieux que d'idées brillantes d'hommes célèbres, fussent-ils Sénèque, ou Ptolémée dont les travaux sont restés sans suite dans le domaine de la cartographie⁽⁴³⁾. La poursuite de l'étude des rares chiffres qui nous sont parvenus, telles les coordonnées de la Géographie (ou les distances des itinéraires analysés dans notre précédent ouvrage), peut nous apprendre bien plus en ce domaine que l'analyse des ouvrages traditionnellement abordés. Espérons que nos recherches rendront aux livres, numérotés de II à VII, de la Géographie attribuée à Claude Ptolémée, un peu de l'intérêt requis pour un tel travail. ●

Contact

Pierre HERRMANN

Ingénieur CNAM, retraité

Références

- (1) Les risques de confusion entre les divers homonymes sont nombreux le long des voies romaines. Cf. Pierre Herrmann, *Itinéraires des voies romaines*, de l'Antiquité au haut Moyen Age ; Errance, Paris, 2007 ; page 64. || Strabon, Géographie ; Livre IX, 2, 23 révèle qu'il en allait de même en Grèce. En Orient les doublons sont fréquents.
- (2) Nous avons utilisé les coordonnées fournies par le logiciel Encarta de Microsoft, version 5.0.
- (3) Konrad Miller, *Mappae Arabicae* ; Wiesbaden, 1926/1986 ; page 8. || Lelio Pagani, *Cosmographie de Claude Ptolémée* ; Orsamaggiore, 1990 ; page V. || Pierre Sillières, *Les voies de communication de l'Hispanie méridionale* ; Paris, 1990, page 180. || G. J. Toomer, *Dictionary of scientific biography* ; New York, 1981 ; terme Ptolemy, page 200, etc.





- (4) La dernière édition complète est celle de Nobbe datant de 1843.
- (5) J. Honigmann, *Pauly's Realencyclopædie* ; München ; terme Marinos von Tyr, col. 1768 : premier tiers du II^e siècle.
- (6) Vitruve, *De l'architecture* ; Livre IX, VII 1 : Athènes, 3/4 soit 36° 53' au lieu de 37° 59' ; Rhodes, 5/7 (35° 32') au lieu de 36° 25'. || Strabon, *Géographie* ; Livre II, 5, 37 : Alexandrie, 5/3 (30° 58') au lieu de 31° 11' ; Carthage 11/7 (32° 29') au lieu de 36° 53'...
- (7) Les toponymes sont écrits en arabe alors que Ptolémée les donne en Grec. Cependant ceci n'explique pas toutes les différences. Sans doute les Grecs ont-ils rebaptisé nombre de villes comme le feront les conquérants arabes plus tard...
- (8) Coordonnées publiées dans : Gerald R. Tibbetts, dans J. B. Harley & D. Woodward, *The history of cartography*, Vol. 2, Book 1 ; Chicago, 1992 ; page 99.
- (9) L. Gallois, *Recueil des travaux de l'Institut de géographie alpine* ; 1918, tome VI, fasc. 1 ; page 15.
- (10) Pour obtenir la cotangente, il faut calculer la racine carrée de $(1/\sin^2 x - 1)$. De tels calculs étaient pratiquement impossibles avec les moyens de l'époque.
- (11) G. J. Toomer, *Ptolemy's Almagest* ; Princeton, 1998 ; pages 57, etc., publie une table. On peut admettre qu'elle donne les sinus si l'on procède comme suit : l'angle en degrés doit être multiplié par deux, il figure alors dans la première colonne intitulée "arc" ; le sinus est obtenu en divisant le chiffre de la première colonne "chord" par 120, celui de la seconde colonne de "chord" par 60*120 et celui de la dernière par 3600*120 et que l'on additionne le tout. Les intervalles de la table correspondent à des pas de 15'. L'écart entre les chiffres publiés par Toomer et ceux des tables trigonométriques modernes est infime (inférieur à $1,3 \cdot 10^{-6}$) ce qui donne l'impression que Ptolémée disposait d'une table incommode, mais exacte. Cependant le livre de Toomer n'est pas clair et il semble dire que la table qu'il publie résulte d'une "computation" : elle ne refléterait donc pas les chiffres disponibles dans l'Antiquité, ce qui expliquerait les erreurs incroyablement faibles. || Pour calculer réellement le sinus, il faut connaître π avec une précision suffisante et être capable de calculer une série en $x - x^3/3! + x^5/5! - x^7/7! \dots$ Les sinus disponibles dans l'Antiquité résultaient certainement de simples approximations graphiques, c'est d'ailleurs ce que laisse entendre Ptolémée par la suite...
- (12) Notons que des critiques semblables ont été adressées aux itinéraires romains alors que là aussi il faudra attendre le XIX^e siècle pour faire aussi bien.
- (13) Raymond Chevalier, *Les voies romaines* ; Paris, 1972 ; page 24 : de telles études ne relèveraient le plus souvent que d'un "patriotisme de clocher".
- (14) Cordoue : 38° 05' pour 37° 53' ; Narbonne : 43° 15' pour 43° 11' ; Rome : 41° 40' pour 41° 53', etc. Notons que les écarts sont inférieurs à 20' pour : Cologne, Strasbourg, Vermand : Carthagène, Lérida, Marseille, Saragosse ; Crotona, Rimini ; Egine, Ephèse, Pergame ; Adana, Beyrouth, Pétra, Tanis...
- (15) Dans l'Empire l'on note les écarts suivants : Beyrouth -13', Antioche -41', Baalbek -20'. Plus loin : Babylone 147', Suse 124' Persépolis 205', etc.
- (16) La Géographie mentionne dans les îles britanniques un "cap boréal" dont la longitude corrigée est située à 3° 20' ouest et à une latitude de 61°, or l'îlot le plus septentrional des îles Shetland est à 53' ouest et 60° 51' : la correspondance est bonne.
- (17) Il s'agit certainement d'une simple donnée arbitraire prise en compte dans les calculs afin d'éviter des chiffres négatifs. Notons que la côte marocaine se prolonge plus vers l'occident ; ajouté aux mesures relativement erronées des villes du Maghreb, ceci montre que les rédacteurs de la Géographie avaient une mauvaise connaissance de cette région.
- (18) Strabon, *Géographie* ; livre II, I, 40 : place Carthage et le détroit de Sicile sur le même méridien alors que la direction entre les deux sites n'est pas nord-sud mais plutôt est-ouest ! Il se rend compte des énormes approximations puisqu'il écrit : "L'évaluation des distances, visiblement fautive la plupart du temps, révèle une extrême ignorance des lieux... Mais quand l'écart porte sur 4000 stades, l'erreur est inévitable (sic)."
- (19) Strabon, *Géographie* ; Livre VII, 3, 6 : "dépasser toute mesure comme ils (Eratosthène et Apollodore) le font, surtout à propos d'Homère, mérite à mon sens, d'être sévèrement condamné..." || Pourtant ce que prétend Pythéas semble plus vraisemblable que ce que Strabon écrit...
- (20) Pourtant de nos jours l'on affirme souvent le contraire. Par exemple Honigmann (RE, terme Marinos von Tyr), col. 1792, trouve "selbstverständlich dass (Marin de Tyr) in weitgehendem Masse amtliches römisches Kartenmaterial benutzt hat."
- (21) Ptolémée, *Géographie* (traduction de l'abbé Halma) ; Paris 1828/1989 ; page 49 : la "connaissance des distances ne suffit pas pour tracer une carte, il faut connaître les latitudes et les longitudes."
- (22) Raymond d'Hollander, *Sciences géographiques dans l'Antiquité* ; AFT, 2002 ; page 379.
- (23) Strabon évalue quelques distances à vol d'oiseau à partir d'itinéraires puisqu'il ajoute "si l'on supprime les irrégularités de tracé de la route" (cf. *Géographie* ; livre II, 4, 4). Cependant il reste prudent : "on s'accorde aujourd'hui à penser que..."
- (24) Pierre Herrmann, *Itinéraires des voies romaines, de l'Antiquité au haut Moyen Age* ; Paris, 2007 ; pages 113, etc. Les distances des itinéraires où la lieue a pu servir d'unité de mesure ont été exclues.
- (25) Strabon, *Géographie* ; Livre XV, 1, 50. || Hérodote a brièvement décrit la route perse de Sardes à Suse, mais à l'époque de la rédaction de la Géographie elle avait certainement disparu depuis plus d'un demi-millénaire...
- (26) Dans une certaine mesure la zone représentée par la Table de Peutinger correspond à celle détaillée dans la Géographie, mais elle est moins vaste et contient beaucoup moins de toponymes. Notons aussi qu'en dehors de l'Empire ils diffèrent considérablement. Qui plus est, la surévaluation des longitudes de la Table est très variable d'un endroit à l'autre.



- Cf. Pierre Herrmann, *Itinéraires des voies romaines, de l'Antiquité au haut Moyen Age* ; Errance, Paris, 2007 ; page 184.
- (27) Ptolémée, *Géographie*, I, IV. || Même affirmation de Héron d'Alexandrie, Dioptra XXXV.
- (28) Strabon, *Géographie* ; Livre I, I, 12.
- (29) Le diamètre de l'ombre projetée sur la Terre atteint au maximum 270 km.
- (30) Rare exception : Alexandre de Humboldt, *L'Amérique espagnole en 1800* ; Paris, 1965/1990 ; page 46.
- (31) La plupart des éditions ont été faites en latin, alors que l'original est en grec !
- (32) Pierre Herrmann, *Itinéraires des voies romaines, de l'Antiquité au haut Moyen Age* ; Paris, 2007 ; page 141.
- (33) Cassini de Thury, Avertissement ou introduction à la carte générale et particulière de la France, pages 4 et 9.
- (34) Il a dédié la plupart de ses ouvrages à un Syrus qui reste pour nous un inconnu.
- (35) E. Chavannes, *Les pays d'Occident d'après le Heou Han Chou* ; Leyde, 1907 ; page 4. Une rencontre entre la troupe chinoise de Kan Ying (lieutenant de Pan Tch'ao), envoyée en 97 en mission vers le Golfe Persique, et une caravane de Maës Titianus, est possible, mais pourquoi Kan Ying aurait-il amené une liste de coordonnées et l'aurait-il donnée au Macédonien, alors qu'il devait explorer l'empire parthe ? || David Pingree, *Astronomy and Astrology in India and Iran* ; Isis, 1963, 54 ; page 234, évoque seulement la diaspora hellénistique.
- (36) Ptolémée, *Géographie* ; traduction de l'abbé Halma, Paris 1828/1989 ; pages 30 et 31.
- (37) Strabon, *Géographie* ; Livre II, 3, 5 : "il n'était pas possible sans ordre de mission de sortir d'Alexandrie par mer... étant donné l'importance de la garde qui fermait le port et toutes les issues (nous avons pu le constater par nous-mêmes pour ce qui en subsiste encore aujourd'hui, pendant l'assez long séjour que nous avons fait à Alexandrie)."
- (38) Joseph E Schwartzberg, *The history of cartography* ; Chicago, 1994 ; Vol II, Book II, page 315 : Ujjain - la capitale de Rudradâman I - aurait été choisie comme point de départ des mesures.
- (39) Le Heou Han Chou (*Chavannes, Les pays d'occident* d'après le Heou Han Chou ; Leyde, 1907 ; pages 25, 43, etc. donne les distances toujours à Luoyang. || Ptolémée, *Géographie* ; traduction de l'abbé Halma, Paris 1828/1989 ; page 31 : les commerçants auraient évalué la distance à 36 200 stades ce qui correspond à la route dite de la soie ; Ptolémée trouve cette distance excessive et la réduit de moitié ! Comme tant d'autres indices, ceci montre que les coordonnées ne résultent pas de son travail.
- (40) Ed. Chavannes, *Les deux plus anciens spécimens de la cartographie chinoise* ; BEFFO ; 1903 III ; page 242, etc. || Cordell D. K. Yee, *The history of cartography* ; Chicago, 1994 ; Vol II, Book II, page 110.
- (41) Frontin, *Les aqueducs de Rome* ; voir par exemple, II & CV.
- (42) Sénèque, *Lettres à Lucilius*, 90, 25 à 27.
- (43) Les géographes musulmans se contenteront de schémas simplistes inspirés de ceux conçus par les Babyloniens un millénaire avant Ptolémée. Voir Konrad Miller, *Mappae Arabicae* ; Wiesbaden 1926/1986. || Raymond d'Hollander, *Sciences géographiques dans l'Antiquité* ; AFT, 2002 ; page 401 : les projections évoquées par Ptolémée n'auraient été utilisées en Occident qu'entre 1406 et 1570...

ABSTRACT

The coordinates mentioned in Ptolemy's Geography were measured and not estimated, as usually assumed. The analysis of the latitudes indicates a correct precision, according to the means available at that time. The longitudes have a good linear correlation with reality: the origin is 11° 20' west of Greenwich; the overestimation is 47 %. The examination of the measurement means points out that they were deducted from the observation of a solar eclipse: obviously the author of the Geography ignored that they do not occur everywhere at the same time, this explains fully the longitudes overestimation. For example a computation deducted from the eclipse which occurred in 1999 August 11th shows that the overestimation is the same as the one deducted from the Geography's longitudes: this validates fully our hypothesis. The coordinates measurement requested an enormous work: several evidences indicate that it requested even some international cooperation (China, India, Rome). Moreover Ptolemy was probably not involved in the work related to the coordinates measurements, the different data were certainly included in the Geography after his death.

ZUSAMMENFASSUNG

Die in der Geographie von Claudius Ptolemeus zusammengestellten Koordinaten sind das Resultat von Messungen und nicht Schätzungen wie bis jetzt üblich angenommen wurde. Die Analysis der Methoden die damals verfügbar waren, zeigt dass die Genauigkeit der Breitenangaben gut ist. Die Korrelation der Längenangaben mit den heutigen Daten ist geradlinig: Der Ausgangspunkt ist 11° 20' westlich von Greenwich; die Überschätzung ist 47 %. Die Untersuchung der damals verfügbaren Messmöglichkeiten zeigt dass die Länge von Sonnenfinsternisbeobachtungen abgezogen wurden: Offenbar wusste aber der Verfasser der Geographie nicht dass sie nicht überall zur gleichen Zeit vorkommen, was die Längenüberschätzung gut erklärt. Als Beispiel zeigt die Sonnenfinsternis die am 11^{ten} August 1999 vorkam genau die gleiche Überschätzung als die in den Längenangaben der Geographie vorhanden ist: dies bestätigt völlig unsere Annahme. Die Koordinatenmessungen forderten eine riesige Menge von Arbeit: Mehrere Merkmale zeigen dass sie höchstwahrscheinlich eine internationale Zusammenarbeit bedingten (China, Indien und Rom). Claudius Ptolemeus hat sehr wahrscheinlich bei diesen Messungen nicht mitgewirkt, die Koordinaten wurden sicherlich nur nach seinem Tod in seine Geographie eingefügt.

Vérification probante de l'hypothèse de la détermination des différences de longitude par l'observation des éclipses de Soleil au temps de Ptolémée

Application à l'éclipse du 11 août 1999

■ Robert VINCENT

L'éclipse totale de Soleil du 11 août 1999 est particulièrement intéressante car elle a balayé la zone Europe Moyen-Orient privilégiée par la Géographie de Ptolémée. L'analyse de ses éphémérides permet d'illustrer et de conforter l'hypothèse émise par Pierre Herrmann (voir article précédent) sur l'utilisation, au temps de Ptolémée, des éclipses de Soleil pour la détermination des différences de longitude. En effet, les deux caractéristiques étonnantes des longitudes de Ptolémée qui ont été mises en évidence dans l'argumentaire de Pierre Herrmann : la constance de leur surévaluation de 47 % dans toute l'étendue de la Géographie et leur précision caractérisée par un très faible écart-type de 1°17', vont être retrouvées dans l'étude de cette éclipse de Soleil.

La surévaluation de 47 % de ces différences de longitude constatée dans la Géographie de Ptolémée, s'explique en admettant que la différence des longitudes entre deux lieux était confondue avec la différence des heures locales d'observation du milieu d'une éclipse de Soleil, ce qui revient à conclure en la croyance à l'époque, en la simultanéité d'une éclipse de Soleil en tous lieux, à l'instar des éclipses de Lune.

Ce faisant, la différence des longitudes entre deux lieux était faussée – augmentée car une éclipse de Soleil se déplace d'ouest en est – du temps mis par l'éclipse pour se propager entre ces deux lieux.

Dans le tableau ci-dessous, sont indiqués, pour un certain nombre de villes :

- la latitude,
- la longitude en degré et en temps,
- l'heure du milieu de l'éclipse du 11 août 1999, en temps universel (TU),

En interlignes et en italique, entre les villes successives :

- les différences de longitude, exprimées en minutes de temps (a),
- les différences entre les heures du milieu de l'éclipse (b),

Lieux	Latitude		Longitude			milieu éclipse TU		quotient	
	degrés	degrés	h	mn	s	h	mn	s	%
			<i>a</i>			<i>b</i>		<i>100 b/a</i>	
Plymouth	50°23'	- 4°09'	-	16mn	36s	10h	13mn	42s	
				<i>10mn</i>	<i>16s</i>		<i>3mn</i>	<i>24s</i>	<i>33</i>
Cherbourg	49°40'	- 1°35'	-	6mn	20s	10h	17mn	06s	
				<i>10mn</i>	<i>36s</i>		<i>3mn</i>	<i>54s</i>	<i>37</i>
Dieppe	49°54'	1°04'		4mn	16s	10h	21mn	00s	
				<i>11mn</i>	<i>52s</i>		<i>4mn</i>	<i>30s</i>	<i>38</i>
Reims	49°15'	4°02'		16mn	08s	10h	25mn	30s	
				<i>14mn</i>	<i>52s</i>		<i>6mn</i>	<i>00s</i>	<i>41</i>
Strasbourg	48°35'	7°45'		31mn	00s	10h	31mn	30s	
				<i>15mn</i>	<i>20s</i>		<i>6mn</i>	<i>42s</i>	<i>43,7</i>
Munich	48°09'	11°35'		46mn	20s	10h	38mn	12s	
				<i>5mn</i>	<i>52s</i>		<i>2mn</i>	<i>36s</i>	<i>44,3</i>
Salzbourg	47°48'	13°03'		52mn	12s	10h	40mn	48s	
				<i>14mn</i>	<i>20s</i>		<i>6mn</i>	<i>48s</i>	<i>47,5</i>
Szombathely	47°14'	16°38'	1h	06mn	32s	10h	47mn	36s	
<i>Hongrie</i>				<i>37mn</i>	<i>48s</i>		<i>19mn</i>	<i>18s</i>	<i>51</i>
Bucarest	44°26'	26°05'	1h	44mn	20s	11h	06mn	54s	
				<i>9mn</i>	<i>48s</i>		<i>5mn</i>	<i>30s</i>	<i>56</i>
Shabla	43°31'	28°32'	1h	54mn	08s	11h	12mn	24s	
<i>Bord Mer Noire</i>				<i>29mn</i>	<i>52s</i>		<i>16mn</i>	<i>36s</i>	<i>55,5</i>
Turhall	40°30'	36°	2h	24mn		11h	29mn		
<i>Turquie</i>				<i>124mn</i>			<i>56mn</i>		<i>45</i>
Karachi	25°	67°	4h	28mn		12h	25mn		

Lieux	Latitude		Longitude			milieu éclipse TU		quotient
	degrés		h mn s			h mn s		%
			a			b		100 b/a
Dieppe	49°54'	1°04'	4mn 16s			10h 21mn 00s		
			109mn 52s			51mn 24s		47
Shabla	43°31'	28°32'	1h 54mn 08s			11h 12mn 24s		
Bord Mer Noire			153mn 52s			72mn 36s		47
Karachi	25°	67°	4h 28mn			12h 25mn		

• le quotient de ces 2 différences multiplié par 100 (100 b/a). Il représente le pourcentage de la surévaluation des différences de longitudes déterminées par la méthode supposée utilisée au temps de Ptolémée. Il est d'autant plus fort que la vitesse de propagation de l'éclipse est plus faible.

En un lieu, l'heure locale du milieu de l'éclipse s'obtiendrait en ajoutant la longitude exprimée en heure à l'heure TU du milieu de l'éclipse, et corrigée de l'équation du temps.

Entre les villes de Dieppe et Shabla au bord de la Mer Noire, c'est-à-dire pendant toute la traversée du continent européen, et ensuite entre ce dernier lieu et Karachi au Pakistan, il est remarquable que le pourcentage de la surévaluation des différences de longitudes soit dans les deux cas de 47 % comme le montre le tableau ci-dessus, extrait du précédent :

Des observateurs munis d'un simple gnomon ou disposant d'un cadran solaire, auraient noté l'heure locale de l'éclipse (= heure TU + longitude - 5 mn pour l'équation du temps un 11 août) : 10 heures 20 mn à Dieppe, 13 heures 02 mn au bord de la Mer Noire et 16 heures 48 mn à Karachi. On en aurait déduit que les différences de longitude étaient, entre les deux premiers observateurs, de 2 heures 42 mn (162 mn pour 110 mn réel) et entre les deux derniers, de 3 heures 46 mn (226 mn pour 154 mn réel) soit pour les deux intervalles, des surévaluations des différences de longitudes de 47 %.

En plaçant en toutes les villes citées, des observateurs qui auraient noté l'heure locale de l'éclipse, on en aurait déduit par leurs différences, les différences de longitude à la manière de Ptolémée. En divisant ces différences

par le coefficient 1,47, nous obtenons des différences *corrigées* qui permettent d'obtenir en partant de la longitude de Dieppe par exemple, des longitudes *corrigées* pour les autres stations.

Il est remarquable que ces valeurs ne s'écartent que de moins d'un demi-degré des longitudes connues aujourd'hui, comme le montre le tableau suivant :

en colonne a : longitudes d'aujourd'hui (3^e colonne du 1^{er} tableau)

en colonne b : écart heure locale de l'éclipse avec Dieppe (somme cumulée depuis Dieppe des valeurs a+b du 1^{er} tableau)

en colonne c : différence de longitude *corrigée*, depuis Dieppe

en colonne d : longitude *corrigée*

en colonne e : écart des longitudes *corrigées* par rapport aux longitudes d'aujourd'hui.

Lieux	longitude d'aujourd'hui	écart heure locale éclipse	différence longitude corrigée	longitude corrigée	écart longitude
	a	b	c=b/1,47	d=c+1°04'	e=d-a
Plymouth	- 4°09'	- 28 mn 10 s	- 4°47'	- 3°43'	0°26'
Cherbourg	- 1°35'	- 14 mn 30 s	- 2°28'	- 1°24'	0°11'
Dieppe	1°04'	0	0	1°04'	0°
Reims	4°02'	16 mn 22 s	2°47'	3°51'	- 0°11'
Strasbourg	7°45'	37 mn 14 s	6°20'	7°24'	- 0°21'
Munich	11°35'	59 mn 16 s	10°05'	11°09'	- 0°26'
Salzbourg	13°03'	67 mn 44 s	11°31'	12°35'	- 0°28'
Szombathely	16°38'	88 mn 52 s	15°07'	16°11'	- 0°27'
Bucarest	26°05'	145 mn 58 s	24°49'	25°53'	- 0°12'
Shabla	28°32'	161 mn 16 s	27°26'	28°30'	- 0°02'
Turhall	36°	207 mn 44 s	35°20'	36°24'	0°24'
Karachi	67°	387 mn 44 s	65°56'	67°	0°

Cela montre la précision de la méthode de détermination des longitudes par les éclipses de Soleil. Toutefois, ici les heures locales tirées des éphémérides sont précises et ne contribuent pas à entacher les résultats. Pour simuler complètement la méthode de détermination des longitudes au temps de Ptolémée, il faudrait tenir compte de la principale cause d'imprécision qui reste la détermination de l'heure locale : un écart de 4 minutes provoque une erreur de 1° en longitude dans les tables de la Géographie de Ptolémée, soit 0°41' en longitude *corrigée*. On constate, par cette étude de l'éclipse de Soleil du 11 août 1999, une dispersion des écarts entre les longitudes *corrigées* et les longitudes connues aujourd'hui, aussi faible que celle constatée dans la Géographie.

On peut ainsi affirmer que les longitudes des toponymes répertoriées dans la Géographie de Claude Ptolémée, présentent bien toutes les caractéristiques des déterminations obtenues par l'observation des éclipses de soleil, ce qui constitue une vérification probante de l'hypothèse développée par Pierre Herrmann. ●

Contact

Robert VINCENT

Ingénieur École Centrale Paris
Président honoraire de l'AST
aftopo@club-internet.fr