LE CERCLE D'ANTIFER

Ce qui suit dévoile l'intrigue d'un roman peu connu de Jules VERNE écrit en 1892 et publié sous forme de feuilleton durant l'année 1894 :

Les Mirifiques Aventures de Maître Antifer[i]

Maître Antifer, marin Breton à la retraite, devint à la mort de son père le légataire testamentaire du richissime Égyptien Kamylk-Pacha qui dissimula sa fortune sur une petite île inconnue.
C'est alors le début d'une chasse au trésor où les indices révélés par bribes amèneront les personnages de ce roman aux quatre coins de la planète !

Les coordonnées géographiques exprimées en *degrés sexagésimaux*[1] par rapport au *méridien de Paris*[2] des trois îlots successivement visités par les protagonistes de ce jeu de piste maritime sont dévoilées ci-dessous :

Îlot visité	région	latitude θ	longitude φ
P_1	Imanat de Mascate Golfe d'Oman	24° 59' N	54° 57' E
P_2	Golfe de Mayumba Au large du Congo	03° 17' S	07° 23' E
P_3	Spitzberg Océan arctique	77° 19' N	15° 11' E

Ils découvriront que le trésor est finalement caché sur un quatrième îlot situé au « centre d'un cercle tracé à la surface de la Terre et passant par les trois premiers îlots ».

Dès lors la question suivante devint primordiale pour nos héros : Comment obtenir avec une bonne précision la position en longitude et latitude du trésor ?

1. Comment trouver le centre du cercle d'Antifer ?

Il s'agit d'un problème de géométrie sphérique : trouver un « centre » au cercle circonscrit à un triangle sphérique c'est-à-dire trouver l'un des deux pôles d'une calotte sphérique dont le cercle de base passe par trois points n'appartenant pas à un même *grand cercle* [3]de la sphère.

---

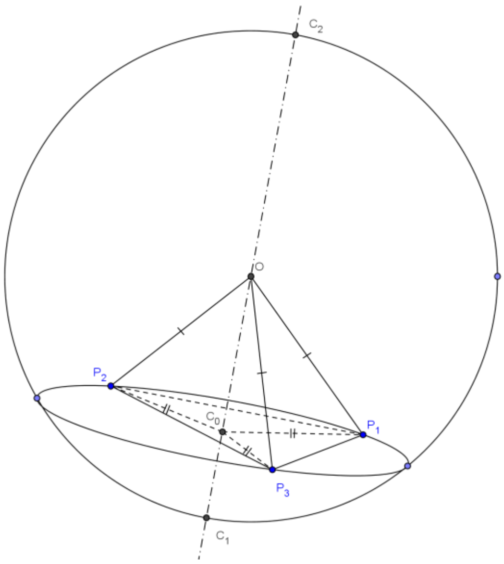
[1] 1° = 60'= 3600" mais attention à ne pas confondre minute (') et seconde ('') de degré (°) avec minute (^{min}) et seconde (^{s}) d'heure angulaire (^{h}), en effet par définition $1^h = 60^{min} = 3600^s = 15°$ d'où 1^{min} = 15' et 1^s = 15''. On écrit ainsi h, min et s en position d'exposant pour rappeler qu'il s'agit bien d'unités d'angle et non d'unités de temps pour lesquelles 1h = 60 min = 3600 s.

[2] Historiquement, le méridien de Paris est par définition le méridien passant par le centre de l'Observatoire de Paris. Il est situé à 2° 20' 13,82'' à l'Est de celui de Greenwich (soit 0 heure d'angle 9 minutes 20,921 secondes).

[3]L'intersection d'une sphère et d'un plan passant le centre de cette sphère est appelé un grand cercle. Par contre l'intersection, si elle existe, d'une sphère et d'un plan ne passant pas par le centre de cette sphère est appelé un petit cercle.

Soient C_1 et C_2 les deux pôles de la calotte sphérique et C_0 le centre du cercle de base passant par les points P_1, P_2 et P_3. On note O le centre de la sphère terrestre.

C_1 et C_2 sont donc des points *antipodaux*[4] et l'intersection du plan ($P_1P_2P_3$) avec la sphère terrestre est le *petit cercle* de centre C_0.



Celui des deux pôles dont la distance au centre du cercle de base est la plus petite sera appelé le « *sphérocentre*[5] » du cercle d'Antifer (cercle vu comme une courbe inscrite sur la sphère terrestre).

L'*axe*[6] du cercle d'Antifer est aussi un axe de la sphère terrestre mais il ne coïncide pas nécessairement avec l'axe de rotation de la Terre.

Que se passe-t-il alors dans le cas particulier où les trois îlots sont situés sur un même grand cercle ?

Plusieurs méthodes de résolution au problème du cercle d'Antifer sont possibles : il y a tout d'abord la méthode graphique décrite par Jules VERNE dans son roman : elle est utilisée par Juhel, le neveu de maître Antifer, inspiré fort à propos par la remarque de sa femme prénommée Énogate.

Après l'étude de cette méthode approchée, nous proposons dans cette fiche de déterminer la position exacte du quatrième îlot par deux autres méthodes :

- une méthode algébrique basée sur la résolution d'un système linéaire d'équations
- une méthode vectorielle fondée sur la notion de produit vectoriel

Un changement de coordonnées sera alors très utile pour déterminer le sphérocentre du cercle d'Antifer.

2. <u>Petit rappel de géométrie plane !</u>

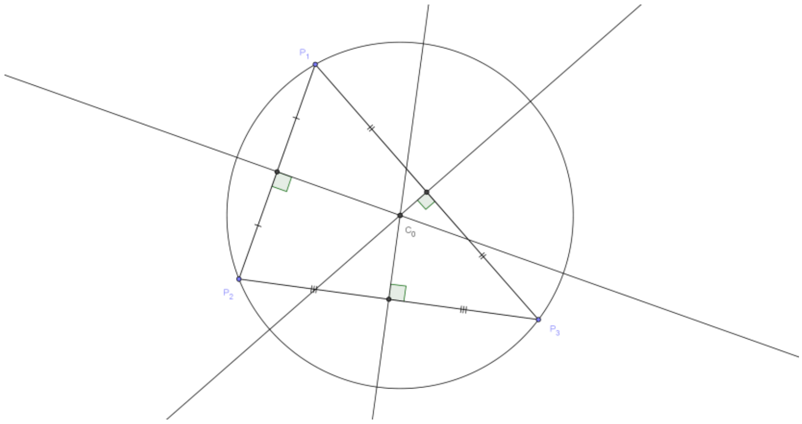
---

[4]Deux points d'une sphère sont antipodaux si et seulement si ces points sont diamétralement opposés. Un diamètre d'une sphère est un segment de droite dont le milieu est le centre de la sphère.

[5] Ce barbarisme est ici bien utile ! On peut de même définir plusieurs notions de rayon pour le cercle d'Antifer en lien avec la notion de géodésique du plan ou de la sphère (le chemin le plus court est alors un segment de droite ou un arc de grand cercle)

[6] La droite perpendiculaire au plan d'un cercle et passant par le centre de celui-ci est nommée axe du cercle

Comment construire à la règle (non graduée) et au compas le centre du cercle passant par 3 points non alignés ?



3. Peut-on généraliser cette méthode à la sphère ?

Quels instruments de dessin peut-on alors utiliser ? Combien y-a-t-il de solutions ?

4. Application pratique sur une sphère ardoisée

Quelle précision peut-on espérer sur la position du dernier îlot en utilisant un globe terrestre de 20 cm de rayon ? On néglige les imperfections de construction et l'on suppose la sphère ardoisée parfaite.
Une précision à la minute d'angle près est-elle possible ?

On se propose maintenant de déterminer par calcul la position du sphérocentre en utilisant un changement de coordonnées.

5. Passage des coordonnées sphériques aux coordonnées cartésiennes

Soit $\Re$ un repère orthonormé direct $(\mathrm{O},\vec{i}\,,\vec{j},\vec{k})$ d'axes O*x*, O*y* et O*z*
Soit *M'* la projection orthogonale de *M* sur le plan (*xOy*) d'équation *z* = 0
On oriente le plan (*xOy*) par le vecteur normal $\vec{k}$ et l'on oriente le plan (*zOM*) par le vecteur ?

On appelle coordonnées sphériques de point *M* par rapport à $\Re$ le triplet (ρ,θ,φ) où

$\rho=\left\|\overrightarrow{OM}\right\|$ désigne le rayon-vecteur (toujours positif ou nul)

θ est la mesure de l'angle orienté $\left(\overrightarrow{OM'},\overrightarrow{OM}\right)$

φ est la mesure de l'angle orienté $\left(\vec{i},\overrightarrow{OM'}\right)$

Les nombres θ et φ sont nommés selon le contexte respectivement latitude (ou hauteur) et longitude (ou azimut) de *M* avec pour domaines de variation :

$$\theta\in\left[-\frac{\pi}{2},\frac{\pi}{2}\right] \text{ et } \varphi\in[0,2\pi[$$

On utilise parfois la colatitude pour repérer le point *M* en remplacement de la latitude : elle est égale à la mesure de l'angle non orienté $\left(k,\overrightarrow{OM}\right)$. Peut-on dire quelle est le complément de la latitude ?

Si $M = O$ alors $\rho = 0$ mais sa latitude ainsi que sa longitude sont des nombres réels quelconques

Si $M \in Oz$ autre que O , c'est à dire de coordonnées cartésiennes $(0,0,z)$ avec $z \neq 0$, alors $\rho = |z|$ mais sa longitude n'est pas définie ! Que peut-on dire de sa latitude ?

Pour tout point *M* de l'espace affine euclidien privé du demi-plan vérifiant $y = 0$ et $x \leq 0$, on a :

$$\rho > 0 \ , \ -\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2} \text{ et } -\pi < \varphi < \pi$$

Application à la sphère terrestre de centre O de rayon unité et d'axe de rotation O*z* :

Dans ce cas $\rho = 1$ et (*x*O*y*) est appelé plan équatorial ou équateur. On nomme également équateur le grand cercle intersection de ce plan avec la sphère terrestre. L'axe du monde O*z* coupe la sphère terrestre en deux points nommée pôles géographiques ainsi l'axe de rotation est aussi appelé ligne ou axe des pôles. Les pôles Nord et Sud notés respectivement N et S ont pour coordonnées cartésiennes (0,0,1) et (0,0,-1). l'axe des pôles est orienté du sud vers le nord suivant le vecteur $\vec{k}$.

Si M désigne un point à la surface de la Terre alors la demi-droite $[OM)$ est la verticale ascendante du lieu.
On appelle plan méridien supérieur d'un lieu M le demi-plan passant par le point M et par la ligne des pôles et délimité par celle-ci. De même, le plan méridien inférieur est le demi-plan passant par la ligne des pôles et passant par le point antipodal de M. On nomme également méridien le demi-grand cercle intersection d'un plan méridien avec la sphère terrestre.
En géographie, on choisit un méridien particulier comme origine des longitudes. Depuis la conférence de Washington en 1884, le méridien passant par la lunette méridienne d'Airy de l'Observatoire astronomique Royal de Greenwich en Angleterre (banlieue de Londres) est devenu le méridien international de référence. Le plan méridien de Greenwich est donc le demi-plan (xOz) défini en coordonnées cartésiennes par $y = 0$ et $x > 0$. La ligne internationale de changement de date ou antiméridien est par définition le demi-grand cercle intersection du méridien inférieur de Greenwich avec la sphère terrestre.

Voir les problèmes d'unicité aux pôles Nord et Sud et sur la ligne internationale de changement de date !

Le couple (θ,φ) formé des coordonnées sphériques angulaires définie les coordonnées géographiques d'un lieu à la surface de la Terre. On parle alors de latitude et de longitude géographiques :

La longitude géographique (ou astronomique) est par définition la mesure de l'angle dièdre entre le plan méridien de référence et le plan méridien du lieu.
Elle est en pratique mesurée de 0° à 180° à partir du méridien origine vers l'Est E ou vers l'Ouest W et elle est comptée positivement dans le sens trigonométrique direct. Ainsi par convention, la longitude est comptée positivement à l'Est du premier méridien et négativement à l'Ouest.

La latitude géographique (ou astronomique) est égale par définition à la mesure de l'angle que fait la verticale du lieu avec le plan équatorial.

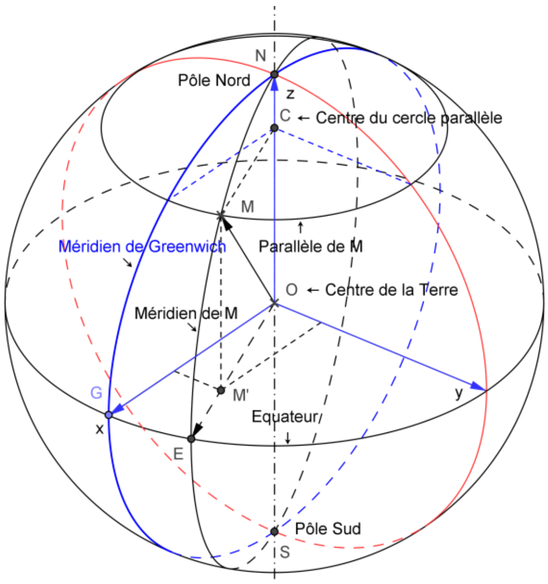
Elle est en pratique mesurée de 0° à 90° à partir de l'équateur vers le Nord N ou le Sud S et elle est comptée dans le sens trigonométrique direct. Dans le premier cas, la latitude est qualifiée de nord et elle est positive par convention. Dans l'autre cas, elle est négative et elle est dite sud.

Le parallèle d'un lieu M situé hors de l'équateur est le petit cercle intersection avec la sphère terrestre du plan strictement parallèle au plan équatorial et passant par le point M. C'est le lieu des points de la sphère terrestre à latitude constante. De même, le lieu des points de la sphère terrestre à longitude constante est un méridien. Les lignes d'égales coordonnées sont donc les parallèles et les méridiens !

Tropiques du cancer et du Capricorne, cercles polaires arctique et antarctique (obliquité : 23° 26' 15")

Soit la longitude φ_i et la latitude θ_i d'un point P_i à la surface de la Terre.

On utilise la convention des géographes[7] qui précise que $\varphi_i \in \left]-\pi, \pi\right[$ et $\theta_i \in \left]-\dfrac{\pi}{2}, \dfrac{\pi}{2}\right[$ pour tout lieu différent des pôles et n'appartenant pas à la ligne de changement de date.



Montrez alors que les coordonnées cartésiennes de P_i s'écrivent :

$$\begin{cases} x_i = \cos\theta_i \cos\varphi_i \\ y_i = \cos\theta_i \sin\varphi_i \\ z_i = \sin\theta_i \end{cases}$$

On utilisera pour l'application numérique la convention des longitudes positives vers l'Est. Après conversion des degrés sexagésimaux en degrés décimaux, compléter le tableau ci-dessous en adaptant le nombre de chiffres significatifs nécessaires pour chaque grandeur en remarquant que les positions des îlots sont données à la minute d'arc près par Jules Verne :

[7] Cette convention est donc liée au choix de l'orientation de l'espace et des plans (équateur et méridiens)

Îlot visité	latitude θ_i	longitude φ_i	x_i	y_i	z_i
P_1					
P_2					
P_3					

Vérifier que deux points antipodaux ont leurs latitudes opposées et que leurs longitudes différent de 180° (Faire deux schémas l'un dans le plan vertical du lieu, l'autre dans le plan tangent à la sphère au pôle Nord)

6. Détermination des pôles par résolution d'un système d'équations[ii] (d'après une solution proposée par Jacques Croivisier)

Soit C l'un des pôles du cercle d'Antifer et notons x_C, y_C et z_C ses coordonnées.

Quelle est la relation exprimant l'appartenance du point C à la sphère terrestre de centre O ?

Posons $\alpha = (\overrightarrow{OP_i}, \overrightarrow{OC})$ la distance angulaire constante[8] entre P_i et C pour i = 1,2 et 3

Exprimez le produit scalaire des vecteurs $\overrightarrow{OP_i}$ et $\overrightarrow{OC}$ en fonction des coordonnées des points et de l'angle α

Vérifier que l'on obtient bien le système suivant :

$$\begin{cases} x_C x_1 + y_C y_1 + z_C z_1 = \cos\alpha \\ x_C x_2 + y_C y_2 + z_C z_2 = \cos\alpha \\ x_C x_3 + y_C y_3 + z_C z_3 = \cos\alpha \\ x_C^2 + y_C^2 + z_C^2 = 1 \end{cases}$$

Il s'agit d'un système de quatre équations à quatre inconnues : les trois coordonnées x_C, y_C et z_C du « centre » et le « rayon » α du cercle d'Antifer.

On peut ainsi le décomposer en un sous-système linéaire associé à une contrainte quadratique.

7. Résolution[9] du système linéaire de 3 équations à 3 inconnues par inversion d'une matrice carrée d'ordre 3

$$\begin{cases} x_1 x_C + y_1 y_C + z_1 z_C = \cos\alpha \\ x_2 x_C + y_2 y_C + z_2 z_C = \cos\alpha \\ x_3 x_C + y_3 y_C + z_3 z_C = \cos\alpha \end{cases} \quad \text{où} \quad \alpha \text{ est supposé connu}$$

Si $\cos\alpha \neq 0$ définissons alors trois inconnues auxiliaires $x = \dfrac{x_C}{\cos\alpha}$, $y = \dfrac{y_C}{\cos\alpha}$ et $z = \dfrac{z_C}{\cos\alpha}$ d'où :

[8] Cet angle constant permet de définir par rapport à l'un des pôles antipodaux une notion de rayon angulaire pour le cercle d'Antifer

[9] Plusieurs méthodes sont possibles : Méthode des déterminants (règle de SARRUS pour calculer un déterminant d'ordre 3), Méthode du pivot de GAUSS et Méthode par inversion d'une matrice carrée décrite dans cette fiche.

$$\begin{cases} x_1 x + y_1 y + z_1 z = 1 \\ x_2 x + y_2 y + z_2 z = 1 \\ x_3 x + y_3 y + z_3 z = 1 \end{cases} \qquad \text{avec} \qquad \begin{cases} x_{\mathrm{C}} = x\cos\alpha \\ y_{\mathrm{C}} = y\cos\alpha \\ z_{\mathrm{C}} = z\cos\alpha \end{cases}$$

Si la matrice est inversible (c'est à dire de déterminant non nul), on peut écrire :

$$\begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{d'où} \quad \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{pmatrix}^{-1}\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Si l'on écrit les éléments de la matrice inverse $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ alors on obtient : $\begin{cases} x = \sum_{k=1}^{3} a_{1k} \\ y = \sum_{k=1}^{3} a_{2k} \\ z = \sum_{k=1}^{3} a_{3k} \end{cases}$

La prise en compte de la contrainte quadratique d'appartenance à la sphère terrestre permet d'écrire :

$$x_{\mathrm{C}}^2 + y_{\mathrm{C}}^2 + z_C^2 = 1 = (\cos\alpha)^2\left[x^2 + y^2 + z^2\right]$$

c'est-à-dire : $(\cos\alpha)^2\left[\left(\sum_{k=1}^{3} a_{1k}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^{3} a_{2k}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^{3} a_{3k}\right)^2\right] = 1$

d'où la valeur absolue $|\cos\alpha| = \left[\left(\sum_{k=1}^{3} a_{1k}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^{3} a_{2k}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^{3} a_{3k}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}}$

$$\cos\alpha = \frac{(\pm 1)}{\sqrt{\left(\sum_{k=1}^{3} a_{1k}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^{3} a_{2k}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^{3} a_{3k}\right)^2}}$$

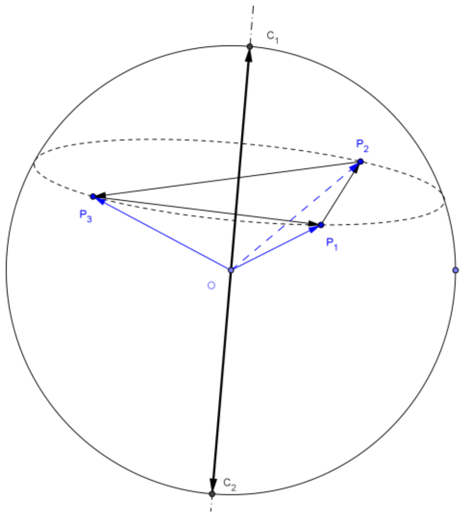
Quelle interprétation géométrique peut-on donner au numérateur de l'expression précédente ?

$\alpha = \alpha_1$ ou $\alpha = \alpha_2 = \pi - \alpha_1$

$$\begin{cases} x_{\mathrm{C}_j} = \left(\sum_{k=1}^{3} a_{1k}\right)\cos\alpha_j \\ y_{\mathrm{C}_j} = \left(\sum_{k=1}^{3} a_{2k}\right)\cos\alpha_j \\ z_{\mathrm{C}_j} = \left(\sum_{k=1}^{3} a_{3k}\right)\cos\alpha_j \end{cases}$$

Faire les applications numériques à la calculatrice, au tableur ou à l'aide d'un logiciel de calcul scientifique[10] !

8. <u>Détermination des pôles par l'utilisation de la notion de produit vectoriel (solution proposée par Garmt De Vries-Uiterweerd[iii])</u>



Justifier l'égalité vectorielle suivante : $\overrightarrow{OC_j} = \pm \dfrac{\overrightarrow{P_1P_2} \wedge \overrightarrow{P_2P_3}}{\left\| \overrightarrow{P_1P_2} \wedge \overrightarrow{P_2P_3} \right\|}$ pour *j* = 1 ou 2 et vérifier que :

$$\overrightarrow{P_1P_2} \wedge \overrightarrow{P_2P_3} = \overrightarrow{OP_1} \wedge \overrightarrow{OP_2} + \overrightarrow{OP_2} \wedge \overrightarrow{OP_3} + \overrightarrow{OP_3} \wedge \overrightarrow{OP_1}$$

Faire les applications numériques à la calculatrice, au tableur ou à l'aide d'un logiciel de calcul scientifique et comparer avec les résultats de la méthode précédente.

9. <u>Passage des coordonnées cartésiennes aux coordonnées sphériques</u>

En respectant la convention des géographes et en comptant les longitudes positivement vers l'Est à partir du méridien origine, vérifier avec soin que l'on peut exprimer pour tout point de la sphère terrestre (en particulier pour le sphérocentre C du cercle d'Antifer) :

- la latitude : $\theta_{\mathrm{C}} = \operatorname{Arc}\sin z_{\mathrm{C}}$
- la longitude : $\varphi_{\mathrm{C}} = \begin{cases} \operatorname{Arccos}\left(\dfrac{x_{\mathrm{C}}}{\sqrt{x_{\mathrm{C}}^2 + y_{\mathrm{C}}^2}} \right) \text{ si } y_{\mathrm{C}} \geq 0 \\ 2\pi - \operatorname{Arccos}\left(\dfrac{x_{\mathrm{C}}}{\sqrt{x_{\mathrm{C}}^2 + y_{\mathrm{C}}^2}} \right) \text{ sinon} \end{cases}$

[10] Voir le problème du conditionnement d'une matrice et la possibilité d'un changement de méridien d'origine pour simplifier les calculs

ou encore (si $x_C \neq 0$)

$$\text{la longitude : } \varphi_C = \begin{cases} \text{Arctan}\left(\dfrac{y_C}{x_C}\right) & \text{si } x_C > 0 \text{ et } y_C \text{ quelconque} \\ \pi + \text{Arctan}\left(\dfrac{y_C}{x_C}\right) & \text{si } x_C < 0 \text{ et } y_C > 0 \\ -\pi + \text{Arctan}\left(\dfrac{y_C}{x_C}\right) & \text{si } x_C < 0 \text{ et } y_C < 0 \end{cases}$$

10. Conclusion sur l'élaboration du roman par Jules VERNE

Remplissez le tableau ci-dessous et vérifiez que la position calculée diffère de la position indiquée de près d'un degré en longitude !

Par rapport au méridien de Paris[iv]	latitude θ	longitude φ
Position calculée par les méthodes exactes		
Position indiquée par Jules Verne	37° 26' N	10° 33' E

Puis, en assimilant dans un premier temps une petite portion de sphère terrestre à son plan tangent, donner une formule approchée de la distance séparant les deux positions en utilisant la notion de *mille marin*[11].

$$d \approx 1{,}852 \times [\Delta\theta^2 + \Delta\varphi^2 \cos^2\theta_m]^{1/2}$$ en km si les angles sont exprimés en minutes de degré

avec $\Delta\theta$ et $\Delta\varphi$ les écarts de latitude et de longitude entre les deux positions et θ_m la latitude moyenne

Enfin, en admettant que le chemin le plus court à la surface d'une sphère est l'arc mineur du grand cercle passant par les deux positions, établir[12] la formule exacte de la distance *orthodromique*[13] en fonction des coordonnées géographiques.

[11]Unité de distance en dehors du S.I. utilisée en navigation maritime ou aérienne qui était historiquement définie comme la longueur d'un arc de méridien d'une minute d'angle. Pour une sphère terrestre supposée parfaite, c'est aussi la longueur de tout arc de grand cercle de 1' d'angle. Mais cette définition devient locale si l'on tient compte de la forme réelle de la Terre. Ainsi en 1929, la première conférence d'hydrographie décida d'instituer le « mille marin international » ou mille nautique. *Sa valeur est fixée à 1 852 m par convention*. En France, la Marine Nationale utilise le substantif nautique pour éviter la confusion avec l'adjectif numéral cardinal mille.

[12] La formule sera établie en utilisant la notion de produit scalaire sans faire appel à la formule fondamentale de la trigonométrie sphérique.

[13] En Mathématiques, on parle de distance sphérique : distance minimale entre deux points à la surface d'une sphère. L'orthodromie est une route idéale, difficile à suivre en pratique. Les navigateurs préfèrent suivre un itinéraire à cap constant, quitte à changer ce cap à intervalles réguliers. On appelle loxodromie une route qui coupe chaque méridien suivant un angle constant. Ainsi la distance loxodromique est nécessairement plus grande que la distance sphérique. Sur une carte de Mercator, une loxodromie est représentée par une droite contrairement à l'orthodromie.

$$d = 1{,}852 \times 60 \times \text{Arccos}\left[\cos\theta\cos\theta'\cos\Delta\varphi + \sin\theta\sin\theta'\right]$$ en km si les angles sont exprimés en °

$$d = R\,\text{Arccos}\left[\cos\theta\cos\theta'\cos\Delta\varphi + \sin\theta\sin\theta'\right]$$ en km si les angles sont exprimés en rad et R en km

Montrez alors que la position du quatrième et dernier îlot fournie par Jules Verne se trouve à une centaine de kilomètres de la position calculée !

Application numérique supplémentaire : calculer les rayons, sphérique et angulaire, du cercle d'Antifer ?

Comparez la position calculée et la position indiquée avec les coordonnées géographiques relatives au méridien de Paris de l'île Julia : petite île éphémère d'origine volcanique située entre la Sicile et la Tunisie émergée notamment de juillet[14] 1831 à janvier 1832 où Jules Verne situe la chute cocasse de son roman.

Position de l'île Julia publiée en 1835[v]	37° 10' N	10° 23' E

En se référant au méridien de Greenwich, visualisez, à l'instar de Juhel et Enogate, les quatre îlots du roman à l'aide de « Google Earth » (outil informatique inexistant à l'époque de Jules Verne !) en prenant soin de modifier les coordonnées[15].

Actuellement (2013) le sommet du volcan sous-marin Empédocle qui a donné naissance à trois reprises à l'île Julia se situe à 8 m de profondeur à 12° 42' de longitude Est et 37° 06' de latitude Nord !

Comparez les coordonnées du volcan Empédocle avec la position publiée de l'île Julia en 1835 en utilisant le méridien de Greenwich comme origine des longitudes.

Conclusion

L'activité décrite par cette fiche suggère finalement que la conception de l'intrigue géométrique du roman de Jules VERNE est sans doute basée tout d'abord sur une méconnaissance de l'auteur des coordonnées précises de l'île Julia. D'autre part, aucun calcul de coordonnées ne semble avoir été mené en raison des imprécisions constatées. Ainsi une démarche graphique inversée a probablement été utilisée : ayant choisi le point de chute de son histoire, Jules VERNE aurait recherché au compas sur son globe terrestre trois lieux particulièrement propices à un récit romanesque. A la Maison Jules Verne à Amiens[vi], dans le bureau reconstitué de l'écrivain, le visiteur peut voir effectivement le globe utilisé et le lecteur, en géomètre averti, y saura distinguer à sa surface parmi d'autres surcharges le cercle d'Antifer !

[14] Ce qui explique son nom français : Julia ! Elle se dénomme aussi Ferdinandea (en italien) ou Graham Island (en anglais). De forme grossièrement circulaire, sa circonférence était d'environ 5 km et son altitude maximale de 65 m.

[15] Pour éviter la même erreur que les personnages d'Hergé dans l'aventure de Tintin intitulée *Le Trésor de Rackham Le Rouge* (voir les pages 21 à 23 de l'édition de 1973 chez Casterman). On pourra aussi penser aux similitudes de caractère du Capitaine Haddock et de Maître Antifer !

[i] Pour lire Jules VERNE au format pdf ou epub : http://beq.ebooksgratuits.com/vents/verne.htm

[ii] Voir le travail remarquable de Jacques CROVISIER mis en ligne sur son site consacré à l'Astronomie dans l'œuvre de Jules VERNE : http://www.lesia.obspm.fr/perso/jacques-crovisier/JV/verne_MA.html

[iii] Cette fiche est très largement inspirée de l'étude de Garmt De VRIES-UITERWEERD publiée dans Verniania sur la Géométrie sphérique mise en œuvre dans le roman *Les mirifiques Aventures de Maître Antifer* : http://www.verniana.org/volumes/02/HTML/SphericalGeometry.html

[iv] En toute rigueur, le méridien de Paris utilisé par l'I.G.N. diffère du méridien de Paris historique ! Pour plus d'information lire le document suivant : http://geodesie.ign.fr/contenu/fichiers/Meridiens_greenwich_paris.pdf

[v] Voir les notes sur l'île Julia de Constant PREVOST (Mémoires de la Société Géologique de France, 1ère série, tome II, mémoire n° 5 en particulier la page 100 et les illustrations en annexe) en consultant le sommaire de la page suivante : http://jubilotheque.upmc.fr/ead.html?id=GM_000002_006

[vi] Pour visiter ce musée : http://www.amiens.fr/vie-quotidienne/culture/maison-jules-verne/maison-jules-verne.html