

# LE PROJET DE CHRISTOPHE COLOMB

Par Jean Bourgoïn, Ingénieur Général de l'Armement (hydrographe)

*"Le globe nurembergeois, dont Martin Behaïm dirigea la réalisation l'année de la découverte du Nouveau Monde, traduit de façon spectaculaire - probablement parce qu'il en était inspiré - la vision de Toscanelli, que le cartographe Colomb représentait à plat, comme une obsession, en complément de ses portulans classiques. Tentative originale et neuve de construction d'une maquette de la Terre, cette ultime image globale d'un monde sans l'Amérique reste aussi fascinante cinq siècles plus tard".*

Contre Amiral François Bellec  
Tentation de la haute mer  
Ed Seghers.

Cinq cents ans après l'exploit de Christophe Colomb, la controverse sur son estimation de la distance maritime à parcourir, cap à l'ouest, des Canaries au Japon, n'est pas définitivement close. Les incertitudes sur les valeurs des unités de mesure de longueur couvrant plus de quinze siècles et sur l'étendue des confins asiatiques, ainsi que la difficulté d'analyse des sources documentaires gréco-romaines, arabes et médiévales comportant de nombreux maillons manquants, sont à la base de la recherche de l'explication des erreurs grossières qui ont conduit Colomb à confondre le "Nouveau Monde" et les "Indes".

## UNE FORMULE PRÉCIEUSE

La connaissance du rayon terrestre, ou ce qui revient au même, de la valeur du degré d'arc de grand cercle (l'équateur, par exemple) est indispensable à l'établissement d'une cartographie globale cohérente de la planète. Pour comprendre l'influence de la valeur adoptée pour le rayon terrestre en cartographie globale, un rappel mathématique élémentaire est utile (**figure 1**).

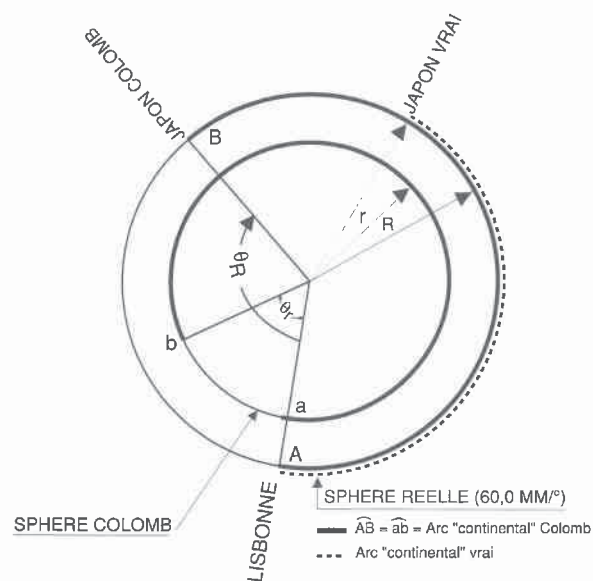


Figure 1

Dans le plan, équatorial terrestre, l'arc  $\widehat{AB}$  en trait gras représente par exemple l'emprise du continent euro-asiatique sur la sphère terrestre, de rayon  $R$ . L'arc  $\widehat{ab}$  correspond à la même longueur que l'arc  $\widehat{AB}$ , mais il est reporté sur la sphère de rayon  $r$ . Ce qui intéresse le navigateur, ce ne sont pas les arcs  $\widehat{AB}$  et  $\widehat{ab}$  en trait gras, mais les arcs  $\widehat{AB}$  et  $\widehat{ab}$  en trait fin, qui correspondent aux trajets maritimes, et qui interceptent respectivement les angles  $\theta_R$  et  $\theta_r$  sur les sphères de rayons  $R$  et  $r$ .

De la relation de base :

$$(1) (360^\circ - \theta_R) R = (360^\circ - \theta_r) r^*$$

On tire aussi les formules :

$$(2) \theta_R - \theta_r = (360 - \theta_r) (1 - r/R)$$

$$(3) \theta_r = (R/r) \theta_R - 360 \left( \frac{R}{r} - 1 \right)$$

$$(4) \theta_R = (r/R) \theta_r + 360 (1 - r/R)$$

$$(5) \Delta (r \theta r) = R \theta v - r \theta r = 360 (R - r) + 60 (\theta v - \theta_R) **$$

$\theta_v$  est l'ouverture réelle en longitude sur la sphère terrestre.

Le rapport  $R/r$  s'apprécie par celui du nombre de milles marins (m.m dans la suite de la note) au degré d'arc de grand cercle. Exemple : 60 m.m pour la sphère terrestre de rayon  $R$ , et 45 m.m pour la sphère de rayon  $r$ , donnent  $R/r = 60/45 = 4/3$ .

## LE RAYON DE LA TERRE DE PYTHAGORE À COLOMB

On sait que la Terre est ronde depuis Pythagore (500 av. J.C.). Socrate (468 - 399 av. J.C.) et son disciple Platon (429 - 347 av. J.C.) le confirment et dès lors se pose le problème de la valeur de son rayon. Rappelons que la division de la circonférence en  $360^\circ$  est due à Hipparque (190 - 125 av. J.C.) et que le degré d'arc de méridien mesure 60 milles marins de 1852 m (111,12 km) et la circonférence terrestre 40 000 km. Dans la suite de l'exposé le mille marin, de 1852 m, sera noté m.m.

\* Une particularité typique de l'estimation de la distance maritime à parcourir des Canaries au Japon est qu'elle résulte d'une différence  $(360 - \theta_r)$  alors qu'une mesure directe répondrait à la formule  $R\theta_R = r\theta_r$ , soit  $\theta_R - \theta_r = (r/R - 1)\theta_r$ . Le rapport des erreurs, dues à un mauvais choix du rayon terrestre, par mesure indirecte (par différence) et par mesure directe est donc  $(360 - \theta_r) (1 - r/R) / (r/R - 1)\theta_r$ , soit  $360^\circ/\theta_r - 1$ . Exemple ;  $\theta_r = 60^\circ$   $360/\theta_r - 1 = 5$ . La mesure indirecte dans ce cas multiplie l'erreur par un facteur 5 par rapport à la mesure directe.

\*\*  $r$  exprimé en milles marins au degré,  $\theta_r$  exprimé en degré.



CHRISTOPHE COLOMB.

*On n'a jamais identifié avec certitude  
un portrait de Colomb. On ne connaît pas  
son vrai visage (doc. Musée de la Marine)*

Eratosthène (284 - 192 av. J.C.), en mesurant au solstice d'été l'arc de méridien Alexandrie-Assouan lui trouve les valeurs de 1/50 de circonférence et 500 stades. La circonférence terrestre mesurerait donc 250 000 stades. Il augmente ce nombre de 2000 stades pour obtenir la valeur ronde de 700 stades au degré (252 000 / 360 = 700). Cette valeur est adoptée par Strabon et Pline. Mais quelle est la valeur du stade d'Eratosthène ? Pline dit qu'Eratosthène comptait 40 stades au schène égyptien de 6300 m, soit 157,5 m pour le stade égyptien. La valeur du degré serait donc égale à :

$700 \times 0,1575 = 110,250 \text{ km} = 59,53 \text{ m.m.}$ , très proche de sa valeur réelle de 60 m.m. Posidonius (135 - 50 av. J.C.), se basant sur la mesure de l'arc de méridien Rhodes - Alexandrie, donne au degré la valeur de 500 stades. Il est très probable qu'il s'agit du stade grec de 185,185 m mais ce pourrait être aussi le stade philétairien de 210 m et même le stade égyptien de 157,5 m. Marin de Tyr (fin du 1er siècle - début du 2ème siècle), géographe grec ou romain, dont l'œuvre n'est connue qu'à travers celle de Ptolémée, suit Posidonius. Ptolémée (90 - 168) s'appuie sur les "itinéraires" de Marin de Tyr dans sa "Géographie" et adopte comme lui un degré de 500 stades. Nous retiendrons provisoirement, par ordre de probabilité décroissante, les valeurs suivantes pour le degré de Ptolémée :

#### Ptolémée (I) :

$1^\circ = 500 \text{ stades grecs de } 185,185 \text{ m} = 92,59 \text{ km} = 50,0 \text{ m.m.}^\circ$  ; circonférence terrestre : 33 333 km,

#### Ptolémée (II) :

$1^\circ = 500 \text{ stades philétairiens de } 210 \text{ m} = 105,00 \text{ km} = 56,7 \text{ m.m.}^\circ$  ; circonférence terrestre : 37 800 km,

#### Ptolémée (III) :

$1^\circ = 500 \text{ stades égyptiens de } 157,5 \text{ m} = 78,75 \text{ km} = 42,5 \text{ m.m.}^\circ$  ; circonférence terrestre : 28 350 km.

Beaucoup plus tard, à partir de 9ème siècle, le goût des Arabes pour les études géographiques se matérialise à Bagdad, sous le khalifat d'Al Mamoun, par une vigoureuse impulsion donnée à la mesure du rayon terrestre. La traduction de l'œuvre de Ptolémée, "Almageste" et "Géographie", apporte à cette époque à la science arabe son fonds principal. Al Fragan (9ème siècle), astronome d'Al Mamoun, exploitant les mesures remarquablement conduites (à une précision supérieure à la minute sexagesimale en ce qui concerne les mesures d'angle au quart de cercle méridien), d'un arc de méridien dans les plaines comprises entre le Tigre et l'Euphrate, aboutit à la valeur très proche de la réalité de 56 mille 2/3, comptée en milles arabes de 1973,2 m pour le degré, soit  $56 \frac{2}{3} \times 1,9732 = 111,813 \text{ km}$  (60,4 m.m.<sup>°</sup>) supérieure seulement de 6<sup>°</sup>/<sub>00</sub> à sa valeur réelle (circonférence terrestre : 40 253 km). La formule d'Al Fragan est transmise au monde médiéval dans un ouvrage traduit en latin par Jean de Séville, en 1175. Un siècle plus tard, Ibn Kalikan (mort en 1282), après de nouvelles mesures, donne pour le degré la valeur de 66 milles 2/3, et à la circonférence terrestre  $360 \times 66 \frac{2}{3} = 24\,000$  milles, en milles romains de 1481,48 m \*.

\* Cette valeur correspond à 8 stades grecs (185,185 m), ou 7,5 stades philétairiens de 197,5 m (moyenne du stade grec de 185 m et du stade philétairien de 210 m), ou 7 stades philétairien de 210 m.

Au 15ème siècle, les valeurs héritées des astronomes arabes, à travers les traductions du Haut Moyen Age, confondent le mille arabe (1973,2 m) avec le mille romain (1481,48 m) et le mille italien (1589 m). Dans la suite, nous désignerons le mille romain par (R) et le mille italien par (I). Les Portugais admettent jusqu'à la fin du 15ème siècle qu'il y a 16 lieues 2/3 au degré, chaque lieue valant 4 milles italiens, ce qui fait  $16 \frac{2}{3} \times 4 = 66 \frac{2}{3}$  milles italiens de 1589 m, soit  $1^\circ = 105,93 \text{ km}$  (57,2 m.m.<sup>°</sup>). Améliorant progressivement par des navigations nord-sud la détermination du degré de méridien, ils finissent par adopter au 16ème siècle 17,5 lieues par degré, soit  $17,5 \times 4 \times 1,589 = 111,23 \text{ km}$  (60,06 m.m.<sup>°</sup>). Ces faits rendent probable l'adoption par les Portugais du mille italien plutôt que du mille romain dans la formule  $1^\circ = 66 \text{ milles } \frac{2}{3}$ . Au temps de Colomb la valeur de 62,5 milles romains au degré était également utilisée (peut-être même par Toscanelli I). Elle correspondait à la même valeur que celle obtenue par Ptolémée avec le stade grec ( $62,5 \times 1,48148 = 500 \times 1,85185 = 92,59 \text{ km} = 50,0 \text{ m.m.}^\circ$ ), ce qui renforce l'hypothèse du stade grec chez Ptolémée. Enfin, la plupart des auteurs prêtent à Colomb l'usage erronée de la formule d'Al Fragan \*\* dans laquelle on a remplacé le mille arabe par le mille romain ( $1^\circ = 56 \frac{2}{3} \times 1,48148 = 83,95 \text{ km}$ , soit 45,33 m.m.<sup>°</sup>) ou le mille italien ( $1^\circ = 56 \frac{2}{3} \times 1,589 = 90,0 \text{ km}$ , soit 48,6 m.m.<sup>°</sup>). On a des raisons de croire que cette valeur sous estimée du degré d'arc de méridien a surtout servi les objectifs promotionnels de son projet, mais que comme les marins de son temps, il se servait couramment de la formule de 60 milles au degré (soit 60 (R) = 48,0 m.m.<sup>°</sup> ou bien 60 (I) = 51,5 m.m.<sup>°</sup>). Le **tableau 1** présente les principales valeurs du degré en milles marins présentées dans ce paragraphe.

**Tableau 1** : principales valeurs du degré d'arc de circonférence terrestre en milles marins (m.m.).

Sphère terrestre réelle	60,0
Eratosthène (700 stades égyptiens de 157,5 m)	59,5
Ptolémée (I) Posidonius-Marin de Tyr (500 stades de 185, m 185)	50,0
Ptolémée (II) (500 stades philétairiens de 210 m)	56,7
Ptolémée (III) (500 stades égyptiens de 157,5 m)	42,5
Al Fragan (56 milles 2/3 en milles arabes de 1973,3 m)	60,4
Ibn Kalikan (66 2/3 milles romains de 1481,48 m)	53,3 (R)
Ibn Kalikan (66 2/3 milles italiens de 1589 m)	57,2 (I)
62,5 milles romains (R)	50,0 (R)
62,5 milles italiens (I)	53,6 (I)
60 milles romains (R)	48,0 (R)
60 milles italiens (I)	51,5 (I)
56 milles 2/3 milles romains (Colomb ?)	45,3 (R)
56 milles 2/3 milles italiens (Colomb ?)	48,6 (I)

\*\* Dans son journal, Colomb écrit : "Je dis donc que la Terre n'est pas aussi grande que le vulgaire se l'imagine, et qu'un degré de la ligne équatoriale mesure 56 2/3 milles : et cela peut être touché du doigt".

## LA MAPPEMONDE DE PTOLÉMÉE (FIGURE 2)

Un mécène florentin, Palla Strozzi, fait venir de Byzance vers 1400 le texte grec de la "Géographie" de Ptolémée, dont la traduction en latin est effectuée vers 1406. Des exemplaires de la "Géographie" de Ptolémée circulent au Portugal et en Espagne du temps de Colomb, et notamment sa mappemonde, qui est en somme la carte index de son atlas cartographique. Ce document est d'une grande importance pour le projet de Colomb. Il ne nous révèle rien de la "face cachée de la Terre", selon l'expression de l'Amiral Bellec, car Ptolémée s'en est tenu à la partie du Globe pour laquelle il avait des informations. La mappemonde représente donc l'œcumène, c'est-à-dire l'ensemble des terres connues habitées, qui s'étendent sur 180° de longitude, comptées à partir des Iles Fortunées (les Canaries et plus précisément Goméra).

La partie orientale figure un golfe profond le "Sinus Magnus", borné à l'ouest par la "Chersonèse d'or" (Indochine), sur le méridien 160°, et Bornéo (Zabai, actuellement Sabah), sur le méridien 168°20', et à l'est par une côte nord-sud sur laquelle est situé Cattigara, par 8°,5 de latitude sud et sur le méridien 177°. Entre la côte de Cattigara et la limite orientale du cadre de la carte le méridien 180° court une bande terrestre de 3°. Dans ces confins orientaux de l'œcumène, la carte de Ptolémée s'éloigne de celle de Marin de Tyr, qui lui a pourtant servi de modèle. Le géographe phénicien, dont l'œuvre écrite à la fin du 1er siècle s'est perdue, mais a été reprise par Ptolémée, attribuait selon le témoignage d'un navigateur grec ayant touché Cattigara, une ampleur beaucoup plus grande au "Sinus Magnus" : borné à l'est par Cattigara sur le méridien 225° et à l'ouest par l'extrémité sud de l'Indochine sur le méridien 160°, comme Ptolémée, il se déploie sur 65° de longitude au lieu des 17° (177° - 160°) de Ptolémée. La position de Cattigara dans l'hémisphère sud, attire l'attention. L'énigmatique côte de Cattigara, comme le suggèrent d'ailleurs les toponymes hindous et péruviens de la carte de détail de Ptolémée, pourrait bien correspondre à celle du Pérou. Les navigateurs gréco-romains pourraient avoir eu connaissance de ces rivages, au temps de Marin de Tyr, par les commerçants indous et les navigateurs chinois\*. La grande ampleur du "Sinus Magnus" de Marin, de 65° d'ouverture, laissait la possibilité d'une erreur importante sur sa dimension réelle alors que celle de Ptolémée, réduite à 17° devrait logiquement correspondre à un espace connu. Quoi qu'il en soit, les confins orientaux indécis de l'œcumène de Ptolémée sont à l'origine des spéculations de Christophe Colomb sur les distances à parcourir par mer pour atteindre les "Indes" en navigant cap à l'ouest.

Quelles sont les erreurs de longitude relevées sur la mappemonde de Ptolémée ? Le **tableau 2** ci-dessous donne les écarts en longitude, entre des points remarquables, chez Ptolémée et dans la réalité.

\* La traversée Bornéo-Pérou couvre 160° de longitude. A quatre nœuds, elle durerait  $160 \times 60 / 4 \times 24 = 100$  jours. Dans le sens ouest - est, elle profiterait du contre courant nord équatorial et dans le sens est - ouest du courant du Pérou et du courant nord équatorial.

**Tableau 2** : les écarts de longitude chez Ptolémée et dans la réalité.

	<b>Ptolémée</b> (1)	<b>réalité</b> (2)	(1)/(2)
Bassin méditerranéen	62°	42°	1,5
Canaries - Gange	147°	107°	1,4
Canaries - Indus	105°	85°	1,2
Canaries - Indochine	160°	122°	1,3
<i>moyenne</i>			1,35

Le rapport des écarts en longitude estimés par les auteurs anciens à ceux qui sont exacts (3ème colonne du **tableau 2**) est égal au produit du rapport R/r (rapport du rayon exact de la Terre à celui de la sphère utilisée par le cartographe) par l'erreur relative sur la mesure des distances. Rappelons que jusqu'au 16ème siècle, il n'existait aucune technique de mesure directe des longitudes. Les mesures de distances, qu'elles soient maritimes ou terrestre, étaient estimées\*\*.

Malgré le soin apporté (les "bématistes" d'Alexandre le Grand étaient spécialement formés à l'estimation des distances) à l'évaluation des distances maritimes ("estime" des navigateurs) ou terrestres ("itinéraires" des voyageurs) elles étaient généralement surestimées d'un ordre de grandeur allant de 10 à 20%. Le **tableau 3** rappelle les 3 valeurs possibles du degré de Ptolémée (colonne1), le rapport R/r correspondant (colonne 2), le rapport de la surestimation moyenne des distances à la valeur R/r (colonne 3). Les nombres de la colonne (3) devraient être compris entre 1,1 et 1,2, ce qui semble confirmer l'hypothèse, baptisée Ptolémée (I), de 500 stades grecs de 185 m au degré, soit 50,0 m.m\*\*\*.

**Tableau 3**

	Degré en m.m Ptolémée (1)	60/(1) (2)	1,35 / (2) (3)
Ptolémée (I)	50,0	1,2	1,12
Ptolémée (II)	56,7	1,06	1,3
Ptolémée (III)	42,5	1,4	0,96

## LE PROJET DE CHRISTOPHE COLOMB

Christophe Colomb s'appuie dans l'élaboration de son projet sur des autorités scientifiques bien introduites auprès de la cour royale du Portugal. C'est le cas notamment du Florentin Toscanelli et du Portugais Martin Behaïm, tous deux cosmographes et géographes de grande réputation, attachés à la "Tesouraria" du roi, centre de recherches avancées dans le domaine des sciences nautiques et de la cartographie.

\*\* Dans cette étude, les distances estimées sont comptées selon des arcs de parallèle, et donc proportionnelles aux écarts de longitude correspondants (c'est-à-dire affectées de l'inverse du cosinus de la latitude).

\*\*\* et, en tout cas, éliminer l'hypothèse Ptolémée (III) de 500 stades égyptiens de 157,5 m (42,5 m.m).



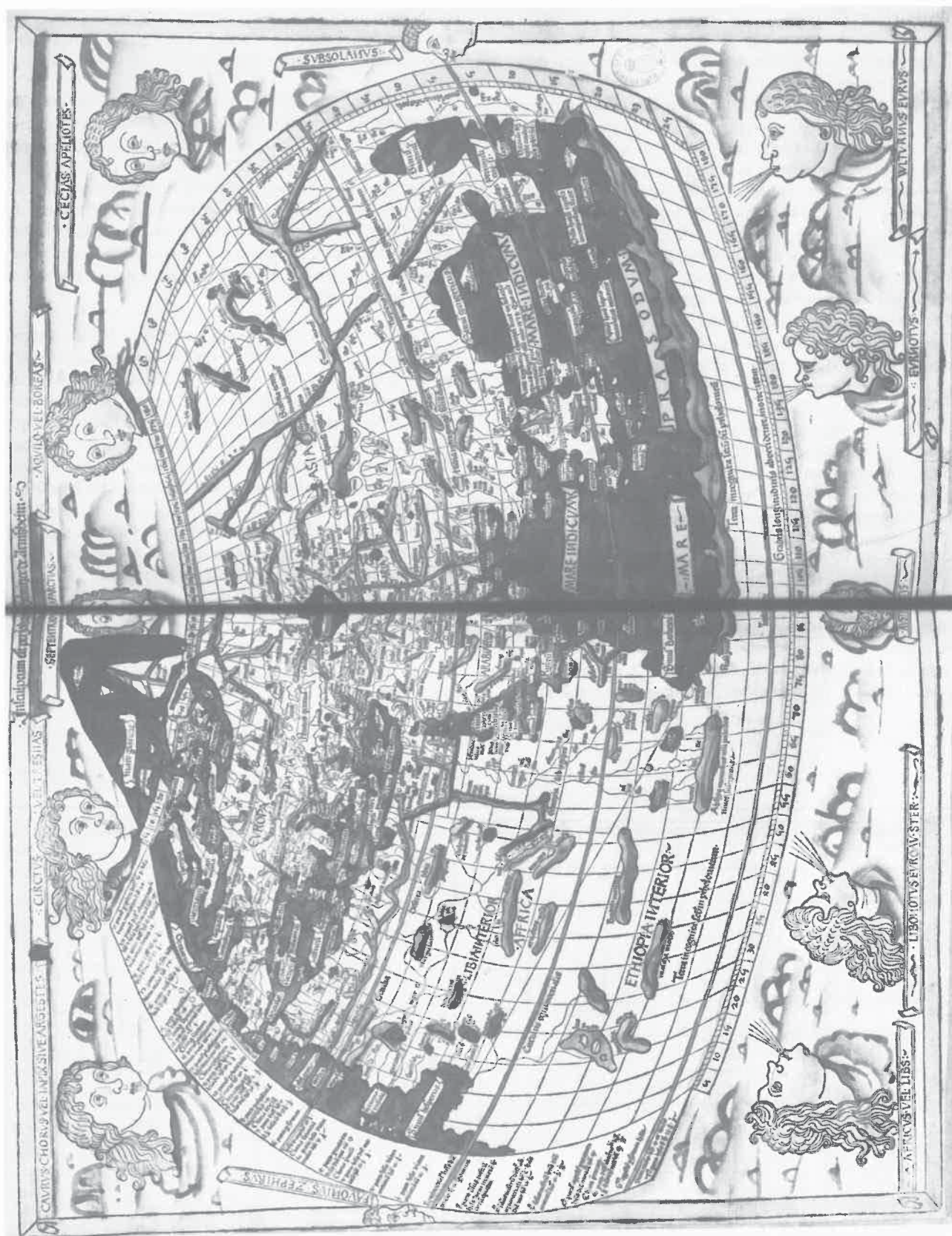


Figure 2 : La mappemonde de Ptolémée (voir couverture)



## Toscanelli et Behaim

La notoriété de Toscanelli (1397-1482) comme géographe repose sur sa connaissance des voyages de Marco Polo, ses entretiens avec les voyageurs à longues distances et ses échanges de vue avec Colomb concernant son projet. Sollicité par Alphonse V du Portugal, pour lui donner son avis sur les possibilités de gagner l'Asie par la mer en navigant cap à l'ouest, Toscanelli lui répond le 25 juin 1474 dans une lettre restée célèbre, accompagnée d'une carte. La carte de Toscanelli a été perdue mais la lettre, avec une description de la carte a été recopiée en 1481 par Colomb, -habilité lui-même à fréquenter la Tesouraria-, sur l'une des feuilles vierges d'un cahier attaché à l'un de ses livres. A partir de cette description, Hermann Wagner a tenté en 1894 une reconstitution de la carte de Toscanelli (**Figure 3**). Il s'agit d'une carte en projection cylindrique (comme celle de Marin de Tyr), avec pour parallèle origine, celui de Lisbonne, réputée à l'époque être située par 41° N (alors que sa latitude est 39°). L'originalité de ce document, très certainement établi pour servir de base à une réflexion sur un voyage maritime vers les "Indes", est de représenter un espace océanique, parsemé d'îles en partie imaginaires, telle Antilia, et bordé à l'est par les contours de l'Europe et de l'Afrique, et à l'ouest par ceux de l'Asie et du Japon (Cipangu). On ne soupçonne pas encore à l'époque l'existence de la barrière constituée par le continent américain et il est surtout question de préciser l'extension terrestre de l'Asie, notamment à la suite des affirmations de Marco Polo. L'extrait suivant de la lettre de Toscanelli est particulièrement intéres-

sant parce qu'il permet de chiffrer la distance séparant par mer l'Europe des "Indes" et qu'il concerne donc directement le projet de Colomb :

"De la ville de Lisbonne, en droite ligne du côté de l'occident, il y a sur la carte dessinée 26 espaces, chacun desquels mesure 250 milles, jusqu'à la très noble et très grande ville de Quinsay (Zhang-Zhou)... Cette ville est située dans la province de Mangi, province voisine de celle de Cathay, où se trouve la résidence du roi du pays. Mais de l'île d'Antilia, que vous connaissez, à l'île très fameuse de Cipangu, il y a 10 espaces... Ainsi donc, l'étendue de mer à franchir à travers les parages inconnus n'est pas longue".

Les Portugais admettaient jusqu'à la fin du 15<sup>ème</sup> siècle que l'arc de un degré de circonférence terrestre valait 16 lieues 2/3 de 4 milles, soit  $16 \frac{2}{3} \times 4 = 66$  milles 2/3. A la latitude supposée de 41° pour Lisbonne ( $\cos 41^\circ = 0,75$ ), prise comme référence sur sa carte, le degré intercepte  $66 \frac{2}{3} \times 0,75 = 50,0$  milles et chaque "espace" de 250 milles de Toscanelli correspond à 5° de longitude. Les 26 espaces de Lisbonne à Quinsay, soit  $26 \times 250 = 6\,500$  milles occupent donc  $26 \times 5 = 130^\circ$  de longitude sur la sphère de Toscanelli. Selon que l'on adopte pour le mille la valeur du mille romain (1 481,48 m) ou du mille italien (1 589 m), la valeur du degré est :

$66 \frac{2}{3}$  milles (R) =  $66 \frac{2}{3} \times 1,48148 = 98,76$  km = 53,3 mm (R)

$66 \frac{2}{3}$  milles (I) =  $66 \frac{2}{3} \times 1,589 = 105,93$  km = 57,2 mm (I).

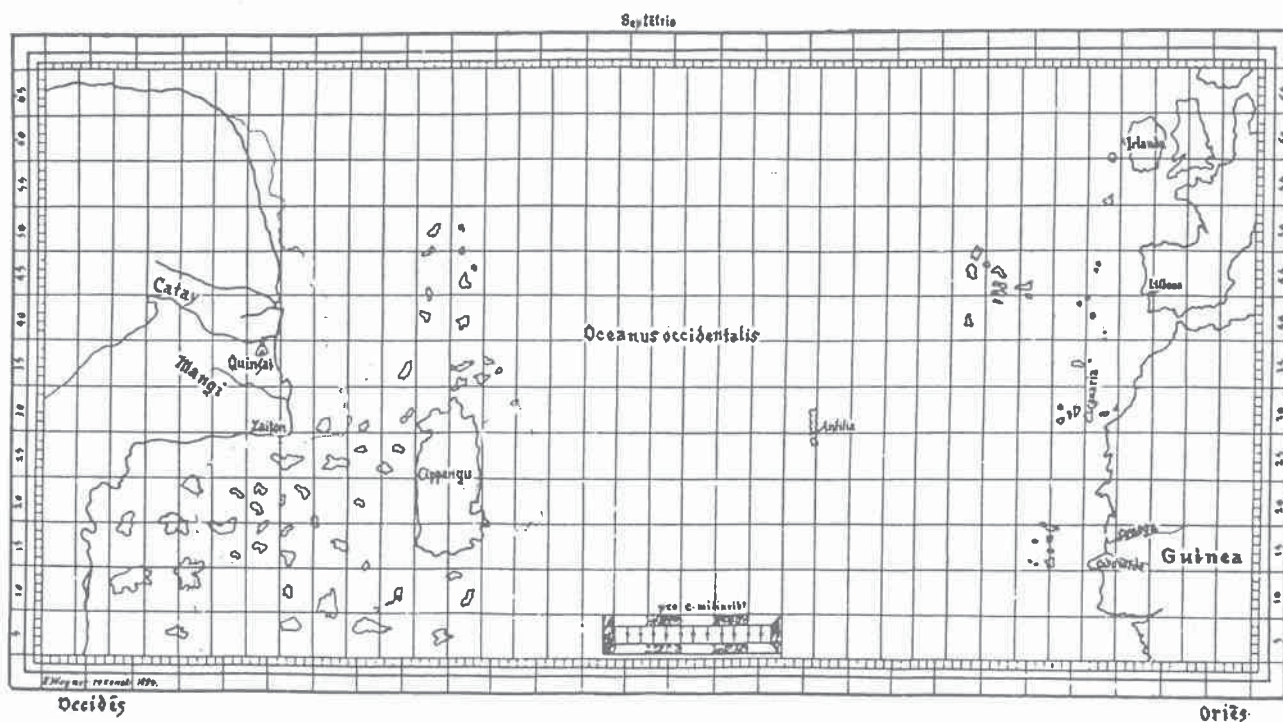


Figure 3 : Reconstitution de la carte de Toscanelli par H. Wagner.

Sur la carte reconstituée de Toscanelli, on relève les longitudes suivantes à partir du méridien origine des Canaries : Antilia 40° w ; Cipangu (côte est) 90° w ; Quinsay 120° w, Lisbonne 10°E. Elles donnent, par la voie maritime, les développements suivants en longitude :

Lisbonne-Quinsay : 130° et donc un oecumène de Toscanelli de (360 - 130) = 230° ; Canaries-Quinsay 120° ; Canaries-Cipangu 90°.

L'autre source cartographique majeure dont s'est inspiré Colomb est la mappemonde, ou le globe, de

La comparaison des cartes de Toscanelli et de Behaïm permet en principe de calculer la valeur du degré de Behaïm en se basant sur les deux arcs de parallèle communs aux deux cartographes : "Canaries-Cipangu" et "Lisbonne-Quinsay" (voir **annexe 1**).

Elle permet de suggérer le couple suivant pour le degré d'arc de circonférence :

66 2/3 milles romains pour Toscanelli (53,3 mm)  
60 milles italiens pour Behaïm (51,5 mm).

D'autres solutions pourraient convenir, mais elles écarteraient la valeur, très probable chez Toscanelli, de 66 2/3 milles au degré.

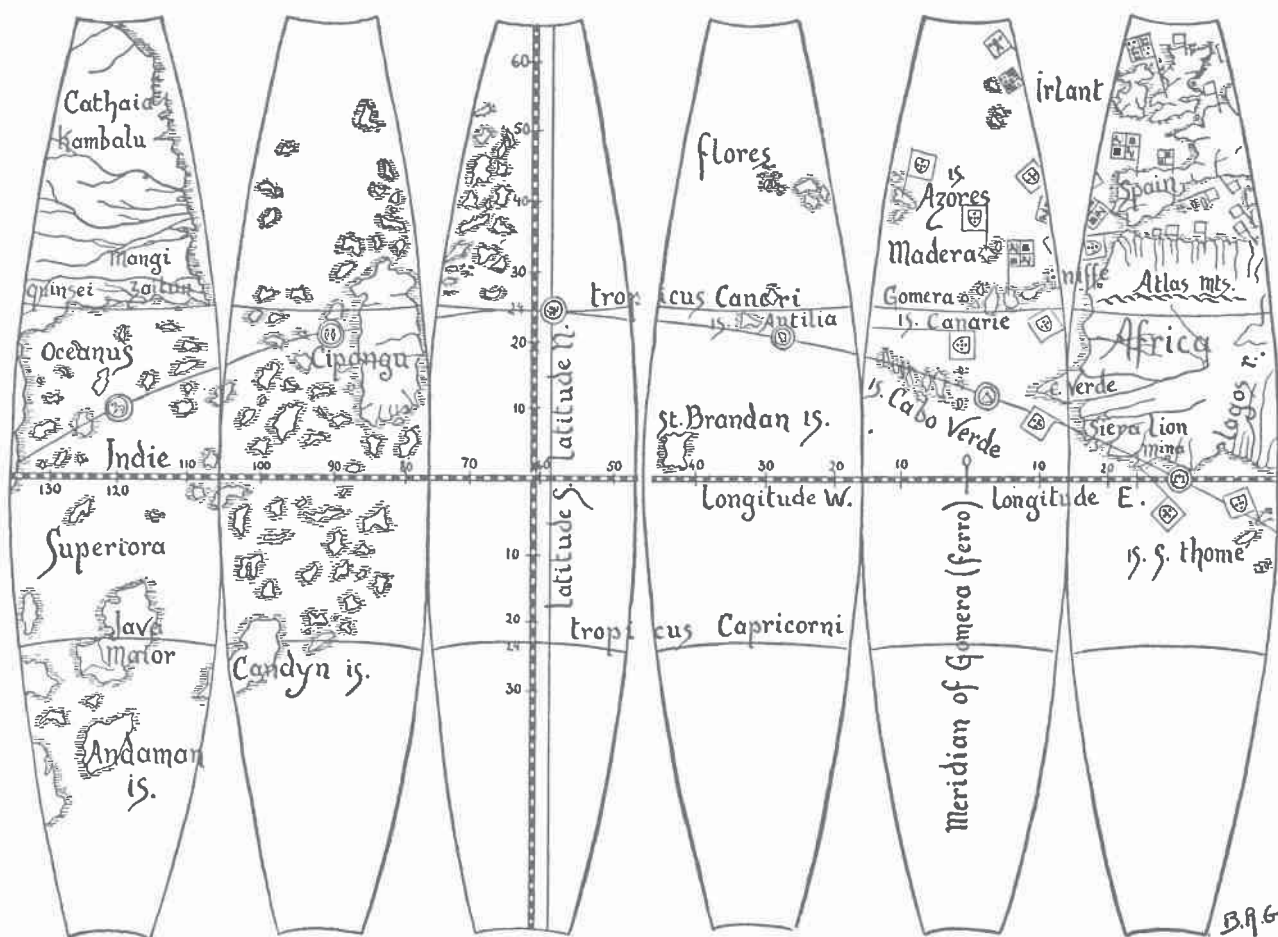


Figure 4 : Partie de l'océan sur le globe de Martin Behaïm

Martin Behaïm, cartographe descendant d'une vieille famille de Bohême établie à Nuremberg, et marié à la fille du Gouverneur de Fayal (Açores). On le trouve à Lisbonne en 1485, au service du roi, où il rassemble les informations qui lui serviront, de retour à Nuremberg, à dresser à la veille du départ de Colomb, en 1492, son célèbre globe.

Sur le planisphère de Behaïm (**figure 4**), on relève les longitudes suivantes à partir du méridien des Canaries : Cipangu (côte est du Japon) 77° w ; Quinsay (côte est de Chine) 107° w ; Lisbonne 18° E ; Antilia 30° w.

### UNE TRAVERSÉE DE 1 142 LIEUES

La lieue avait une valeur très variable à l'époque de Colomb. La littérature recense une trentaine de valeurs différentes, depuis 1,5 milles romains jusqu'à 4,58 milles romains. Nous adopterons la valeur la plus couramment admise de 4 milles.

Lorsqu'il atterrit le 12 octobre 1492 sur l'îlot San Salvador (Bahamas), après une traversée de 36 jours, Colomb estime qu'il a parcouru 1 142 lieues depuis les Canaries (soit l'équivalent d'une traversée Gomera - côte est de Cuba) et il se croit au Japon\*. Ces 1 142 lieues, soit  $1\,142 \times 4 = 4\,568$  milles, valent  $4\,568 \times 1,481/1,852 = 3\,650$  mm (R), si elles sont comptées en

\* Les 1 142 lieues de Colomb sont à comparer aux 450 (Canaries-Antilia) + 750 (Antilia-Cipangu) = 1 200 lieues citées dans son journal.

milles romains, et  $4\,568 \times 1,589/1,852 = 3\,920$  mm (I) si elles sont comptées en milles italiens. L'estimation a certainement été faite sur le parallèle des Canaries ( $28^\circ$  N,  $\cos 28^\circ = 0,883$ ) dont on ne s'est guère éloigné pendant la traversée. La distance réelle "Canaries-Cuba" est d'environ 3020 mm (ce qui représente, par ailleurs, une traversée de 36 jours à 3,5 nœuds). En retenant l'hypothèse du mille italien de préférence au mille romain (voir plus loin) la traversée de 3 920 mm (36 jours à 4,5 nœuds), majorerait la distance réelle de 30% ( $3\,920/3020 = 1,30$ ).

Il est tentant de comparer les distances "Canaries-Cipangu" de Toscanelli, Behaïm et Colomb en les retenant au parallèle des Canaries ( $28^\circ$  N°  $\cos 28^\circ = 0,883$ ). Pour Toscanelli, elle vaut  $90^\circ \times 53,3 \times \cos 28^\circ = 4\,236$  mm. Pour Colomb, nous l'avons estimée à 3 920 mm, en faisant l'hypothèse qu'il avait confondu Cipangu (Japon) avec Cuba. Pourtant, il ne faut pas écarter l'hypothèse dans laquelle Colomb, se fiant à l'emprise continentale eurasiatique en distance de Behaïm, l'aurait appliqué dans la présentation de son projet à une sphère dont le rayon ne correspondrait pas à 51,5 mm/° comme Behaïm mais à 56 2/3 milles italiens, soit 48,6 mm/°. On aurait dans ce cas, selon la formule (1) :

$(360^\circ - 77^\circ) \times 51,5 = x^\circ \times 48,6$ ,  $x$  étant l'ouverture en longitude de son emprise terrestre. On trouve  $x^\circ = 300^\circ$  et une ouverture en longitude pour la traversée de  $360^\circ - 300^\circ = 60^\circ$ , c'est-à-dire celle proposée par des voies détournées par Morison (**voir annexe 2**).

On peut dresser le tableau 4 suivant :

**Tableau 4 :** Traversée maritime "Canaries-Cipangu".

	Rayon en mm/°	Ouverture en longitude	Distance traversée
Toscanelli	53,3	$90^\circ$	4 236 mm
Behaïm	51,5	$77^\circ$	3 501 mm
(1) Colomb I	51,5	$86^\circ$	3 920 mm
(2) Colomb II	48,6	$60^\circ$	2 575 mm (3)
(1) Hypothèse de 1 142 lieues reportées sur la sphère de Behaïm.			
(2) Hypothèse d'une même emprise eurasiatique en distance que Behaïm, mais portée sur une sphère dont le rayon correspond à 48,6 mm/°.			
(3) $2\,575 = 48,6 \times \cos 28^\circ \times 60$ .			

On découvre peut-être ainsi la solution de la contradiction entre les deux valeurs de Colomb, haute et basse, pour la traversée "Canaries-Cipangu". Behaïm est l'autorité scientifique en cartographie dont l'information est la plus à jour à la veille du départ de Colomb. La valeur haute, de 3 920 mm, résultant des 1 142 lieues de la distance estimée, à posteriori, pour la traversée est proche de celle de Behaïm (3 501 mm) sur son planisphère, et supérieure seulement de 11%. Elle explique que Colomb ait confondu Cipangu et Cuba. La valeur basse, de 2 575 mm, correspond à la même longueur du continent euroasiatique que celle de Behaïm, mais au lieu d'être sur une sphère d'un rayon correspondant à 51,5 mm/° (60 milles italiens/degré) comme Behaïm, elle est portée sur une sphère dont le rayon correspond à

48,6 mm/° (56 2/3 milles italiens/degré). La valeur basse est assez vraisemblablement celle qui a servi à faire la promotion du projet.

### Les "16 000 milles" des géographes

Le continent euroasiatique, du cap St Vincent, au Portugal, à la côte orientale du Japon, occupe selon les géographes du temps de Colomb 16 000 milles. On ne sait pas s'il s'agit de milles romains (R) ou italiens (I), ni s'ils sont comptés à la latitude de Lisbonne ( $41^\circ$  N), des Canaries ( $28^\circ$  N) ou à l'équateur. Le **tableau 5** donne la valeur des "16 000 milles", comptés en milles marins à l'équateur selon qu'ils ont été estimés par les géographes en milles romains ou milles italiens à  $41^\circ$ , à  $28^\circ$  ou  $0^\circ$  de latitude.

**Tableau 5 :** Valeur des "16 000 milles" en milles marins (mm) et rapportés à l'équateur.

Les "16 000 milles "	romains	italiens
si comptés à $41^\circ$	17 065	18 304
si comptés à $28^\circ$	14 495	15 547
si comptés à $0^\circ$	12 799	13 728

Sur la carte de Toscanelli, l'emprise du continent euroasiatique entre le Portugal et la côte orientale du Japon est égale à  $360 - 100 = 260^\circ$  en longitude auxquels correspondent, à l'équateur, 13 858 mm (R) et 14 872 mm (I). La comparaison avec le **tableau 5** suggère que les 16 000 milles des géographes sont comptés sur le parallèle des Canaries en milles romains ou italiens ; ils surestiment l'évaluation de Toscanelli de 4,5%.

### L'EMPRISE DU CONTINENT EURASIATIQUE DE MARIN DE TYR À COLOMB

Les formules données au début de l'exposé permettent facilement de calculer chez les Anciens la surestimation des arcs continentaux asiatiques  $(360 - \theta_R) / (360 - \theta_V)$  ainsi que celle qui est due à un rayon terrestre erroné  $(360 - \theta_V) / (360 - \theta_R)$ . Le **tableau 6** récapitule les résultats pour Marin de Tyr, Ptolémée, Toscanelli, Behaïm, Colomb et pour les arcs continentaux de parallèle "Lisbonne - côte est de Chine" et "Canaries - Japon". Il suggère les remarques\* suivantes :

- (1)  $\theta_V$  et  $(360 - \theta_V)$  sont les ouvertures réelles en longitude, maritime et terrestre, sur la sphère terrestre de rayon R.
- (2) Avec l'hypothèse que le degré de Marin est le même que celui de Ptolémée, soit 50,0 mm/°.
- (3) Avec l'hypothèse d'un degré de Ptolémée de 50,0 mm/°.
- (4) Avec l'hypothèse que le degré de Toscanelli vaut 66 2/3 milles romains (53,3 mm/°).
- (5) Avec l'hypothèse que le degré de Behaïm vaut 60 milles italiens (51,5 mm/°).
- (6) Avec l'hypothèse du report des 1 142 lieues sur la sphère de Behaïm (51,5 mm/°).
- (7) Avec l'hypothèse que Colomb aurait choisi la même emprise en distance du continent eurasiatique que Behaïm, mais l'aurait appliquée sur une sphère de rayon correspondant à 48,6 mm/°.

\*Remarques se rapportant au tableau numéro 6



Tableau 6

	<b>Lisbonne-Chine</b> $\theta_v$ (mer) = 230° $(360 - \theta_v)$ (terre) = 130°						<b>Canarie-Japon</b> $\theta_v$ (mer) = 203° $(360 - \theta_v)$ (terre) = 157°					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	$\theta_r$	$360 - \theta_r$	$\theta_R$ et $\theta_R / \theta_v$	$\theta_r$ et $\theta_R$ $(360 - \theta_r)$ et $(360 - \theta_R)$ $360 - \theta_r$ $360 - \theta_R$	$360 - \theta_r$ $360 - \theta_R$	$360 - \theta_r$ $360 - \theta_R$	$\theta_r$	$360 - \theta_r$	$\theta_R$ et $\theta_R / \theta_v$	$\theta_r$ et $\theta_R$ $(360 - \theta_r)$ et $(360 - \theta_R)$ $360 - \theta_r$ $360 - \theta_R$	$360 - \theta_r$ $360 - \theta_R$	$360 - \theta_r$ $360 - \theta_R$
Marin de Tyr (2) 50,0 mm/°	140°	220°	177° 0,77	183° 1,41	1,20	1,69						
Ptolémée (3) 50,0 mm/°	188°	172°	217° 0,94	143° 1,10	1,20	1,32						
Toscanelli (4) 53,3 mm/°	130°	230°	156° 0,68	204° 1,57	1,13	1,77	90°	270°	120° 0,59	240° 1,53	1,13	1,72
Behaïm (5) 51,5 mm/°	125°	235°	157°,5 0,68	202°,5 1,56	1,16	1,81	77°	283°	116° 0,57	244° 1,55	1,16	1,80
Colomb I (6) (1 142 lieues) 51,5 mm/°							86°	274°	125° 0,62	235° 1,50	1,16	1,74
Colomb II (7) 48,6 mm/°							60°	300°	117° 0,58	243° 1,55	1,23	1,91

### Amplification de l'arc continental eurasiatique

Chez Ptolémée, l'amplification de l'arc continental "Lisbonne-Chine", égale à 1,10 est très voisine de la valeur moyenne de 1,12 relevée précédemment. S'agit-il d'une coïncidence ou bien, au contraire, d'une cohérence globale de la mappemonde de Ptolémée ? il est difficile de répondre mais, en tout état de cause, l'hypothèse d'un Cattigara sur les côtes du Pérou mériterait d'être approfondie. En tout cas, avec un développement en longitude, corrigé de l'erreur de rayon terrestre, de 143° pour le bloc eurasiatique, Ptolémée est celui qui se rapproche le plus de la réalité, qui donne 130°.

La dilatation de l'arc continental "Lisbonne-Chine" est de 1,41 pour Marin de Tyr et a une valeur voisine de 1,55 chez Toscanelli et Behaïm (du même ordre de grandeur d'ailleurs que pour l'arc "Canaries-Cipangu").

Pour Colomb, dans la version proposée pour les 1 142 lieues, elle est de 1,50 et dans la version de son projet de 48,6mm/° (56 2/3 milles italiens) elle est de 1,55.

### Effet "rayon de la Terre"

Le rayon erroné  $r$  de la Terre introduit une dilatation de l'ouverture en longitude des arcs continentaux égale à  $(360 - \theta_r) / (360 - \theta_R) = R/r$ . On a donc les coefficients de dilation suivants :

Marin de Tyr et Ptolémée :  $60/50 = 1,2$

Behaïm :  $60/51,5 = 1,16$

Toscanelli :  $60/53,3 = 1,13$

Colomb I :  $60/51,5 = 1,16$

Colomb II :  $60/48,6 = 1,23$

### LA TRAVERSÉE "CANARIES-CIPANGU"

#### Différentes évaluations

L'arc maritime "Canaries-Cipangu", mesuré sur le parallèle des Canaries, donne lieu aux évaluations suivantes :

- Les 1 142 lieues de Colomb, de 4 milles italiens, soit 3 920 mm, ou romains, soit 3 654 ;

- L'évaluation de Toscanelli, sur une sphère de 66 2/3 milles romains de 1 480 m au degré (53,3 mm/°), avec une ouverture en longitude de 90°, soit  $90 \times 53,3 \times \cos 28^\circ = 4 236$  milles marins ;

- Les 77° d'étendue en longitude du planisphère de Behaïm, avec probablement un degré de 60 milles italiens de 1 589 m (51,5 mm/°), soit  $77^\circ \times 51,5 \times \cos 28^\circ = 3 500$  mm ;

- L'évaluation suivant les hypothèses de Morison d'un degré de 56 2/3 milles romains (45,3 mm/°) et d'une ouverture en longitude de 60°, donnant une distance de  $60 \times 45,3 \cos 28^\circ = 2 400$  milles marins ;

- L'évaluation selon l'hypothèse d'une même emprise eurasiatique en distance que Behaïm, mais portée sur une sphère dont le rayon correspond à 56 2/3 milles italiens au degré, soit 2 575 mm ;

- Rappelons enfin que l'arc de parallèle entre les Canaries et le Japon, à la latitude des Canaries mesure environ  $203^\circ \times 60 \times \cos 28^\circ = 10,755$  milles marins, soit environ 3,6 fois la distance "Canaries-Cuba" ( $57 \times 60 \times \cos 28^\circ = 3 020$  mm) et 4,5 fois les 2 400 mm prévus pour la traversée dans l'hypothèse Morison.

#### Partage des erreurs

La formule (5) permet une comparaison entre les distances réelles (à partir des paramètres  $R$  et  $\theta_v$ ) et les distances estimées par les Anciens (à partir des paramètres  $r$ ,  $\theta_r$  et  $\theta_R$ ), en découplant les effets dus aux erreurs sur le rayon terrestre et ceux dus aux erreurs sur l'estimation des arcs continentaux. Elle s'écrit de la façon suivante :

$$(5) \Delta (r \theta_r) = (R \theta_v - r \theta_r) = 360 (R-r) + 60 (\theta_v - \theta_R).$$

r et R sont comptés en milles marins au degré et les résultats doivent être multipliés par  $\cos 28^\circ$  pour l'estimation des arcs sur ce parallèle.

En reportant le continent eurasiatique de Ptolémée de sa sphère (dont le rayon correspond à 50,00 mm/°), sans en changer l'échelle, sur la sphère terrestre réelle

<b>Tableau 7</b>	r mm/°	$\theta_r$	$\theta_R$	R $\theta_v - r \theta_r$	$\frac{360 \Delta_r}{\Delta (r\theta_r)}$	$\frac{60 (\theta_v - \theta_R)}{\Delta (r\theta_r)}$
Sphère terrestre réelle	60		$\theta_v = 203^\circ$			
Toscanelli	53,3	$90^\circ$	$120^\circ$	6 520 mm	33 %	67 %
Behaim	51,5	$77^\circ$	$116^\circ$	7 300 mm	37 %	63 %
Colomb I (1 142 lieues)	51,5	$86^\circ$	$125^\circ$	8 844 mm	39 %	60 %
Colomb II	48,6	$60^\circ$	$117^\circ$	8 180 mm	44 %	56 %

**Le tableau 7** récapitule pour l'arc maritime "Canaries-Cipangu" sur le parallèle  $28^\circ$  les différences entre la réalité et les estimations des auteurs anciens :

#### Exemple :

l'estimation de Toscanelli minore de 6 520 mm la distance réelle (d'ailleurs, son estimation de 4 236 mm, majorée de 6 520 mm donne 10 756 mm). 33 % de ces 6 520 mm sont dûs à une erreur sur le rayon terrestre (53,3 mm au lieu de 60,0 mm) et 67 % sont dûs à une erreur sur l'emprise du continent eurasiatique.

### CONCLUSION

La comparaison des cartographies globales anciennes repose sur la connaissance des rayons terrestres qui ont servi à les établir. Cette approche, semble t'il assez rarement utilisée, est à la base de nos réflexions sur le projet de Colomb.

Les principaux résultats de cette étude, avec les réserves d'usage pour des sources d'informations anciennes, sont les suivantes :

- La valeur assez fréquemment utilisée au temps de Colomb d'un degré d'arc de grand cercle de 62,5 milles romains ( $62,5 \times 148 \text{ } 148 = 92 \text{ } 592,5 = 50,0 \text{ mm}$ ) et la bonne cohérence des surestimations des distances avec les valeurs couramment admises lorsqu'on adopte un degré de 500 stades de 185 m,  $185 (185, 185 \text{ } 185 = 92 \text{ } 592,5)$  sont en faveur d'un degré de 500 stades grecs correspondant à 50,0 mm/° chez Ptolémée.

- La mappemonde de Ptolémée est un document remarquablement cohérent, même jusqu'à Cattigara si on admet qu'il s'agit d'une citée sur la côte de Chine.

son emprise n'est que de 10% en moyenne. En procédant de façon analogue pour Marin de Tyr (50,0 mm/°), Toscanelli (53,3 mm/°), Behaim (51,5 mm/°) on trouve des valeurs de l'ordre de 50%.

- En faisant l'hypothèse que les arcs continentaux "Canaries-Cipangu" et "Lisbonne-Quinsay" ont les mêmes valeurs chez Toscanelli et Behaim, mais qu'ils sont portés sur des sphères de rayons différents, on trouve un degré de  $66 \frac{2}{3}$  milles romains = 53,3 mm/° pour Toscanelli et 60 milles italiens = 51,5 mm/° pour Behaim.

- Les 1 142 lieues de quatre milles (romains ou italiens) de la première traversée vers les Indes, de Colomb, soit 3 650 mm (R) ou 3 920 mm (I), expliquent facilement que Colomb ait confondu Cuba et Cipangu (Japon), car les valeurs correspondantes chez Toscanelli et Behaim sont respectivement de 4 236 mm et 3 501 mm.

- L'emprise "terrestre" "Canaries-Cipangu" chez Behaim, reportée sur une sphère d'un rayon correspondant à  $56 \frac{2}{3}$  milles italiens (48,6 mm/°), représente une ouverture maritime en longitude de  $60^\circ$  et une traversée à  $28^\circ$  N de 2 570 mm. Ce scénario pourrait être celui qu'a présenté Colomb aux autorités royales pour faire accepter son projet.

- Les parts revenant au rayon de la Terre et à l'emprise supposée de l'arc continental asiatique dans l'erreur globale sur la distance à pourcourir par mer pour relier les Canaries et le Japon sont du même ordre de grandeur et somme toute assez semblables chez Toscanelli, Behaim et Colomb.

#### Annexe 1 : La sphère de Behaim

##### Calcul du degré d'arc de circonférence terrestre de Behaim.

En faisant l'hypothèse, assez raisonnable, que les arcs continentaux "Canaries-Cipangu" et "Lisbonne-Quinsay" ont des valeurs respectivement égales chez Toscanelli et Behaim, mais que les rayons respectifs de leur sphère sont différents, on peut appliquer la formule (1) :

$(360 - \theta_r) r_T = (360 - \theta_R) r_B$  dans laquelle  $r_T$  et  $r_B$  sont les rayons des sphères de Toscanelli et Behaim, et  $\theta_T$  et  $\theta_B$  les arcs maritimes de parallèle exprimés en degrés de longitude chez Toscanelli et Behaim.

Pour l'arc "Canaries-Cipangu" on a donc :

$$r_B/r_T = \frac{360 - 90}{360 - 77} = 0,954$$

et pour l'arc "Lisbonne-Quinsay"

$$r_B/r_T = \frac{360 - 130}{360 - 125} = 0,979$$

La moyenne de ces deux rapports est égale à 0,966. Le **tableau** joint, sur lequel sont reportées les principales valeurs du degré du temps de Colomb, avec une double

entrée (verticale pour Behaïm, horizontale pour Toscanelli), donne les valeurs du rapport  $r_B/r_T$ . En retenant la fourchette 0,95 - 0,98 pour  $r_B/r_T$  et la valeur de 66 milles 2/3 au degré pour

Toscanelli, on voit que le couple le plus favorable fait ressortir, avec un rapport  $r_B/r_T = 0,97$ , 66 milles 2/3 romains pour le degré de Toscanelli et 60 milles italiens pour Behaïm.

### Behaïm

	66 2/3 (R)	66 2/3 (I)	62,5 (R)	62,5 (I)	60 (R)	60 (I)	56 2/3 (R)	56 2/3 (I)
66 2/3 (R) 53,3 mm/°		>1	0,94	>1	0,90	0,97	0,85	0,91
66 2/3 (I) 57,2 mm/°	0,93		0,87	0,87	0,84	0,90	0,79	0,85
62,5 (R) 50,0 mm/°	>1	>1		>1	0,96	>1	0,91	0,97
62,5 (I) 53,6 mm/°	0,99	>1	0,93		0,89	0,96	0,845	0,90
60,0 (R) 48,0 mm/°	>1	>1	>1	>1		>1	0,94	>1
60,0 (I) 51,5 mm/°	>1	>1	0,97	>1	0,93		0,88	0,94
56 2/3 (R) 45,3 mm/°	>1	>1	>1	>1	>1	>1		>1
56 2/3 (I) 48,6 mm/°	>1	>1	>1	>1	0,99	>1	0,93	

(R) indique que l'évaluation en mm a été faite à partir de milles romains.

(I) indique que l'évaluation en mm a été faite à partir de milles italiens.

Exemple : 60 (I) pour Behaïm et 66 2/3 (R) pour Toscanelli donne  $r_B/r_T = \frac{51,5}{53,3} = 0,966 (\approx 0,97)$ .

### Annexe 2 : la thèse de Morison

La thèse classique concernant le projet de Colomb, présentée par l'Amiral Morison, peut être résumée de la façon suivante :

La circonférence du Globe est égale au produit de la valeur du degré par 360. Mais quelle est la valeur du degré ? Colomb s'appuie sur la formule remarquablement précise du géographe arabe du 9ème siècle Al Fragan de 56 2/3 milles arabes au degré (soit 60,06 milles marins<sup>°</sup>) mais il choisit pour unité le mille romain (1 480 m) au lieu du mille arabe (1 973 m), ce qui donne au degré la valeur de 45,3 milles marins, près de 25 % inférieure à sa valeur réelle. La mappemonde de Ptolémée, pour laquelle le degré vaut 50 mm, sert de base à son évaluation. Elle attribue au monde connu, du cap St Vincent (Portugal) à "Cattigara", aux confins asiatiques, un développement en longitude de 180 °, alors qu'il n'est en réalité que de

130° environ. Cependant Colomb donne la préférence à Marin de Tyr, pour lequel le monde connu embrasse 225°. Aux 225°, Colomb ajoute 28° pour tenir compte des découvertes de Marco Polo, et puis encore 30° pour tenir compte de la distance présumée côte est de Chine - côte est du Japon. Le total couvre 283° de longitude, mais comme le point de départ de Colomb est situé aux Canaries, qui est à 9° environ à l'ouest du Portugal, il reste 360° - (225 + 28 + 30 + 9) = 68° de longitude à parcourir pour la traversée "Canaries-Cipangu". Il faut encore effectuer deux corrections, pense Colomb :

a) une réduction de 68° à 60° pour tenir compte d'un degré de Marin trop grand.

En réalité, les 225° + 28° + 30° + 9° = 292° d'ouverture en longitude de l'arc terrestre Portugal-Cipangu sur la sphère de Ptolémée (50,0 mm/°) correspondent à une ouverture x° en longitude sur la sphère de Colomb (48,6 mm/°) donnée par l'équation 292° x 50 = x° x 48,6, soit x = 300°, c'est-à-dire 360° - 300° = 60° pour l'ouverture de la traversée maritime, sans faire appel à un degré de Marin trop grand.

b) une diminution du degré de 45 mm à l'équateur, qui ne mesure plus en longitude que 40 mm sur le parallèle des Canaries, à 28° N de latitude. La traversée projetée ne mesure donc que 60 x 40 = 2 400 milles marins.

### BIBLIOGRAPHIE

- Contre Amiral François Bellec. "Tentation de la haute mer - le siècle des découvreurs". Ed. Seghers.
- J. L. E. Dreyer. "A history of astronomy from Thales to Kepler". Ed. Dover.
- Jacques Heers. "Christophe Colomb". Ed. Hachette.
- Raymond d'Hollander. "La connaissance du globe terrestre à l'époque de Christophe Colomb". (article dans ce numéro).

- Samuel Eliot Morison. "Admiral of the ocean sea - A life of Christopher Columbus". Ed. Little, Brown and Company.
- Mireille Pastoureau. "Voies océanes". Bibliothèque Nationale - 1992.
- W. G. L. Randles. "La cartographie de l'Atlantique à la veille du voyage de Christophe Colomb"
- Paul Tannery. "Recherches sur l'histoire de l'astronomie ancienne". Georg Olms Verlag. 1976.
- "The Christopher Columbus Encyclopedia". Silvio A. Bedini, Editor.