Un tour du monde à la voile en classe de seconde

Romain Vidonne(*)

1. Introduction

Les techniques de la navigation hauturière[1] permettent l'introduction de nouvelles notions, et fournissent des exemples d'application des mathématiques. Les enseignements décrits sont utilisés tout au long de l'année de seconde. Dans chaque séquence, on cherche une réponse à une question liée au monde réel. On part d'informations ou d'observations concrètes. Pour résoudre ces problèmes concrets, il est nécessaire de faire des choix de modélisation. La pratique m'a amené à expliciter ces choix dans les énoncés. Mon objectif n'est pas de travailler les modélisations de façon approfondie, mais plutôt d'utiliser des techniques de calcul mathématique. Etymologiquement, le mot technique vient du mot grec technè, qui signifie art manuel[2]. On espère qu'à travers ce travail, les techniques de calcul s'incarneront davantage dans le monde réel pour les élèves. Une partie des activités décrites ont été d'abord développées avec des collègues physiciens, Éric Martinet et Sylvie Riondet, dans le cadre d'un module pluridisciplinaire, ancêtre du MPS, cf. [1] et [2]. J'ai ajouté ce qui concerne la navigation par la suite. L'établissement dans lequel a lieu ce travail est un établissement de centre-ville. Qu'il me soit permis de remercier ici Alain Linon, capitaine du Corto Maltese, sans qui rien n'aurait été possible.

2. Rotondité et rayon de la Terre

Comment évaluer le rayon de la Terre ? Pour répondre à cette question, on invite les élèves à s'engager dans un travail de recherche qui nécessite de faire des choix, et qui mobilise des techniques de calcul vues au collège : puissances de dix, identités remarquables, équations. On souhaite développer l'esprit critique des élèves. Par exemple, on souhaite qu'un élève qui trouve un rayon de dix mètres puisse remettre en question son raisonnement, ou que cet élève puisse être remis en question en échangeant avec ses camarades, dans le cadre d'un travail en groupe.

Devoir maison. *Julieta, depuis le quai, voit partir Roméo en bateau à voile. Le vent souffle avec une vitesse de* $5{,}4$ *nœuds, sachant que* 1 *nœud* $= 1$ *mile/heure et* 1 *mile* $= 1; 852$ *km. Elle perd de vue Roméo au bout d'une heure. Elle s'inquiète, car elle sait que par beau temps, on voit le Mont-Blanc à l'œil nu à* 100 *km.*

1. *Quelle distance a alors parcouru Roméo* ?
2. *Pourquoi Roméo a-t-il disparu* ?

(*) Lycée Europole, Grenoble. rvidonne@laposte.net

(1) Au large, au long cours (opposé à cabotage). Pêche hauturière : en haute mer.

(2) Source : <www.cnrtl.fr>

La réponse n'étant pas immédiatement évidente pour tous les élèves, on peut leur donner ce devoir maison en fin d'heure, pour qu'ils puissent réfléchir seuls, chez eux. Dans la pratique, les élèves ne se demandent pas si le chemin suivi par le bateau est un arc de cercle ou un segment. Il trouvent une distance d'environ 10 km en faisant le produit de 5,4 par 1,852. Pour ne pas laisser de sous-entendu, la question 1 du problème ci-dessous évoque rapidement cette question de modélisation. Pour expliquer ce choix de modélisation, on dit aux élèves que la distance parcourue est tellement petite, en regard de la taille de la Terre, que la longueur du petit arc de cercle et celle du segment sont quasiment identiques.

La suite de ce travail peut être faite à la maison, ou en travail en groupe en classe. Les élèves ont nettement préféré le travail en groupe.

Problème. *Dans la figure 1, le point* J *représente Julieta. Le point* R *représente Roméo. Le point* M *représente le sommet du mât du bateau dans lequel se trouve Roméo. Le mât mesure dix mètres, autrement dit* RM = 10 *m. On note* x = OJ = OR *le rayon de la Terre. Rappelons que dans le devoir maison, nous avons trouvé* JR ≃ 10 *km.*

1. *Expliquer pourquoi il est raisonnable de faire l'approximation* JR ≃ JM.
2. *Exprimer la distance* RM *en kilomètres, sous la forme d'une puissance de dix.*
3. *On admet que le regard de Julieta est tangent à l'horizon. Autrement dit, la droite* (MJ) *est perpendiculaire à la droite* (OJ). *Déterminer, en kilomètres, combien vaut* x. *On utilisera obligatoirement les puissances de dix, et on fera les calculs de façon approchée, en utilisant l'approximation* $10^{-4} \simeq 0$.

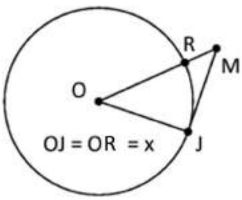


FIGURE 1. Les échelles ne sont pas respectées

Il faut du temps pour qu'un ou deux groupes avancent. Dès que c'est le cas, le professeur choisit un émissaire dans chaque groupe qui n'avance pas. Le groupe qui a avancé doit expliquer ses résultats à l'émissaire. L'émissaire doit retenir ce qu'on lui dit, il n'a pas le droit de prendre des notes. Puis l'émissaire doit faire un compte-rendu à son groupe. Lorsque plusieurs groupes ont trouvé, un élève va expliquer l'ensemble du raisonnement au tableau. Souvent il y a plusieurs élèves qui n'ont toujours pas compris. Le professeur demande qu'un autre élève qui a compris explique de nouveau au tableau. Si nécessaire un troisième élève explique de nouveau. Il faut compter une grosse heure, voire deux heures pour cette séquence. La solution est la suivante : d'après le théorème de Pythagore, on a

$$\left(x+10^{-2}\right)^2 = 10^2 + x^2.$$

Finalement, on trouve $x \simeq 5000$ km. Il est délibérément choisi d'aboutir à un rayon très approximatif, pour éviter de compliquer les calculs intermédiaires. Pour conclure on peut faire un bref rappel historique à propos de Copernic et Giordano Bruno, à l'aide de la BD gratuite *Cosmic Story* [5].

3 Pourquoi un navire peut-il remonter contre le vent ? Somme de vecteurs

L'objectif de cette séquence est d'illustrer le cours sur les sommes de vecteurs, et aussi de donner davantage de sens à la notion de vecteur. Pour pouvoir faire ces exercices, les élèves doivent donc savoir additionner et soustraire des vecteurs. Ils doivent aussi avoir vu la notion de force en physique, et le principe d'inertie. Pour donner un peu de rythme à la séquence, le deuxième exercice peut être donné en devoir à la maison. Pour introduire la séquence, on lit puis on commente l'énoncé de l'exercice 1.

Exercice préliminaire 1 : vecteur force. *En physique on représente les forces par des vecteurs. Par exemple, dans la figure 2 le poids d'un bonhomme de neige est la force* $\vec{p}$ *de la pesanteur exercée par la Terre sur le bonhomme. La direction de ce vecteur est verticale. Ce vecteur est dirigé de haut en bas. Le bonhomme de neige repose sur le sol et il est immobile. La force de pesanteur* $\vec{p}$ *est compensée par la force de réaction* $\vec{r}$ *du sol. On traduit cette immobilité par la relation* $\vec{p}+\vec{r}=\vec{0}$.
Question : représenter sur la figure 2 le vecteur $\vec{r}$ *au point* S.

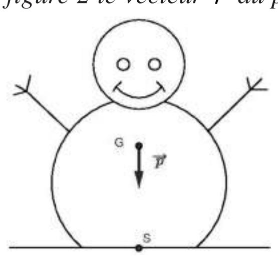


FIGURE 2. Bonhomme de neige

Exercice préliminaire 2. *La figure 3 représente un fil qui passe par deux poulies. On fixe une masse* M *sur ce fil. On accroche aussi deux masses identiques* M′ *aux extrémités du fil. L'ensemble est immobile. Le système est en équilibre. On note* $\vec{f_1}$ *et* $\vec{f_2}$ *les forces exercées par les deux masses* M′ *en* A, *et* $\vec{p}$ *la force exercée par la masse* M *en* A.

1. *Sur une feuille vierge de papier millimétré, représenter* $\vec{p}$ *ayant une longueur de* 6 cm.
2. *Que peut-on dire de la somme* $\vec{p}+\vec{f_1}+\vec{f_2}$ *?*
3. *Notant* $\vec{r}$ *le vecteur en* A *tel que* $\vec{p}+\vec{r}=\vec{0}$, *compléter avec un nombre l'expression* $\vec{r}$ = … $\vec{p}$.
4. *Représenter* $\vec{r}$ *sur la feuille de papier millimétré.*
5. *Exprimer* $\vec{r}$ *en fonction de* $\vec{f_1}$ *et* $\vec{f_2}$.

6. *Tracer $\vec{f_1}$ et $\vec{f_2}$ sur le graphique. D'après votre figure, quelle est la longueur de $\vec{f_1}$?*

7. *Question ouverte : la masse* M′ *est-elle la moitié de la masse* M *?*

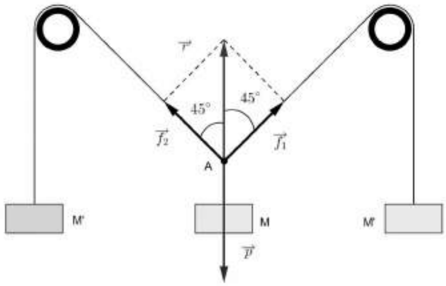


FIGURE 3. La figure n'est pas en vraie grandeur

Pour l'exercice précédent, les élèves disposent de la figure 3, et de l'énoncé. Pour introduire l'exercice suivant, on peut expliquer aux élèves qu'avant d'étudier un type de navire compliqué, il est préférable d'étudier un type de navire rudimentaire, dans une situation simple. Les bateaux à voile les plus rudimentaires sont les bateaux à voile carrée. Dans l'Antiquité, on ne savait construire que ce type de navire. Ces bateaux étaient malcommodes, car on ne pouvait pas les faire remonter contre le vent. L'exercice qui suit permet de comprendre comment fonctionnaient ces bateaux.

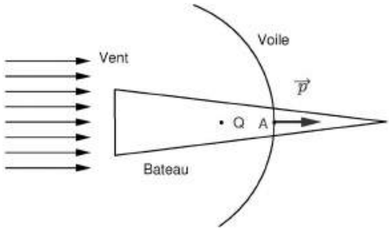


FIGURE 4. Vue aérienne

Exercice 3 : Navigation vent arrière. *Dans l'Antiquité, les voiles étaient carrées*(3), *et étaient attachées au milieu du mât. Dans la figure 4, le vecteur $\vec{p}$ représente la force de poussée du vent contre la voile. Lorsque l'esquif démarre, le vent le pousse et les frottements sont faibles. Donc le bateau accélère. Par la suite les frottements augmentent, lorsque la vitesse augmente. Enfin un équilibre se fait : la somme des forces auxquelles le navire est soumis est nulle, la vitesse est constante, le mouvement est rectiligne. On note $\vec{f}$ le vecteur qui représente la force de frottement de l'eau contre la coque du bateau.*

1. *Que peut-on dire de la vitesse du bateau lorsque $\vec{f} = -\vec{p}$?*

2. *Que vaut alors la somme $\vec{f} + \vec{p}$?*

Pour expliquer aux élèves que les frottements croissent très rapidement quand la

(3) Source Wikipédia. Cf. l'album d'Astérix et Obélix *La grande traversée*.

vitesse augmente, on peut leur poser la question suivante : est-ce que cela vous demande plus d'efforts de déplacer votre main lentement dans l'eau, ou rapidement dans l'eau ?

Suite à cet exercice, les élèves comprennent bien comment un navire peut se déplacer dans le sens du vent. Il est simplement poussé. Ce qui est beaucoup moins intuitif, c'est de comprendre comment un navire parvient à avancer contre le vent. Pour pouvoir faire l'exercice qui suit, il faut d'abord expliquer aux élèves ce qu'est la quille d'un bateau, avec des images. Puis on leur explique à quoi sert cette quille. L'exercice se fait en salle informatique. Les élèves disposent d'abord de la figure 6, qu'ils retrouvent ensuite sous forme de figure dynamique sous GeoGebra. Sous GeoGebra on peut déplacer l'axe du bateau, voir la figure 5.
Dans cette modélisation, on observe deux choses intéressantes :

- la force de poussée $\vec{m}$ permet de remonter contre le vent.
- plus l'axe du bateau se rapproche de la direction du vent, plus la force de poussée $\vec{m}$ est faible.

Cette modélisation permet d'expliquer pourquoi un navire doit s'écarter d'environ 45° de l'axe du vent pour pouvoir progresser à l'aide de ses voiles.

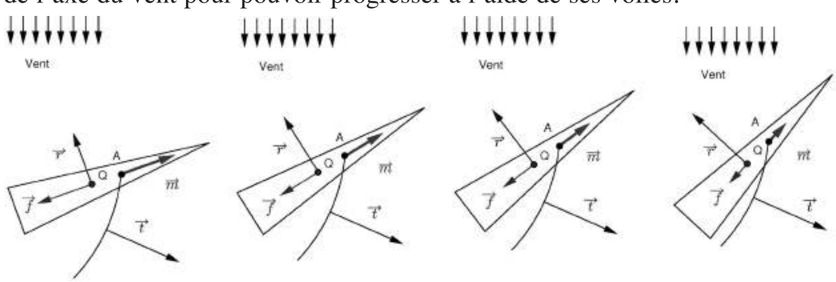


FIGURE 5.

Exercice 4 : navigation au près, figure 6. *Les marins ont développé au cours de l'histoire l'usage de bateaux ayant une quille. Dans la modélisation retenue, la voile et le bateau forment un système rigide. Le point* Q *représente la quille. La quille empêche toute rotation. On ignore les effets verticaux : le vent est horizontal, et le poids du bateau est compensé par la poussée d'Archimède. Le vecteur* $\vec{t}$ *représente la force de poussée du vent contre la voile. Le vecteur* $\vec{r}$ *représente la force de réaction à* $\vec{t}$ *sur la quille du bateau (il n'y a pas de mouvement latéral). Le vent souffle constamment du nord vers le sud.*

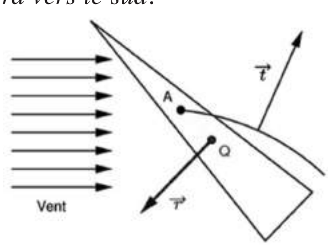


FIGURE 6.

1. *Indiquer par un vecteur le sens de déplacement du bateau.*

2. *Représenter le vecteur* $\vec{m}$ *en* A *tel que* $\vec{m} = \vec{t} + \vec{r}$.

3. *Représenter et nommer la force* $\vec{f}$ *en* Q *telle que* $\vec{f}+\vec{r}+\vec{t}=\vec{0}$.

4. *En ouvrant le fichier GeoGebra joint, déplacer l'axe du bateau vers le nord.*

Comment évolue $\vec{m}$ *? Utiliser cette modélisation pour expliquer pourquoi un bateau ne peut pas naviguer vent debout*(4)*.*

4. Se repérer en mer, s'orienter en mer. Introduction à la trigonométrie.

Introduction. Pour préparer ce thème, les élèves peuvent faire une séance de recherche internet sur la latitude (cf. [7]) , la longitude(5) et le longitude act, et enfin sur les grands cercles : pourquoi le Titanic a choisi une route qui passe près du pôle Nord ? Le chemin le plus court entre Lisbonne et New York est-il le 40e parallèle ? L'objectif de ce thème est d'introduire le cercle trigonométrique, et d'habituer les élèves à utiliser des angles compris entre 0° et 360°. On fournit(6) aux élèves la carte SHOM(7) nº 7081 de la Méditerranée(8). Pour toute cette partie, il faut que les séances aient du rythme pour que le travail ne traîne pas en longueur. Il peut donc être intéressant de faire faire certains exercices à la maison. L'exercice 3 est assez facile pour les élèves.

4.1 Comment repérer sa position en mer ?

Exercice 1 : lire une carte marine. *Notre navire est amarré au quai, au port de Barcelone. Après avoir fêté le début de la croisière, tout le monde s'endort dans le bateau. Et le jour suivant, surprise : nous sommes en haute mer. Les amarres devaient être mal fixées. Et le GPS est resté au port. Mais voici qu'un grain se prépare. Les voiles sont affalées. Tout le monde se réfugie dans le carré. La tempête dure longtemps. Le lendemain matin, une odeur pestilentielle envahit le bateau. Le capitaine va voir : c'est le souffle d'une baleine qui sent ainsi. Puis l'on voit des dauphins, des globicéphales. Les marins savent qu'il y a beaucoup de mammifères marins entre les points* G(44; 38°N; 9°E), D(43°N; 6°E) *et* C(43°N; 9°20′E). *Nous avons noté les points au format GPS :* D *désigne le point de* 43° *de latitude nord et de* 6° *longitude est. Placer les points* G, D *et* C *en rouge sur la carte. À quelles villes correspondent à peu près les points* G *et* D *? Le point* C *est remarquable. Comment s'appelle-t-il sur les cartes géographiques ?*

On peut signaler aux élèves que les informations contenues dans le texte sont exactes. Pour ce qui est des mammifères marins, la projection de quelques photos

(4) Face au vent.
(5) Pour ne pas confondre avec la latitude, on peut penser aux montres longines et aux fuseaux horaires.
(6) Les ateliers de reproduction pour architectes font des photocopies de documents de grandes dimensions.
(7) Service Hydrographique et Océanique de la Marine.
(8) Il est difficile de trouver des cartes marines gratuites. Une possibilité :
<http://www.highsea.cz/map/GM02.JPG>.31

égaie le cours. Le point G est Gênes, le point D est Toulon, le point C est le Cap Corse.

Exercice 2 : comment déterminer sa longitude en mer ?

1. *Du point de vue de la Terre, dans quelle direction se déplace le Soleil ?*
2. *Le Soleil prend* 24 h *pour faire le tour de la Terre, soit* 360°. *Combien de degrés sont parcourus en une heure ?*
3. *Nous sommes en mer, entre Sfax, qui est une ville de Tunisie, et Athènes. Notre GPS fonctionne mal. Nous souhaitons connaître notre position. Joe, qui est anglais*(9)*, a une idée. Il regarde sa montre à l'aube, lorsque le soleil est tangent à l'horizon. Il note* 7 h. *Dans les mêmes conditions, il note que le soleil se couche à* 19 h. *Joe prétend pouvoir utiliser ces informations pour estimer notre longitude. Comment s'y prend-il ?*
4. *Question à faire à la maison. Quelques jours plus tard, le Soleil se lève à* 6 h 55 *et se couche à* 19 h 21. *Quelle est notre nouvelle position ?*

Il n'est pas si facile d'expliquer le signe du décalage horaire. Voici une possibilité : un jour, le Soleil se lève à 7h à Athènes. C'est encore la nuit à Paris. Il faut une heure au Soleil pour arriver en France. Donc, lorsqu'il est 7h en France, cela fait déjà une heure que le Soleil brille en Grèce. Donc il est 8h à Athènes. L'heure d'Athènes est l'heure de Paris plus une heure. La question 4 montre l'importance de la précision des mesures : un léger décalage de temps accroît énormément l'erreur de position. Le long du 35e parallèle, 8 minutes représentent deux degrés de longitude, soit environ 180 km. D'où l'intérêt de regarder le moment où le soleil est tangent à l'horizon. C'est un moment relativement court. Suite à de nombreux naufrages, le parlement anglais offrit en 1714 l'équivalent de plusieurs millions d'euros pour la création d'une horloge fiable et précise qui puisse s'embarquer en mer, afin de déterminer précisément la longitude (longitude act).

Exercice 3 : comment déterminer sa latitude en mer ? *On considère la figure 7, où les droites* (OD) *et* (JC) *sont parallèles.*

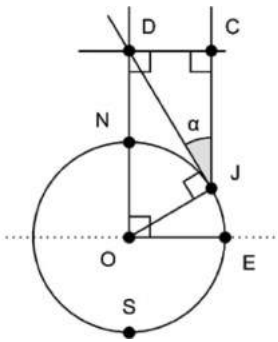


FIGURE 7.

1. *Supposons que* $\alpha = 15°$. *Que vaut l'angle* $\widehat{\text{JOE}}$ *? Justifier soigneusement votre réponse.*
2. *Généralisons : supposons que le point* J *soit situé dans le demi-cercle supérieur,*

(9) En été, il y a un décalage d'une heure entre la France et l'Angleterre.

sans plus d'indications, comme dans la figure 7. Que vaut l'angle $\widehat{\mathrm{JOE}}$ *?*

3. *Nous avons vu que dans notre hémisphère, l'Étoile polaire donne la direction du Nord. Pouvez-vous déduire de la question précédente une méthode pour déterminer la latitude d'un navire la nuit dans l'hémisphère Nord ?*

La question 1 peut se résoudre de deux manières différentes. Pour la dernière question, on peut expliquer que l'Étoile polaire est tellement loin dans le ciel que l'on peut considérer que les droites (DO) et (JC) pointent vers l'Étoile polaire, et sont parallèles. Une figure dynamique avec Geogebra peut aider à la compréhension. Un rapporteur bricolé permet de déterminer l'angle α, cf [8]. Cet exercice peut servir d'introduction au cercle trigonométrique.

4.2 Comment se diriger en mer ?

Rose des vents et cercle trigonométrique. On lit le texte qui suit aux élèves, accompagné de documents iconographiques projetés au tableau.
Les marins de l'Antiquité connaissaient l'Étoile polaire, qui leur donnait le Nord. Pour s'orienter ils utilisaient une rose des vents. Par la suite de plus en plus de branches ont été ajoutées, cf. figure 8. Puis les roses des vents sont apparues sur les cartes marines(10)*. Au cours de la Renaissance, on a substitué à la rose des vents un compas circulaire gradué en degrés de* 0° *à* 360°*.*

FIGURE 8 (XVe s)

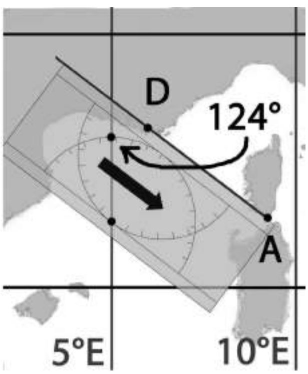


FIGURE 9

Les élèves demandent pourquoi on a choisi 360 et non une puissance de deux. On peut émettre l'hypothèse suivante : la base 60 apparaît assez naturellement quand on compte avec les doigts. Avec le pouce de la main droite on compte les phalanges des autres doigts de la main droite. Il y en a douze. Les doigts de la main gauche permettent de compter cinq douzaines. Les nombres 60 et 360 sont pratiques, contrairement à cent(11), car ils possèdent beaucoup de diviseurs.

Lecture d'un cap sur un méridien, avec carte marine du SHOM et règle Cras.
Pour déterminer la direction à suivre, les marins utilisent une règle Cras, cf. figure 10 et 9. Comment s'en servir ?

1. *Placer sur la carte marine le point* D *de départ puis le point* A *d'arrivée. Par exemple on peut prendre pour* D *la ville de Toulon et pour* A *la ville de*

(10) On appelle portulan ce type de carte.

Bonifacio.

2. *Placer le bord de la règle sur la droite* (DA), *dans le sens* $\overrightarrow{\mathrm{DA}}$.
3. *Faire coulisser la règle dans la direction* (DA), *peu importe le sens, jusqu'à ce que le centre le plus au sud des deux rapporteurs coïncide avec un méridien.*
4. *On lit sur le rapporteur de la règle les chiffres qui se présentent droit pour l'œil.*

Sur la carte du SHOM nº 7081, où l'on part de Toulon pour aller à Bonifacio, en mettant le centre du rapporteur du bas, sur le méridien de 5 est, on lit un cap de 124. La méthode vaut aussi pour les parallèles.

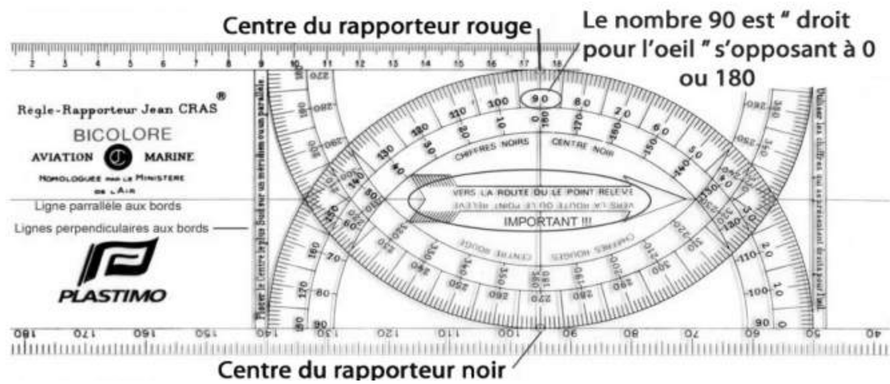


FIGURE 10. Règle Cras, source [10]

Exercice 4. *Déterminer le cap qu'il faut suivre pour aller de La Maddalena (île entre la Corse et la Sardaigne) à Messina (ville au nord-est de la Sicile). Le détroit de Messina est traditionnellement associé à Charybde et Scylla dans l'Odyssée d'Ulysse.*

4.3 Distance sur la sphère

Exercice 5. Grands cercles.

1. *Compléter : la sphère de centre* O *et de rayon* R *est* . . . .
. . . .

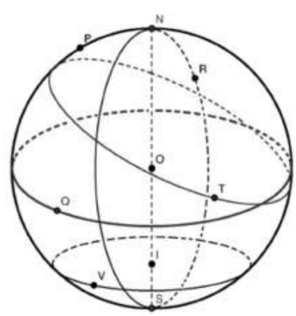


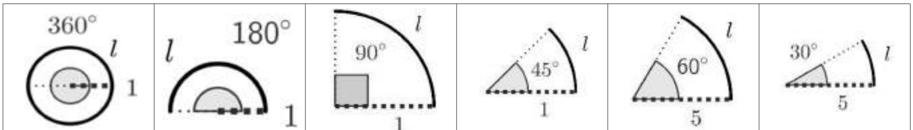
FIGURE 11.

(11) Les heures de cent minutes instituées lors de la révolution française ont vite été abandonnées.

2. *Par définition, les grands cercles sont les plus grands cercles que l'on puisse tracer sur la sphère. Dans la figure 11, donner trois grands cercles. Donner d'autres cercles qui ne sont pas des grands cercles.*
3. *Compléter : Un grand cercle a le . . . . centre que le . . . . de la sphère.*
4. *Sur le globe terrestre, les parallèles sont-ils des grands cercles ?*

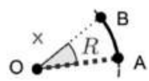
Pourquoi le Titanic a-t-il suivi une route septentrionale, et pas un parallèle ? On peut projeter en classe une vue du planisphère avec Google Earth. Avec CTRL+L on fait apparaître les méridiens et parallèles. Avec l'outil règle, on voit apparaître le plus court chemin entre Lisbonne et New York : ce n'est pas le quarantième parallèle, mais un arc de grand cercle. En traçant de même le plus court chemin entre Southampton et New York, on comprend pourquoi le Titanic a suivi une route du nord.

Exercice 6 : longueur d'un arc de cercle, distance entre Gênes et le Cap Corse.



1. 360° = 360°	2. 180° = …	4. 90° = …		6 60° = …	
$l = 2\pi\cdot 1\cdot 1$	$l = 2\pi\cdot 1\cdot \frac{1}{2}$	$l = 2\pi\cdot 1\cdot \frac{1}{4}$	$l = 2\pi\cdot 1\cdot \frac{1}{\ldots}$	$l = 2\pi\cdot 5\cdot \frac{1}{6}$	$l = 2\pi\cdot 5\cdot \frac{1}{\ldots}$
$l = 2\pi\cdot 1\cdot \frac{360°}{360°}$	$l = 2\pi\cdot 1\cdot \frac{180°}{360°}$	$l = 2\pi\cdot 1\cdot \frac{\ldots}{360°}$	$l = 2\pi\cdot 1\cdot \frac{\ldots}{360°}$	$l = 2\pi\cdot 5\cdot \frac{\ldots}{360°}$	$l = 2\pi\cdot 5\cdot \frac{\ldots}{360°}$

1. *Compléter le tableau ci-dessus et en déduire, dans chaque cas, la longueur l de chaque arc de cercle. Les figures ne sont pas en vraie grandeur.*
2. *De façon générale, la longueur l d'un arc de cercle* $\overset{\frown}{AB}$ *est donnée par la formule suivante, où x est une mesure de l'angle* $\widehat{AOB}$*, exprimée en degré :* $l = 2\pi\cdot R\cdot\frac{x}{360°}$.



   On considère un arc de cercle $\overset{\frown}{AB}$ *sur un cercle de rayon R = 6371 km, comme la Terre. L'angle* $\widehat{AOB}$ *vaut* 0,33°. *Déterminer la longueur l de cet arc de cercle.*
3. *L'objectif de cette question est de déterminer la distance entre la ville de Gênes représentée par le point* G(44,38°N ; 9°E) *et le Cap Corse représenté par le point* C(43°N ; 9,33°E).
   (a) *Considérons le point* Z(43°N ; 9°E). *Placer les points* G, C *et* Z *sur la carte du SHOM n° 7081.*
   (b) *À quel type de cercle appartient l'arc de cercle* $\overset{\frown}{GZ}$ *?*
   (c) *Calculer la distance entre les points* G *et* Z.
   (d) *Expliquer pourquoi il est raisonnable de faire l'approximation* Z ≃ C.
   (e) *En déduire la distance entre Gênes et le Cap Corse.*

Notre choix de modélisation a été d'approcher la longueur de l'arc de cercle $\overset{\frown}{GC}$ par celle de l'arc de grand cercle $\overset{\frown}{GZ}$. La distance entre G et Z est d'environ 153,45 km. On peut utiliser en classe Google Earth, qui donne 155,18 km pour la distance entre Gênes et le Cap Corse. Cela nous conforte dans notre choix de modélisation. L'exercice précédent peut servir à motiver l'introduction de l'unité radian : on voit que pour un cercle de rayon 1, la détermination de la longueur d'un arc se fait naturellement à partir de fractions de π plutôt qu'avec des degrés.

5 Conclusion

Le thème de la navigation hauturière permet de traverser toute l'année de seconde avec un fil directeur qui intéresse la plupart des élèves. Ils apprécient le caractère concret de ces études, le travail en groupe, la préparation d'exposés. Cela rend un certain nombre de notions moins arides, car elles prennent racine dans le monde réel. La pression et les fonctions passent relativement bien. L'exercice sur les vecteurs est plus difficile à comprendre, surtout pour ce qui concerne les enjeux physiques. Il est donc intéressant de convenir d'une progression commune avec le collègue de physique, afin de déterminer qui introduit la notion de force, ou du principe d'inertie.

Références

[1] Inspection Générale de mathématiques, rapport n° 2007-090 , décembre 2007.

[2] Éric Martinet, Michèle Gandit, Sylvie Riondet, Romain Vidonne, Hélène Zelsmann, *Donner sens aux apprentissages scientiques et aux choix d'orientation*, Cahiers pédagogiques n° 469, janvier 2009.

[3] ENS de Lyon :
<http://planet-Terre.ens-lyon.fr/planetTerre/objets/Images/solstice/Eclairement.swf>
et <www.ens-lyon.fr/RELIE/Cadrans/activpedago/TextesCours/Websextant/Sextant.htm>.

[4] Académie de Grenoble, logiciel disponible en suivant l'arborescence personnels, espace pédagogique, physique et chimie, collège, animations, mouvement des particules d'un gaz ou bien
<www.ac-grenoble.fr/disciplines/spc/articles.php?lng=fr&pg=337>.

[5] Jean-Pierre Petit, *L'aspirisouffle* p. 34-p.41,
<http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/free_downloads.htm>.
Sur le même site, cf. aussi *Cosmic Story* p. 17-18.

[6] *Escales atlantiques 2009*, Les Éditions du Chabassol.

[7] *Mesure de la latitude et de la longitude*, exposition virtuelle à la BnF,
<http://expositions.bnf. fr/ciel/maths/pdf/mesurl1.pdf>.

[8] Un atelier mené au collège d'Echenon (Côte d'Or).
<http://pierre.causeret.pagesperso-orange. fr/longlat.html>

[9] Lusitana, *article Fortaleza de Sagres*, Portugal, Wikipédia. Photo régie par licence créative commons.

[10] <http://www.latangente.org>.