

OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE & BIOGEOCHIMIQUE

OPCB 201 – MESURES EN MER

- 1) Bref historique
- 2) Référentiel - cartographie
- projection cartographique
- projections de Mercator, Gall-Peters, Lambert, Goode...
- 3) Position en mer
 - point à l'estime
 - navigation astronomique
 - distances (orthodromie – loxodromie)
 - cartes marines
 - GPS

Rappel Échantillonnage pour TDs

- 4) Mesures de T, Conductivité, P, grandeurs dérivées (températures potentielle et conservative, salinité, masse volumique, volume massique, anomalie de volume massique, densité, excès de masse volumique, sigma, célérité du son), temps
- 5) Instruments océanographiques
- 6) Mesure de la vitesse des courants

Liste de références

- Emery, W. J. and R. E. Thomson (1998). Data Analysis Methods in Physical Oceanography, Pergamon.
- Fieux, Michèle (2010), L'Océan Planétaire, Presses de l'ENSTA (voir correctif sur site web).
- Le Menn, Marc (2007), Instrumentation et métrologie en océanographie physique, Hermès Science, Lavoisier.
- Pickard, G. L. and W. J. Emery (1990). Descriptive physical oceanography, Pergamon Press
- Pollard, R. and J. Read (1989). "A method for calibrating Shipmounted Acoustic Doppler Profilers and the Limitations of Gyro Compasses." J. Atmos. Ocea. Techn. **6**: 859-865.
- R.D.I. (1989). Acoustic Doppler Current profiler Principles of operation: A practical primer. Research Development Instrument: 41. (à prendre sur site web)

Sites web

- http://oceanworld.tamu.edu/resources/ocng_textbook/contents.html (Introduction to physical oceanography, by Rob Stewart, Univ. Texas A&M)
- <http://isitv.univ-tln.fr/~lecalve/oceano/plan.htm>
- <http://www.univ-lemans.fr/~hainry/articles/loxonavi.html>
- <http://www.wetlabs.com>
- <http://www.ifremer.fr/dtmsi/produits/marvor/provor.htm>
- http://www.rdinstruments.com/rdi_library.html#primers
- <http://fr.wikipedia.org>
- (+ sites web additionnels fournis dans le cours)

PREMIER CHAPITRE - A) BREF HISTORIQUE

Noms avec * détaillés par la suite

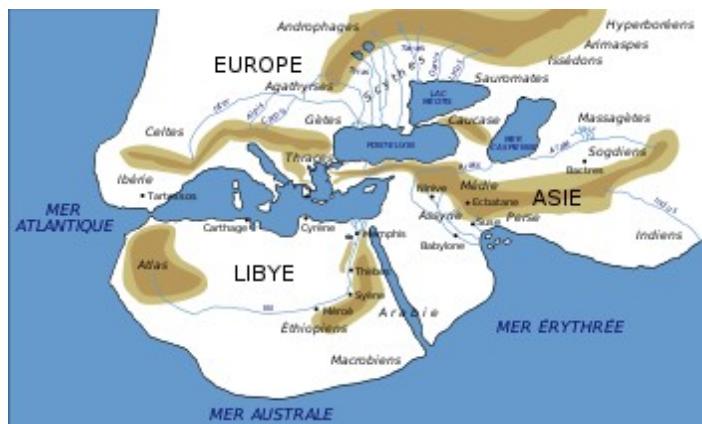
	Peuple - Personne	Régions explorées	Raisons	Connaissance
- 4000	Egyptiens	Nil + Méditerranée orientale		
-4000	Polynésiens	Océan Pacifique	Migration vers l'est	Etoiles, courants, migrations animaux
-2000 -1400	Inde			Description de la marée (lien avec soleil et lune)
- 1000 - 600	Phéniciens	Comptoirs en Méditerranée	exiguïté de leur territoire (~ Liban)	Excellent navigateurs; navigation nocturne grâce à la Petite Ourse, que les Grecs appelaient « la Phénicienne »
- 330	Pythéas *	Méd. Occidentale, GB, Norvège, Islande		Latitude (gnomon ; avec calcul de l'obliquité de l'écliptique)
-450	Hérodote *		Science	Carte de ce qui était connu du globe
-284	Erastosthène*		Science	Circonférence de la terre 40 000 km (inclinaison du soleil + distance Alex. – Syene)
127 151	Ptolémée*			« Atlas » mondial (sans Amériques) ; avec une circonference de 29 000 km
700- 1000	Vikings	Islande, Groenland, Terre-neuve	Colonisation	
900 + MoyenAge	Arabes	Afrique (Est) Zanzibar Chine	Commerce	Renverse des vents, courants de l'Océan Indien
1405-1433	Amiral chinois Cheng Ho/Zhen He	Océan Indien	Contrôle de l'empire de son Empereur	1ère carte avec Amérique ?
1487-88 1492-94 1497-99	Bartholomé Dias Christophe Colomb Vasco de Gama	Afrique (Sud) Amérique Afrique (Sud)	Interruption des routes commerciales vers les Indes (prise de Constantinople par	Redécouvre carte géométrique de Ptolémée Arrivée de la boussole* (à la place de la rose des vents)

1519-1522 1577-80	Magellan Drake	Tour du monde Tour du monde	sultan Mohammed II en1453)	Connaissance des alizés, des courants de côte 1507 carte * Waldseemüller avec Amérique
		DEBUT EXPLORATIONS SCIENTIFIQUES		
1768-1779	James Cook	Tour du monde et Océan Pacifique; Nelle Zélande (Endeavour, Resolution, Adventure)		
1809-1882	Charles Darwin	Tour du monde (Beagle)		
1818-1851	Sir James C. Ross + Sir John Ross	Arctique et Antarctique		
1820	Baron balte Fabien von Bellingshausen	Circumnavigation du continent Antarctique		
1815-1854	Edward Forbes	Distribution verticale de la vie dans l'océan		
1893-1896	Norvégien Fridtjof Nansen	Exploration pôle Nord (Fram) Vérification de l'hypothèse d'un océan Arctique; démonstration que la glace est de la glace de mer (pas un glacier)		
1945		Connaissance d'à peu près toutes les côtes (sauf certaines en Arctique et en Antarctique)		
XXe siècle	SATELLITES	Observation complète de la surface du globe		

Hérodote vers 450 avant JC

[<http://fr.wikipedia.org/wiki/Herodote>]

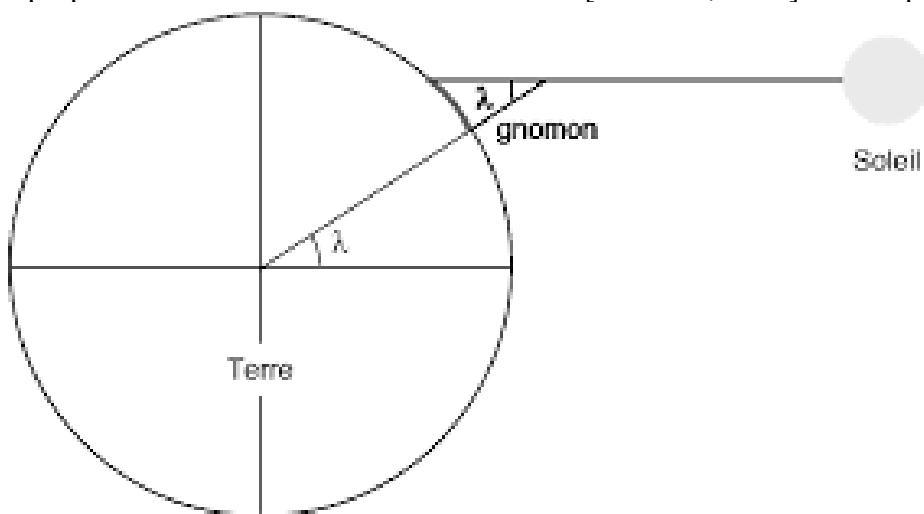
L'unique œuvre que nous connaissons d'Hérodote s'intitule *l'Enquête*, du grec Ἰστορίαι — littéralement « recherches, explorations », de ἴστωρ, « celui qui sait, qui connaît ». C'est l'une des plus longues œuvres de l'Antiquité.



Carte du monde décrit par Hérodote dans son *Enquête*

Pythéas

Pythéas utilisa un énorme gnomon (une sorte de cadran solaire) dont il connaissait la longueur et observa l'ombre à midi les jours d'équinoxe. Par ce système, il put déterminer l'obliquité de l'écliptique et en déduire la latitude de Massalia [Aoust B., 1866]. En simplifié :



Version détaillée sur: <http://revue.sesamath.net/spip.php?article1068>

% % % % % % % % % % % % % % % %

Ératosthène [http://fr.wikipedia.org/wiki/Ératosthène]

Ératosthène (en grec ancien Ἐρατοσθένης / Eratosthénês) était un astronome, géographe, philosophe et mathématicien grec du III^e siècle av. J.-C. (Cyrène, aujourd'hui Shahat, Libye, v. 276 – Alexandrie, Égypte, v. 194 av. J.-C.). Il fut l'élève d'Ariston de Chio.

Ératosthène fut nommé à la tête de la Bibliothèque d'Alexandrie vers -240 à la demande de Ptolémée III, pharaon d'Égypte, et fut précepteur de son fils. Astronome passionné, on dit que, devenu aveugle, il se laissa mourir de faim, ne pouvant plus admirer les étoiles.

Mesure de la circonférence de la Terre

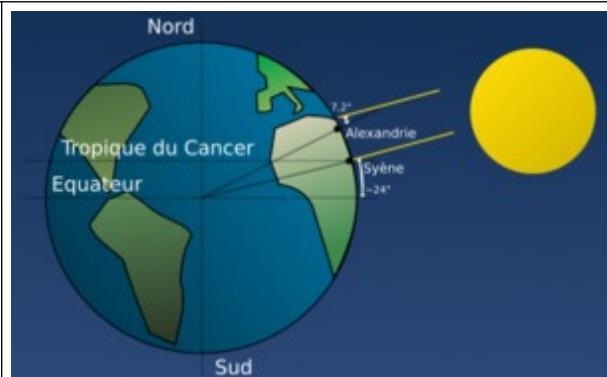
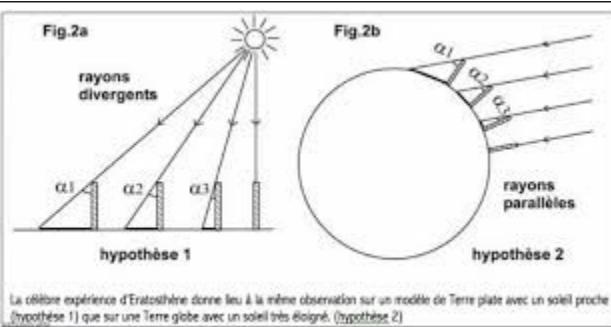
Ératosthène déduisit la circonférence de la Terre (ou méridien terrestre) d'une manière purement géométrique.

Il observa l'ombre de deux objets situés en deux lieux, Syène (aujourd'hui Assouan) et Alexandrie, le 21 juin (solstice d'été) au midi solaire local. C'est à ce moment précis de l'année que dans l'hémisphère nord le Soleil détient la plus haute position au dessus de l'horizon. Or, Ératosthène remarqua qu'il n'y avait aucune ombre dans un puits à Syène (ville située à peu près sur le tropique du Cancer) ; ainsi, à ce moment précis, le Soleil était vertical et sa lumière éclairait directement le fond du puits. Ératosthène savait cependant que le même jour à la même heure, un obélisque situé à Alexandrie formait une ombre ; le Soleil n'était donc plus à la verticale et l'obélisque avait une ombre décentrée. Par des calculs de trigonométrie, Ératosthène déduisit que l'angle entre les rayons solaires et la verticale était de 7,2 degrés. Deux hypothèses s'imposaient alors, soit :

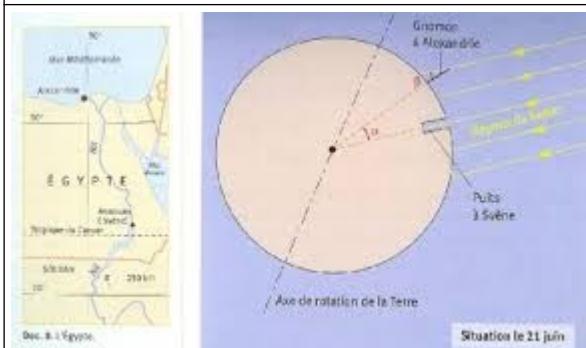
- La Terre est plate, mais le Soleil est assez proche pour que la divergence des rayons soit significative. Les rayons solaires n'atteignent donc pas la Terre de manière parallèle.
- La Terre est courbe, peut-être sphérique, et le soleil est assez loin pour que ses rayons atteignant la Terre soient tous parallèles ; là c'est la sphéricité de la Terre qui crée la différence entre Alexandrie et Syène.
-

Les marins de tous les pays avaient toujours connu la courbure de la Terre (ou du moins de la mer) comme en témoignèrent les positions élevées des phares terrestres et des hunes (plate-forme intermédiaire dans les mâts) des navires, dans un milieu marin ne se caractérisant pas spécialement par les reliefs. A la suite de Pythagore (580-495 av JC) et d'Aristote (384-322 av JC), Ératosthène était aussi l'un des premiers « savants » à faire l'hypothèse d'une Terre sphérique.

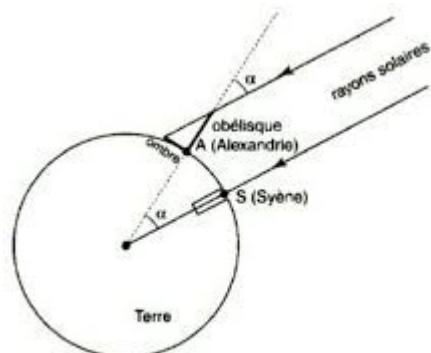
Ératosthène approxima ensuite la distance entre Syène et Alexandrie en faisant appel à un bématiste (arpenteur de l'Égypte antique qui avait la charge de mesurer des distances en nombre de pas « bêma ») qui se basa sur le temps en journées de marche en chameau entre les deux villes : la distance obtenue était de 5000 stades, soit 787,5 km, mesure très proche de la réalité, un stade (longueur utilisée dans les stades d'Olympie ou de Delphes) valant environ 157,5 m.



<https://fr.wikipedia.org/wiki/Eratosthène>



[http://www.saga-geol.asso.fr/
Geologie_page_conf_forme_Terre.html](http://www.saga-geol.asso.fr/Geologie_page_conf_forme_Terre.html)



Mesure du rayon de la Terre par Ératosthène.
<https://alzazou.wordpress.com/2018/07/28/la-terre-est-ronde-depuis-eratosthene/>

Rappels

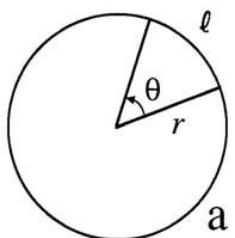
Longueur d'un arc $l = \text{angle} * \text{Rayon}$ (attention angle est en radians!)

Périmètre d'un cercle = $2\pi \times \text{Rayon}$

Unités (avec L = longueur)

L « courbe » = radians * L

On ne peut pas écrire : Périmètre = $360 * \text{Rayon}$



Calcul du Périmètre de la Terre

Par la théorie géométrique des angles, Ératosthène proposa une figure d'une « éblouissante simplicité »: elle était composée d'un simple cercle ayant un angle au centre de 7,2 degrés qui intercepte un arc (reliant Syène à Alexandrie) de presque 800 km :

- 5000 stades de 157,5 m valent 787,5 km (et forment un angle de $7,2^\circ$)
- $360^\circ : 7,2^\circ = 50$ arcs de $7,2^\circ$

Par les rapports dans les cercles (déjà connus à l'époque), il obtint que la circonférence de la Terre était de :

- $787,5 \text{ km} \times 50 = 39\ 375 \text{ km}$, mesure extraordinairement précise pour l'époque (les mesures actuelles donnent 40075,02 km).

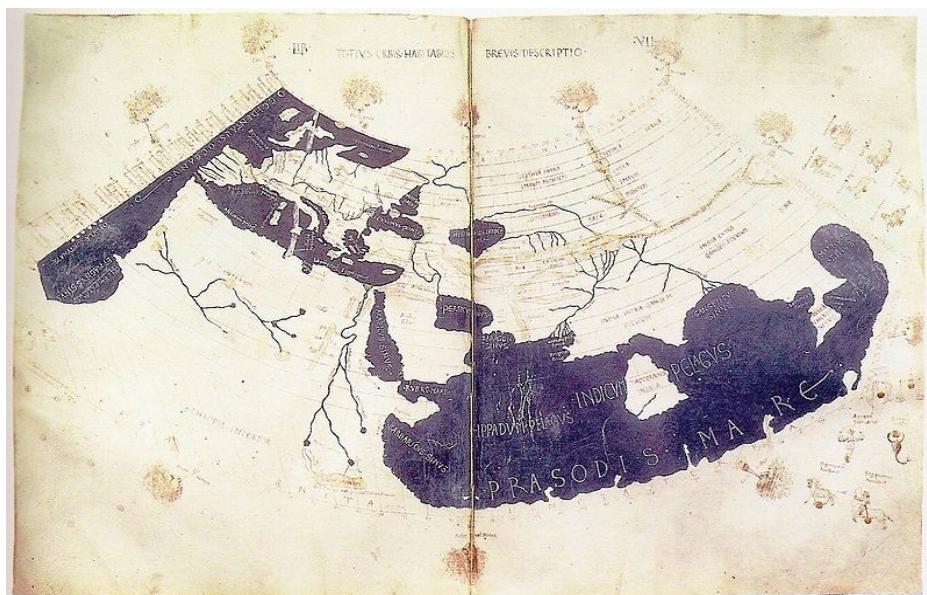
Son idée de rotundité de la Terre ne fut admise à nouveau qu'au XIII^e siècle, lorsque Thomas d'Aquin aligna les positions de l'Église sur les vues d'Aristote (antérieur à Ératosthène) en matière scientifique : la Terre était considérée par Aristote comme ronde, fixe et au centre de l'univers.

Ptolémée vers 150 après JC

[source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Ptolémée>]

Claudius Ptolemaeus (en grec : Κλαύδιος Πτολεμαῖος), communément appelé Ptolémée (Ptolémaïs de Thébaïde (Haute-Égypte) vers 90 - Canope vers 168) était un astronome et astrologue grec qui vécut à Alexandrie (Égypte). Il est également l'un des précurseurs de la géographie.

Ptolémée fut l'auteur de plusieurs traités scientifiques, dont la Géographie, qui est une discussion approfondie sur les connaissances géographiques du monde gréco-romain.



La carte du monde de Ptolémée, reconstituée à partir de sa Géographie (vers 150), indique les pays de Serica, Sinae (Chine) à l'extrême droite, au-delà de l'île de Taprobane (Sri Lanka, trop grande) et l'Aurea Chersonesus (Asie du Sud-Est)

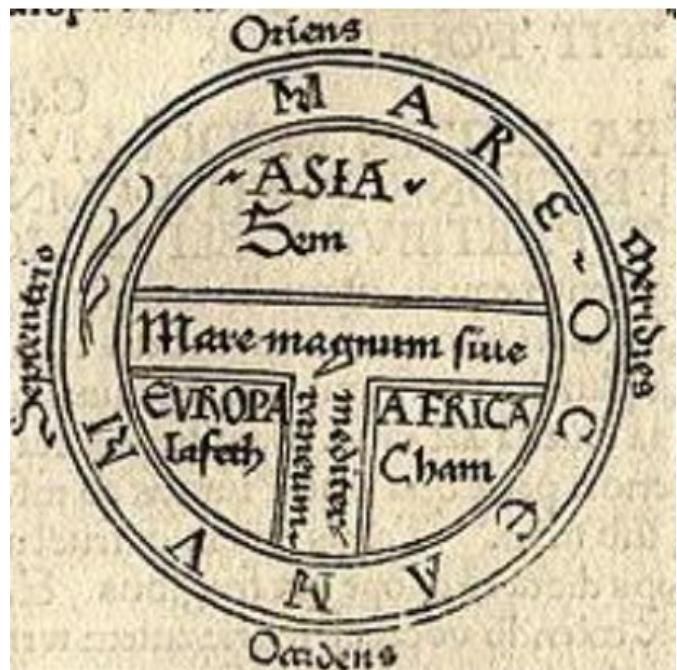


Reproduction d'une carte de Ptolémée imprimée au XV^e siècle

Carte au Moyen-Age

Une carte en T ou carte en TO était une représentation du monde au Moyen Age représentant le monde physique tel que décrit par l'érudit du VII^e siècle Isodore de Séville dans son *Etymologiae*

à droite
Par Guntherus Ziner,
Ausburge, 1472





1507 carte Waldseemüller avec la représentation du nouveau continent + Océan Pacifique (représenté 1 siècle avant que les Européens ne le voient). Cette carte serait la première carte incluant les Amériques (sauf si la carte chinoise de Zheng He du début du 15^e siècle 1400-1430 se révèle être authentique).



Carte chinoise avec la représentation du nouveau continent + Océan Pacifique

Carte dite *de Liu Gang*, présentée par Gavin Menzies comme la reproduction (faite en 1763) d'une carte datant de 1421 et montrant que l'Amiral Zhen He (ou écrit Chen Ho) aurait fait une circumnavigation du monde.

C'est une carte faite en 1763; mais il y a une polémique en ce moment pour déterminer si ce n'est qu'une copie d'une carte européenne du XVIII^e siècle (voir site

<http://www.1421exposed.com/html/about.html> pour plus de détails sur les arguments des opposants à la théorie de Menzies) ou un document ayant vraiment recopié une carte chinoise plus ancienne (datant de 1421).

(Source wikipédia - http://fr.wikipedia.org/wiki/Zheng_He)

Représentation en 3D du monde

C'est extrêmement rare, très couteux et réservé aux représentants du pouvoir.

Pour avoir une mappemonde ou la distance correspondant à un 1 mille marin serait de 1 mm, il faudrait une sphère de 3,40m de rayon. Les globes suivants en sont un exemple (diamètre presque de 5m) mais ils ne sont évidemment pas transportables sur un navire de l'époque.

ex les Globes de Coronelli

Le cardinal d'Estrées, ambassadeur français de Louis XIV auprès du Saint-Siège (Italie), obtint du cartographe italien Coronelli de réaliser deux globes de grande dimension pour le roi Louis XIV. Fabriquées à Paris de 1681 à 1683 par Vincenzo Coronelli, « le plus grand fabricant de globes de tous les temps » (Helen Wallis, « notice biographique de Coronelli », Amsterdam, 1969, p.18), ces deux sphères, l'une terrestre et l'autre céleste, mesurent 387 cm de diamètre et pèsent environ 2 tonnes chacune. Le diamètre atteint 487 cm si l'on inclut les méridiens et les cercles d'horizon(mobiles). [exposées à la Bibliothèque Nationale de France, Paris]



BOUSSOLE[<http://fr.wikipedia.org/wiki/Boussole>]

Une boussole est un instrument de navigation constitué d'une aiguille magnétisée qui s'aligne sur le champ magnétique de la Terre. Elle indique ainsi le nord magnétique (direction du pôle Nord magnétique à ne pas confondre avec le nord géographique. La différence entre les deux directions en un lieu donné s'appelle la déclinaison magnétique.)

Une boussole fournit une direction de référence connue qui aide à la navigation. Les points cardinaux sont (dans le sens des aiguilles d'une montre) : Nord, Est, Sud, et Ouest. Une boussole peut être utilisée conjointement à une horloge pour fournir une estimation de sa navigation.

Le terme boussole s'emploie principalement en navigation terrestre. En navigation maritime et aérienne, équipée d'une ligne de foi (repère parallèle à l'axe du navire ou de l'aéronef, gravé sur l'instrument et donnant la direction suivie), elle est alors appelée compas.

Histoire de la boussole

Il y a quelques désaccords sur la date précise à laquelle fut inventée la boussole. Les plus anciennes boussoles connues étaient utilisées par les Chinois au II^e siècle, chez qui elle est très utilisée en géomancie. Leurs boussoles ressemblaient alors à des cuillères à soupe. Curieusement, cela a pris un certain temps pour que ce phénomène soit utilisé par les Chinois pour la navigation navale, mais au XI ou XII^e siècle, il était devenu commun.

Les Européens ne commencèrent à utiliser la boussole qu'à partir de la fin du XIII^e siècle lors des grandes expéditions maritimes. Les marins arabes ont apparemment connu la boussole par les Européens, adoptant son utilisation dans la première moitié du XIV^e siècle. Vers environ 1358, il y a une histoire au sujet d'un moine anglais sous le nom de Nicholas de Lynne, qui a travaillé sur un navire arabe comme navigateur dû à sa compétence et connaissance de « la boussole magnétique » (voir Inventio Fortunata).

Avant l'introduction de la boussole, la navigation en mer se faisait principalement par la navigation céleste, complétée dans quelques endroits par l'utilisation des sondages. Les difficultés arrivaient quand la mer était trop profonde pour des sondages et/ou que les conditions étaient continuellement obscurcies ou brumeuses. Ainsi la boussole n'était pas de la même utilité partout.

Par exemple, les Arabes pouvaient généralement compter sur des ciels clairs pour naviguer dans le golfe Persique et dans l'Océan indien (+ ils connaissaient aussi la nature prévisible des moussons). Ceci peut expliquer en partie leur adoption relativement tardive de la boussole. Les marins en mer Baltique relativement peu profonde utilisaient surtout des sondages. Dans le bassin méditerranéen, la saison des voyages de mer n'allait que de avril à octobre, dû en partie au manque de ciels clairs sûrs pendant l'hiver méditerranéen et à la mer beaucoup trop profonde pour des sondages. Avec les améliorations des méthodes de navigation à l'estime et le développement de meilleures cartes, ceci a changé pendant la deuxième moitié du XIII^e siècle (voir chap 3). Vers 1290, la saison de navigation pouvait commencer en janvier ou février et terminer en décembre. Les mois additionnels étaient d'importance économique considérable; ils ont permis aux convois vénitiens, par exemple, de faire deux voyages aller-retour par année en Méditerranée orientale au lieu d'un. En même temps le trafic entre l'Europe méditerranéenne et nordique était accru et un facteur, peut

être la nouvelle utilisation de la boussole, a rendu la traversée du Golfe de Gascogne plus sûre et plus facile.

Note : Le déplacement du pôle Nord magnétique est dû aux mouvements du noyau ferreux de la Terre (~40 km/an). Ce pôle était situé au Canada depuis 2005 mais il dérive plus rapidement ces derniers temps. En effet dans les années 90 il est passé d'une dérive de ~ 15 km/an à une dérive de ~55km/an. Il est maintenant au dessus de l'Océan Arctique. On estimait qu'il serait en Sibérie dans une cinquantaine d'années mais ce sera sûrement plus tôt que cela.

DEUXIEME CHAPITRE - REFERENTIEL – CARTOGRAPHIE

1) Référentiel terrestre – Rappels

La **latitude** est une valeur angulaire, expression de la position d'un point sur Terre (ou sur une autre planète), au nord ou au sud de l'équateur qui est le plan de référence. La latitude varie entre la valeur 0° à l'équateur et 90° aux pôles.

La **longitude** est une valeur angulaire, expression du positionnement est-ouest d'un point sur Terre (ou sur une autre planète). Tous les points de même longitude appartiennent à une ligne épousant la courbure terrestre, coupant l'équateur à angle droit et reliant le pôle Nord au pôle Sud. Cette ligne est appelée méridien. À la différence de la latitude (position nord-sud) qui bénéficie de l'équateur et des pôles comme références, aucune référence naturelle n'existe pour la longitude ; la longitude de référence actuelle est le méridien de Greenwich. La longitude, généralement notée λ , est donc une mesure angulaire sur 360° par rapport à un méridien de référence, avec une étendue de $+180^\circ$ à -180° ou 180° Ouest à 180° Est.

Note : même si l'unité internationale mathématique des angles (valeurs angulaires) est le radian, il est commun d'indiquer les latitudes et longitudes en degré. Il faut cependant se rappeler que si des distances sont calculés (ou des angles solides), il faudra utiliser les radians.

Choix du méridien international

Chaque nation avait son propre méridien jusqu'en 1884 où le méridien de Greenwich est adopté. En France, l'obligation de l'utiliser fait l'objet d'une décision ministérielle en 1913. Et l'heure n'est plus définie par rapport à Paris qu'à partir de 1978 !

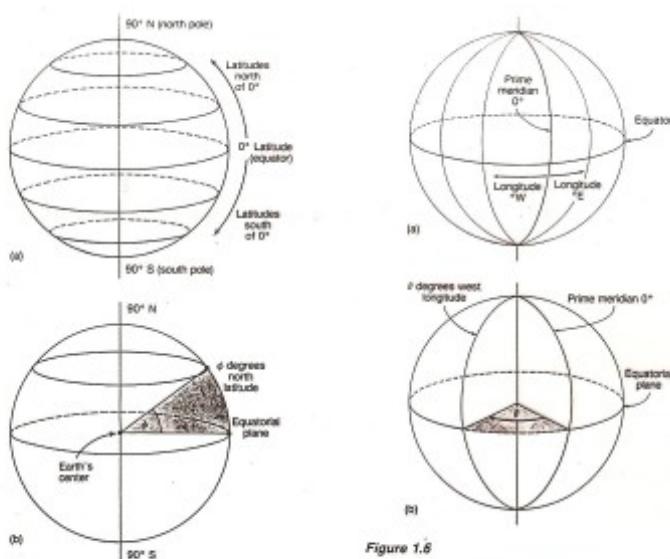


Figure 1.5

(a) Latitude lines are drawn parallel to the equatorial plane. (b) The value of a latitude line is expressed in angular degrees determined by the angle formed between the equatorial plane and the latitude line to the earth's center. This is the angle θ (phi). The degree value of θ must be noted as north or south of the equator.

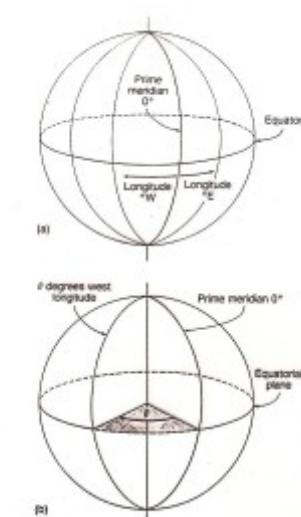
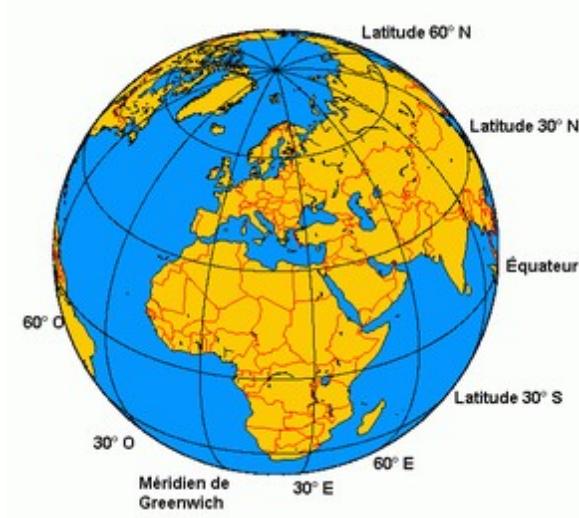


Figure 1.6

(a) Longitude lines are drawn with reference to the prime meridian. (b) The value of a longitude line is expressed in angular degrees determined by the angle formed between the prime meridian and the longitude line to the earth's center. This is the angle ϕ (theta). The value of ϕ is given in degrees east or west of the prime meridian.



Parallèles et méridiens se coupent à angle droit (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Méridien>)

2) **Projection cartographique** [adapté de : Wikipédia - http://fr.wikipedia.org/wiki/Projection_cartographique]

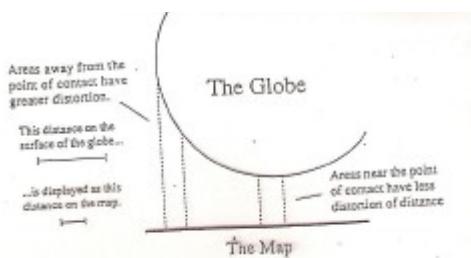
La projection cartographique est un ensemble de techniques géodésiques permettant de représenter la surface de la Terre dans son ensemble ou en partie sur la surface plane d'une carte.

Le choix d'une projection et la conversion d'une projection à une autre comptent parmi les difficultés que les cartographes ont dû affronter. L'informatique leur a beaucoup apporté de ce point de vue.

D'un point de vue mathématique, une projection permet d'établir entre la surface de la Terre et le plan (ou la surface développable) une correspondance telle que :

$$x = f_1(\varphi, \lambda) \text{ et } y = f_2(\varphi, \lambda)$$

où x, y désignent des coordonnées planes, φ la latitude, λ la longitude et f_1, f_2 des fonctions qui sont continues partout sur l'ensemble de départ sauf sur un petit nombre de lignes et de points (tels que les pôles). Il existe donc une infinité de solutions. Les mathématiciens ne sont pas privés d'en trouver, et on en connaît plus de deux cents (Joly, 1985, page 39).



De la Terre à la carte

Une projection s'appuie sur une sphère ou un ellipsoïde de révolution. La Terre étant en fait un patatoïde, on commence par choisir, à partir de son géoïde global, un ellipsoïde de révolution représentatif. Il existe plusieurs ellipsoïdes en usage, dont le plus courant est le WGS 84 (World Geodetic System mis en place en 84).

Rappel :

Un géoïde est une surface équipotentielle de référence du champ de pesanteur terrestre.

Le géoïde de référence est construit à partir du géoïde marin. Celui-ci est la surface moyenne des surfaces océaniques qui, selon les lois de l'hydrostatique, est approximée à une équipotentielle. Le prolongement du géoïde marin est appelé le géoïde continental. Le géoïde de référence qui en résulte a la forme d'un ellipsoïde, légèrement déformé, aplati au niveau des pôles d'environ 0,335 %. C'est une représentation de la surface de la Terre plus précise que l'approximation sphérique ou ellipsoïdale.

Mais pour faire de la cartographie, il faut utiliser un ellipsoïde, même si il représente moins bien la terre que le géoïde car il est représenté par une formule mathématique. De plus l'ellipsoïde seul ne suffit pas : il est nécessaire de le positionner par rapport à la surface réelle de la Terre. La donnée de l'ellipsoïde et des paramètres de positionnement constitue ce qu'on appelle un « datum géodésique » à partir duquel pourra être appliquée une projection.

Modèle ellipsoïdique	WGS-84	
<p>Aplatissement 1/300 Demi grand axe : 6378 km Pôle Nord équateur Aprox. 22 km 6356,7 km sphère 6378,1 km ellipsoïde Carney McMillan</p>	<p>Paramètres d'ellipsoïde WGS-84 Demi-petit axe = b (WGS-84 $b = 6356752,3142$ mètres) Demi-grand axe = a (WGS-84 $a = 6378137,0$ mètres) Aplatissement = $f = (a-b) / a$ (WGS-84 $f = 1,298257222563$) Carri de l'excentricité = $e^2 = 2f - f^2$ (WGS-84 $e^2 = 0,00669437999013$)</p>	

https://cmappspublic.ihmc.us/rid=1235788785560_1870453065_31990/ressources

https://cmappspublic.ihmc.us/rid=1235786191360_1004519321_24577/Géodésie

http://www.agrotic.org/blog/wp-content/uploads/2014/06/2_Geodesie_et_GNSS1.pdf

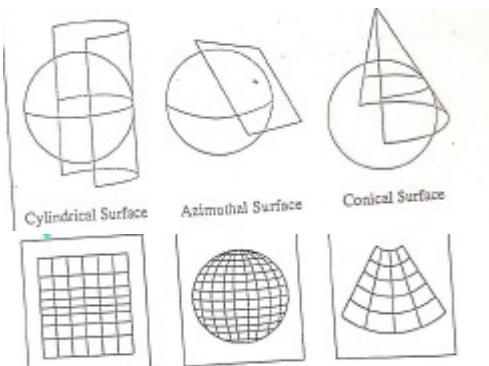
Les types de projections – et leurs propriétés

Une fois un datum fixé, on peut choisir le type de projection à appliquer pour obtenir une carte.

Une carte ne pouvant pas être obtenue simplement en écrasant une sphère, la projection passe généralement par la représentation de la totalité ou une partie de l'ellipsoïde sur une surface développable, c'est-à-dire une surface qui peut être étalée sans déformation sur un plan.

Les trois formes mathématiques courantes qui répondent à ce critère (à savoir le cylindre, le cône et le plan) donnent lieu aux trois types principaux de projections :

- la projection cylindrique ;
- la projection conique ;
- la projection azimutale.



Ce choix est conduit par l'usage, car les projections peuvent avoir **diverses propriétés** :

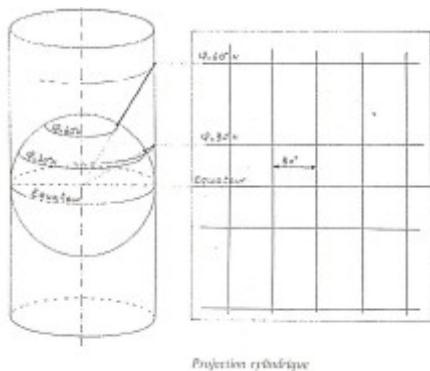
- projection **équivalente** : conserve localement les surfaces ;
- projection **conforme** : conserve localement les angles, donc les formes ;
- projection **équidistante** : conserve les distances sur les méridiens.
-

Une projection ne peut être à la fois conforme et équivalente.

Une projection est dite **aphylactique** si elle n'est ni conforme ni équivalente : mais elle peut être équidistante. Son nom est dérivé (phyla du grec= je garde, je conserve ; aphyla = ne conserve pas) du fait qu'elle ne conserve ni les angles (non conforme) ni les surfaces (non équivalente).

Une projection qui ne peut être classée dans un de ces types est appelée *individuelle* ou *unique*. Une projection peut aussi être « interrompue ».

I) Projection cylindrique



On projette l'ellipsoïde sur un cylindre qui l'englobe. Celui-ci peut être tangent au grand cercle, ou sécant en deux cercles. Puis on déroule le cylindre pour obtenir la carte.

Exemples de projections cylindriques :

- Projection de Mercator (conforme)
- Projection de Peters (équivalente)
- Projection de Robinson (pseudo-cylindrique, aphylactique)

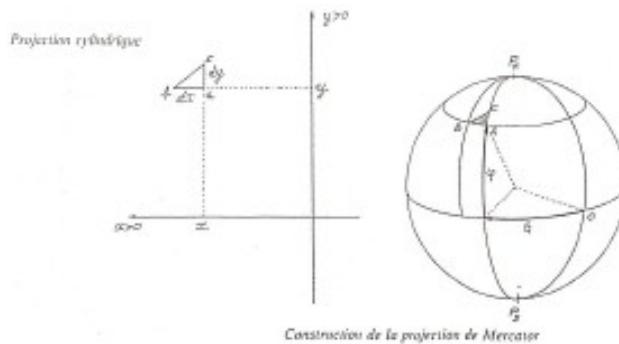
- Projection UTM aussi appelée Gauss-Kruger (conforme)
- Projection cylindrique équidistante
- Projection de Mercator oblique (utilisée en Suisse par exemple).

Supplément sur la projection de Mercator

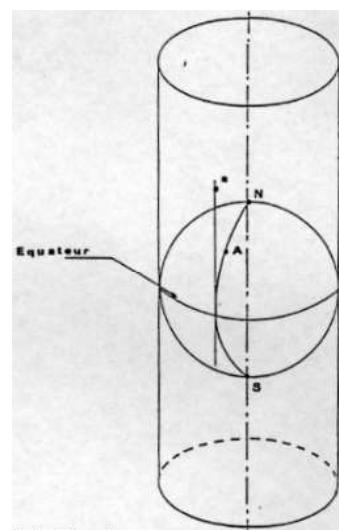
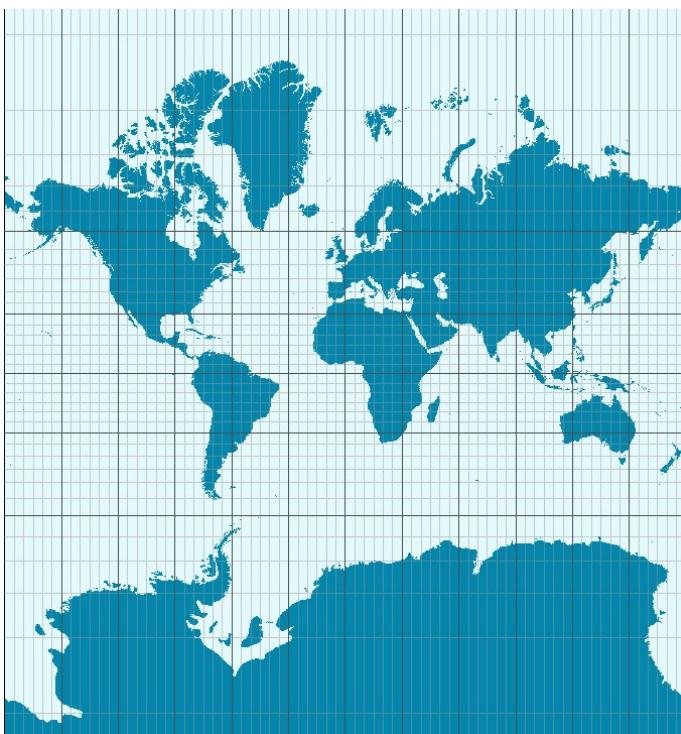
La projection de Mercator est une projection cylindrique du globe terrestre sur une carte plane nommée par Gerardus Mercator en 1569. Les parallèles et les méridiens sont des lignes droites et l'inévitable étirement Est-Ouest en dehors de l'équateur est accompagné par un étirement Nord-Sud correspondant, de telle sorte que l'échelle Est-Ouest est partout semblable à l'échelle Nord-Sud. Une carte de Mercator ne peut couvrir les pôles : ils seraient infiniment hauts.

Il s'agit d'une projection conforme, c'est-à-dire qu'elle conserve les angles. Toute ligne droite sur une carte de Mercator est une ligne d'azimut constant.

Ceci la rend particulièrement utile aux marins, même si le trajet ainsi défini n'est généralement pas sur un grand cercle et n'est donc pas le chemin le plus court. À l'époque des grands voiliers, la durée du voyage était soumise aux éléments, et donc la distance du trajet était moins importante que la direction, surtout parce que la longitude était difficile à calculer précisément.

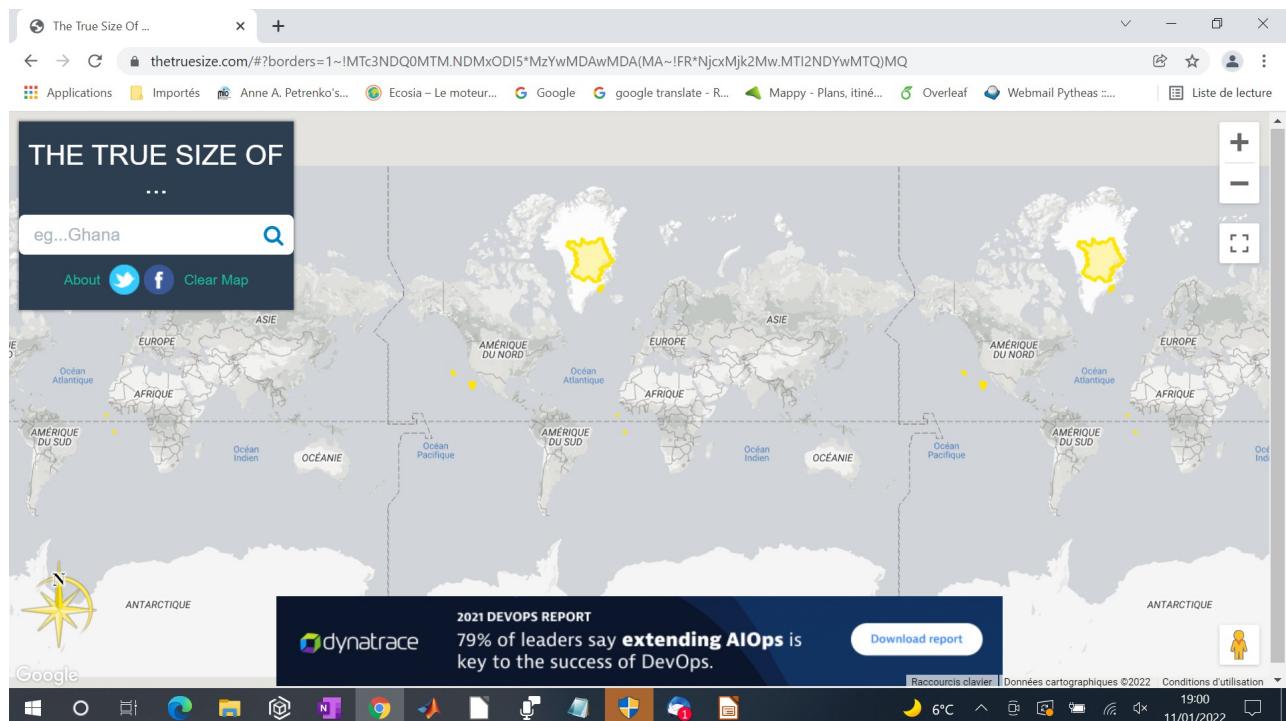


Les cartes traditionnelles inspirées des travaux de Mercator destinés à la navigation ont pour principal défaut de nous donner une idée erronée des surfaces occupées par les différentes régions du monde, et donc des rapports entre les peuples. Quelques exemples : L'Amérique du Sud semble plus petite que le Groenland ; en réalité, elle est neuf fois plus grande : 17,8 millions de km² contre 2,1 millions. L'Inde (3,3 millions de km²) semble plus petite que la Scandinavie (Norvège + Suède + Finlande = 0,8 millions de km²). L'Europe (9,7 millions de km²) semble plus étendue que l'Amérique du Sud, pourtant près de deux fois plus grande.

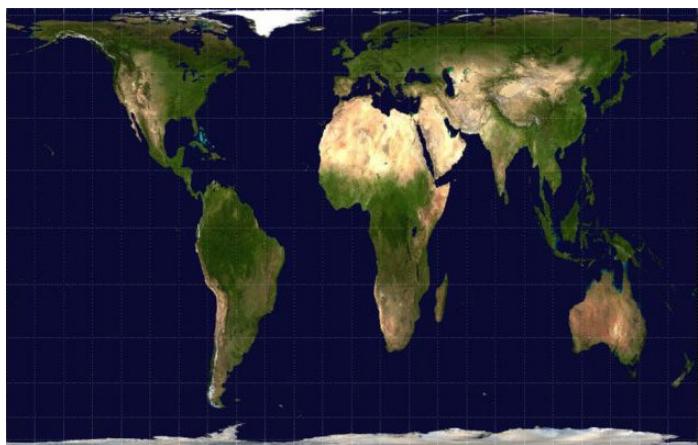


Projection de Mercator (<http://membres.lycos.fr/smeys/projec.htm>)

Pour se rendre compte de la déformation d'un pays par rapport à sa latitude en projection Mercator, aller s'amuser sur site web (eg ci-dessous France mise au niveau du Groenland) :



Autre type de projection cylindrique: Projection Gall – Peter (http://en.wikipedia.org/wiki/Gall-Peters_projection)



C'est une projection où le cylindre coupe l'ellipsoïde en deux cercles parallèles, l'un à 45°N et 45°S. Ce genre de cart a fait l'objet d'une grosse polémique au 20^{ème} siècle dans les débats sur les implications politiques des représentations cartographiques.

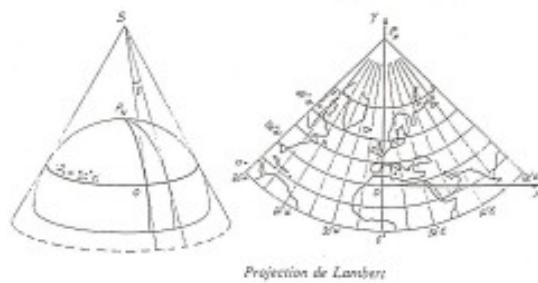
II) Projection conique



On projette l'ellipsoïde sur un cône tangent à un cercle ou sécant en deux cercles. Puis on déroule le cône pour obtenir la carte.

Exemple

[Projection conique conforme de Lambert](#)



III) Projection azimutale



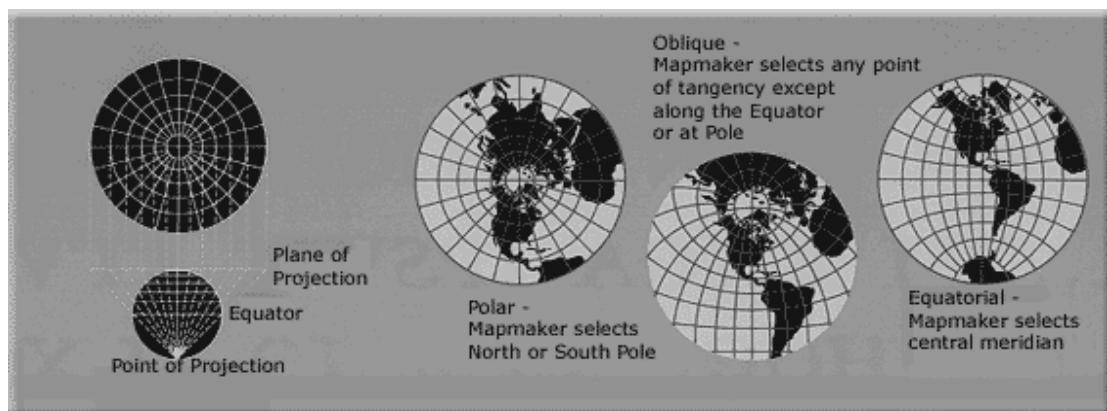
On projette l'ellipsoïde sur un plan tangent en un point ou sécant en un cercle.

Il existe trois types de projections azimutales, qui se différencient par la position du point de perspective utilisé pour la projection :

- projection stéréographique ;
- projection gnomonique ;
- projection orthographique.

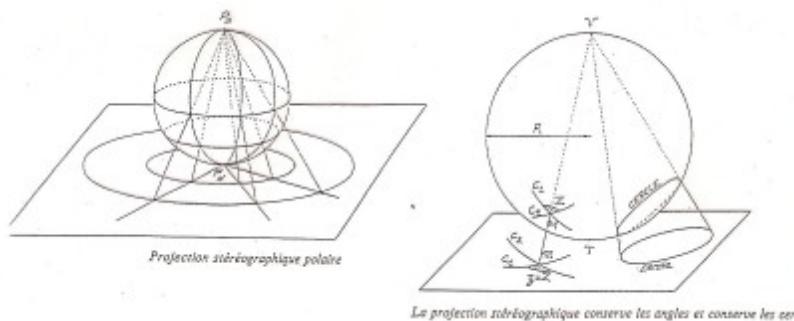
Par ailleurs, selon la position du plan tangent, la projection azimutale est dite *polaire* (plan tangent à un pôle), *équatoriale* (plan tangent en un point de l'équateur), ou *oblique* (plan tangent en un autre point). La projection azimutale polaire sert pour les cartes représentant les lignes aériennes qui passent par les régions polaires afin de réduire la distance de parcours.

III a) Projection stéréographique

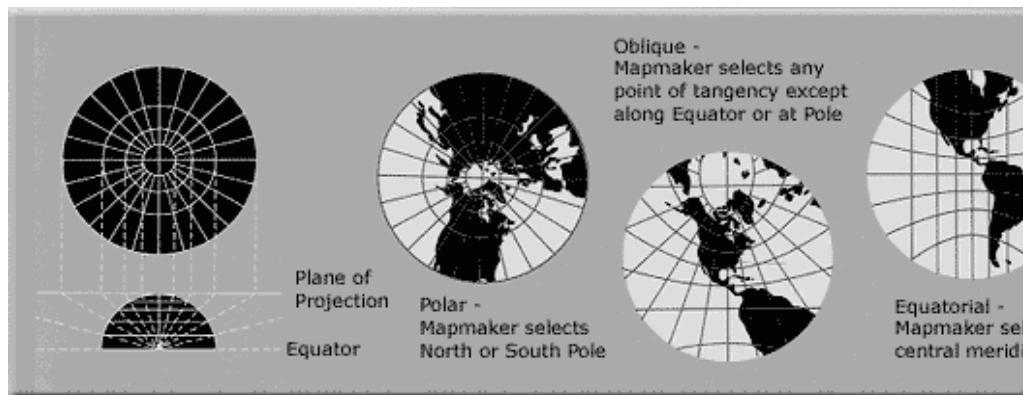


<http://egsc.usgs.gov/isb/pubs/MapProjections/projections.html#stereographic>

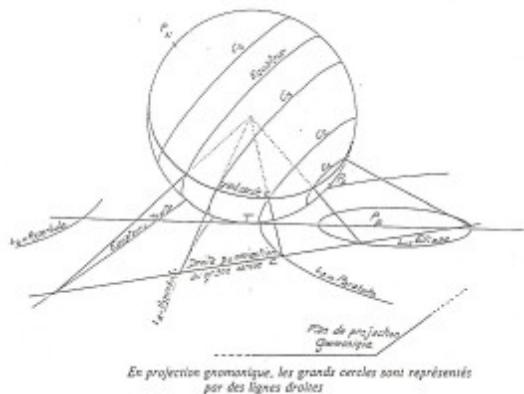
Le point de perspective est placé sur le sphéroïde ou l'ellipsoïde à l'opposé du plan de projection. Le plan de projection, qui sépare les deux hémisphères nord et sud de la sphère, est appelé plan équatorial.



III b) Projection gnomonique

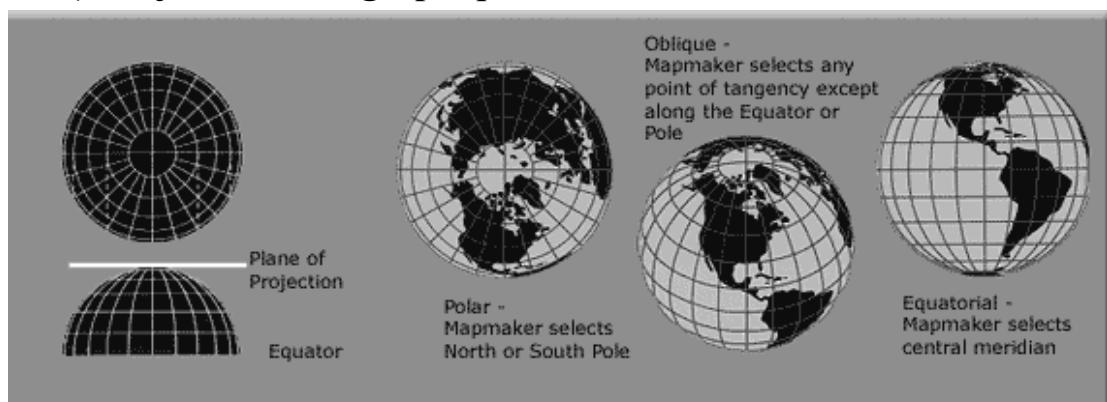


<http://egsc.usgs.gov/isp/pubs/MapProjections/projections.html#gnomonic>



Le point de perspective est au centre du sphéroïde. La projection gnomonique conserve les orthodromies. Elle projette tous les grands cercles de la Terre en des lignes droites.

III c) Projection orthographique



<http://egsc.usgs.gov/ib/pubs/MapProjections/projections.html#orthographic>

Le point de perspective est à une distance infinie. On perçoit un hémisphère du globe comme si on était situé dans l'espace. Les surfaces et formes sont déformées, mais les distances sont préservées sur des lignes parallèles.

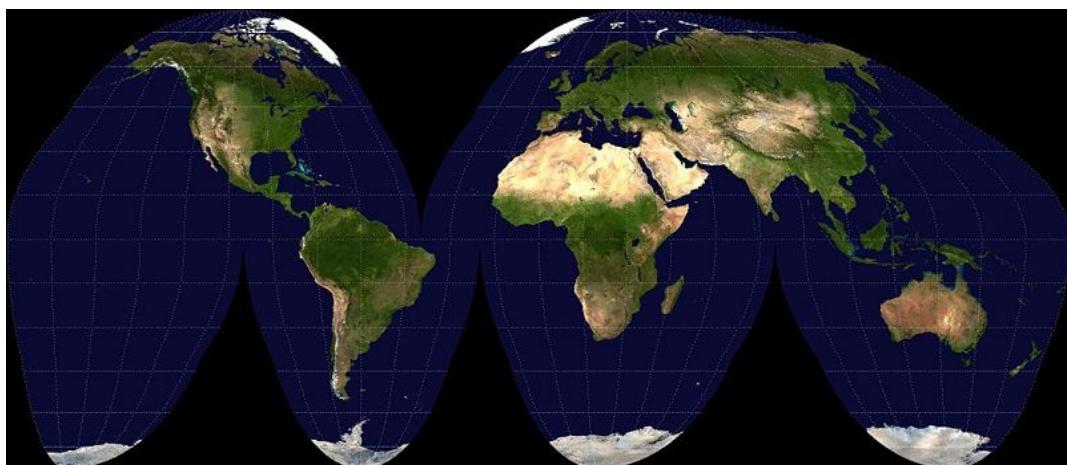
Projections interrompues (ou découpées)

Une projection interrompue est une projection dans laquelle la surface de projection n'est pas un rectangle mais une figure découpée. La forme des continents est souvent très proche de la réalité, mais les « trous » qu'elle comporte la rendent inutiles pour la navigation.

Projection Goode : projection interrompue

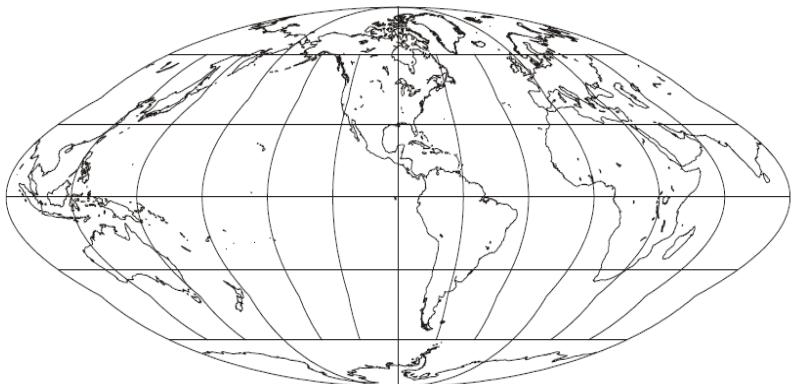
<http://www.cosmovisions.com/qMondeGoodeHomolosineTopo.htm>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Goode-homolosine-projection.jpg>



Projection homolosine

carte de la surface terrestre projetée sur une base de courbes sinusoïdales, avec des interruptions à travers les océans de façon à ce que les continents apparaissent avec le moins de distorsion possible et avec un rapport de taille constant entre eux. Cette carte représente une vue globale du monde, avec les masses terrestres non interrompues sauf Antarctique et le Groenland. Les distances et directions ne sont pas précises partout. (adapté de Lexique
<http://www.thefreedictionary.com/homolosine+projection>)



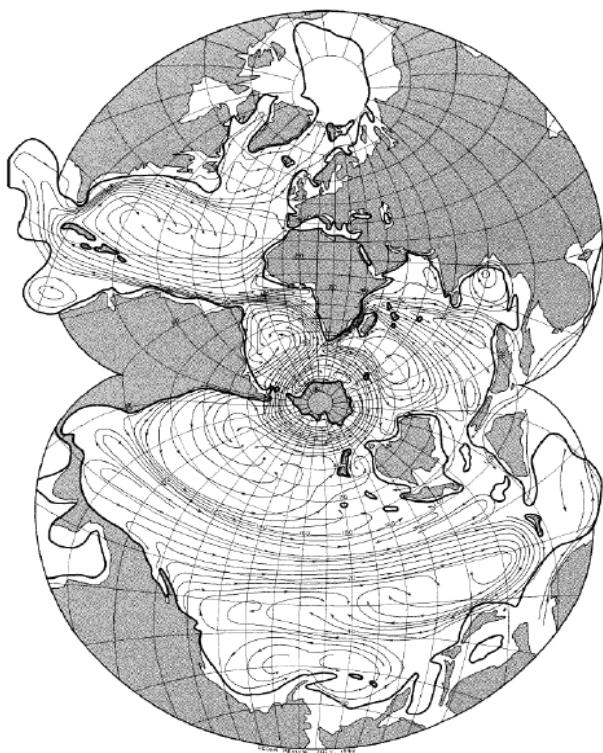
Goode Homolosine;
Fusion of Mollweide and Sinusoidal;
Pseudocylindrical; Equal-area;
J. Paul Goode; 1923

Projection Auguste
Conforme (angles conservés)

Courants de surface en hiver pour
l'hémisphère Nord

— 200 m

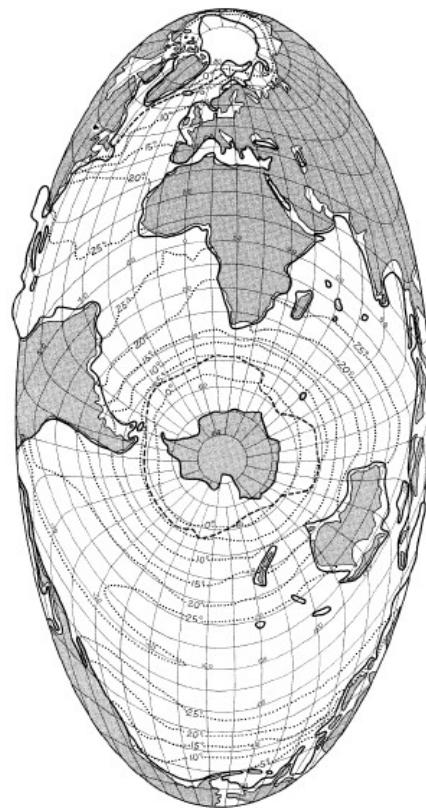
Maps of the Whole World Ocean
Athelstan F. Spilhaus
Geographical Review
Vol. 32, No. 3 (Jul., 1942)



Projection Aitoff
Équivalente (surfaces conservées)

T moyenne
--- ligne glace
— 200 m

Maps of the Whole World Ocean
Athelstan F. Spilhaus
Geographical Review
Vol. 32, No. 3 (Jul., 1942)



Plus récemment des efforts ont été faits avec des **projctions polyédrales** à fort nombre de polyédres. **L'Authagraph, expliqué ci-dessous, est à l'heure actuelle considérée comme la « meilleure carte du monde ».**

(adapté de https://fr.wikipedia.org/wiki/Projection_Authagraph)

Par exemple, l'**authagraph est une projection cartographique quasi-équivalente** inventée par l'architecte Japonais Hajime Narukawa en 1999. La carte est fabriquée par division égale d'une surface sphérique en 96 triangles, leur transposition sur tétraèdre , tout en conservant les proportions superficielles, pour déplier le tout en rectangle. **La carte conserve largement tailles et formes des continents et océans tout en réduisant la distorsion de leurs formes**, tel que suggère le planisphère Dymaxion. Les mappemondes triangulaires sont aussi possibles à partir de la même méthode. Le nom est dérivé de « authalique » (qui veut dire *Greek αὐτός* (autós, "same") + *ἄλος* (álos, "area")) et « graphique ».

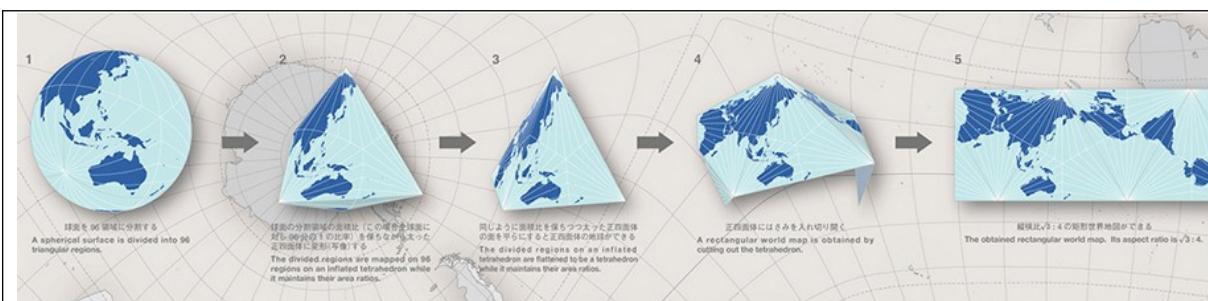
La méthode utilisée pour construire cette projection garantit que les 96 régions de la sphère qui sont utilisés pour définir la projection sont chacune de **superficie correcte**, mais la projection n'est pas exactement équivalente car sa méthode ne contrôle pas l'aire à échelle infinitésimale ni même à l'intérieur de ces régions.

La mappemonde Authagraph peut être carrelée en toute direction sans disjonction. À partir de ce carrelage, une nouvelle mappemonde triangulaire, rectangulaire ou parallélogramme peut être cadrée avec différentes régions pour centre. Cette carte fournit une vision du monde décentralisée. La projection cartographique tente de refléter une perspective multilatérale à l'intention d'une meilleure compréhension des phénomènes globaux du 21^e siècle. Cette projection est utile en pavage pour permettre la déiction des thèmes chronologiques, tel le déplacement long terme d'un satellite autour de la Terre sur ligne continue.

En 2011, la projection cartographique Authagraph fut sélectionnée par le Musée national japonais des sciences émergentes et de l'innovation (Miraikan) comme son outil de cartographie officiel. Depuis 2015, il est utilisé dans les manuels officiels japonais du lycée.

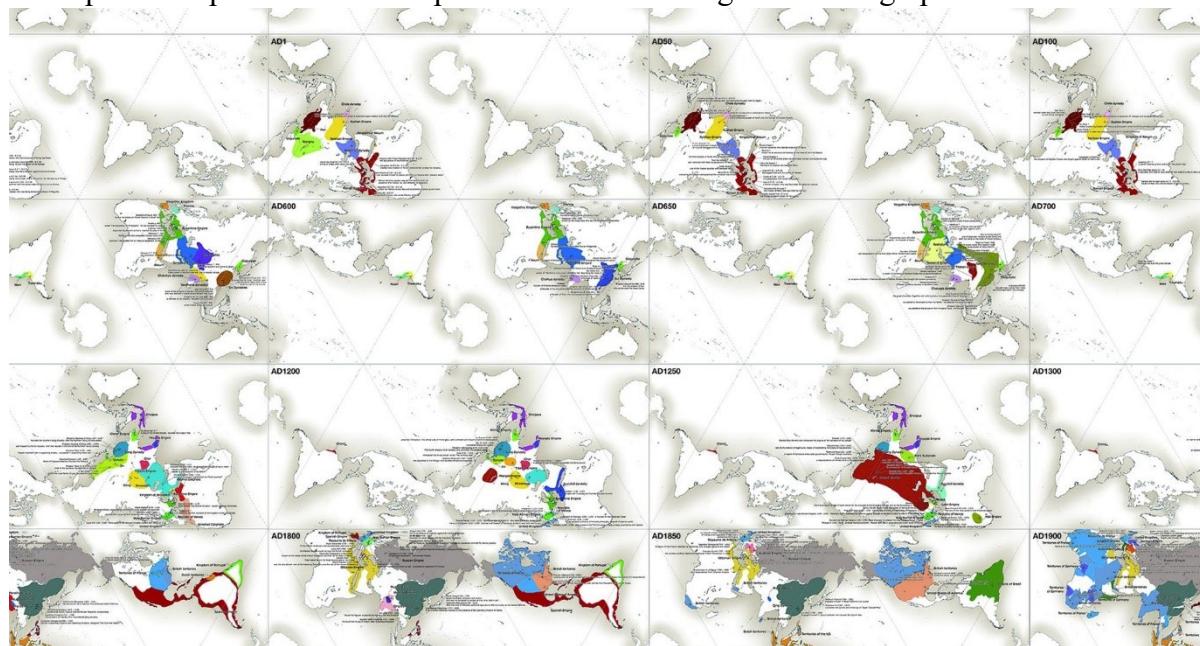


https://en.wikipedia.org/wiki/AuthaGraph_projection

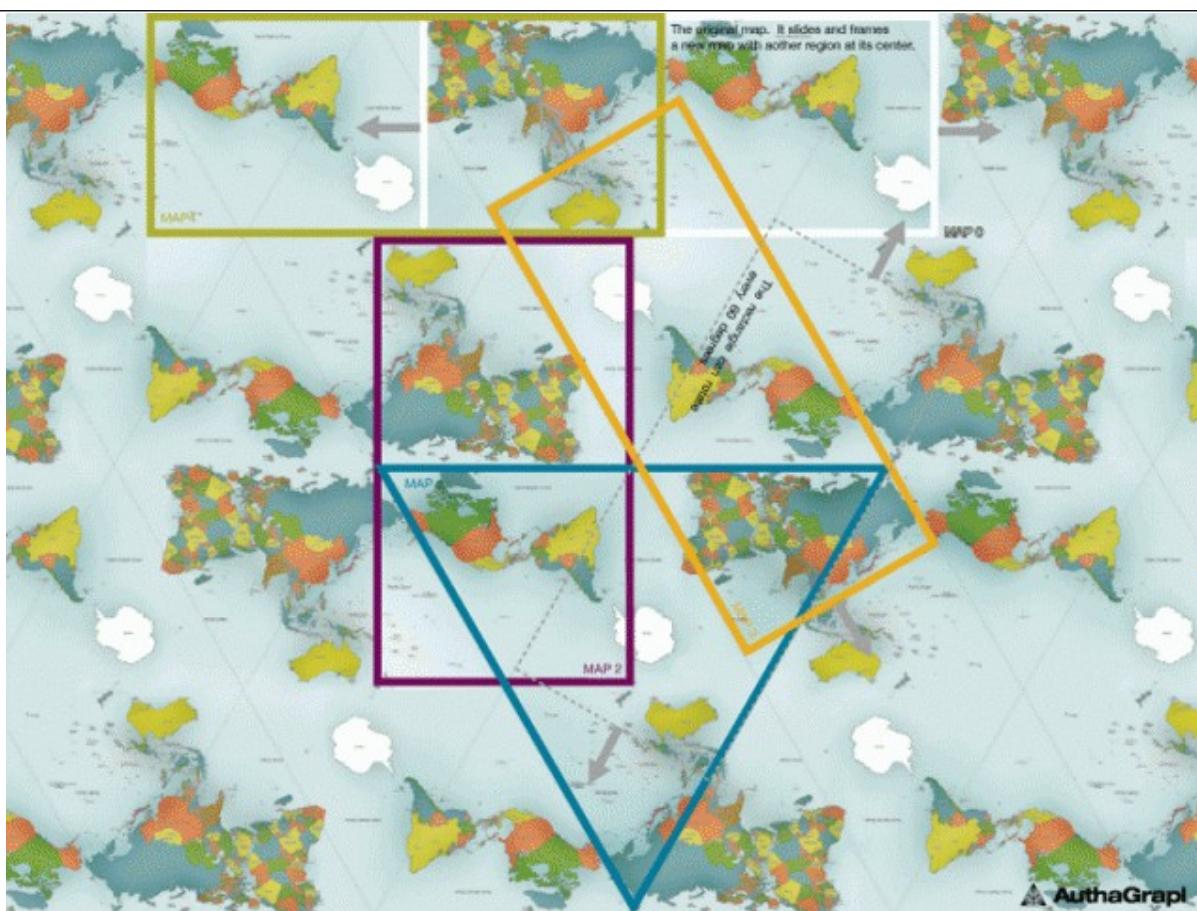


<https://www.gunesintamicinde.com/yalandan-arindirilmis-bir-dunya-haritasi-authagraph-world-map/>

Etapes : 1) on découpe le globe en 96 régions égales ; 2) On transfère les 96 régions sur un « tétraèdre gonflé », croisement entre une sphère et une pyramide, fait de 4 cônes imbriqués ; il y a des déformations mais les rapports entre les surfaces ne changent pas ; 3) On aplatis les faces du tétraèdre (là encore, sans changer les rapports entre surfaces) ; 4) on découpe et on aplatis le tétraèdre pour obtenir un rectangle : l'Authagraph.



<https://wrocenter.pl/en/authagraph/>



https://www.vice.com/en_us/article/vvy9e8/escher-world-map-wins-good-design-award

Résumé de projections cartographiques avec leur propriétés principales

	Projections cartographiques
Cylindrique	<ul style="list-style-type: none"> Conforme : Mercator Équidistante : Cassini, Aphyllactique Équivalente : Peters, Lambert Compromis : Gall, Miller
Pseudo-cylindrique	<ul style="list-style-type: none"> Équivalente : Eckert I, Eckert II, Eckert IV, Equal Earth, Collignon, Goode, Mollweide, Sinusoïdale (Sanson-Flamsteed), Tobler Compromis : Kavrayskiy VII, Robinson, Wagner VI
Conique	<ul style="list-style-type: none"> Conforme : Lambert Équivalente : Albers
Pseudo-conique	Équivalente : Bonne, Bottomley, Werner
Azimutale	<ul style="list-style-type: none"> Conforme : Stéréographique Équidistante : Postel Équivalente : Lambert, Gnomonique, Orthographique
Pseudo-azimutale	Compromis : Aitoff, Winkel-Tripel
Polyédrale	Compromis : Authagraph, Fuller, Octant

Apprécions surtout notre « **océan planétaire** » (voir Figure 1.3 du livre du même titre de Michèle Fieux, 2009, mon enseignante d'Océanographie à l'ENSTA). Reproduction avec remerciements à Michèle et aux Presses de l'ENSTA. Ci-dessous.

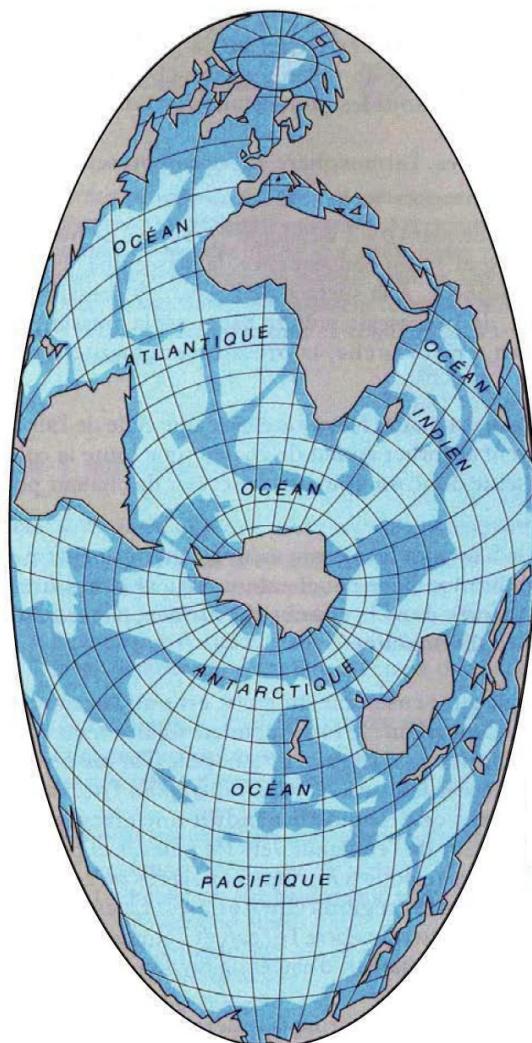


Figure 1.3 Vue de la Terre montrant la continuité de l'océan planétaire (les profondeurs supérieures à 4000m sont en bleu clair) – d'après Tchernia, 1978, selon une illustration de WHOI.

Autres sites très bien documentés :

- USGS - <http://egsc.usgs.gov/ibp/pubs/MapProjections/projections.html#globe>; Avec des illustrations de toutes les projections
- Détails sur toutes les projections possibles et imaginables
http://acdsweb.free.fr/textes/Davidowicz_projection-carto.html

Outils Matlab pour effectuer ces projections : M_Map, téléchargeable gratuitement sur
<https://www.eoas.ubc.ca/~rich/map.html>

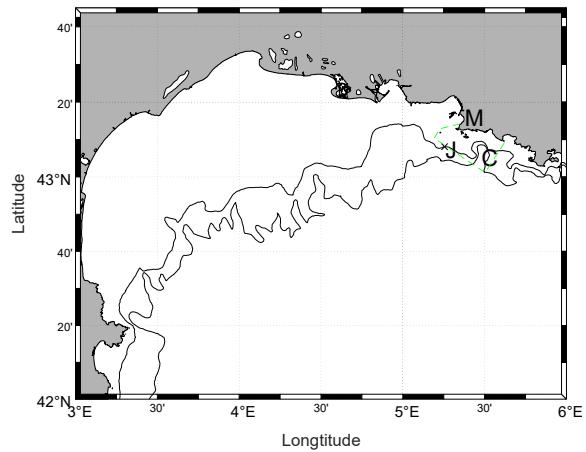
Golfe du Lion

voir scripts et matériels nécessaires

disponibles dans

https://people.mio.osupytheas.fr/~petrenko/TEACHING/OPB201/TD_et_PHYBIO/

(explication dans
https://people.mio.osupytheas.fr/~petrenko/TEACHING/OPB201/Trucs_matlab.pdf
+ TD Phybio à venir).



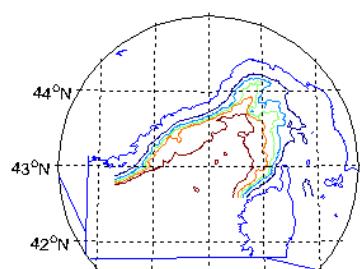
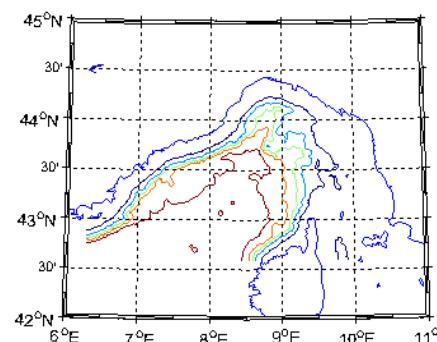
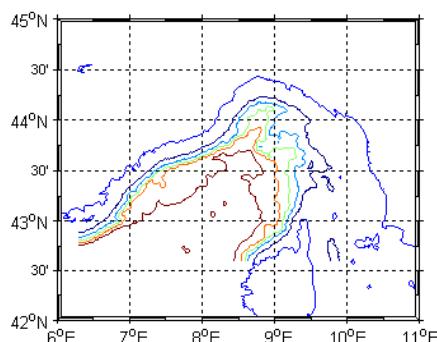
M = Marseille, J = Julio, C = Cassidaigne

%%%%%%

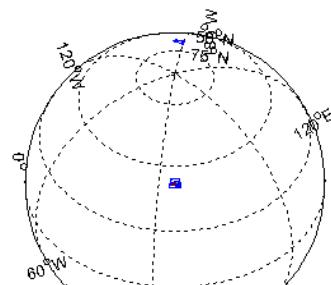
ou ex Mer Ligure dessinée avec les projections suivantes:

Haut gauche Mercator

haut droite : Lambert



Bas gauche Stéréographique



bas droite : Orthographique

OPB 201 Mesures en Mer	Master Océanographie 1 ^{ère} année Spécialité Physique et Biogéochimique	A. Petrenko
------------------------	--	-------------

%%%%%%%%%%%%%

UTILISATION PYTHON :

pour python, Geopandas:

<https://geopandas.org/gallery/index.html>

Adding a background map to plots

../_images/sphx_glr_create_geopandas_from_pandas_thumb.png

Creating a GeoDataFrame from a DataFrame with coordinates

../_images/sphx_glr_plotting_with_geoplot_thumb.png

Plotting with Geoplot and GeoPandas

../_images/sphx_glr_plot_clip_thumb.png

Clip Vector Data with GeoPandas

../_images/sphx_glr_cartopy_convert_thumb.png

Plotting with CartoPy and GeoPandas

%%%%%

Pour la manipulation un peu plus poussée des données vectorielles, shapely.

<https://pypi.org/project/Shapely/>

%%%%%%%%%%%%%

Annexes :

* Article du Monde sur l'importance des projections

http://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2015/10/20/pourquoi-les-cartes-geographiques-sont-mensongeres_4793301_4355770.html

pour 2005.

Marseille Plus 20 janvier 2006

Christophe Colomb détrôné ?

HISTOIRE

LES CHINOIS AURAIENT DÉCOUVERT L'AMÉRIQUE AVANT L'EXPLORATEUR

Gavin Menzies, historien amateur britannique, défend la thèse de la découverte de l'Amérique par les Chinois. Il a d'ailleurs popularisé cette idée en publiant un best-seller en 2002. Aujourd'hui, cet ancien de la royal navy, affirme détenir une nouvelle preuve, une carte chinoise datant

du XV^e siècle. Cette dernière date la découverte du nouveau monde en 1421 soit 70 ans avant Christophe Colomb. Cependant les milieux académiques restent sceptiques suites aux invraisemblances décelées par les spécialistes chinois. Dans un premier temps, les experts ont constaté que la cartographie de la carte n'a aucun rapport avec celle de l'époque, à cela s'ajoutent des caractères qui n'existaient pas encore pendant cette période.



Les expéditions de Zheng He (1405 et 1432) ne l'auraient mené qu'en Afrique. Cette carte dévoile une autre version.

Photo AFP